



Stand: 06.10.2020

Blatt: 1

<b>DECKBLATT</b>	Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
	9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00

Kurztitel der Unterlage:  
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Ersteller / Unterschrift: GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH	Prüfer / Unterschrift: 
--	----------------------------

Titel der Unterlage:  
**Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur Durchführung der 3D-seismischen Messung im Gebiet der Schachtanlage Asse II**

Freigabevermerk:

Freigabedurchlauf

Fachbereich: TEK-GI  Datum: <b>10.06.2021</b>  Name:  Unterschrift	Stabsstelle Qualitätssicherung:  Datum:  Name:  Unterschrift	Endfreigabe: Bereichsleitung ASE  Datum:  Name:  Unterschrift
---	--	--



**REVISIONSBLATT**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00


Kurztitel der Unterlage:

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	06.10.2020	TEK-GI.4.2		-	Ersterstellung

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

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 3
--	----------

## Inhaltsverzeichnis

Blatt

Deckblatt.....	1
Revisionsblatt.....	2a
Inhaltsverzeichnis .....	3
Freigabeblatt.....	8
1 Einleitung .....	9
2 Genehmigungen und Organisation.....	11
3 Zeitlicher Ablauf.....	14
3.1 Vorarbeiten.....	14
3.2 Zeitlicher Ablauf der seismischen Messkampagne .....	14
4 Sicherheit, Gesundheit und Umwelt (SGU) / Health, Safety and Environment (HSE) .....	16
5 Technisches Audit.....	19
6 Vermessung .....	20
7 Kampfmittelsondierungen.....	23
8 Nahlinienmessungen .....	25
9 VSP-Messungen .....	27
10 Seismische Messanordnung .....	30
11 Bestimmung der Signalparameter .....	39
11.1 Parameterfest – Sprengseismik.....	40
11.2 Parameterfest – Vibroseismik .....	42
12 Seismische Datenakquisition.....	45
12.1 Energieanregung – Vibroseismik .....	45
12.2 Energieanregung – Sprengseismik .....	50
12.2.1 Bohren .....	51
12.2.2 Laden.....	54
12.2.3 Zünden .....	55
12.3 Qualitätskontrolle - Energieanregung.....	56
12.3.1 Hardwire Similarity Tests .....	56
12.3.2 Radio Similarity Tests .....	57
12.3.3 Post Sweep Services .....	57
12.4 Energieaufzeichnung .....	60
12.4.1 Kabellose Registriereinheiten.....	61
12.4.2 Einzelgeophone .....	62
12.4.3 Qualitätskontrolle - Energieaufzeichnung .....	64
12.5 Qualitätskontrolle - Messdaten .....	67
13 Produktivität .....	77
14 Erschütterungsmessungen.....	79
15 Schadensdokumentation .....	81
16 Öffentlichkeit .....	86
17 Zusammenfassung.....	90
18 Literaturverzeichnis .....	92

### Verzeichnis der Anhänge


Anhang 1: Grafiken 77 - 89.....	93
Anhang 2: Untersuchungen zum Überdeckungsgrad bei Vertauschung von Anregungs- und Empfangspunkten im Waldgebiet der Asse.....	104
Anhang 3: Untersuchungen zur entfernungsabhängigen Amplitudenabnahme sprengseismischer Anregungen .....	115

### Tabellenverzeichnis





Tabelle 1: Einsatzplan der Fremdbauüberwachung. ....	13
Tabelle 2: Zeitlicher Ablauf der seismischen Messkampagne. ....	15
Tabelle 3: Sicherheitsabstände zu einzelnen Objekten und die damit verbundene maximale Ladungsmenge für die sprengseismischen Anregungspunkte. ....	23



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 4
--	----------


Tabelle 4:	Sicherheitsabstände zu einzelnen Objekten für die vibroseismischen Anregungspunkte bei Kräften von 50 % und 70 % außerhalb von Ortschaften. ....	23
Tabelle 5:	Messparameter der VSP-Messungen. ....	27
Tabelle 6:	Gemessener Tiefenbereich in den einzelnen Bohrungen sowie Offset und Azimut (gegenüber Nord) der Anregungspunkte bei den VSP-Messungen. ....	27
Tabelle 7:	Nominelle geometrische Messparameter der 3D-Seismik. ....	30
Tabelle 8:	Messgeometrie und Einstellungen der Registriereinheiten beim Parametertest. ....	40
Tabelle 9:	Programm des sprengseismischen Parametertest. ....	40
Tabelle 10:	Programm des vibroseismischen Parametertests. ....	43
Tabelle 11:	Verteilung der Ladungsmengen auf die Bohrungen (Stand 30.03.2020). ....	50
Tabelle 12:	Verteilung der Bohrtiefen. ....	50
Tabelle 13:	Vergleich der bei den Hardware Similarity Tests ermittelten Start Time Errors. ....	57
Tabelle 14:	Zusammenstellung der Testergebnisse der Registriereinheiten Innsoeis Tremornet (Zusammenstellung  ). ....	63
Tabelle 15:	Zusammenstellung der Testergebnisse der in die Registriereinheiten Innsoeis Tremornet eingebauten Geophone (Zusammenstellung  ). ....	64
Tabelle 16:	Auswertung der Testergebnisse der in die Registriereinheiten Innsoeis Tremornet eingebauten Geophone (Zusammenstellung  ). ....	64
Tabelle 17:	Auswertung der täglichen Selbsttests der Registriereinheiten Innsoeis Tremornet (Zusammenstellung  ). ....	65

### Abbildungsverzeichnis


Abbildung 1:	Messfläche der 3D-Seismik mit theoretischem, rechtwinkligem Raster aus Anregungspunktlinien (rot) und Empfangspunktlinien (blau) sowie der Kennzeichnung verschiedener Zonen mit unterschiedlichen Linienabständen von 50 m (Zone A), 100 m (Zone C) bis 200 m (Zone D). Der Messpunktabstand auf den jeweiligen Linien beträgt einheitlich 10 m. ....	10
Abbildung 2:	Eingang des Truppbüros in der Kastanienallee in Wittmar. ....	12
Abbildung 3:	Im Projekt eingesetzte Fahrzeuge von GT auf der Außenstellfläche in der Kastanienallee in Wittmar. ....	17
Abbildung 4:	Kehrfahrzeug (Traktor mit Reinigungsbürste) von GT im Einsatz. ....	18
Abbildung 5:	Basisstation für die GPS-RTK-Vermessung am Gebäude des Truppbüros in Wittmar. ....	20
Abbildung 6:	Vermessung von Empfangspunkten mit dem inertialen Navigationssystem ZUPT B-PINS (grau/orangener Tornister) im Asse-Wald. ....	21
Abbildung 7:	Mit Holzpflocken markierte Empfangspunkte. ....	22
Abbildung 8:	Untersuchung der Bohransatzpunkte auf Kampfmittelaltlasten mit einem Magnetometer Sensys SBL10. ....	24
Abbildung 9:	Nahlinienmessung mit Hammerschlag als seismischer Quelle. ....	25
Abbildung 10:	Lage der Nahlinien. ....	26
Abbildung 11:	Lage der Bohrungen (gelber Kreis) und Anregungspunkte (lila Dreieck) für die VSP-Messungen. ....	28
Abbildung 12:	VSP-Messungen in den Bohrungen R7 (links) und PN-2 (rechts). ....	29
Abbildung 13:	VSP-Messungen in der Bohrung R8. ....	29
Abbildung 14:	Wege- und Straßennetz im Messgebiet mit grün gekennzeichneten Waldflächen (links). In den Waldflächen liegt ein relativ dichtes Netz von Rückegassen vor (Ausschnitt rechts), das mit geeigneten Fahrzeugen (z.B. allradgetriebenen Traktoren) befahrbar ist. ....	31
Abbildung 15:	Tatsächlicher Verlauf der Anregungslinien (rot) und Empfangslinien (blau). ....	32
Abbildung 16:	Anregungslinie entlang einer Rückegasse im Asse-Wald mit für die Sprengseismik vorbereiteten Bohrungen. Die Bohrungen sind verrohrt (orangenes Kunststoffrohr), Säcke mit Bentonit liegen zur späteren Verfüllung der Bohrungen bereit. ....	33
Abbildung 17:	Fahrspuren eines Vibrofahrzeugs mit Abdrücken der Bodenplatte entlang einer Anregungslinie. Im Hintergrund ist das Umfahren einer Kampfmittelverdachtsfläche zu erkennen. ....	34



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BGE**  
 BUNDESGESELLSCHAFT  
 FÜR ENDLAGERUNG

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 5
--	----------

Abbildung 18: In einem Vorgarten in Wittmar platzierte Registriereinheit (links). Auf einem Feld platzierte mit Erde bedeckte Registriereinheit (rechts).....	34
Abbildung 19: Überdeckungsgrad unter Einbeziehung aller Offsets von 0 – 200 m.....	36
Abbildung 20: Überdeckungsgrad unter Einbeziehung aller Offsets von 0 – 600 m.....	36
Abbildung 21: Überdeckungsgrad unter Einbeziehung aller Offsets von 0 – 2000 m.....	37
Abbildung 22: Überdeckungsgrad unter Einbeziehung aller Offsets. ....	37
Abbildung 23: Auf die Erdoberfläche projizierte Lage der untertage registrierenden Empfänger (grüne und magentafarbene Punkte) und sprengseismische Anregungspunkte (graue und schwarze Punkte) vor oberflächengeologischem Kartenhintergrund.....	38
Abbildung 24: Lage des Messprofils (blaue Linie) und Lage der Anregungspunkte (rote Punkte) im Messgebiet der 3D-Seismik Asse (schwarze Umrandung) für den sprengseismischen Parametertest.....	39
Abbildung 25: Sprengseismische Anregung von sehr guter Datenqualität in allen Offsetbereichen am südlichen Anregungspunkt des Testprofils mit einer Ladungsstärke von 970 g in einer 15 m tiefen Einzelbohrung.....	42
Abbildung 26: Sprengseismische Anregung von unzureichender Datenqualität bei großen Offsets am südlichen Anregungspunkt des Testprofils mit einer Ladungsstärke von 220 g in einer 15 m tiefen Einzelbohrung.....	42
Abbildung 27: Vibroseismische Anregung am südlichen Anregungspunkt des Testprofils mit einer Kraft von 70 % und einer Sweepfrequenz von 5 – 120 Hz.....	45
Abbildung 28: Vibrator vom Typ Hemi 50 auf einem Trägerfahrzeug Mark IV.....	46
Abbildung 29: Vibrofahrzeug im Einsatz in Wittmar.....	46
Abbildung 30: Mehrere Vibratoren im Slip-Sweep-Verfahren im Einsatz auf Feldern bei Dettum. ..	47
Abbildung 31: Vibrofahrzeug im Einsatz auf einem Feld.....	47
Abbildung 32: Messwagen (links) von dem aus die Signalsteuerung der Vibratoren und deren technische Kontrolle erfolgte (rechts).....	48
Abbildung 33: Slip-Sweep-Verfahren mit 4 Vibratoren.....	48
Abbildung 34: Linkes Fenster: f-t-Darstellung der Grundmode (schwarze Linie) und höherer Moden (blaue Linie: 1. Oberschwingung, grüne Linie: 2. Oberschwingung, rote Linie: 3. Oberschwingung) zweier zeitversetzter Sweeps vor der Korrelation. Die Registrierzeit des 1. Sweeps ist Gelb hinterlegt. Rechtes Fenster: f-t-Darstellung der Grundmode des erstes Sweeps mit Registrierzeit (gelb) und Grundmode sowie höherer Moden des 2 Sweeps nach der Korrelation. ....	49
Abbildung 35: Verteilung der Bohrungen mit den jeweiligen Bohrtiefen im Raster der nummerierten Empfangs- und Anregungspunktlinien (Zusammenstellung  ).	51
Abbildung 36: Auf einem Traktor montiertes Bohrgerät PAT 301 (links) und portables Bohrgerät EMCI Explo 220MPR (rechts).....	52
Abbildung 37: Kompressor Atlas Copco XAHS 186 zur Erzeugung von Druckluft für den Betrieb der Bohrgeräte.....	52
Abbildung 38: Anzahl der täglich abgeteuften Bohrungen der PAT-Bohrgeräte (orange Säule) und der EMCI-Bohrgeräte (blaue Säule).....	53
Abbildung 39: Kumulative Anzahl der abgeteuften Bohrungen der PAT-Bohrgeräte (orange Säule) und der EMCI-Bohrgeräte (blaue Säule). ....	53
Abbildung 40: Bunker zur temporären Lagerung von Sprengmitteln.....	54
Abbildung 41: Ziehen der Verrohrung.....	55
Abbildung 42: Füllen der besetzten Bohrung mit Bentonit (links) und für die Sprengung vorbereitete, mit einer Sprengladung besetzte Bohrung (rechts).....	55
Abbildung 43: Sprengteam mit BoomBox III (gelbes Gerät im Tornister) im Einsatz.....	56
Abbildung 44: Average Distortion aller Sweeps der am 22.01.2020 eingesetzten vier Vibratoren (schwarze, blaue, rote, gelbe Punkte).....	58
Abbildung 45: Peak Distortion aller Sweeps der am 22.01.2020 eingesetzten vier Vibratoren (schwarze, blaue, rote, gelbe Punkte).....	59
Abbildung 46: Average Phase aller Sweeps der am 22.01.2020 eingesetzten vier Vibratoren (schwarze, blaue, rote, gelbe Punkte).....	59




Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 6
--	----------

Abbildung 47: Peak Phase aller Sweeps der am 22.01.2020 eingesetzten vier Vibratoren (schwarze, blaue, rote, gelbe Punkte).....	60
Abbildung 48: Zum Transport vorbereitete kabellose Registriereinheiten Innoseis Tremornet mit eingebautem Einzelgeophon. ....	61
Abbildung 49: Anzahl der täglich per App kontrollierten Registriereinheiten/Geophone.....	66
Abbildung 50: Prozentuale Anzahl der aufgrund eines Defektes ausgetauschten (blaue Säule), aufgrund zu starker Neigung (orange Säule) oder wiedereingesetzter (grüne Säule) Registriereinheiten und deren Summe (Linie) bezogen auf die Anzahl der täglich kontrollierten Registriereinheiten/Geophone. ....	66
Abbildung 51: Am 25.01.2020 von GT kontrollierte Empfängerpunkte. Farblich markiert ist der Ladezustand der Akkus (Rot: Ladezustand < 50 %; gelbliche Farbtöne: Ladezustand zwischen 50 % und 80 %, Grün: Ladezustand > 80%). ....	67
Abbildung 52: Nach sechs verschiedenen Anregungspunkten der vibroseismischen Messung sortierte Seismogramme, die auf der Kontrolllinie am ersten Messtag, 17.01.2020, registriert wurden.....	68
Abbildung 53: Nach sechs verschiedenen Anregungspunkten der vibroseismischen Messung sortierte Seismogramme, die auf der Kontrolllinie bei kräftigem, böigem Wind registriert wurden.....	69
Abbildung 54: Messung der Windgeschwindigkeit auf dem Dach des Messwagens.....	69
Abbildung 55: Windgeschwindigkeit in [m/s] am 09.02.2020 gemessen auf dem Dach des Messwagens (oben) und auf dem Dach des Truppbüros (unten). Die Ausgleichslinie (gestrichelt, orange) wurde jeweils durch Polynom 6. Grades angepasst.....	70
Abbildung 56: Reinigung der eingesammelten Registriereinheiten.....	71
Abbildung 57: Auslesen der seismischen Messdaten aus den Registriereinheiten.....	71
Abbildung 58: Von GT vor Ort installiertes „Data Center“.....	73
Abbildung 59: Vibroseismischer Anregungspunkt 1161   5181 (auf einem Feld südlich von Sottmar) und Registrierungen auf den Empfangslinien 1101, 1111, 1121, 1131 und 1141. ....	74
Abbildung 60: Vibroseismischer Anregungspunkt 1161   5181 (auf einem Feld südlich von Sottmar) und Registrierungen auf den Empfangslinien 1231, 1241, 1251, und 1261. ....	74
Abbildung 61: Vibroseismischer Anregungspunkt 1161   5181 (auf einem Feld südlich von Sottmar) und Registrierungen auf den Empfangslinien 1561, 1566, 15711, 1576 und 1581.....	75
Abbildung 62: Sprengseismischer Anregungspunkt 1430   5256 (im Wald nördlich von Wittmar) und Registrierungen auf den Empfangslinien 1416, 1421, 1426, 1431 und 1436.....	75
Abbildung 63: Rohstapelung der Crossline 1500 (Südwesten = links).....	76
Abbildung 64: Post-Stack Zeitmigration der Crossline 1500 (Südwesten = links).....	77
Abbildung 65: Tägliche Anzahl der vibroseismischen (blaue Säulen) und sprengseismischen Anregungspunkte (lila Säulen).....	78
Abbildung 66: Am letzten Anregungspunkt.....	79
Abbildung 67: Erschütterungsmessungen (PPV) überwachen die durch die Anregung der seismischen Wellen erzeugten Erschütterungen an Gebäuden. ....	80
Abbildung 68: Fahrspuren eines Vibrofahrzeugs auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. ....	82
Abbildung 69: Fahrspuren eines Vibrofahrzeugs auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. ....	82
Abbildung 70: Fahrspuren der Bohrfahrzeuge auf einem Waldweg.....	83
Abbildung 71: Festgefahrenes Vibrofahrzeug.....	84
Abbildung 72: Bergung des festgefahrenen Vibrofahrzeugs.....	84
Abbildung 73: Hinterlassene Fahrspuren des festgefahrenen Vibrofahrzeugs.....	84
Abbildung 74: Beweisaufnahme per Laserscan am Bismarck-Turm.....	85
Abbildung 75: Interview des NDR mit Herrn Dr. Lautsch (Technischer Geschäftsführer der BGE). ....	88
Abbildung 76: Filmaufnahmen der Firma lichtempfindlich bei den sprengseismischen Messungen.....	89

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 7

### Abbildungsnachweis

Abb. 1	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Abb./Grafik 6, 10, 15, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 34, 48, 49, 50, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84	Geofizyka Toruń S.A.
Abb./Grafik 35, 85, 86, 87, 88	
Abb./Grafik 41, 42, 71, 72	
Abb. 23 und alle Grafiken in Anhang 3	
alle anderen Abbildungen/Grafiken	

Anzahl der Blätter dieses Dokumentes ..... 143

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN		
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00		
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse										BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
										Blatt: 8

## Freigabeblatt



Abschlussbericht: Fremdbauüberwachung zur Durchführung der 3D-seismischen Messung im Gebiet der Schachanlage Asse II

Auftraggeber: Bundesgesellschaft für Endlagerung GmbH  
Eschenstr. 55  
31224 Peine

Rahmenvertrag: 46001098, vormals RV180012, BfS-Vertrag 8003-3  
Bestellnummer: 45183546

Auftragnehmer: GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH  
Bautzner Str. 67  
04347 Leipzig

Auftrags-Nr. (intern): GGL 15-016

Ort, Datum: Leipzig, 01.10.2020



Geschäftsführer



Geschäftsführer



Berichtersteller



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 9

## 1 Einleitung

Die Schachanlage Asse II ist ein altes Salzbergwerk bei Remlingen im Landkreis Wolfenbüttel, das von 1909 bis 1964 für die Gewinnung von Kali- und Steinsalz betrieben wurde. Im Zeitraum von 1967 bis 1978 wurden im Auftrag des Bundes rund 126.000 Gebinde mit schwach- und mittelradioaktiven Abfällen eingelagert. Seit 1989 dringt Grundwasser in einer Tiefe zwischen 500 und 600 Metern in das Bergwerk ein. In 2013 wurde mit breiter politischer Mehrheit vom Bundestag die Rückholung der eingelagerten Abfälle gesetzlich festgeschrieben [1] und die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH mit der Umsetzung beauftragt. Ausgangspunkt aller für die Rückholung notwendigen Planungen und resultierenden Maßnahmen sowie der erforderlichen Genehmigungen bildet eine belegbare und belastbare Beschreibung der vorliegenden geologischen und hydrogeologischen Situation, wobei eine solche Standortbeschreibung auf der gezielten Anwendung von Erkundungsmöglichkeiten basieren muss, die dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen.

Deshalb wurden im Jahr 2013 auf Basis erster Vorplanungen [2] seismische Testmessungen durchgeführt, um zu klären, ob eine 3D-Seismik die Struktur der Asse und das Deckgebirge abbilden kann und welche Planungsparameter hierfür anzusetzen sind. Sie zeigten, dass eine seismische Abbildung des Untergrundes mit ausreichender Genauigkeit möglich ist [3]. Zusätzlich lieferten sie grundlegende Informationen zur Messanordnung der 3D-Seismik [4]. Im Jahre 2016 wurden dann Alternativen zur Durchführung der 3D-seismischen Hauptmessung untersucht, die sich insbesondere auf eine zeitliche Optimierung und Realisierbarkeit der Messung konzentrierten [5]. Die hohen Anforderungen an die Auflösung und Qualität der seismischen Daten sowie die Notwendigkeit die umfangreiche Messung in sehr kurzer Zeit durchzuführen erforderten den Einsatz der innovativsten seismischen Techniken wie Einzelvibratoren, breitbandige Signale, Slip-Sweep-Verfahren, Einzelgeophone sowie ein kabelloses Messsystem. In Ergänzung zu weiteren laufenden und anstehenden Erkundungsmaßnahmen wurde von Oktober 2019 bis März 2020 eine entsprechende hochauflösende 3D-seismische Messung durchgeführt.

Ziele der 3D-Seismik sind die lagerichtige räumliche Abbildung der Salzhüllenden und des Salzspiegels im zentralen Bereich der Salzstruktur, die Charakterisierung potentieller Migrationspfade von Lösungszutritten, die Erlangung von detaillierten Kenntnissen über den Aufbau des Deckgebirges, sowie die großräumige Erfassung von Störungen und deren Charakterisierung. Die geologische Situation und die Abgrenzung des Deckgebirges zum Salinar bedingen eine Erkundungstiefe von 200 m bis ungefähr 2.000 m.

Zur Durchführung der 3D-Seismik wurde die Firma Geofizyka Toruń S.A. (GT) von der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) beauftragt. Die durchgeführte seismische Messkampagne bestand im Wesentlichen aus:

- der Durchführung der 3D-Seismik (Vibro-seismik und Sprengseismik) mit einem kabellosen Messsystem auf einer Fläche von ca. 36,5 km<sup>2</sup> mit nominell 40.860 Anregungspunkten, darunter knapp 16 % Sprenganregungen, sowie 46.130 Empfangspunkten, was für 3D-seismische Messungen eine einzigartig hohe Punktdichte darstellt (Abbildung 1),
- refraktionsseismischen Messungen zur Bestimmung des oberflächennahen Geschwindigkeitsprofils (Nahlinienmessungen) in einem Raster von nominell 4 Nahlinien pro km<sup>2</sup>,
- der Vermessung aller Anregungs- und Empfangspunkte,
- der Erstellung von flachen Bohrungen für die sprengseismischen Anregungen in den für Vibrofahrzeuge nicht befahrbaren Bereichen im Asse-Wald,
- VSP-Messungen in vier bestehenden Bohrungen mit jeweils drei Anregungspunkten an der Erdoberfläche,
- der Durchführung von die 3D-Seismik begleitenden Erschütterungsmessungen in Ortschaften und im Umfeld von ausgewählten Bauten,
- der Prüfung auf Kampfmittelfreiheit in Teilen des Messgebiets,



Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

- der Durchführung des Permittings, wobei im Rahmen der Vorbereitung der 3D-Seismik bereits erste Permitterarbeiten durch die Firma IPS Informations- und Planungsservice GmbH (IPS) im Auftrag der BGE erfolgt sind.

Für die Permit-Arbeiten im Zusammenhang mit der aktuellen Messkampagne wurde von GT die Informations- und Planungsservice GmbH (IPS) als Unterauftragnehmerin weiterhin beschäftigt. Die Prüfung auf Kampfmittelfreiheit erfolgte durch die Firma SafeLane Global GmbH im Unterauftrag von GT.

Die VSP-Messungen sollen bei der späteren Datenbearbeitung bzw. bei der Zeit-Tiefen-Konversion der seismischen Daten eine zuverlässige Kalibrierung der zur Tiefenwandlung verwendbaren Processing-Geschwindigkeiten sowie eine präzisere Zuordnung der geologischen Horizonte zu den seismischen Reflexionen ermöglichen.

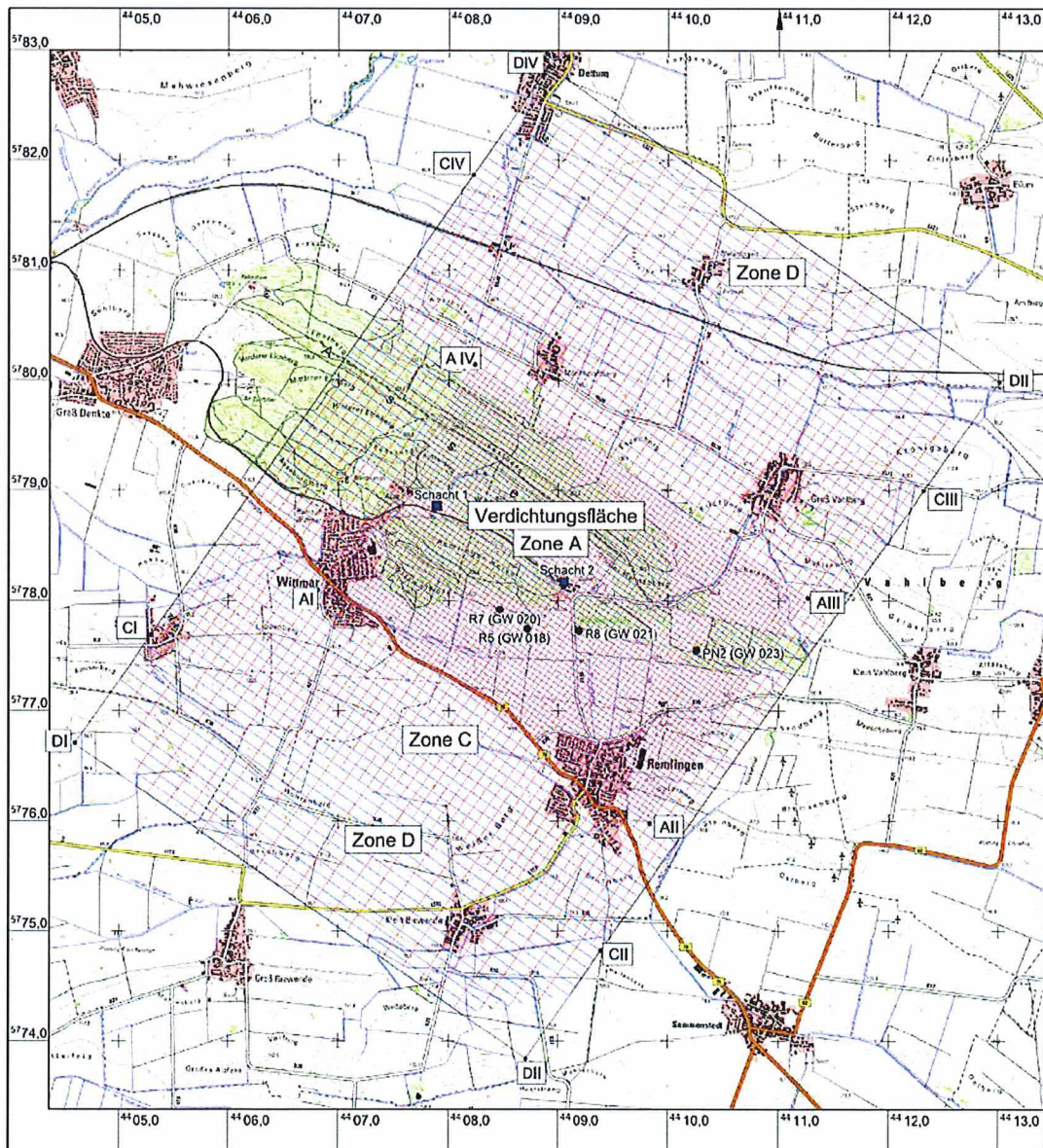


Abbildung 1: Messfläche der 3D-Seismik mit theoretischem, rechtwinkligem Raster aus Anregungspunktlinien (rot) und Empfangspunktlinien (blau) sowie der Kennzeichnung verschiedener Zonen mit unterschiedlichen Linienabständen von 50 m (Zone A), 100 m (Zone C) bis 200 m (Zone D). Der Messpunktabstand auf den jeweiligen Linien beträgt einheitlich 10 m.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 11



Der Fortschritt der seismischen Messungen inklusive der zugehörigen Arbeiten (Vermessung, Nahlinien, Bohrungen, etc.) sind in den Daily Progress Reports vom 27.09.2019 bis 03.03.2020 und den zugehörigen Daily Progress Maps vom 27.09.2019 bis 25.02.2020 durch GT dargestellt. Diese Tagesberichte, in denen insbesondere die täglich erbrachte Leistung aufgeführt ist, stehen der BGE zur Verfügung.

Die GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (GGL) und die VibroSeitz Consulting (VSC) wurden von der BGE für die Beratung des Auftraggebers in geophysikalischen Fragestellungen und die Begleitung der geophysikalischen Erkundungsmaßnahmen als sogenannte Fremdbauüberwachung beauftragt. Die Tätigkeiten der Fremdbauüberwachung sind in Tagesberichten vom 25.09.2019 bis zum 05.03.2020 beschrieben. Diese Unterlagen sind der BGE bereits während der seismischen Messungen tagesaktuell zur Verfügung gestellt worden. Im vorliegenden Bericht werden die Tätigkeiten der Fremdbauüberwachung noch einmal zusammenfassend dargestellt sowie die erfassten Daten und Informationen ausgewertet.


## 2 Genehmigungen und Organisation

Die seismischen Messungen wurden auf Basis des von der BGE erstellten Sonderbetriebsplans „Nr. 9/2018 Durchführung einer 3D-seismischen Messung (3D-Seismik-Hauptmessung) zur Strukturerkundung im Gebiet der Schachanlage Asse, Zechenbuch-Nr. 2.18.2.2“ durch das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) gemäß §§55, 56 Bundesberggesetz (BBergG, [6]) mit Bescheid vom 08.04.2019 zugelassen. In der Ablaufplanung des Sonderbetriebsplans war vorgesehen, dass die 3D-seismischen Messungen in einem Zeitraum vom 01.10.2019 bis 31.03.2020 (inklusive Mobilisierung und Demobilisierung, Technisches Audit, Vermessung, Prüfung auf Kampfmittelaltlasten, Auf- und Abbau der Geophone, Parametertest, Messung der Nahlinien, Abteufen der Bohrungen für die Sprengseismik) im Rahmen einer Messkampagne durchgeführt werden, wobei die seismischen Anregungen (Einsatz der Vibratoren sowie Sprengseismik) auf den Zeitraum vom 01.11.2019 bis 29.02.2020 beschränkt waren.

Auf Anträge der BGE vom 16.05.2019 und 17.06.2019 wurde durch den Landkreis Wolfenbüttel am 11.07.2019 eine Änderung der erteilten Ausnahmegenehmigung erteilt, die es ermöglichte, bereits im August 2019 an 12 Punkten im Asse-Wald Testbohrungen durchzuführen, um so die für die Sprengseismik geplanten Bohrungen mit angepasstem Bohrequipment und besser abgestimmten Methoden ausführen zu können. Außerdem wurde dem LBEG durch die BGE am 12.09.2019 mitgeteilt, dass es im Rahmen eines Tests zur Ermittlung optimierter sprengseismischer Parameter (Bohrlochtiefe und Ladungsmenge) geplant ist, mit sprengseismischen Anregungen an drei ausgewählten Standorten vorzeitig zum 01.10.2019 zu beginnen.

Die in dem Zulassungsbescheid des Bergamts angegebenen Nebenbestimmungen sind, soweit sie in den Verantwortungsbereich von GT und den Ablauf der Feldmessungen fallen, eingehalten bzw. erfüllt worden. Vertreter des Bergamtes waren am 24.10.2019 und am 06.02.2020 während der seismischen Messungen vor Ort. Es gab keine Beanstandungen. Die Einhaltung der naturschutzfachlichen Auflagen wurde durch das Ingenieurbüro Schmal + Ratzbor kontrolliert. Herr [REDACTED] vom Ingenieurbüro Schmal + Ratzbor wurde täglich durch GT über die geplante Lage der seismischen Anregungs- und Empfangspunkte informiert. Insbesondere in den Landschaftsschutzgebieten sowie im Umfeld von Biotopen wurde die Lage von Anregungspunkten im Einzelfall mit ihm abgestimmt. Grafik 77 im Anhang 1 zeigt das Organigramm der BGE für die 3D-Seismik Asse. Die Projektleitung oblag Herrn [REDACTED], dem Bereichsleiter Asse der BGE. Für die Projektleitung vor Ort und die fachliche Projektleitung waren Herr [REDACTED] bzw. Frau Dr. [REDACTED] verantwortlich. Der Projektleitung vor Ort standen Mitarbeiterinnen für Umwelt- und Genehmigungsfragen (Frau Dr. [REDACTED], Frau [REDACTED]) und das Projektcontrolling (Frau [REDACTED])



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

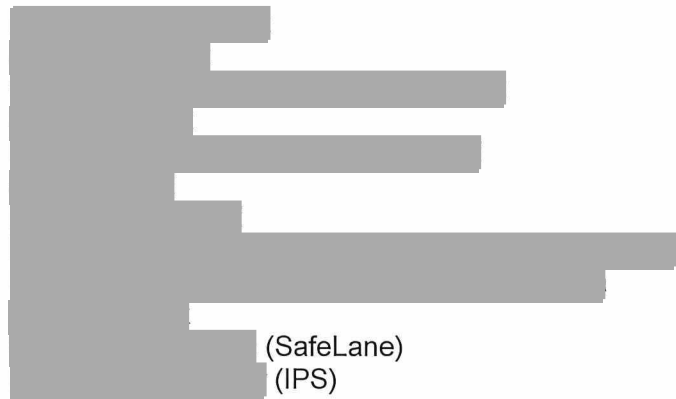
  

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE	Blatt: 12
---	-----------

sowie die Öffentlichkeitsarbeit der BGE zur Seite. Die fachliche Projektleitung wurde insbesondere von der ökologischen Baubegleitung und der Fremdbauüberwachung (GGL, VSC) unterstützt. Eine direkte Schnittstelle bestand auch zu IPS, die als Nachunternehmerin von GT für das Permitting beauftragt waren.

Für die seismischen Messungen waren durchschnittlich etwa 110 Personen gleichzeitig aktiv. Die Aufgabenverteilung und die jeweiligen Verantwortlichkeiten sind auch in einem Organigramm von GT festgelegt (Grafik 78 im Anhang 1). Für die dort aufgeführten Arbeitsgruppen waren folgende Personen verantwortlich:

- Truppleiter (PL):
- Truppleiter (D):
- Feldleiter (PL):
- Feldleiter (D):
- Bohrkoordinator (PL):
- Bohr-/Sprengkoordinator(D)
- HSE Beauftragter:
- Chef-Vermesser:
- Geophysiker/QC:
- PPV-Koordinator:
- UXO-Koordinator:
- Permit Koordinator:



Als verantwortliche Personen gemäß §58 BbergG wurden Frau Dr. [REDACTED], Herr [REDACTED], und Herr [REDACTED] (alle BGE) sowie Herr [REDACTED] (Truppleiter GT) Herr [REDACTED] (Feldleiter GT) und Herr [REDACTED] (Bohr- und Sprengkoordinator GT) durch die BGE bestellt.

Als Truppbüro diente GT eine ungenutzte Gewerbeimmobilie ([REDACTED] Garten- und Landschaftsbau) mit Büros, Lagerhallen und Außenstellflächen in der Kastanienallee 12 in 38329 Wittmar (Abbildung 2).



Abbildung 2: Eingang des Truppbüros in der Kastanienallee in Wittmar.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE									Blatt: 13

Die Fremdbauüberwachung im Auftrag der BGE wurde durch die Herren Dr. [REDACTED] (GGL), [REDACTED] (GGL), [REDACTED] (VSC) und [REDACTED] (VSC) wahrgenommen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Einsatzplan der Fremdbauüberwachung.

Kalenderwoche	Zeitraum	Name
39	25.09. – 26.09.2019	[REDACTED]
	25.09. – 28.09.2019	[REDACTED]
40	30.09. – 05.10.2019	[REDACTED]
41	07.10. – 12.10.2019	[REDACTED]
42	14.10. – 19.10.2019	[REDACTED]
43	21.10. – 26.10.2019	[REDACTED]
44	28.10. – 30.10.2019	[REDACTED]
	01.11. – 02.11.2019	[REDACTED]
45	04.11. – 10.11.2019	[REDACTED]
46	11.11. – 16.11.2019	[REDACTED]
47	18.11. – 24.11.2019	[REDACTED]
48	25.11. – 30.11.2019	[REDACTED]
49	02.12. – 08.12.2019	[REDACTED]
50	09.12. – 14.12.2019	[REDACTED]
51	16.12. – 17.12.2019	[REDACTED]
	17.12. – 20.12.2019	[REDACTED]
1	04.01.2020	[REDACTED]
2	06.01. – 12.01.2020	[REDACTED]
3	13.01. – 19.01.2020	[REDACTED]
4	20.01. – 26.01.2020	[REDACTED]
5	27.01. – 02.02.2020	[REDACTED]
6	03.02. – 09.02.2020	[REDACTED]
7	10.02. – 16.02.2020	[REDACTED]
8	17.02. – 23.02.2020	[REDACTED]
9	24.02. – 26.02.2020	[REDACTED]
	24.02. – 01.03.2020	[REDACTED]
10	02.03. – 05.03.2020	[REDACTED]

Die täglichen Besprechungen von Vertretern der BGE, der Fremdbauüberwachung und GT erfolgten in Deutsch und Englisch. Die Verständigung der Mitarbeiter innerhalb des Messtrupps von GT erfolgte ebenso wie die GT-internen Besprechungen und Toolbox Meetings in Polnisch. Falls in Einzelfällen erforderlich wurde diese Kommunikation ins Englische übersetzt.

Alle Mitarbeiter von GT und ihrer Nachunternehmer machten einen entsprechend ihren Aufgaben qualifizierten Eindruck und verrichteten ihre Tätigkeiten mit der notwendigen Sorgfalt. Es stand eine ausreichende Anzahl von qualifizierten Mitarbeitern zur Verfügung, so dass die alle beauftragten Leistungen termingerecht erbracht werden konnten.

Von der BGE wurde zur Information der Öffentlichkeit eine Internetseite bereitgestellt (<https://www.bge.de/de/asse/themenschwerpunkte/themenschwerpunkt-3d-seismik/>), die allgemein über den Umfang, den Ablauf, die Technik und die Sicherheit der 3D-Seismik informierte und außerdem im wöchentlichen Rhythmus den Messfortschritt darstellte. Darüber hinaus wurde bei bestimmten Anlässen von BGE auch per Twitter® über das Projekt berichtet (Kap. 16).



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 14

### 3 Zeitlicher Ablauf

#### 3.1 Vorarbeiten

Bereits im Jahr 2013 wurden auf Basis erster Vorplanungen [2] seismische Testmessungen durchgeführt, um zu klären, ob eine 3D-Seismik die Struktur der Asse und das Deckgebirge abbilden kann und welche Planungsparameter hierfür anzusetzen sind. Sie zeigten, dass eine seismische Abbildung des Untergrundes mit ausreichender Genauigkeit möglich ist [3]. Zusätzlich lieferten sie grundlegende Informationen zur Messanordnung der 3D-Seismik [4]. Diese vorhergehenden Planungen zur Durchführung der 3D-Seismik resultierten allerdings in einer reinen Messzeit von bis zu 200 Tagen und einer Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen für die Seismik von über einem Jahr [5], was zu einer sehr geringen Akzeptanz bei den betroffenen Eigentümern und Bewirtschaftern der Flächen im Messgebiet führte. Erst nachdem es durch die weiterführende Planung des Einsatzes von kabelloser Messtechnik (Kap. 12.4.1) und einer Anregung im Slip-Sweep-Verfahren (Kap. 12.1) gelungen war, die Durchführung der gesamten Messkampagne auf unter 6 Monate (inklusive der vorbereitenden Arbeiten und dem Auf- und Abbau der Messausrüstung) und die Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen für die Seismik auf etwa 3 Monate zu reduzieren, stellte sich eine generelle Akzeptanz in der lokalen Öffentlichkeit ein. Damit konnte dann ab Ende 2018 die rechtliche Absicherung der 3D-Seismik fortgeführt werden. Mit den Eigentümern und Bewirtschaftern der land- und forstwirtschaftlichen Flächen wurden von der BGE Gestattungsverträge für das Betreten und die Durchführung der notwendigen Arbeiten verhandelt und abgeschlossen. In den Ortschaften wurden von den Eigentümern die Betretungserlaubnisse zur Auslage der Registriereinheiten auf Privatgrundstücken eingeholt.

Gleichzeitig zum Einholen der Betretungsgenehmigungen und dem Abschließen von Gestattungsverträgen wurde auf Basis der genehmigten Flächen der resultierende Überdeckungsgrad für die Seismik von GGL berechnet. Diese Berechnungen hatten zum Ziel die möglichen Auswirkungen des Permittingstatus auf die seismischen Messungen und die zu erwartende Datenqualität laufend zu bewerten. Mitte April 2019 war sicher abzusehen, dass eine ausreichende Anzahl an Betretungsgenehmigungen zu Beginn der seismischen Messkampagne vorliegen wird, so dass diese ohne besondere Einschränkungen in der zu erwartenden Datenqualität durchgeführt werden kann.


Da für den Asse-Wald nur sehr unvollständige Informationen über das Wegenetz vorlagen, wurden in Vorbereitung der 3D-Seismik im Zeitraum vom 25.03. bis 03.04.2019 der Verlauf der Waldwege und der Rückegassen von GT erfasst und digitalisiert, was zur Optimierung der Anlage von sprengseismischen Anregungspunkte erheblich beigetragen hat (Kap. 10). Außerdem wurden vom 07.08. bis 10.08.2019 an 12 Punkten im Asse-Wald Testbohrungen von GT durchgeführt, um so die für die Sprengseismik geplanten Bohrungen mit angepasstem Bohrequipment und besser abgestimmten Methoden ausführen zu können.

#### 3.2 Zeitlicher Ablauf der seismischen Messkampagne

Die seismische Messkampagne gliederte sich im Wesentlichen in zwei Abschnitte. In einen ersten Abschnitt mit überwiegend vorbereitenden Arbeiten, wie die Vermessung der Anregungs- und Empfangspunkte, die Erstellung der Bohrungen für die Sprengseismik, die Prüfung auf Kampfmittelfreiheit und die Messung von Nahlinien sowie in einen zweiten Abschnitt mit der eigentlichen Durchführung der 3D-Seismik und der VSP-Messungen inklusive dem Auf- und Abbau der Registriereinheiten. Der zeitliche Ablauf der einzelnen Haupttätigkeiten beider Abschnitte ist in Tabelle 2 aufgezählt.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 15
--	-----------

Tabelle 2: Zeitlicher Ablauf der seismischen Messkampagne.

07.08. – 10.08.2019	Testbohrungen für die Sprengseismik
10.09. – 26.09.2019	Mobilisation und Bezug des Truppbüros
25.09. – 26.09.2019	Technisches Audit der Vermessungs-, Bohr- und Nahlinien-ausrüstung
27.09. – 16.12.2019	Vermessungsarbeiten. In 2020 erfolgte nur noch das Einmessen von wenigen Anregungspunkten in Ortschaften, von kurzfristig verlegten Punkten sowie das Nachmessen einzelner Anregungspunkte zur Qualitätskontrolle.
27.09. – 15.12.2019	Nahlinienmessungen. Der überwiegende Anteil (ca. 88%) der Nahlinien-Messungen wurde Ende Oktober abgeschlossen. Danach erfolgte die Messung von Nahlinien auf Wegen, für die bis Anfang November noch keine Betretungsgenehmigung vorlag sowie die Messung einzelner Nahlinien zur Verdichtung des Messrasters.
30.09. – 18.12.2019	Prüfung auf Kampfmittelfreiheit (UXO-Messungen). Die Prüfung der Bohransatzpunkte war Ende Oktober abgeschlossen. Danach erfolgte die Freigabe von zusätzlichen Bohrpunkten, nachträglich verlegten Bohrpunkten oder von Flächen, für die bis Anfang November noch keine Betretungsgenehmigung vorlag.
04.10.2019	Parameterstest für die Sprengseismik
07.10. – 16.12.2019	Bohrarbeiten für die Sprengseismik
03.01. – 14.01.2020	Mobilisation der Vibrofahrzeuge und Registriereinheiten
07.01. – 10.01.2020	Technisches Audit der Vibrofahrzeuge und Registriereinheiten sowie der VSP-Messausrüstung
04.01. – 16.01.2020	Aufbau der Registriereinheiten
08.01. – 12.01.2020	VSP-Messungen in 4 Bohrungen
13.01.2020	Parameterstest für die Vibroseismik
17.01. – 20.02.2020	3D-seismische Messung (Vibro- und Sprengseismik). Die vibroseismischen Messungen wurden bereits am 15.02.2020 abgeschlossen. Am 01.02.2020 wurde die seismische Messung unterbrochen, um 11 Empfangslinien (ca. 5.000 Registriereinheiten) von der Südseite des Messgebiets auf die Nordseite umzubauen.
21.02. – 26.02.2020	Abbau der Registriereinheiten
21.02. – 14.03.2020	Auslesen und Aufbereiten der Messdaten
16.02. – 02.03.2020	Rekultivierungsarbeiten
03.03. – 06.03.2020	Demobilisierung der Messausrüstung

Generell wurde von GT im Einschichtbetrieb von 07.00 Uhr bis 17.00 Uhr gearbeitet, nur die vibroseismischen Anregungen wurden im Zweischichtbetrieb mit Arbeitszeiten von 06.00 Uhr bis 22.00 Uhr durchgeführt. Über die Weihnachtszeit und den Jahreswechsel pausierten die Arbeiten vom 21.12.2019 bis zum 03.01.2020. Um technische Ausfälle des zur Verfügung stehenden Equipments und auch mögliche wetterbedingte Unterbrechungen kompensieren zu können, wurde auf Grundlage des §10 Abs. 1 Nr. 15 des Arbeitszeitgesetzes am 10.11., 17.11., 24.11., 08.12., 15.12.2019 sowie am 12.01., 19.01., 26.01., 02.02., 09.02., 16.02. und 23.02.2020 auch sonntags gearbeitet.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 16

#### 4 Sicherheit, Gesundheit und Umwelt (SGU) / Health, Safety and Environment (HSE)

Für die seismischen Messungen lag ein von GT in englischer Sprache erstellter HSE-Projekt-Plan vor, in dem insbesondere eine projektspezifische Gefährdungsanalyse für die Aktivitäten während der seismischen Messarbeiten enthalten ist. Wichtiger Bestandteil des HSE-Plans war insbesondere der im Truppbüro aushängende sowie den einzelnen Arbeitsgruppen im Feld ausgehändigte Emergency Response Plan. Dieser enthielt Anhänge zu:

- General Communication Flow Chart
- Medical Emergency Response Flow Chart
- Emergency Contact Numbers
- Spillage Response Flow Chart
- Fire Response Flow Chart
- Man Lost Plan
- Vehicle Lost Plan

Für seismische Messungen typische und im Projekt-HSE-Plan von GT auch enthaltene Gefährdungen sind:

- Fahrzeugverkehr (z.B. Fahren auf engen, steilen Wegen, Gefährdung durch Dritte)
- Sprengseismik (z.B. Umgang mit Explosivstoffen)
- Gelände (z.B. Gehen in unwegsamem, steilem Gelände)
- Wetter (z.B. Fahren bei Nebel, herabstürzende Äste bei starkem Wind)

Auf Basis der Gefährdungsanalysen und aufgrund von aktuellen Wahrnehmungen oder Ereignissen wurden für den Messtrupp und von einzelnen Arbeitsgruppen im Feld täglich Toolbox-Meetings zu sicherheitsrelevanten Themen durchgeführt sowie die Teilnahme des jeweiligen Personals durch Unterschrift bestätigt. Insgesamt gab es im Projektverlauf 714 Toolbox-Meetings.


Zu Projektbeginn haben alle Mitarbeiter von GT und alle erstmaligen Besucher eine Sicherheitseinweisung erhalten, was per Unterschrift von jeder einzelnen Person bestätigt werden musste. Insgesamt gab es 263 Sicherheitseinweisungen für GT-Mitarbeiter und 108 Sicherheitseinweisungen für Besucher. Von allen Fahrern war darüber hinaus täglich eine Drivers Vehicle Check List für ihr jeweiliges Fahrzeug auszufüllen, was insgesamt zu 6.475 Fahrzeug-Checks führte. Erste-Hilfe-Ausrüstung und Feuerlöscher waren in allen Fahrzeugen und im Truppbüro, in den Lagerhallen sowie auf den Außenstellflächen vorhanden. Diese Sicherheitseinrichtungen waren jeweils durch genormte Tafeln gekennzeichnet, die Fluchtwege waren markiert, ein Sammelplatz vor dem Truppbüro eingerichtet. Im Messgebiet waren außerdem vier Ambulance-Meeting-Points angelegt, die allen Mitarbeitern und dem lokalen Rettungsdienst bekannt waren, um Verunglückte möglichst schnell in ein Krankenhaus bringen zu können. Zur möglichen Nutzung dieser sicherheitsrelevanten Maßnahmen und Einrichtungen fanden im Projektzeitraum vier Übungen zur Evakuierung von Verletzten aus dem Gelände (MedEvac), sieben Übungen zur Einhaltung der Meldekette bei einem möglichen Unfall und eine Feueralarmübung statt.

Zu Ölverlusten an Fahrzeugen oder Umweltschäden ist es während der Projektlaufzeit nicht gekommen. Schwerwiegende, meldepflichtige Arbeitsunfälle, aber auch kleinere Unfälle, die einer Behandlung bedürfen, sind ebenfalls nicht passiert. Das Projekt war insgesamt frei von „Loss Time Injuries“ (LTI). Bei über 144.000 Mannstunden im Projekt, 90 verschiedenen, eingesetzten Fahrzeugen (Abbildung 3) und in Summe fast 329.000 gefahrenen Kilometern ist dies ein ausgezeichnetes Ergebnis.

Alle HSE relevanten Themen, Maßnahmen und Statistiken wurden von GT in Wochen- und Monatsberichten sowie einem zusammenfassenden Abschlussbericht dokumentiert.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 17
--	-----------



Abbildung 3: Im Projekt eingesetzte Fahrzeuge von GT auf der Außenstellfläche in der Kastanienallee in Wittmar.


Im Laufe der seismischen Messkampagne traten eher unerwartet zwei HSE relevante Ereignisse auf, die einer besonderen Aufmerksamkeit und kurzfristig zusätzlicher Maßnahmen bedurften:

#### a) **Afrikanische Schweinepest (ASP)**

Ende 2019 wurde von zwei Landwirten im Messgebiet der 3D-Seismik Asse auf das Risiko einer möglichen Einschleppung der Afrikanischen Schweinepest (ASP) durch den polnischen Messtrupp von GT hingewiesen. Beide Landwirte wollten die erteilten Betretungsgenehmigungen zurückziehen und die ASP im lokalen Bauernverband thematisieren. Die ASP ist eine anzeigepflichtige Tierseuche, die ursprünglich auf Afrika begrenzt war. Ab Juni 2007 breitete sich die ASP von Georgien ausgehend in die Nachbarländer aus. Seit 2014 tritt sie in den baltischen Staaten und Polen auf, 2017 breitete sie sich in die Tschechische Republik, nach Moldawien und nach Rumänien aus. Das Risiko einer möglichen Einschleppung aus Polen liegt im Eintrag durch Erzeugnisse aus Schweinefleisch, die von infizierten Tieren stammen oder kontaminiert sind, entlang des Fernstraßennetzes durch Fahrzeuge oder Personen. Zur Minimierung dieses Risikos wurden von GT folgende Maßnahmen getroffen:

- Einholen von detaillierten Informationen zur ASP vom Landkreis Wolfenbüttel, Amt für Ordnung und Verbraucherschutz, Abteilung für Verbraucherschutz- und Veterinärangelegenheiten.
- Aushang mit Hinweisen zur ASP in den Räumlichkeiten der Büros des Messtrupps (in polnischer und deutscher Sprache) und Verteilung des Informationsblattes in allen Fahrzeugen.
- Regelmäßige Information aller Mitarbeiter des polnischen Messtrupps über die ASP. Speisereste sind nur in verschlossene Behälter zu werfen, es darf kein rohes Schweinefleisch aus Polen mitgebracht werden.
- Gründliches Waschen jedes Fahrzeugs vor dem Transport von Polen nach Deutschland.
- Desinfektion der Reifen aller Fahrzeuge des polnischen Messtrupps auf dem Gelände des seismischen Messtrupps in Wittmar mit dem Desinfektionsmittel Virkon S.
- Aufnahme der Maßnahmen in den HSE-Projektplan.
- Weitere Beobachtung der Verbreitung der ASP in der EU und bei Bedarf Einleitung von ergänzenden Maßnahmen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE									Blatt: 18

Im Endeffekt ist es zu keinerlei Einschränkungen im Zusammenhang mit der ASP gekommen, Betretungsgenehmigungen wurden nicht zurückgezogen.

## b) Straßenverschmutzung

Zur Reinigung der Straßen im Messgebiet war von GT ursprünglich geplant, ein Kehrfahrzeug (Traktor mit Reinigungsbürste, Abbildung 4) insbesondere im Umfeld der Vibrofahrzeuge einzusetzen. Da aber neben den maximal 5 Vibrofahrzeugen, die auch nur selten auf befestigten Straßen fahren, täglich ca. 50 andere Fahrzeuge von GT unterwegs waren, die auch noch relativ häufig von Wald- und Feldwegen auf die Hauptstraßen wechselten, trat in einigen Bereichen eine nicht akzeptable Verschmutzung der Fahrbahn auf. Um dies und potentiell daraus resultierende Unfälle zu verhindern, wurden folgende Maßnahmen getroffen:


- Einsatz von zwei Traktoren mit Reinigungsbürsten.
- Einsatz eines Wasserfahrzeuges, dass in Zusammenarbeit mit einem Reinigungstraktor die Straßen auch nass reinigen kann.
- Alle Fahrzeuge von GT wurden mit Schaufel und Besen ausgestattet und das Personal angewiesen, grobe Verschmutzungen unverzüglich selbst zu beseitigen, ein Reinigungsfahrzeug zu informieren und bis zu dessen Eintreffen vor Ort zu warten.
- Sperrung einzelner Ausfahrtswege für Fahrzeuge von GT aus dem Wald.
- Zeitweiser Einsatz einer professionellen Kehrmaschine.
- Aufbau zusätzlicher Verkehrszeichen (Arbeitsstelle, Schleuder- oder Rutschgefahr) auf der Straße zwischen Remlingen und Groß Vahlberg.

Darüber hinaus wurden von der Fremdbauüberwachung (Herr [REDACTED]) vom 28.01. bis zum 02.02.2020 Protokolle mit einer Fotodokumentation über den Verschmutzungszustand einzelner Straßen geführt. Im Endeffekt ist es zu keinerlei Zwischenfällen im Zusammenhang mit verschmutzten Straßen gekommen.



Abbildung 4: Kehrfahrzeug (Traktor mit Reinigungsbürste) von GT im Einsatz.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 19
--	-----------

## 5 Technisches Audit

Im Auftrag der BGE wurde von zwei Mitarbeitern der Firma Verif-I Ltd. (Herr [REDACTED] und Herr [REDACTED]) ein Technisches Audit der Messausrüstung von GT vor Ort durchgeführt. Dabei wurden alle wesentlichen Geräte, die in der Messkampagne eingesetzt werden sollten, vor ihrem Einsatz, gemäß den Spezifikationen des Herstellers und den Anweisungen der Auditoren geprüft.

In einer ersten Phase wurde am 25.09. und 26.09.2019

- die Messausrüstung für die Nahlinien (Messapparatur Geometrics StrataVisor, beschleunigtes Fallgewicht AF-450, Geophone Sercel SG-10),
- die Vermessungsausrüstung (GPS-Empfänger Trimble R2, Trimble R9, Trimble 5700, Tachymeter Trimble M3 und Inertialsystem ZUPT B-PINS),
- die Bohrausrüstung (EMCI 220MPR, PAT 301, Atlas Copco LPHB, Atlas Copco Kompressoren XAHS 186)

geprüft. Es wurden von Verif-I keine technischen oder sicherheitsrelevanten Mängel festgestellt, die einem Einsatz der Ausrüstung entgegenstanden.

In einer zweiten Phase wurden vom 07.01. bis zum 10.01.2020


- die Messausrüstung für die VSP-Messungen (Bohrlochsonde Geovista G550),
- die Vibratoren (IVI HEMI 50),
- die Vibratorsteuerung im Messwagen (Sercel VE464 DSD) und in den Vibratoren (Sercel VE464 DPG),
- die Zündboxen für die Sprengseismik (Boom Box III),
- sowie 5.724 ausgewählte Registriereinheiten (Innoseis Tremornet)

geprüft. Bei den 5.724 getesteten Registriereinheiten lag die Fehlerquote unter 0,35%. Darüber hinaus wurden in der zweiten Phase des Technischen Audits für 15.527 weitere Registriereinheiten durch Verif-I die Ergebnisse von Tests ausgewertet, die von GT selbst durchgeführt worden waren. Hier ergab sich eine Fehlerquote von 0,88%. Die Ursachen für die Unterschiede in den Fehlerquoten sind sehr wahrscheinlich in der Grundmenge und Auswahl der getesteten Registriereinheiten begründet. Da für insgesamt 40.490 Registriereinheiten die zugehörigen Testberichte von GT vorlagen, wurden diese außerdem auch von der Fremdbauüberwachung (Dr. [REDACTED]) ausgewertet (siehe Kap. 12.4.2).

Insgesamt wurden von Verif-I auch in der zweiten Phase keine technischen oder sicherheitsrelevanten Mängel festgestellt, die einem Einsatz der geprüften Ausrüstung entgegenstanden. Das Technische Audit von Verif-I bestätigte damit die Einsatzbereitschaft des Messtrupps von GT. Von Verif-I wurde ein Bericht über das technische Audit erstellt und an BGE übergeben.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 20
--	-----------

## 6 Vermessung

Das Messgebiet der 3D-Seismik weist eine Fläche von ca. 36,5 km<sup>2</sup> mit 88 SW-NE ausgerichteten Anregungslinien und 101 NW-SE ausgerichteten Empfangslinien auf (Abbildung 1). Es schließt die Orte Wittmar, Remlingen, Groß Vahlberg, Mönchevahlberg, Weferlingen und Klein Biewende ein. Auch Teile von Dettum und Sottmar gehören dazu. Neben den bebauten Gebieten besteht das Untersuchungsgebiet hauptsächlich aus land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen. Im Zentrum der Messfläche befindet sich der markante Höhenzug der Asse mit teilweise steilen nach Südwesten und Nordosten einfallenden Flanken. Er erreicht Höhen bis 233 m ü. NN und liegt damit ca. 80 m über dem südlichen Gelände und ca. 130 m über der nördlich liegenden Senke der Altenau. Nominell waren insgesamt 40.860 Anregungs- und 46.130 Empfangspunkte vorgesehen.




Abbildung 5: Basisstation für die GPS-RTK-Vermessung am Gebäude des Truppbüros in Wittmar.

Die Anregungs- und Empfangspunkte außerhalb des Asse-Waldes wurden per GPS im Real-Time-Kinematic (RTK) Modus eingemessen, wobei sich die Basisstation für die GPS-RTK-Vermessung am Gebäude des Truppbüros in Wittmar befand (Abbildung 5). Für die Vermessung waren acht globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) vom Typ Trimble R2, R9 und Trimble 5700 sowie eine Total Station (Trimble M3) bei vier Vermesser-Crews im Einsatz. Für die x-, y-Koordinaten der einzelnen Messpunkte waren Genauigkeiten von  $\pm 0,5$  m und für die Höhe eine Genauigkeit von  $\pm 0,25$  m einzuhalten. Die Genauigkeit und die Vergleichbarkeit der Geräte wurden an einem Kontrollpunkt in unmittelbarer Nähe des Truppbüros sowie an verschiedenen topografischen Festpunkten im Messgebiet kontrolliert. Dabei wurde eine mittlere Lagegenauigkeit (Varianz) von 0,04 m (Ostwert), 0,03 m (Nordwert) und 0,07 m (Höhe) ermittelt. Für die Einmessung der Anregungs- und Empfangspunkte innerhalb des Asse-Waldes kamen außerdem zwei inertielle Navigationssysteme des Herstellers ZUPT (B-PINS) zum Einsatz (Abbildung 6). Darüber hinaus stand GT zur Bestimmung der Höhe ein digitales Geländemodell mit einer Gitterweite von 1 m und einer Höhengenaugigkeit von  $\pm 0,2$  m zur Verfügung.

Alle Vermessungsarbeiten erfolgten im Gauß-Krüger-Koordinatensystem (Zone 4) mit Bessel 1841 als Referenzellipsoid [EPSG 31468] und wurden in das UTM-Koordinatensystem mit WGS84 als Referenzellipsoid transformiert [EPSG: 4326].

Alle eingemessenen Empfangspunkte und die im Asse-Wald eingemessenen Anregungspunkte wurden mit Holzpflöcken abgesteckt, mit der entsprechenden Stationsnummer eindeutig beschriftet und farblich gekennzeichnet: gelb für Empfangspunkte (Abbildung 7), rot für Anregungspunkte.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 21
--	-----------

Anregungspunkte auf befestigten Straßen innerhalb und außerhalb von Ortschaften wurden mit roter Sprühfarbe markiert. Die auf Feldern eingemessenen Anregungspunkte wurden nicht markiert, sondern direkt für das Navigationssystem der Vibrofahrzeuge aufbereitet.



Abbildung 6: Vermessung von Empfangspunkten mit dem inertialen Navigationssystem ZUPT B-PINS (grau/orangener Tornister) im Asse-Wald.

Die Einmessung der Anregungs- und Empfangspunkte begann am 27.09.2019 und hatte während des gesamten Projektablaufs jederzeit einen ausreichenden Vorlauf vor den nachfolgenden Aktivitäten (z.B. Kampfmittelprüfung, Bohrungen, Aufbau der Registriereinheiten). Nach der Unterbrechung über die Weihnachtszeit und den Jahreswechsel war nur noch der Einsatz einer Vermesser-Crew für das Einmessen von wenigen Anregungspunkten in Ortschaften, von kurzfristig verlegten Punkten sowie das Nachmessen einzelner Anregungspunkte zur Qualitätskontrolle erforderlich.

Die aktuellen Vermessungsdaten und Karten des Messfortschritts wurden von der Vermessungsabteilung der GT täglich in digitaler Form (PNG-, XLS- und SHP-Dateien) bereitgestellt, um den Fortschritt u.a. von Vermessung, Bohrungen, Aufbau der Registriereinheiten, seismischer Messung und Abbau der Registriereinheiten zeitnah darzustellen. Insbesondere wurden zur Erfüllung einer Nebenbestimmung des Sonderbetriebsplans tagesaktuell die Lagen der eingemessenen und durch die Kampfmittelsondierungen (Kap. 7) freigegebenen Bohrpunkte über die BGE per E-Mail an das LBEG gesandt. Außerdem wurden auf Basis der von den Vermessern zur Verfügung gestellten Informationen, wöchentlich Übersichtskarten mit dem jeweiligen Stand des Messfortschritts durch die BGE erstellt und zur Information der Bevölkerung auf der Internetseite der BGE veröffentlicht.

Von den nominell 46.130 Empfangspunkten konnten 44.677 (entspricht 96,9 %) eingemessen werden. 1.453 Empfangspunkte fielen aufgrund von Flächen ohne Betretungsgenehmigungen weg. Von den nominell 40.860 Anregungspunkten konnten 36.932 (entspricht 90,4 %) eingemessen werden. Im Umfeld von Gebäuden, Wasser- und Gasleitungen, Bohrungen, Grundwassermessstellen und Gewässern waren für die Anregungspunkte Sicherheitsabstände einzuhalten, so dass einige Anregungspunkte verlegt werden mussten oder, wenn eine Verlegung nicht möglich war, wegfielen (siehe auch Kap 9, Abbildung 15). In der Tabelle 3 sind die eingehaltenen Sicherheitsabstände und die damit verbundene Reduzierung der Ladungsstärke für die sprengseismischen Anregungspunkte zusammengefasst. Für die vibroseismischen Messungen in Ortschaften durfte nicht auf Straßen mit Kopfsteinpflaster angeregt werden und zu Leitungen aus Asbest-Zement war ein Abstand von mind. 5 m einzuhalten. Ansonsten waren in Ortschaften bei Anregungen mit einer reduzierten Kraft von 15 % keine weiteren Sicherheitsabstände zu berücksichtigen – die nächstgelegenen Gebäude waren aber immer mit Erschütterungsmessungen




Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 22

zu überwachen (Kap. 14). Für die vibroseismischen Anregungen auf Feldern, die sich einzelnen Bauten näherten, galten die in Tabelle 4 dargestellten Sicherheitsabstände. Auch aus Schutzgebieten (z.B. kleinräumige Biotope) mussten einige wenige Anregungspunkte verlegt werden bzw. fielen weg. Die Flächen ohne Betretungsgenehmigungen waren meist so groß, dass eine Verlegung der Anregungspunkte nicht sinnvoll war. Damit die Punkte in Flächen ohne Betretungsgenehmigungen nicht alle wegfielen, wurde im Vergleich zur ursprünglichen Planung die Zone A (Verdichtungsfläche) um drei Anregungspunktlinien nach Osten erweitert und auch die entsprechenden Empfangspunktlinien verlängert. Dadurch kann sich auch die Erkundung des oberflächennahen Bereichs in diesem zentralen östlichen Teil des Messgebietes, in dem der künftige Schacht 5 von BGE geplant ist, verbessern. Trotzdem fielen unter Berücksichtigung der hinzukommenden Punkte der Erweiterung der Verdichtungsfläche insgesamt 3.928 Anregungspunkte aufgrund der oben genannten Gründe bei der Einmessung weg.



Abbildung 7: Mit Holzpflocken markierte Empfangspunkte.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 23
--	-----------

Tabelle 3: Sicherheitsabstände zu einzelnen Objekten und die damit verbundene maximale Ladungsmenge für die sprengseismischen Anregungspunkte.

Objekt	Abstand	Ladungsmenge
Asse-Burg, Bismarck-Turm, Gebäude Asseweg 39, historisches Fördermaschinen- gebäude der Schachanlage Asse II	> 200 m	970 g
	100 – 200 m	485 g
	< 100 m	keine Sprengseismik
Grundwassermessstellen, Schacht Asse 1, Bohrung R15	> 100 m	970 g
	50 – 100 m	485 g
	25 – 50 m	220 g
	< 25 m	keine Sprengseismik
Teiche	> 100 m	970 g
	15 – 100 m	485 g
	< 15 m	keine Sprengseismik
Wohngebäude	> 150 m	970 g
	100 – 150 m	485 g
	< 100 m	keine Sprengseismik


Tabelle 4: Sicherheitsabstände zu einzelnen Objekten für die vibroseismischen Anregungspunkte bei Kräften von 50 % und 70 % außerhalb von Ortschaften.

Objekt	Abstand	
	50%	70%
Gebäude	15 m	25 m
Industrieanlagen	9 m	16 m
Erschütterungsempfindliche Bauten, historische Gebäude, Krankenhaus	35 m	45 m
Tankstellen	15 m	20 m
Durchlässe, Einstiegsschächte, Gully	4 m	5 m
Brücken, Tunnel	12 m	16 m
Elektrische Anlagen und Kabel	4 m	5 m
Hochdruckgasleitung, Überlandwasserleitungen (parallel)	6 m	9 m
Hochdruckgasleitung, Überlandwasserleitungen (senkrecht)	12 m	16 m
Normaldruck Gas-, Öl- und Wasserleitungen (parallel)	4 m	6 m
Normaldruck Gas-, Öl- und Wasserleitungen (senkrecht)	5 m	7 m
Funkmasten	15 m	20 m
Telekommunikation, Glasfaser und Hydranten	4 m	5 m
Abwassersammler, Plastikrohre, PVC	4 m	6 m
Abwassersammler, Eisen- und Stahlrohre	6 m	9 m

## 7 Kampfmittelsondierungen

Als Spätfolge des Zweiten Weltkriegs war nicht auszuschließen, dass im Untersuchungsgebiet Kampfmittel verblieben sind. Aufgrund des engen seismischen Messrasters (s. Kap. 10) hätten diese eine Gefahr für Personal und Geräte darstellen können. In den Jahren 2015 und 2018 wurde daher durch eine von der BGE beauftragte historische Kampfmittelvorerkundung eine potentielle Kampfmittelbelastung (Bombenblindgänger aus dem 2. Weltkrieg) im seismischen Messgebiet ermittelt [7] [8]. Nach dieser historischen Kampfmittelvorerkundung war davon auszugehen, dass auf rund sechs Prozent der Fläche des Untersuchungsgebiets Kampfmittelaltlasten möglicherweise zu erwarten sind. Für die 3D-Seismik wurden daher alle Bohransatzpunkte sowie Flächen von insgesamt 116.185 m<sup>2</sup> entlang der vibroseismischen Anregungslinien auf etwaige



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE	Blatt: 24
---	-----------


Kampfmittelaltlasten durch die Firma SafeLane Global GmbH im Unterauftrag von GT geprüft (Abbildung 8). Kleinere, nicht zusammenhängende Kampfmittelverdachtsflächen auf Feldern wurden nicht untersucht, sondern die vibroseismischen Anregungspunkte verlegt. Vereinzelt hat es bei den Untersuchungen Indikationen auf metallische Gegenstände im oberflächennahen Bereich gegeben. In diesem Fall wurden die Anregungspunkte ebenfalls verlegt.

Vom 01.10 bis 11.10.2019 wurden 1.083 UXO-Sondierungen mit 2 Teams durchgeführt, was einem Schnitt von 108,3 UXO-Sondierungen pro Arbeitstag entspricht. Die Leistung der Bohrcrews lag zu diesem frühen Zeitpunkt der Bohrkampagne bereits bei insgesamt 428 Bohrungen und einem Schnitt von 85,6 Bohrungen pro Arbeitstag. Da damit der Vorlauf der UXO-Messungen zu gering war, um den Zeitplan einzuhalten, musste dieser Schnitt auf über 100 Bohrungen pro Tag gesteigert werden. Insbesondere waren durch den geringen Vorlauf die Flexibilität bzw. die notwendige räumliche Verteilung der Bohrgeräte stark eingeschränkt. Ab dem 15.10.2019 wurde die Anzahl der Teams für die UXO-Sondierungen auf bis zu 5 erhöht, so dass schon in der folgenden Woche mit fast 2.000 untersuchten Bohransatzpunkten relativ schnell ein ausreichender Vorlauf geschaffen wurde und dadurch im weiteren Verlauf keine Behinderungen für die Durchführung der Bohrungen mehr vorlagen.



Abbildung 8: Untersuchung der Bohransatzpunkte auf Kampfmittelaltlasten mit einem Magnetometer Sensys SBL10.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 25

## 8 Nahlinienmessungen

Die Nahlinienmessungen dienten zur Erfassung der Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten im oberflächennahen Untergrund bis in Tiefen von maximal 20 m. Aus den ermittelten Geschwindigkeiten der Nahlinien werden flächenhaft die Werte für die statischen Korrekturen an allen Anregungs- und Empfangspunkten berechnet. Da die Geländehöhen im Messgebiet zwischen 85 m und 233 m ü. NN schwanken, werden sich wahrscheinlich Korrekturstrecken ergeben, die durch die Nahlinien allein nicht zu erfassen sind (das Bezugsniveau für die Seismik liegt voraussichtlich bei 200 m ü. NN). Es sind daher im folgenden Processing auch refraktionsstatische Korrekturen aus den Ersteinsätzen der 3D-Seismik zu bestimmen.

Für die Nahlinienmessungen wurde von GT das folgende Equipment eingesetzt:

- 10-kg Hammer (Abbildung 9)
- Registrierapparatur Geometrics StrataVisor (48 Kanäle)
- Geophonketten mit 48 fest montierten Geophonen vom Typ SG-10 im Abstand von 2 m


Die Anregung der seismischen Wellen erfolgte für jede Nahlinie an drei Anregungspunkten: Zwei Anregungspunkte an den Enden der Geophonauslage im Abstand von jeweils 2 m zum ersten bzw. letzten Geophon sowie ein Anregungspunkt in der Mitte der Geophonauslage.



Abbildung 9: Nahlinienmessung mit Hammerschlag als seismischer Quelle.

Zur gleichmäßigen Abdeckung der Messfläche der 3D-Seismik wurden insgesamt 155 Nahlinien gemessen (Abbildung 10), was einer rechnerischen Abdeckung des Messgebietes mit 4,25 Nahlinien pro km<sup>2</sup> entspricht. Die Lage der Anregungspunkte und damit auch die Mittelpunkte der jeweiligen Geophonauslagen wurden durch die Vermesser von GT per RTK-GPS eingemessen.

Von GT war ursprünglich geplant, ein auf einem LKW montiertes beschleunigtes Fallgewicht (Typ AF-450) als seismische Quelle für die Nahlinienmessungen zu verwenden. Es stellte sich jedoch heraus, dass der Betrieb des LKWs während der Messungen einen sehr hohen Noise-Pegel verursachte und dass die vom Fallgewicht erzeugte Energie so hoch war, dass die mit kleinen Abständen zur seismischen Quelle aufgezeichneten Seismogramme übersteuert waren. Es wurde

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 26
--	-----------

daher entschieden, alle Nahlinienmessungen mit einem Hammer als seismische Quelle durchzuführen.

Die Nahlinien wurden vor der eigentlichen 3D-Seismik gemessen, so dass es keine gegenseitigen Beeinträchtigungen gab. Die Auswertung der Nahlinien erfolgte nach der Generalized Reciprocal Methods (GRM) und die erzielten Ergebnisse wurden von GT im Januar 2020 in einem eigenständigen Bericht präsentiert.

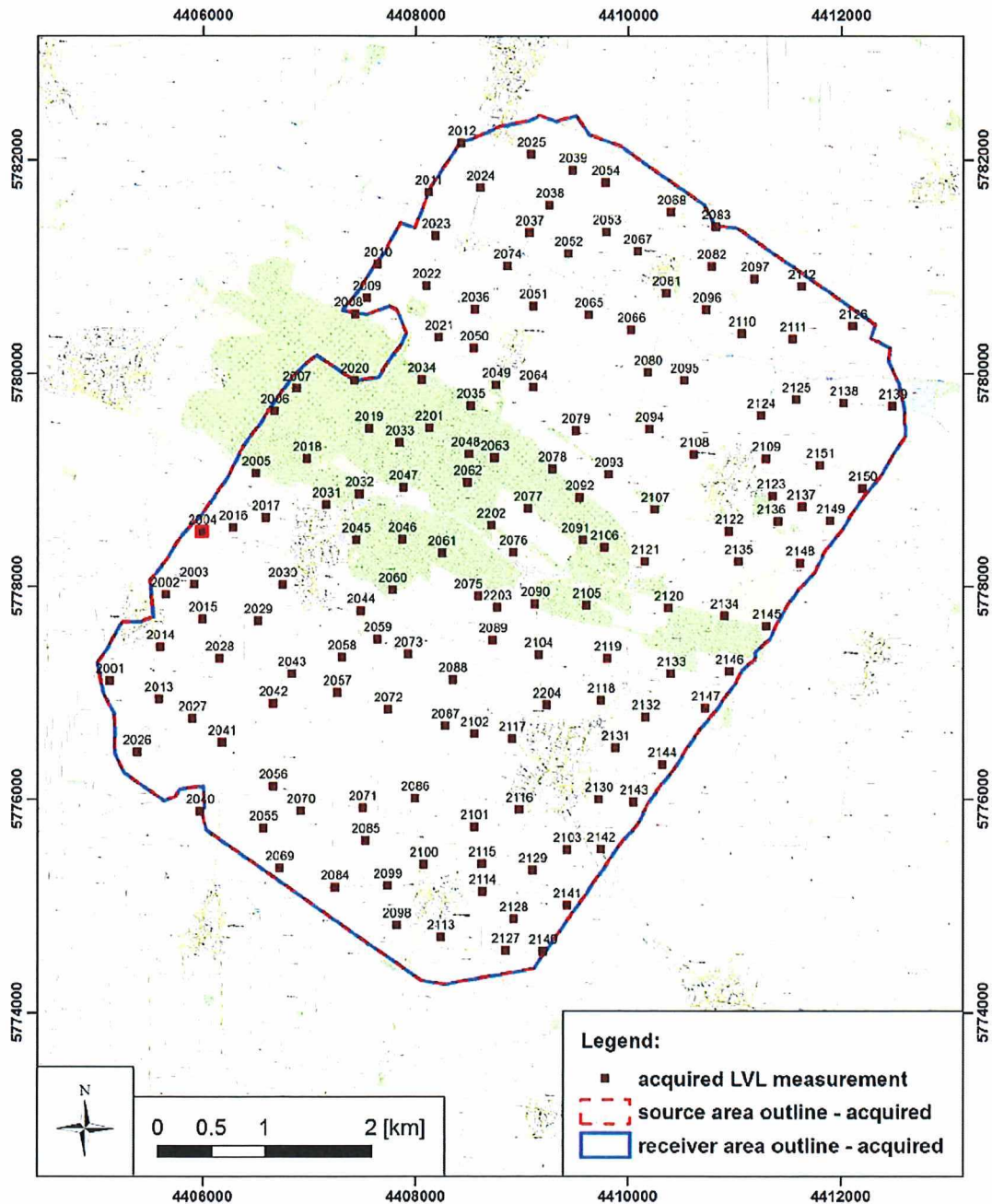



Abbildung 10: Lage der Nahlinien.



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 27

## 9 VSP-Messungen

In den vier Bohrungen R5 (GW-018), R7 (GW-020), R8 (GW-021) und PN-2 (GW-023) wurden Anfang Januar 2020, vor Beginn der 3D-Seismik, VSP-Messungen mit vibroseismischer Anregung an der Erdoberfläche von GT durchgeführt (Abbildung 11, Abbildung 12, Abbildung 13). Die Ergebnisse der VSP-Messungen sollen bei der späteren Datenbearbeitung bzw. bei der Zeit-Tiefen-Konversion der 3D-Seismik eine zuverlässige Kalibrierung der zur Tiefenwandlung verwendbaren Processing-Geschwindigkeiten sowie eine präzisere Zuordnung der geologischen Horizonte zu den seismischen Reflexionen ermöglichen.

Das von GT für die Messungen im Bohrloch verwendete Tool des Herstellers GeoVista Ltd. weist einen Durchmesser von 64 mm auf und wiegt 15 kg bei einer Gesamtlänge von 1,69 m. Es besteht aus drei Geophonen (SM24 mit 10 Hz Eigenfrequenz), die orthogonal zueinander angeordnet sind (Horizontalkomponenten x, y und Vertikalkomponente z). Die Geophoneinheit wird über einen motorisierten Arm mechanisch an die Bohrlochwandung angedrückt. Um auch azimut- und offsetabhängige Geschwindigkeitsänderungen zu erfassen, wurde an jeder Bohrung von drei verschiedenen Standorten aus angeregt. Die Messparameter der VSP-Messungen und die Messanordnung für die jeweiligen Bohrungen sind in Tabelle 5 und Tabelle 6 zusammengefasst.


Tabelle 5: Messparameter der VSP-Messungen.

Vibratortyp	HEMI 50
Kraft (in Relation zur Maximalkraft)	80 %
Anzahl der Anregungspunkte pro Bohrung	3
Anzahl der Vibratoren pro Anregungspunkt	1
Anzahl der Sweeps pro Tiefenlevel	1
Sweep-Länge	12 s
Sweep-Frequenz	10 – 120 Hz, linear
Taper-Länge	250 ms
Sample-Rate	1 ms
Aufzeichnungsdauer	2 s
Messpunktabstand in Bohrung	10 m
Datenformat	SEG-2

Tabelle 6: Gemessener Tiefenbereich in den einzelnen Bohrungen sowie Offset und Azimut (gegenüber Nord) der Anregungspunkte bei den VSP-Messungen.

	R5 (GW-018)	R7 (GW-020)	R8 (GW-021)	PN-2 (GW-023)
Tiefenbereich	660 m – 100 m	550 m – 100 m	639 m – 100 m	230 m – 100 m
Anregungspunkte				
Offset 1 / Azimut	51 m / 119°	45 m / 85°	40 m / 326°	35 m / 262°
Offset 2 / Azimut	306 m / 213°	430 m / 184°	293 m / 207°	405 m / 281°
Offset 3 / Azimut	505 m / 214°	181 m / 288°	369 m / 127°	441 m / 215°

In der Bohrung R8 konnte die ursprünglich geplante Messteufe von 648 m nicht erreicht werden, da die Messsonde bei 640 m auf einen Widerstand traf. In einzelnen Messteufen waren manchmal amplitudenstarke, monofrequente Schwingungen zu erkennen, die auf eine aktuell nicht intakte fehlerhafte Zementierung des Ringraumes zwischen Bohrungskontur und Verrohrung hinweisen können. Zu Kontrollzwecken wurden von GT einzelne Messteufen wiederholt gemessen. Die Ergebnisse einzelner Mehrfachmessungen wurden gestapelt, um ggf. eine Signalverbesserung zu

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE	Blatt: 28
---	-----------

erzielen. In allen Fällen ergab sich im Vergleich zur ersten Registrierung allerdings keine Veränderung der Signalform oder eine signifikante Verbesserung des Signal-Noise-Verhältnisses. Die Ersteinsätze der direkt gelaufenen P-Welle ließen sich überwiegend gut bestimmen. Zu den VSP-Messungen liegt ein separater Feldbericht von GT vor, dessen Fertigstellung zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Berichtes aber noch nicht erfolgt war.

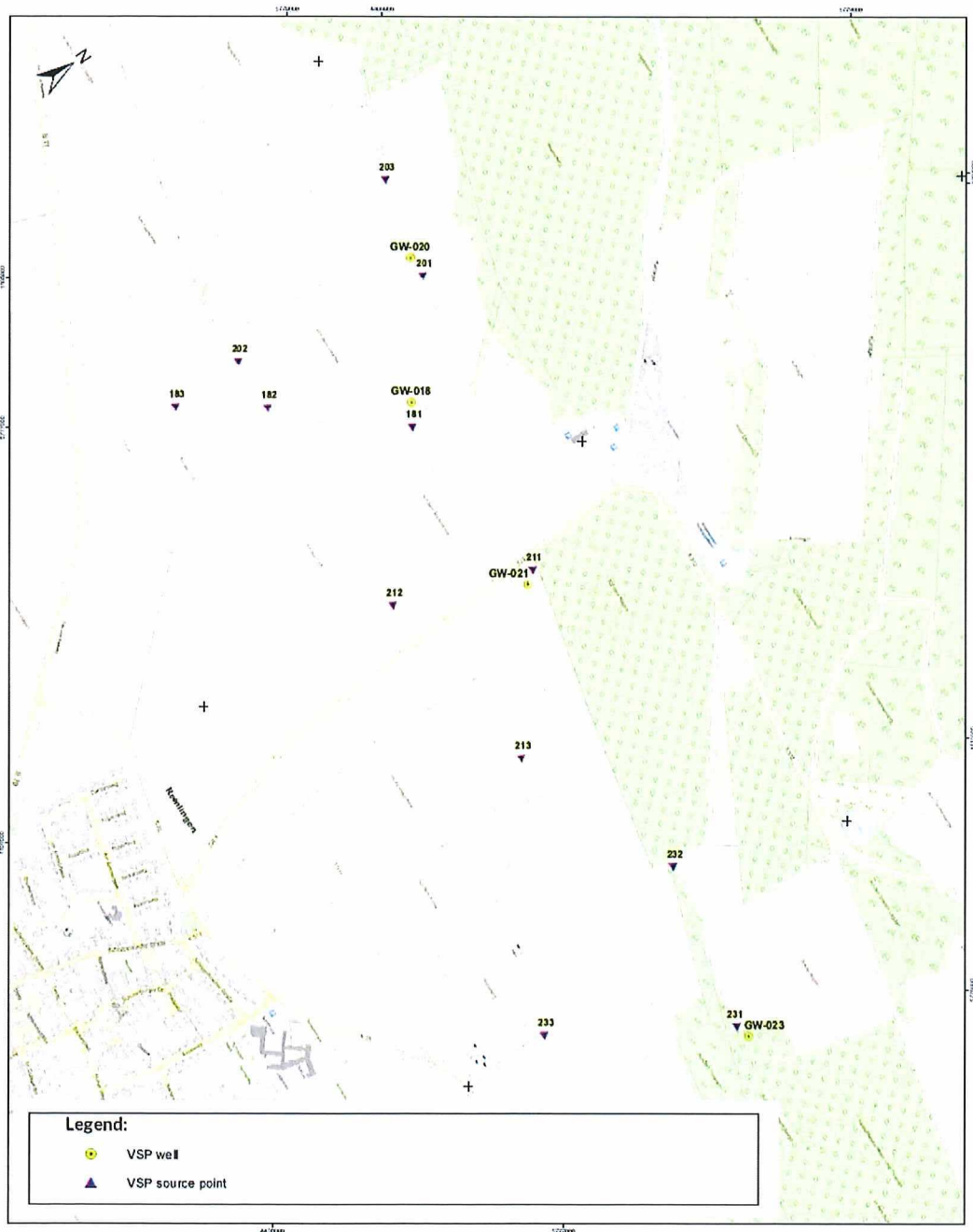



Abbildung 11: Lage der Bohrungen (gelber Kreis) und Anregungspunkte (lila Dreieck) für die VSP-Messungen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 29



Abbildung 12: VSP-Messungen in den Bohrungen R7 (links) und PN-2 (rechts).



Abbildung 13: VSP-Messungen in der Bohrung R8.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 30



## 10 Seismische Messanordnung


Die Struktur der Asse mit ihren steil stehenden geologischen Einheiten erforderte eine sehr dichte räumliche Abtastung des seismischen Wellenfeldes. Gleichzeitig waren zur seismischen Abbildung der stark geneigten Schichten auch große Offsets notwendig. Für die 3D-Seismik wurde ein orthogonales Messraster gewählt, bei dem die Anregungspunktlinien aus operativen Gründen, aufgrund des Wegenetzes im Asse-Wald (überwiegend forstwirtschaftlich genutzte Rückewege), senkrecht zur Streichrichtung der Salzstruktur, in etwa SW-NE-Richtung verlaufen. Entsprechend waren die Empfangspunktlinien in SE-NW-Richtung orientiert. Der Linienabstand des Messrasters war im Umfeld der Schachthanlage Asse II und entlang des Höhenzugs der Asse enger, um auch den Salzspiegel und flachere Strukturen des Deckgebirges zu erfassen, und vergrößerte sich zum Rand des Untersuchungsgebietes (Abbildung 1).

Insgesamt wies das Messgebiet eine Fläche von ca. 36,5 km<sup>2</sup> mit 88 Anregungslinien (Nr. 5101, 5111, 5121, ..., 5201, 5206, ..., 5556, 5571, 5581, 5591, 5601) und 101 Empfangslinien (Nr. 1101, 1111, 1121, ..., 1341, 1346, ..., 1586, 1591, 1601, ..., 1841, 1851) auf. Nominell waren 40.860 Anregungs- und 46.130 Empfangspunkte entlang der jeweiligen Linien vorgesehen, wobei die Anregungs- und Empfangspunkte innerhalb einer Linie durchnummeriert sind, so dass immer eine eindeutige Punktzuordnung (z.B. 5531 | 1721) gegeben ist. Die Tabelle 7 fasst die geometrischen Messparameter der 3D-Seismik zusammen.

Für die nominell 46.130 Empfangspunkte im Messgebiet wurden zu Beginn ca. 40.000 Registriereinheiten auf 90 Empfangslinien von Süden her als feste Auslage aufgebaut. Nach Abschluss der Anregungen in der Südhälfte des Messgebiets wurden am 01.02.2020 die 11 südlichsten Linien abgebaut und auf den 11 nördlichsten Linien wiederaufgebaut. Beim Aufbau wurde von GT darauf geachtet, dass die ungefähr 5.000 Registriereinheiten mit einer geringeren Speicherkapazität von 8 GigaByte sich auf den südlichsten Linien befinden und als erstes umgebaut (und dabei auch die Messdaten ausgelesen) werden.

Tabelle 7: Nominelle geometrische Messparameter der 3D-Seismik.

Empfangslinienabstand	Zone A: 50 m Zone C: 100 m Zone D: 100 m
Anregungslinienabstand	Zone A: 50 m Zone C: 100 m Zone D: 200 m
Empfangspunktabstand	10 m
Anregungspunktabstand	10 m
Bingröße	5 m x 5 m
Anregungspunkte pro km <sup>2</sup>	Zone A: 2.000 Zone C: 1.000 Zone D: 500
Empfangspunkte pro km <sup>2</sup>	Zone A: 2.000 Zone C: 1.000 Zone D: 1000
Anzahl der aktiven Empfangslinien	90
Anzahl der aktiven Empfänger	ca. 40.000 (feste Auslage, davon wurden ca. 5.000 einmal versetzt)
Maximum-Minimum Offset	Zone A: 63,6 m

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 31
--	-----------

	Zone C: 134,4 m Zone D: 216,9 m
X <sub>max</sub> Empfängerlinien (Inline)	ca. 5.000 m
Y <sub>max</sub> Anregungslinien (Crossline)	ca. 6.400 m
S <sub>max</sub> diagonal	8.121,6 m
Verhältnis X <sub>max</sub> / Y <sub>max</sub> (feste Auslage)	0,78

Anzumerken ist, dass in der ursprünglichen Planung der 3D-Seismik [2] [4] [5] die Anregungslinien in SE-NW- und die Empfangslinien entsprechend orthogonal dazu in SW-NE-Richtung verliefen – gegenüber der jetzigen Ausrichtung also genau vertauscht sind. Dies entsprach einer typischen seismischen Messkonfiguration in der die Empfangspunktlinien üblicherweise senkrecht zur Streichrichtung der zu erkundenden geologischen Struktur gelegt werden [9]. Sinn und Zweck dieser Vertauschung der Anregungs- und Empfangslinien war es, die vorhandenen Wege und Rückegassen im Asse-Wald, die überwiegend in SW-NE verlaufen, für eine Anregung der seismischen Wellen mit Hilfe von Vibrationsfahrzeugen und Sprengungen optimal zu nutzen (Abbildung 14). Durch die Nutzung der Rückegassen konnte die Anzahl der Bohrungen, die abseits von Wegen sehr zeitaufwändig mit einem Handbohrgerät hätten erstellt werden müssen, reduziert werden. Darüber hinaus wurde dadurch auch der Eingriff in die Natur minimiert und Flora und Fauna besser geschützt. Messfläche, Linien- und Punktabstände blieben bei dem Wechsel der Ausrichtung der Messkonfiguration unverändert, die Punktzahlen veränderten sich nur geringfügig, so dass auch kein Einfluss auf den Überdeckungsgrad vorliegt (Anhang 2, Präsentation vom 18.03.2019).

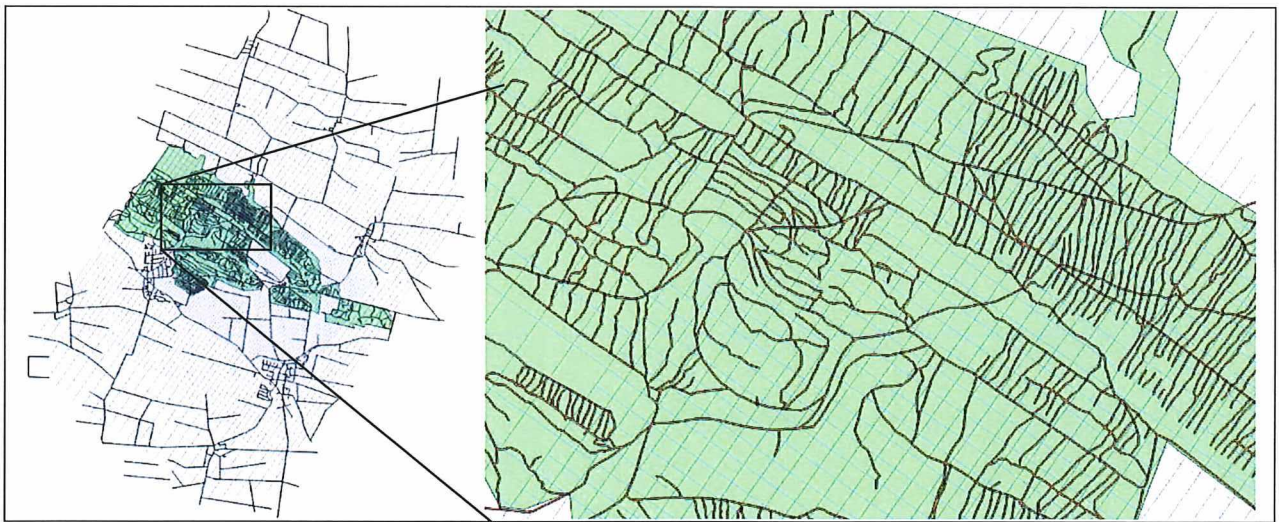


Abbildung 14: Wege- und Straßennetz im Messgebiet mit grün gekennzeichneten Waldflächen (links). In den Waldflächen liegt ein relativ dichtes Netz von Rückegassen vor (Ausschnitt rechts), das mit geeigneten Fahrzeugen (z.B. allradgetriebenen Traktoren) befahrbar ist.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 32

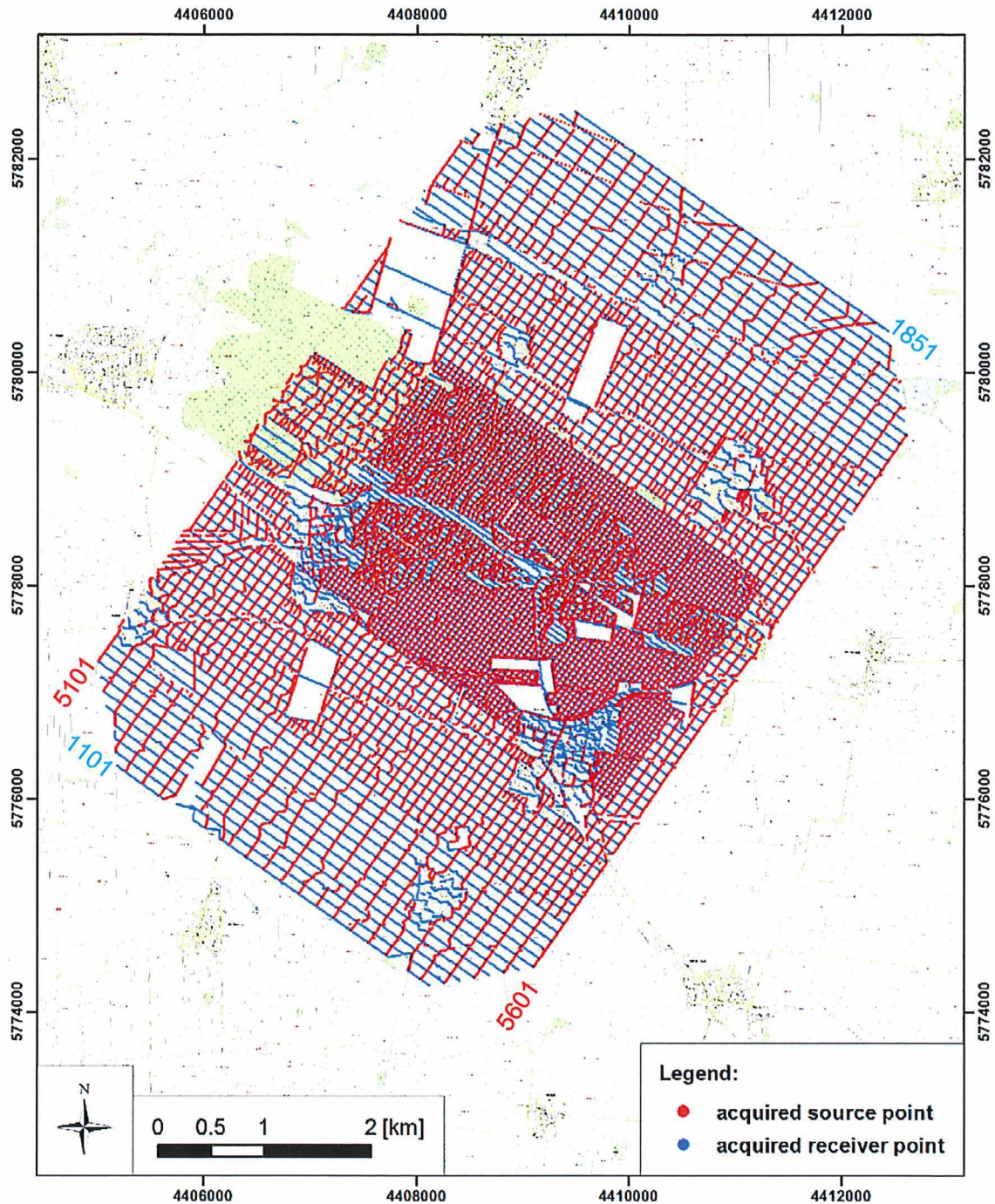



Abbildung 15: Tatsächlicher Verlauf der Anregungslinien (rot) und Empfangslinien (blau).

Im Vergleich zur Abbildung 1 zeigt die Abbildung 15 den tatsächlichen Verlauf der Anregungs- und Empfangslinien. In der Realisierung konnte weitestgehend ein sehr reguläres, orthogonales Messraster erzielt werden. Abweichungen vom geradlinigen Verlauf des theoretischen Messrasters der Anregungslinien ergaben sich hauptsächlich für die sprengseismischen Anregungspunkte im Asse-Wald (Abbildung 16), die zum einen dem Verlauf von Rückegassen folgten und zum anderen dichtem Bewuchs und Erdfällen auswichen [10] [11]. Weitere Abweichungen von der theoretischen Lage der Anregungspunkte resultierten aus dem Straßenverlauf und den Sicherheitsabständen zu Gebäuden (Tabelle 3 und Tabelle 4), der Lage von Leitungen (Tabelle 4), nicht erteilten Betretungsgenehmigungen, der Befahrbarkeit des Untergrundes und dem Umgehen von kleineren Kampfmittelverdachtsflächen (Abbildung 17). Bei einem Linienabstand von 50 m bis 200 m sollten




Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 33

die Anregungspunkte allerdings nicht mehr als einen halben Linienabstand vom ursprünglich vorgesehenen Punkt verlegt werden, was auch weitestgehend eingehalten werden konnte. Für die Empfangspunkte ergaben sich Abweichungen von der theoretischen Lage nur in Ortschaften sowie aufgrund von Flächen ohne Betretungsgenehmigungen. Durch die Verwendung von kabellosen Registriereinheiten (Innoseis Tremornet) konnten die Empfangspunkte sehr flexibel platziert werden (Abbildung 18, links). Auf Feldern und im Asse-Wald wurden die Registriereinheiten eingegraben und mit wenigen Zentimetern Erde bedeckt, was den durch Wind und Regen verursachten Noise verringerte und das Diebstahlrisiko minimierte (Abbildung 18, rechts). Es war außerdem zu beachten, dass verlegte Punkte sich nicht zu stark annähern, sondern auch bei der Verlegung möglichst ein gleichmäßiger Abstand für die Anregungs- und Empfangslinien einzuhalten ist, was zum größten Teil ebenfalls gut umgesetzt werden konnte.



Abbildung 16: Anregungslinie entlang einer Rückegasse im Asse-Wald mit für die Sprengseismik vorbereiteten Bohrungen. Die Bohrungen sind verrohrt (orangenes Kunststoffrohr), Säcke mit Bentonit liegen zur späteren Verfüllung der Bohrungen bereit.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE	Blatt: 34
---	-----------



Abbildung 17: Fahrspuren eines Vibrofahrzeugs mit Abdrücken der Bodenplatte entlang einer Anregungslinie. Im Hintergrund ist das Umfahren einer Kampfmittelverdachtsfläche zu erkennen.

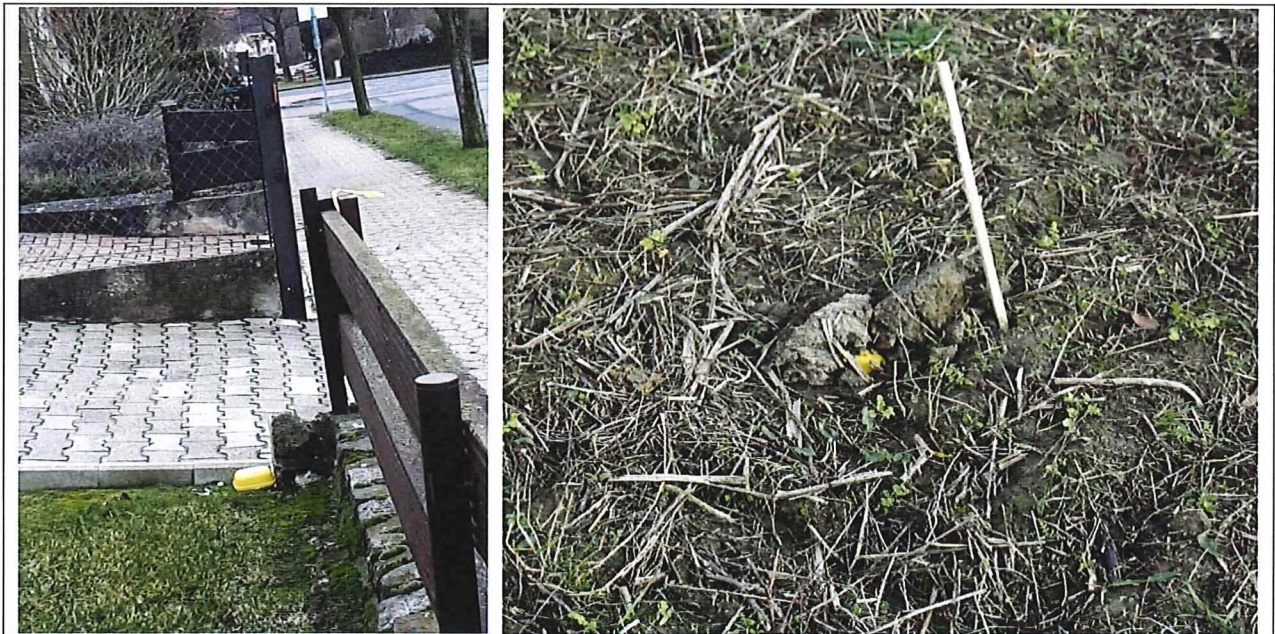


Abbildung 18: In einem Vorgarten in Wittmar platzierte Registriereinheit (links). Auf einem Feld platzierte mit Erde bedeckte Registriereinheit (rechts).

Von den nominell 46.130 Empfangspunkten im Messgebiet konnten 44.677 (entspricht 96,9 %) realisiert werden. 1.453 Empfangspunkte fielen aufgrund von Flächen ohne Betretungsgenehmigungen weg. Von den nominell 40.860 Anregungspunkten konnten 36.137 (entspricht 88,4 %) realisiert werden. 3.928 Anregungspunkte konnten nicht verlegt werden und fielen aufgrund von Flächen ohne Betretungsgenehmigungen und wegen Sicherheitsabständen zu Gebäuden, Wasser- und Gasleitungen, Bohrungen, Grundwassermessstellen und Gewässern weg (siehe Kap. 6). Die 36.137 realisierten Anregungspunkte teilen sich auf in 29.773 Vibropunkte und 6.364 Sprengpunkte. 795 Anregungspunkte fielen während der Produktion überwiegend aufgrund von nach starken Regenfällen nicht mehr befahrbaren, nassen Feldern im Nordteil des Messgebiets



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 35

und zu einem kleineren Teil wegen den Ergebnissen der Erschütterungsmessungen in Ortschaften weg. Insgesamt wurden 6.426 Bohrungen abgeteuft, davon wurden 6.364 Bohrungen geladen. 62 Bohrungen wurden nicht geladen, da die Bohrungen während ihrer Standzeit instabil wurden, Wasser austrat oder verlegt und nicht genutzt wurden. Bei einer Bohrung traten Schwierigkeiten beim Ladevorgang auf, so dass diese bereits von der Lade-Crew zur Detonation gebracht wurde.

Bei der Verlegung oder dem Weglassen von Anregungs- und Empfangspunkten wurde immer der Überdeckungsgrad für verschiedene Offsetbegrenzungen kontrolliert. Ziel ist, dass sich für alle Offsetbereiche ein möglichst gleichmäßiger Überdeckungsgrad ohne Lücken oder geometrische Muster (Artefakte) ergibt. Insbesondere aufgrund nicht erteilter Betretungsgenehmigungen war es jedoch nicht zu vermeiden, dass lokal in einzelnen Bereichen des Messgebiets Anregungs- und Empfangspunkte wegfallen, was sich auf den Überdeckungsgrad für kleinere Offsetbereiche bis 200 m oder bis 600 m, die etwa die nutzbaren Daten für korrespondierende Erkundungstiefen bis 200 m bzw. 600 m umfassen, ungünstig auswirken kann.

Die Abbildung 19, Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen bezogen auf ein Bin von 5 m x 5 m Größe den realisierten Überdeckungsgrad der 3D-Seismik für verschiedene Offsetbegrenzungen. Insgesamt ergibt sich für die größeren Offsets ein relativ gleichmäßiger sehr hoher Überdeckungsgrad ohne Artefakte (Abbildung 21, Abbildung 22). Dieser vergleichsweise sehr hohe Überdeckungsgrad ergibt sich aus der Messkonfiguration (Tabelle 7), die sowohl auf flache Erkundungstiefen ab 200 m als auch größere Erkundungstiefen bis über 2000 m ausgelegt ist und insbesondere die steilen Flanken der Salzstruktur abbilden soll. Die Salzstruktur im Untergrund streicht wie der Asse-Höhenzug in NW-SE-Richtung und teilt das Messgebiet etwa in zwei Hälften. Dadurch werden zur seismischen Abbildung der Süd- (bzw. der Nord-)flanke der Salzstruktur Anregungspunkte, die in der Nord- (bzw. der Süd-)hälfte liegen, nicht beitragen, was die dafür nutzbaren Registrierungen und damit auch den Überdeckungsgrad per se schon halbiert.

Bei einer Offsetbegrenzung bis 200 m treten insbesondere in den Flächen ohne Betretungsgenehmigungen, aber auch in den Bereichen der Ortschaften, Lücken im Überdeckungsgrad auf (Abbildung 19). Unter diesen Flächen und Bereichen wird keine oder nur eine sehr eingeschränkte seismische Abbildung flacher Horizonte (< 200 m) erzielbar sein. Auch im Verdichtungsbereich (Zone A) ist der Überdeckungsgrad relativ gering (< 12), so dass es aufgrund der Neigungen des Deckgebirges und der bewegten Topographie schwierig sein kann, eine ausreichende seismische Abbildung bis 200 oder 300 m Tiefe zu erzielen. Für die Auswertung wäre hier, gegebenenfalls auf Kosten der Auflösung, die Bin-Größe zu erhöhen, refraktionstomographischen Auswertungen mit einzubeziehen oder auf spezielle Abbildungsverfahren (z.B. CRS) zurückzugreifen. Bei einer Offsetbegrenzung bis 600 m schließen sich bis auf ein Randgebiet im Nordwesten der Messfläche die Lücken im Überdeckungsgrad (Abbildung 20). Es verbleiben lokal aber einige kleinere Flächen mit sehr geringem Überdeckungsgrad (< 10), die dort zu Einschränkungen in der Qualität der seismischen Abbildungen von Horizonten bis 600 m Tiefe führen können.

Insgesamt ist aber aufgrund des sehr hohen Überdeckungsgrads, der sehr dichten und gleichmäßigen Offsetverteilung, der Verwendung von Einzelgeophonen (Kap. 12.4.2) und Einzelvibratoren (Kap. 12.1) sowie der großen Bandbreite des seismischen Signals (Kap. 11.2) eine sehr gute, hochauflösende Abbildung insbesondere der Flanken und der Basis der Salzstruktur zu erwarten.



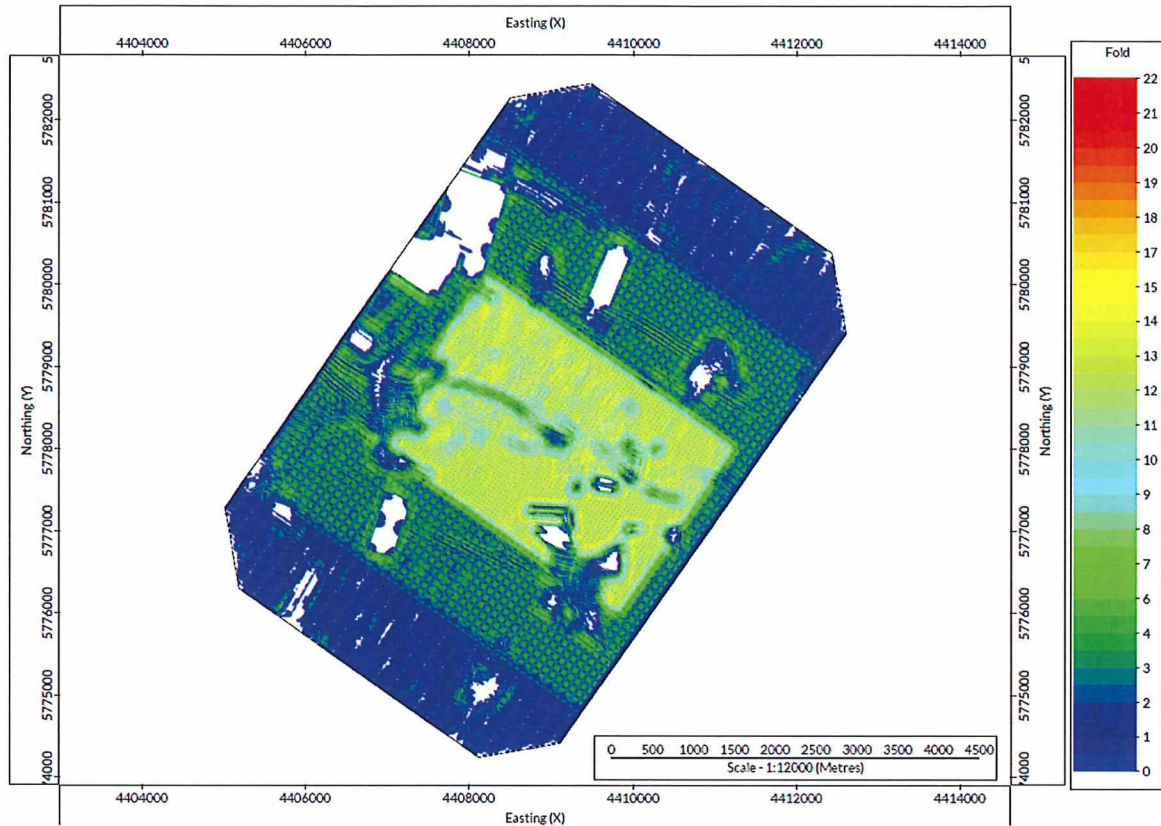


Abbildung 19: Überdeckungsgrad unter Einbeziehung aller Offsets von 0 – 200 m.

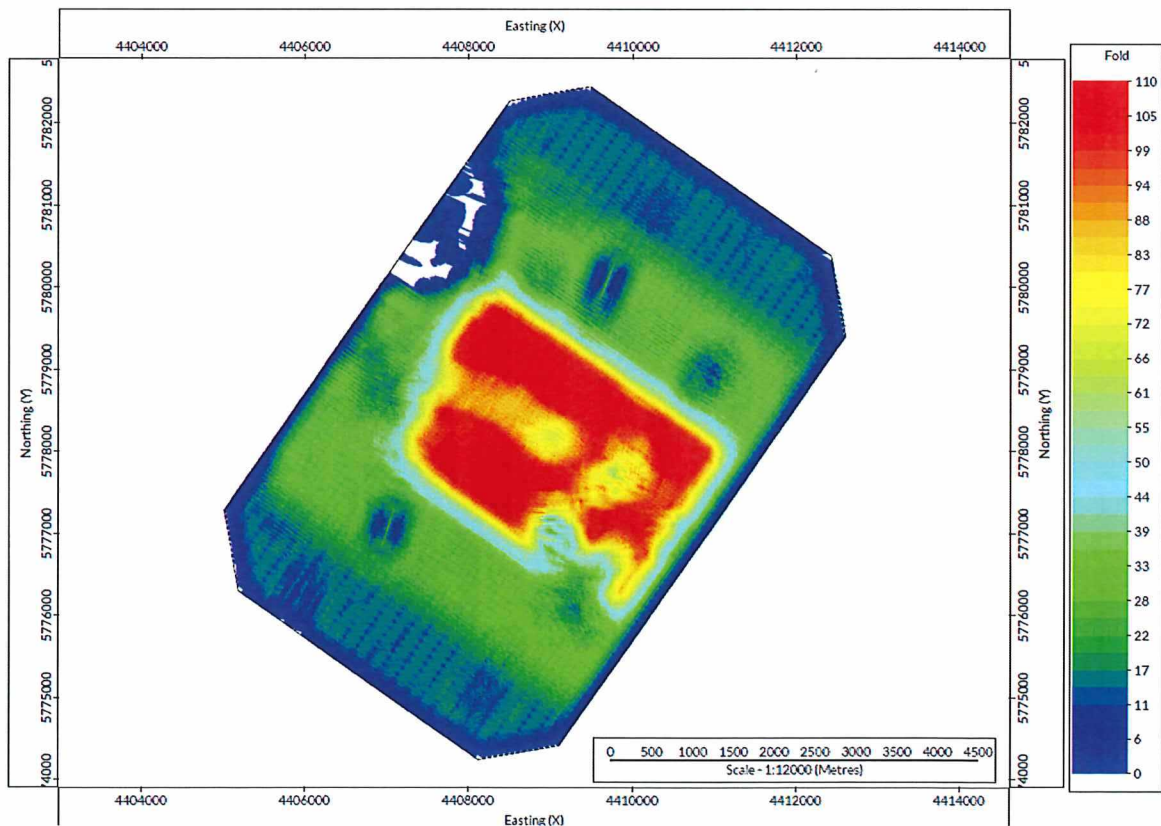



Abbildung 20: Überdeckungsgrad unter Einbeziehung aller Offsets von 0 – 600 m.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse Blatt: 37

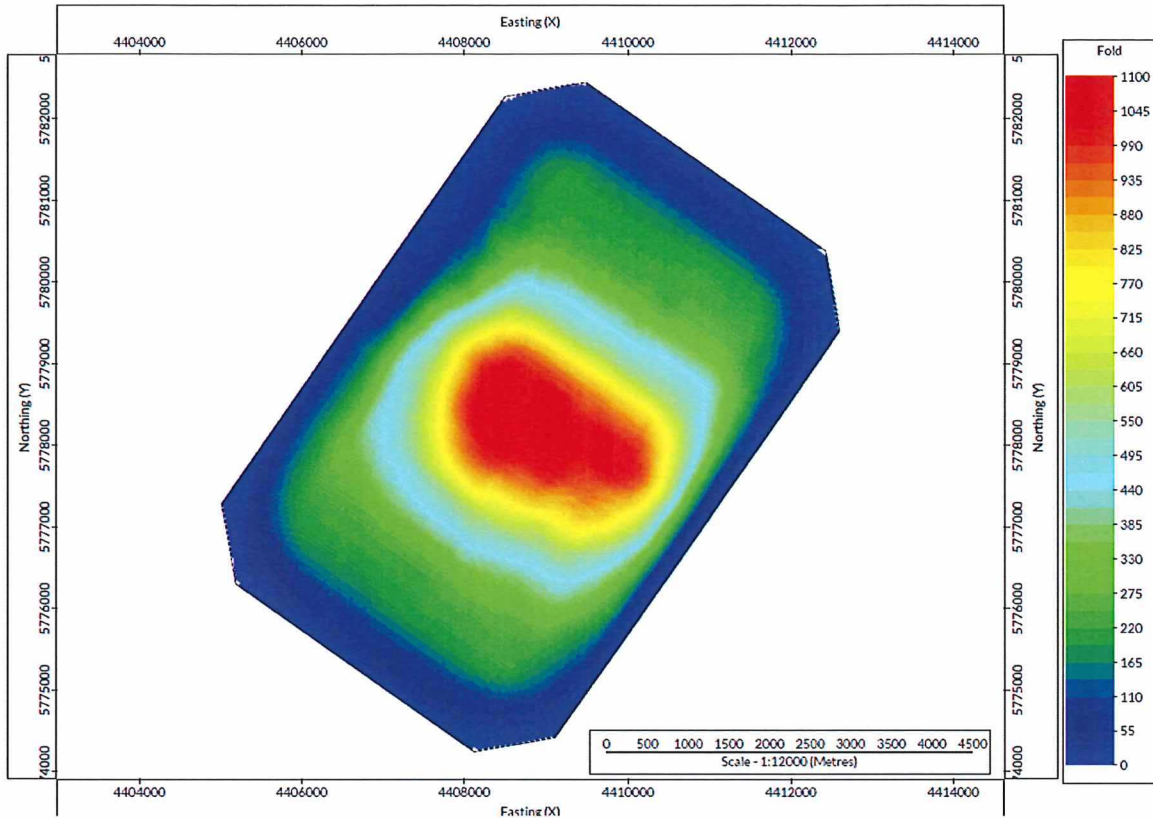


Abbildung 21: Überdeckungsgrad unter Einbeziehung aller Offsets von 0 – 2000 m.

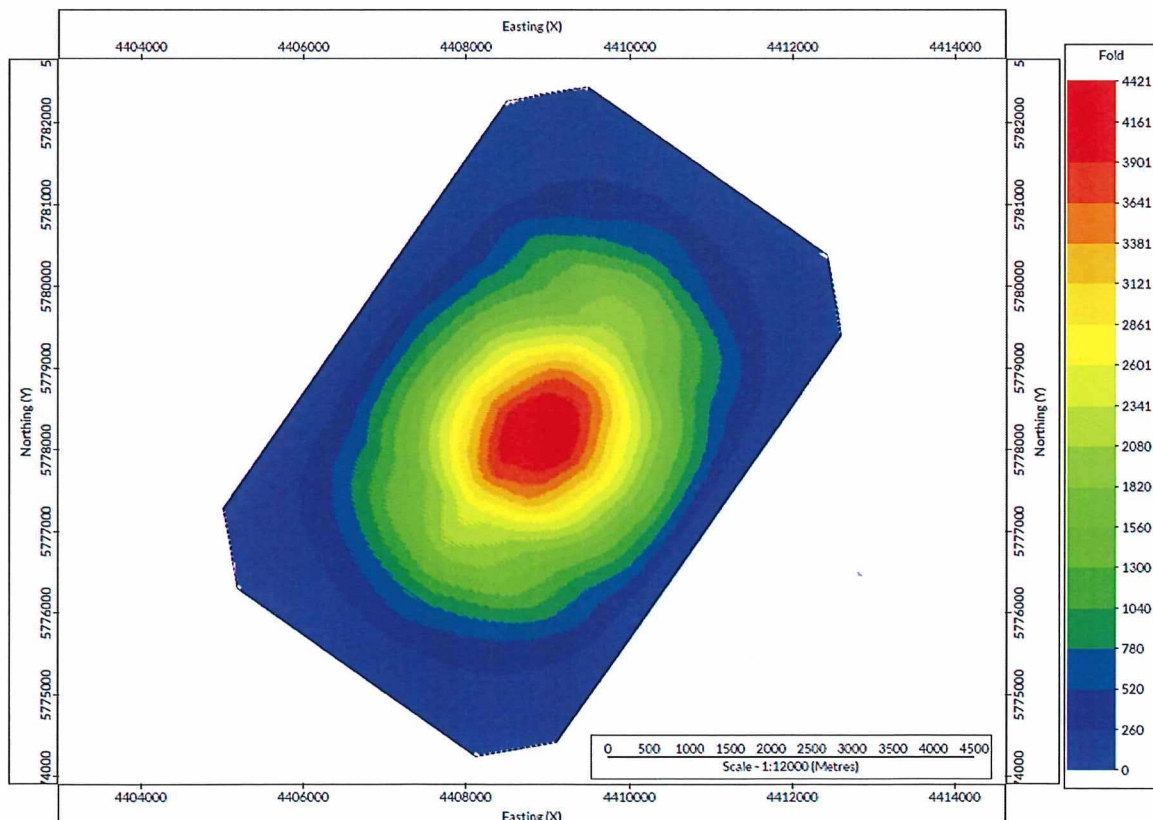



Abbildung 22: Überdeckungsgrad unter Einbeziehung aller Offsets.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 38

Neben der 3D-Seismik mit über 40.000 Registriereinheiten sind auf Wunsch der BGE von Seiten GT 24 weitere Registriereinheiten Innoseis Tremornet zur Verfügung gestellt worden, die von der BGE innerhalb der Schachtanlage unter Tage aufgebaut, eingemessen und im gleichen Zeitraum wie die seismischen Anregungen an der Erdoberfläche betrieben wurden (Abbildung 23) (s. auch Kap. 14). Da die Zeitsynchronisation der Datenaufzeichnung mit den seismischen Anregungen über die GPS-Zeit läuft, kann es beim Betrieb der Registriereinheiten unter Tage mangels GPS-Signal zu zeitlichen Diskrepanzen kommen, die eine Auswertung unmöglich machen können. Wenn es zu Unterschieden zwischen der Registrierzeit (ohne GPS-Zeit) und der GPS-Zeit des ausgelösten Sweeps bei der Vibroseismik bzw. der Zündung bei der Sprengseismik kommt, wird bei der späteren Datenaufbereitung das registrierte Signal zu einem falschen Zeitpunkt ausgeschnitten, was z.B. zu fehlerhaften Geschwindigkeitsbestimmungen führt. Bei der Vibroseismik kann darüber hinaus die Korrelation versagen.

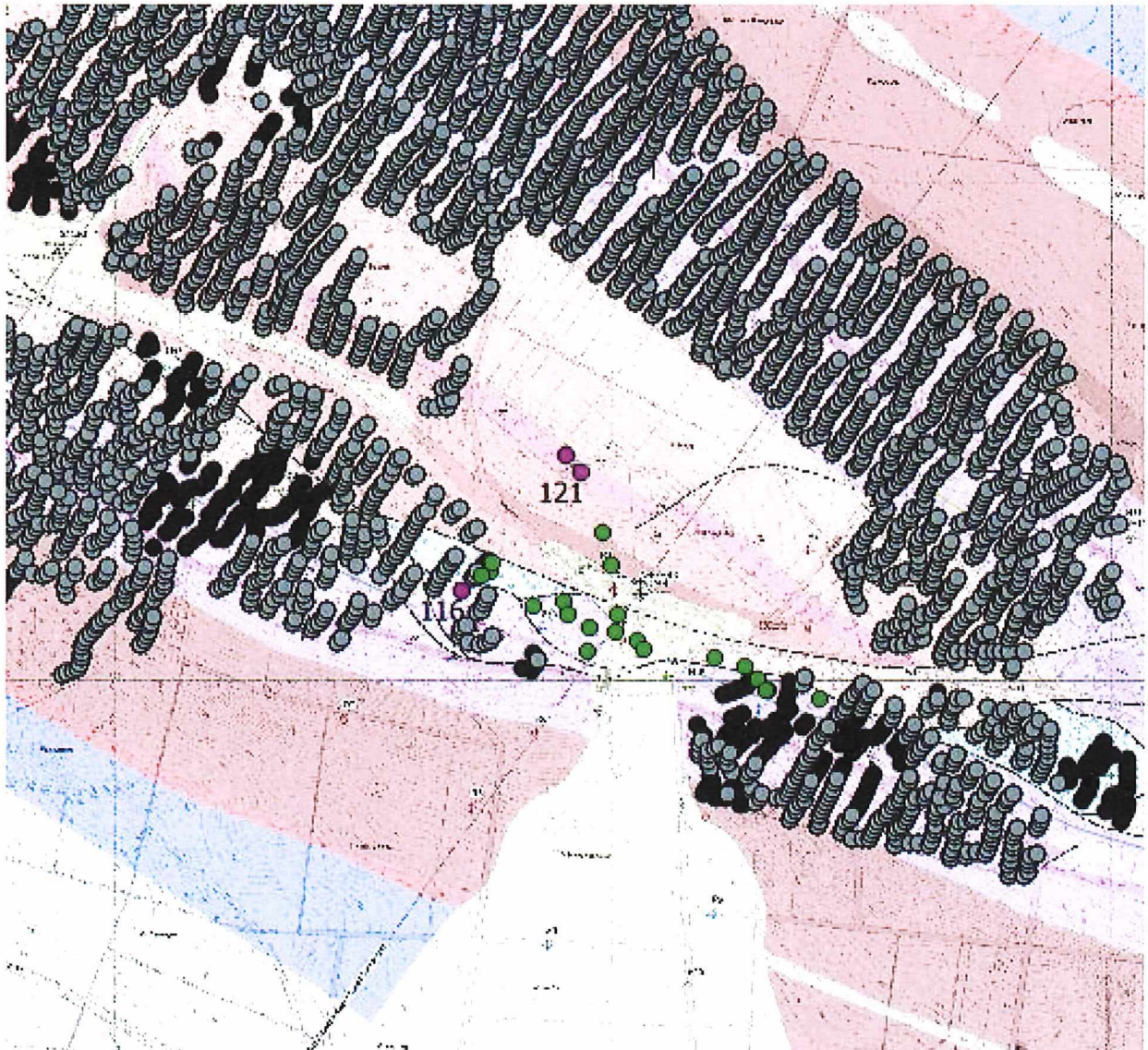



Abbildung 23: Auf die Erdoberfläche projizierte Lage der untertage registrierenden Empfänger (grüne und magentafarbene Punkte) und sprengseismische Anregungspunkte (graue und schwarze Punkte) vor oberflächengeologischem Kartenhintergrund.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 39
--	-----------

## 11 Bestimmung der Signalparameter

Zur Festlegung von optimalen Anregungsparametern fanden am 04.10.2019 für die Sprengseismik und am 13.01.2020 für die Vibroseismik Parametertests statt. Die Registrierung der jeweiligen Anregungen beider Tests erfolgte auf ein und demselben extra dafür temporär aufgebautem Messprofil, das auf der Südseite des Messgebiets etwa senkrecht zur Streichrichtung der Salzstruktur ausgerichtet war. Die Abbildung 24 zeigt die Lage des Profils mit den Lokationen für die Anregungspunkte des Parametertests der Sprengseismik. Die vibroseismischen Anregungen des Parametertests lagen nur an dem südlichen Anregungspunkt. Durch die Ausrichtung des Profils waren insbesondere bei der Anregung am südlichen Anregungspunkt verschiedene Reflexionen sicher zu erkennen, was für eine Beurteilung zur Auswahl von Anregungsparametern notwendig ist.

Die Messgeometrie und die Einstellungen der Registriereinheiten für die beiden Parameterteste sind in der Tabelle 8 zusammengefasst. Um die Größe der bei den seismischen Anregungen auftretenden Erschütterungen einzuschätzen, wurden beide Parametertests von Messungen der Schwinggeschwindigkeit (PPV) begleitet.

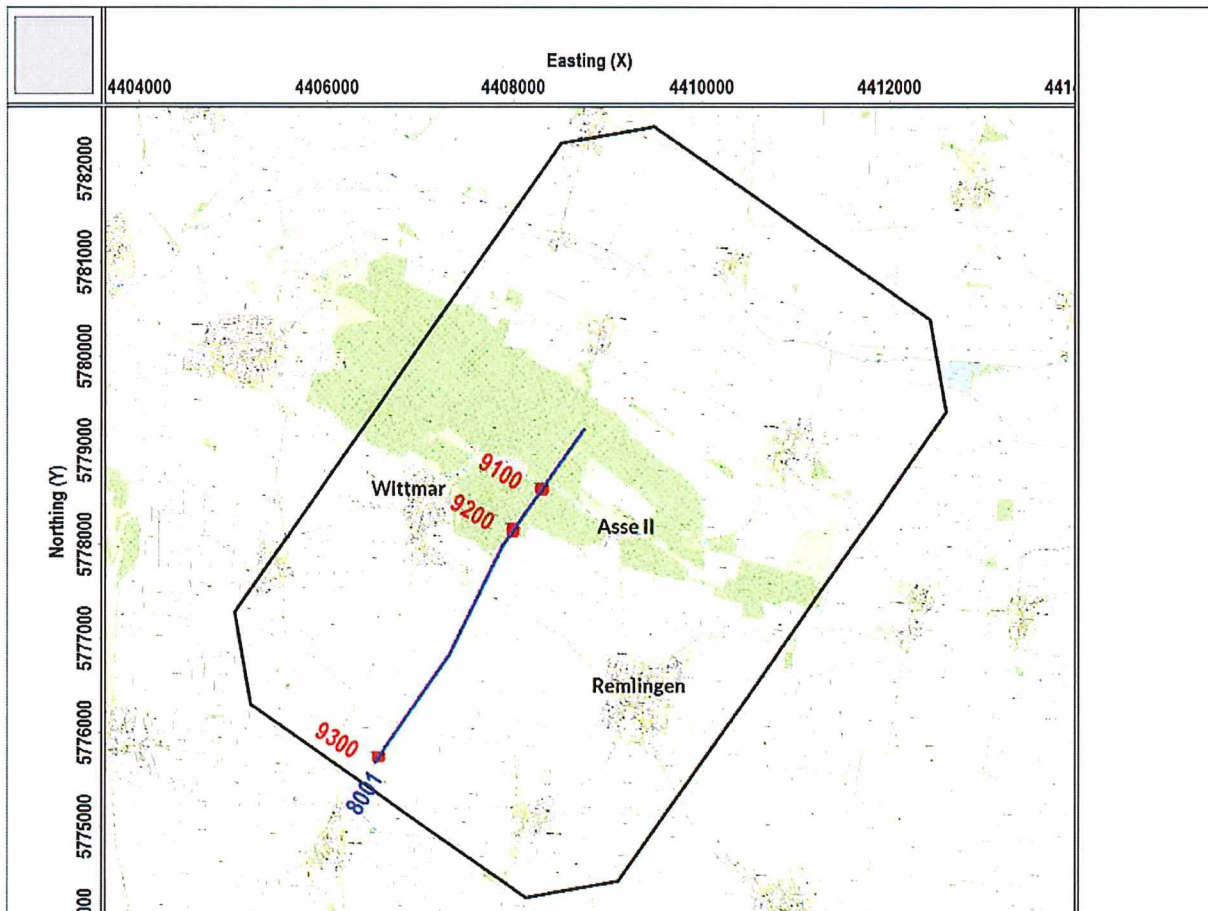



Abbildung 24: Lage des Messprofils (blaue Linie) und Lage der Anregungspunkte (rote Punkte) im Messgebiet der 3D-Seismik Asse (schwarze Umrandung) für den sprengseismischen Parametertest.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse Blatt: 40

Tabelle 8: Messgeometrie und Einstellungen der Registriereinheiten beim Parametertest.


<b>Messgeometrie</b>	
Anzahl der aktiven Linien	1
Anzahl der aktiven Empfänger	210, feste Auslage
Empfangspunktabstand	20 m
Minimum Offset	10 m
Maximum Offset	2900 – 4200 m
<b>Messparameter</b>	
Registriereinheit	Innoseis Tremornet
Geophon	PS-GR5 (5 Hz Eigenfrequenz)
Record Länge	4 s
Sample Rate	1 ms
Tiefpassfilter	0,8 x Nyquistfrequenz, minimalphasig
Hochpassfilter	aus
Notchfilter	aus
Polarität	SEG normal
Verstärkung	12 dB

### 11.1 Parametertest – Sprengseismik

Beim Parametertest für die Sprengseismik wurden an den drei Lokationen (Abbildung 24) die Tiefe einer Einzelbohrung sowie ein Pattern bestehend aus zwei flachen Bohrungen für verschiedene Ladungsstärken untersucht (Tabelle 9).

Tabelle 9: Programm des sprengseismischen Parametertest.

Nr.	Lokation-Nr.	Anzahl Bohrungen Bohrungstiefe	Ladungsstärke
1	9300	2 x 6 m	250 g (2 x 125 g)
2	9300	2 x 6 m	440 g (2 x 220 g)
3	9300	2 x 6 m	970 g (2 x 485 g)
4	9300	1 x 9 m	220 g (1 x 220 g)
5	9300	1 x 9 m	485 g (1 x 485 g)
6	9300	1 x 9 m	660 g (3 x 220 g)
7	9300	1 x 9 m	970 g (2 x 485 g)
8	9300	1 x 15 m	220 g (1 x 220 g)
9	9300	1 x 15 m	485 g (1 x 485 g)
10	9300	1 x 15 m	660 g (3 x 220 g)
11	9300	1 x 15 m	970 g (2 x 485 g)
12	9200	2 x 6 m	250 g (2 x 125 g)
13	9200	2 x 6 m	440 g (2 x 220 g)
14	9200	2 x 6 m	970 g (2 x 485 g)
15	9200	1 x 9 m	220 g (1 x 220 g)
16	9200	1 x 9 m	485 g (1 x 485 g)
17	9200	1 x 9 m	660 g (3 x 220 g)
18	9200	1 x 9 m	970 g (2 x 485 g)
19	9200	1 x 15 m	220 g (1 x 220 g)

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 41

20	9200	1 x 15 m	485 g (1 x 485 g)
21	9200	1 x 15 m	660 g (3 x 220 g)
22	9200	1 x 15 m	970 g (2 x 485 g)
23	9100	2 x 6 m	250 g (2 x 125 g)
24	9100	2 x 6 m	440 g (2 x 220 g)
25	9100	2 x 6 m	970 g (2 x 485 g)
26	9100	1 x 9 m	220 g (1 x 220 g)
27	9100	1 x 9 m	485 g (1 x 485 g)
28	9100	1 x 9 m	660 g (3 x 220 g)
29	9100	1 x 9 m	970 g (2 x 485 g)
30	9100	1 x 15 m	220 g (1 x 220 g)
31	9100	1 x 15 m	485 g (1 x 485 g)
32	9100	1 x 15 m	660 g (3 x 220 g)
33	9200	1 x 15 m	970 g (2 x 485 g)

Im Ergebnis des sprengseismischen Parameterstests ließ sich zusammenfassen:

- Die Ladungsmengen von 220 g und 250 g reichten nicht aus, um eine zufriedenstellende Datenqualität zu erzielen.
- Eine Ladungsmenge von 485 g reichte aus, um eine gute Datenqualität zu erzielen.
- Mit zunehmender Ladungsstärke wurde ein besseres Signal-Noise-Verhältnis erzielt, der Ersteinsatz ließ sich bis in große Offsets hinein sicher festlegen.
- Zum Teil, abhängig von der Lokation und der Bohrtiefe, zeigten die Tests mit zunehmender Ladungsmenge (485 g, 660 g und 970 g) jedoch keine Verbesserungen bei der Erkenn- und Verfolgbarkeit von Reflexionen.
- Eine eindeutige Abhängigkeit der Ergebnisse von der Bohrtiefe war ebenfalls nicht zu erkennen. Die maximale Bohrtiefe von 15 m zeigte aber nicht die besten Ergebnisse.

Die durch die Bohrungen erfasste Oberflächengeologie scheint zu komplex, um eine einheitliche Bohrtiefe für das Projekt daraus abzuleiten, so dass eine Anpassung an die am jeweiligen Bohrstandort angetroffenen Lithologie notwendig war. Für die Messdurchführung wurde daher festgelegt, dass die Mindesttiefe für eine Einzelbohrung ungefähr 6 m betragen soll und mindestens 1 m tief in eine feste, konsolidierte Schicht zu bohren ist. Konnte dies nicht erfüllt werden, war die Bohrtiefe solange zu erhöhen bis die Vorgabe erfüllt oder die Maximaltiefe von 15 m erreicht wurde. Wurde die Mindesttiefe für eine Einzelbohrung von ungefähr 6 m aus geologischen oder bohrtechnischen Gründen nicht erreicht, so waren zwei Einzelbohrungen im Abstand von ca. 2 m mit einer Tiefe von jeweils 3 m abzuteufen.

Die Untersuchungen und Ergebnisse des sprengseismischen Parameterstests sind von GT in einem separaten Bericht dokumentiert, dessen Fertigstellung zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Berichtes aber noch nicht erfolgt war. Abbildung 25 und Abbildung 26 zeigen exemplarisch eine Registrierung aus dem sprengseismischen Parameterstest mit sehr guter und unzureichender Datenqualität insbesondere bei großen Offsets.

Ergänzend zum sprengseismischen Parameterstest wurden die bei den Sprengungen erzeugten Erschütterungen in 125 m und 180 m Entfernung von der Sprengbohrung aufgezeichnet. Der Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit betrug 1,66 mm/s und trat bei einer Ladungsmenge von 970 g und einer Bohrtiefe von 15 m auf. Bei gleicher Ladungsmenge und einer Bohrtiefe von 9 m betrug der Maximalwert 0,35 mm/s. Beide gemessenen Werte der Schwinggeschwindigkeiten liegen deutlich unterhalb der in der DIN 4150-3 vorgegebenen Werte für erschütterungsempfindliche Bauten (z.B. denkmalgeschützte historische Gebäude) (s. auch Kap. 14). Von den Ergebnissen der Erschütterungsmessungen spricht also nichts dagegen, eine Ladungsmenge von 970 g zu verwenden, wenn entsprechende Sicherheitsabstände eingehalten werden (Kap. 6).



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 42
--	-----------

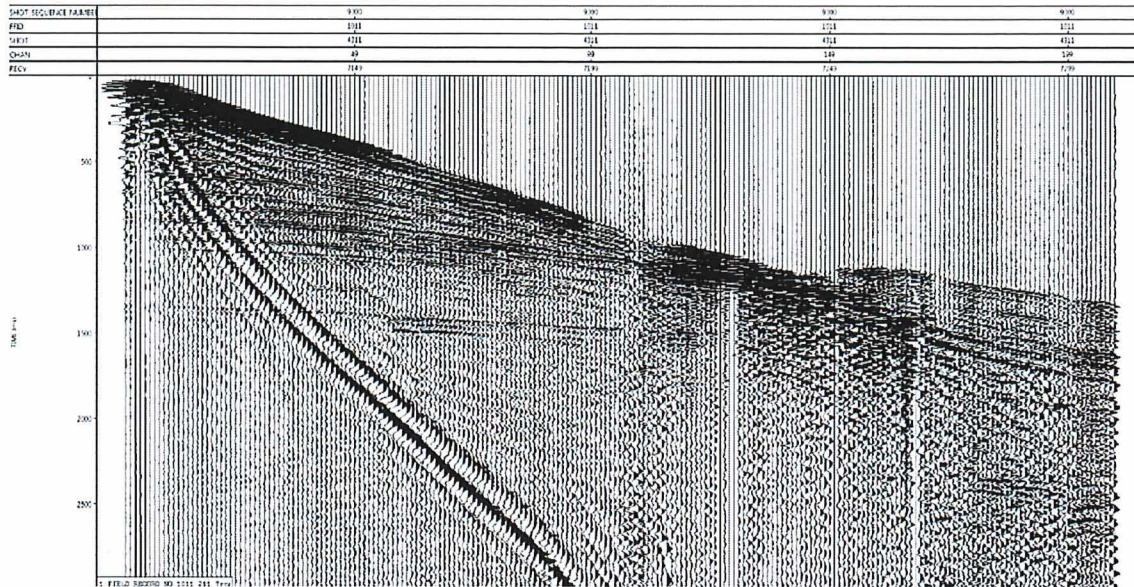


Abbildung 25: Sprengseismische Anregung von sehr guter Datenqualität in allen Offsetbereichen am südlichen Anregungspunkt des Testprofils mit einer Ladungsstärke von 970 g in einer 15 m tiefen Einzelbohrung.

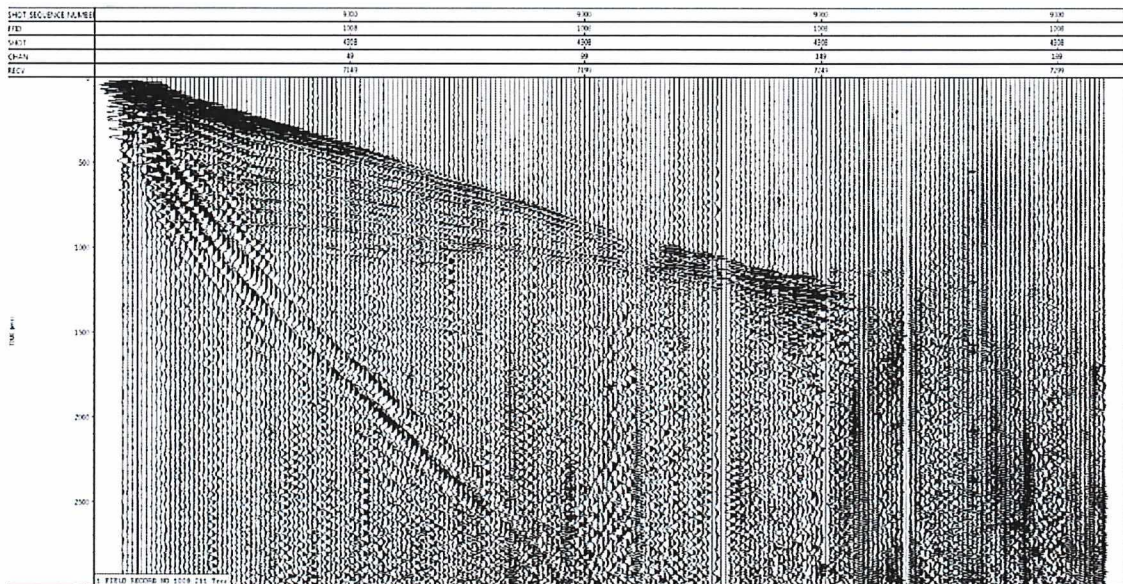



Abbildung 26: Sprengseismische Anregung von unzureichender Datenqualität bei großen Offsets am südlichen Anregungspunkt des Testprofils mit einer Ladungsstärke von 220 g in einer 15 m tiefen Einzelbohrung.

## 11.2 Parametertest – Vibroseismik

Beim Parametertest für die Vibroseismik wurde mit Anregungen an der südlichen Lokation des Profils (Abbildung 24) insbesondere die Startfrequenz und die Endfrequenz sowie die Kraft der Vibratoren untersucht (Tabelle 10). Kurze 2D-Profile mit unterschiedlichen Sweeps ergänzten den Parametertest. Außerdem wurde die Funktionsweise des Slip-Sweep-Verfahrens untersucht. Allen Tests gemeinsam war, dass der Sweep eine Länge von 60 s aufweist und am Anfang und am Ende mit einem Blackman-Taper von 300 ms Länge gedämpft wurde. Für Startfrequenzen kleiner als 8 Hz wurde auf Empfehlung von GT ein customized Sweep verwendet, der im niedrigen Frequenzbereich (< 10 Hz) eine kleinere Sweep-Rate ( $\Delta f / \Delta t$ ) aufweist als ein linearer Sweep, damit die Bewegung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 43

der Bodenplatte besser auf den Untergrund übertragen wird und der Vibrator nicht an seine technischen Grenzen der Hydraulik stößt [12].

Tabelle 10: Programm des vibroseismischen Parametertests.

Nr.	Sweep-Frequenz	Sweep-Typ	Kraft	Anzahl Vibratoren	Test
1	5 - 120 Hz	custom	80 %	1	Kraft
2	5 - 120 Hz	custom	80 %	2	
3	5 - 120 Hz	custom	80 %	3	
4	5 - 120 Hz	custom	80 %	4	
5	5 - 120 Hz	custom	70 %	1	
6	5 - 120 Hz	custom	60 %	1	
7	5 - 120 Hz	custom	50 %	1	
8	5 - 120 Hz	custom	40 %	1	
9	5 - 120 Hz	custom	30 %	1	
10	3 - 120 Hz	custom	80 %	1	Startfrequenz
11	8 - 120 Hz	linear	80 %	1	
12	10 - 120 Hz	linear	80 %	1	
13	12 - 120 Hz	linear	80 %	1	Endfrequenz
14	5 - 135 Hz	custom	80 %	1	
15	5 - 150 Hz	custom	80 %	1	
16	10 - 150 Hz	linear	80 %	1	Sweep 2013
17	14 - 144 Hz	linear	80 %	1	
18	5 - 120 Hz	random	80 %	1	Sweeptyp
19	5 - 120 Hz	custom	80 %	1	Stapelung (2D Linie), Frequenz
20	10 - 150 Hz	linear	80 %	1	
21	5 - 120 Hz	custom	80 %	1	Stapelung (2D Linie), Slip Sweep
22	5 - 120 Hz	random	80 %	1	Stapelung (2D Linie), Sweeptyp

Im Ergebnis des vibroseismischen Parametertests ließ sich schlussfolgern:

- Bei Kräften von 80 %, 70 %, 60 % war in der Einzelanregung die Reflexion von Basis Zechstein gut zu erkennen. Bei geringeren Kräften verschlechterte sich das Signal-zu-Noise-Verhältnis und tiefere Reflexionen waren nicht mehr sicher zu identifizieren bzw. gar nicht mehr sichtbar. Die Kontrollwerte des Vibrators lieferten bei einer Kraft von 80 % vergleichsweise hohe Verzerrungen und Phasenfehler, so dass sich entschieden wurde für die Durchführung der 3D-Seismik eine Kraft von 70 % zu nutzen.
- Die Nutzsignale (Reflexionen) wiesen Maximalfrequenzen von 80 Hz bis 100 Hz auf, so dass Frequenzen größer 120 Hz nicht zu einer höheren Auflösung beitragen. Hinzu kommt, dass über 120 Hz der Phasenfehler zunahm und die Kraft des Vibrators leicht instabil wurde. Außerdem war im Datenblatt des Herstellers für die verwendeten Geophone angegeben, dass ab 120 Hz falsche Frequenzen (spurious frequencies) auftreten können. Die Endfrequenz des Sweeps wurde daher auf 120 Hz festgelegt.
- Zwischen den Einzelanregungen mit unterschiedlichen Startfrequenzen waren bezüglich der Reflexionen im Seismogramm kaum Unterschiede zu erkennen. Auch im Verlauf des Amplitudenspektrums traten zwischen den Sweeps mit unterschiedlichen Startfrequenzen, außer



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 44



im Abschnitt direkt nach der Starfrequentz, kaum Unterschiede auf. Mit geringerer Startfrequentz nahm allerdings der Anteil der Oberflächenwellen zu. Da nur geringe Unterschiede auftraten, wurden auch theoretische und technische Überlegungen in die Festlegung der Startfrequentz miteinbezogen:

- Die Geophone weisen eine Eigenfrequentz von 5 Hz auf, so dass Startfrequentzen knapp unterhalb der Eigenfrequentz aufgrund der Phasenübertragungsfunktion des Geophons ungünstig sind.
- Die Auflösung wird durch eine größere Bandbreite des Sweeps verbessert. Da hohe Freqenzen stärker gedämpft werden, kann die Bandbreite nur durch niedrige Freqenzen vergrößert werden [13].
- Weiterführende Prozesse in der Datenbearbeitung, wie z.B. Full Waveform Inversion, benötigen niedrige Freqenzen [14].


Die Startfrequentz des Sweeps wurde daher auf 5 Hz festgelegt.

- Die Registrierungen des Tests mit dem Random Sweep zeigten ebenfalls gute Ergebnisse. Ein großer Vorteil eines Random Sweeps im Slip Sweep Verfahren ist, dass im Vergleich zu einem linearen Sweep kaum Oberschwingungen (Harmonics) auftreten. Darüber hinaus ist die Amplitude der erzeugten Oberflächenwellen geringer. Da GT jedoch keine Erfahrung mit dem Einsatz eines Random Sweep hat und keine gleichbleibende Qualität gewährleisten konnte, wurde auf den Einsatz eines Random Sweeps verzichtet.
- Die Slip-Zeit wurde aufgrund theoretischer Überlegungen auf 26 s festgelegt. Bei einer Sweep-Länge von 60 s, einer Slip-Zeit von 26 s und einem Sweep von 5 – 120 Hz ist theoretisch zu erwarten, dass sich die 1. Oberschwingung (Harmonics) mit der Grundmode des vorhergehenden Signals im Freqzenzbereich ab 90 Hz überlagert (Abbildung 34). Dies konnte beim Test bestätigt werden und ist voll akzeptabel, da im Nutzsignal Freqenzen größer als 80 Hz kaum noch auftraten.

Die Untersuchungen und Ergebnisse des vibroseismischen Parametertests sind von GT in einem separaten Bericht dokumentiert, dessen Fertigstellung zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Berichtes aber noch nicht erfolgt war. Die Abbildung 27 zeigt exemplarisch eine Registrierung mit den für die 3D-Seismik festgelegten Signalparametern.

Um die Größe der bei den seismischen Anregungen auftretenden Erschütterungen abzuschätzen, wurde der vibroseismische Parametertests durch entsprechende Erschütterungsmessungen ergänzt. Dazu wurde für Sweeps von 5 Hz bis 120 Hz und 12 Hz bis 120 Hz sowie Kräften von 15 %, 30 %, 40 % und 50 % in Abständen von 2 m, 3 m, 4 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m und 30 m von der Bodenplatte des Vibrators Messungen der Schwinggeschwindigkeit (PPV) durchgeführt. Dabei war festzustellen, dass unabhängig vom Sweep, unabhängig von der Kraft und auch unabhängig von der Entfernung die maximalen Schwinggeschwindigkeiten bei Freqenzen über 20 Hz auftraten. Es wurde daher entschieden, für die Messung in Ortschaften keinen anderen Sweeps zu verwenden als für die Messung auf den Feldern (5 – 120 Hz). Die maximalen Schwinggeschwindigkeiten nahmen erwartungsgemäß exponentiell mit der Entfernung von der Bodenplatte ab. Bei einer Entfernung von 10 m lagen sie bei einer Kraft von 15 % unter 3 mm/s, bei einer Kraft von 30 % knapp über 3 mm/s. Es wurde daher festgelegt, bei der Messung in Ortschaften mit einer reduzierten Kraft von 15 % anzuregen. Entsprechend den Vorgaben der BGE in der Leistungsbeschreibung waren die vibroseismischen Anregungen in Ortschaften in jedem Fall mit Erschütterungsmessungen zu begleiten. Wenn Vibrofahrzeuge sich von Feldern aus Gebäuden nähern, war die Kraft auf 50 % zu reduzieren.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 45

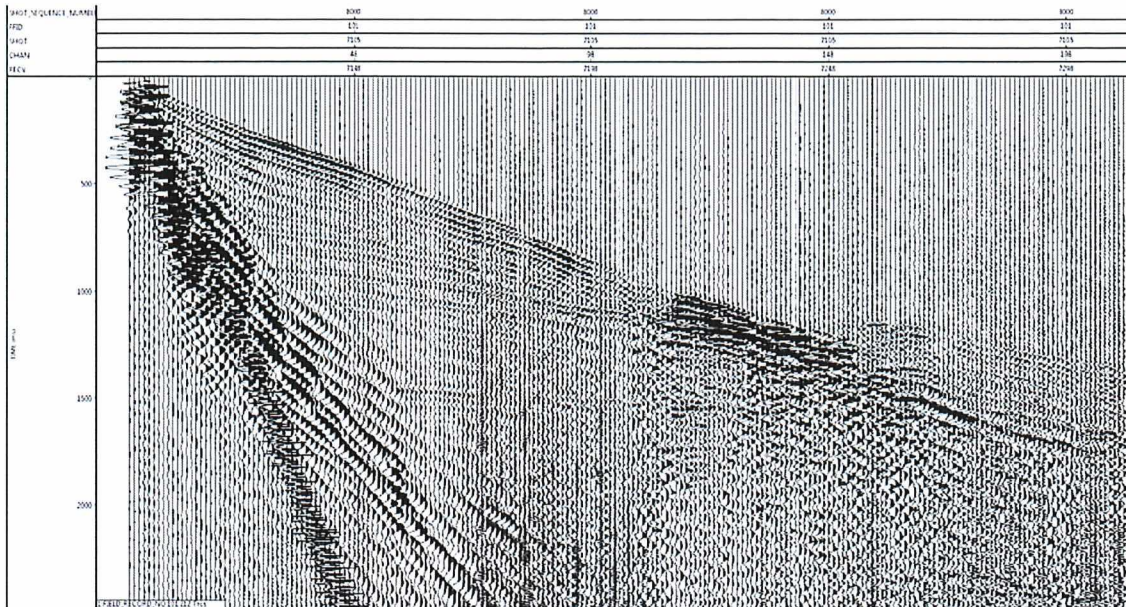


Abbildung 27: Vibroseismische Anregung am südlichen Anregungspunkt des Testprofils mit einer Kraft von 70 % und einer Sweepfrequenz von 5 – 120 Hz.

## 12 Seismische Datenakquisition


Die hohen Anforderungen an die Auflösung und Qualität der seismischen Daten erforderten den Einsatz der innovativsten seismischen Techniken wie Einzelvibratoren, Einzelgeophone und breitbandige Signale. Gleichzeitig war es aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung der Messfläche sowie der Berücksichtigung naturschutzrechtlicher Belange notwendig, die umfangreiche Messung in sehr kurzer Zeit durchzuführen. Die Energieanregung erfolgte daher im Slip-Sweep-Verfahren mit vier bis fünf an unterschiedlichen Stellen im Messgebiet arbeitenden Einzelvibratoren, die ein breitbandiges Signal abstrahlten. In den für die Vibrationsfahrzeuge nicht zugänglichen Waldgebieten wurden Sprengladungen in flachen Bohrungen zur Energieanregung eingesetzt. Die Aufzeichnung erfolgte mit dem kabellosen Messsystem Innoseis Tremornet und in die Registriereinheiten eingebauten vertikalen 5 Hz-Einzelgeophonen.

### 12.1 Energieanregung – Vibroseismik

Für die seismischen Messungen standen im Projektverlauf insgesamt sechs Vibratoren vom Typ Hemi 50 auf einem Trägerfahrzeug Mark IV des Herstellers Industrial Vehicles International Inc. (IVI) vor Ort zur Verfügung (Abbildung 28). Eines der Vibrofahrzeuge konnte nicht eingesetzt werden, da bis zum Projektende keine Erlaubnis nach §70 FZV vorlag. Die Vibrofahrzeuge haben eine Länge von 9 m, die Breite beträgt 2,65 m und die Höhe 3,2 m. Bei einem Gesamtgewicht von 23,6 t können sie eine theoretische maximale Kraft von 223 kN erzeugen. Die Signalsteuerung der Vibratoren erfolgte mit dem digitalen Kontrollsystem VE464 des Herstellers Sercel S.A., bestehend aus einem zentralen Digital Pilot Generator (DPG) und dem Digital Servo Drive (DSD) in jedem Vibrofahrzeug.

Bei der 3D-Seismik waren meist vier, in Ausnahmefällen fünf, Einzelvibratoren im Slip-Sweep-Verfahren aktiv. Davon wurde ein Vibrofahrzeug vorzugsweise in Ortschaften und auf befestigten Straßen eingesetzt, während die anderen Vibrofahrzeuge auf Feldern und unbefestigten Wegen arbeiteten (Abbildung 29, Abbildung 30). Da die auf den Feldern arbeitenden Vibrofahrzeuge



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 46
--	-----------

teilweise schnell verschmutzten (Abbildung 31), wurde durch diese Aufteilung eine Verschmutzung öffentlicher Straßen weitestgehend vermieden. Die Signalsteuerung der Vibratoren und deren technische Kontrolle (Kap. 12.3.2, 12.3.3) erfolgte per Funkübertragung von einem zentral im Messgebiet, auf dem Höhenzug nördlich der Schachanlage Asse II, positionierten Messwagen (Abbildung 32).




Abbildung 28: Vibrator vom Typ Hemi 50 auf einem Trägerfahrzeug Mark IV.



Abbildung 29: Vibrofahrzeug im Einsatz in Wittmar.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 47




Abbildung 30: Mehrere Vibratoren im Slip-Sweep-Verfahren im Einsatz auf Feldern bei Dettum.



Abbildung 31: Vibrofahrzeug im Einsatz auf einem Feld.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse
Blatt: 48



Abbildung 32: Messwagen (links) von dem aus die Signalsteuerung der Vibratoren und deren technische Kontrolle erfolgte (rechts).

Das verwendete Slip-Sweep-Verfahren erhöht die Produktivität einer vibroseismischen Messung erheblich, da sich die Sweeps verschiedener unabhängig voneinander arbeitender Vibratoren, die im Untersuchungsgebiet verteilt sind, zeitlich überlappen können (Abbildung 33). Der Nachteil dieser Technik besteht darin, dass von der seismischen Quelle erzeugte Oberschwingungen sich mit der Grundmode des vorhergehenden Sweeps überlagern, was nach der Korrelation zu einem sogenannten harmonischen Rauschen (Harmonic Noise) führt und bei der Datenaufbereitung bzw. Datenbearbeitung ggf. zu unterdrücken ist. Für die 3D-Seismik Asse wurde bei einer Sweeplänge von 60 s die Slip-Zeit zu 26 s gewählt, damit sich die 1. Oberschwingung des Sweeps erst bei Frequenzen von 90 Hz bis über 100 Hz, die weitestgehend außerhalb des Frequenzbereichs der Nutzsignale liegen, mit der Grundmode des vorhergehenden Sweeps überlagert (Abbildung 34).

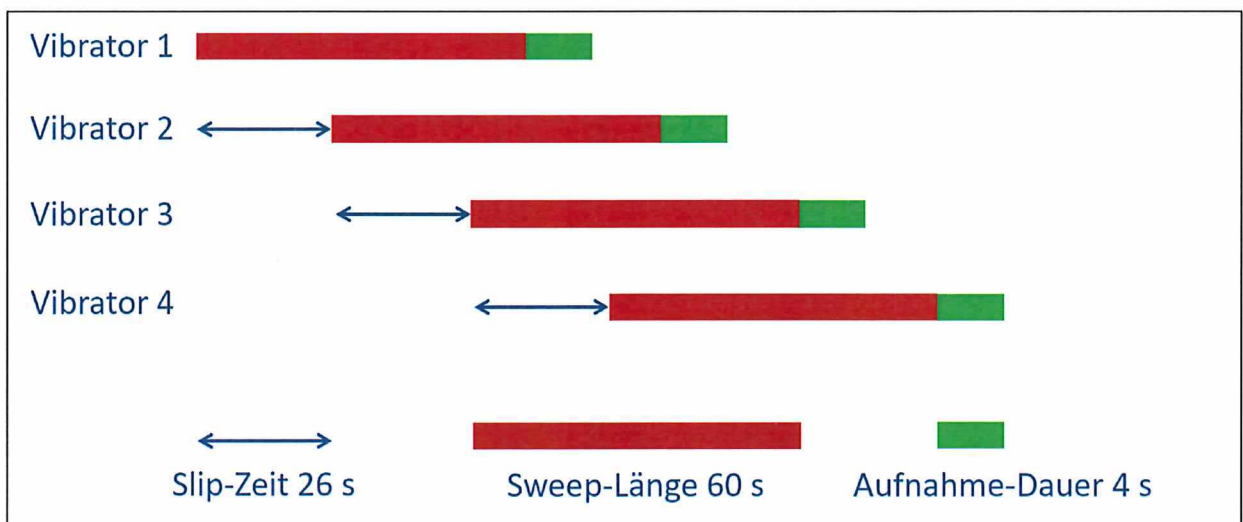



Abbildung 33: Slip-Sweep-Verfahren mit 4 Vibratoren.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 49
--	-----------

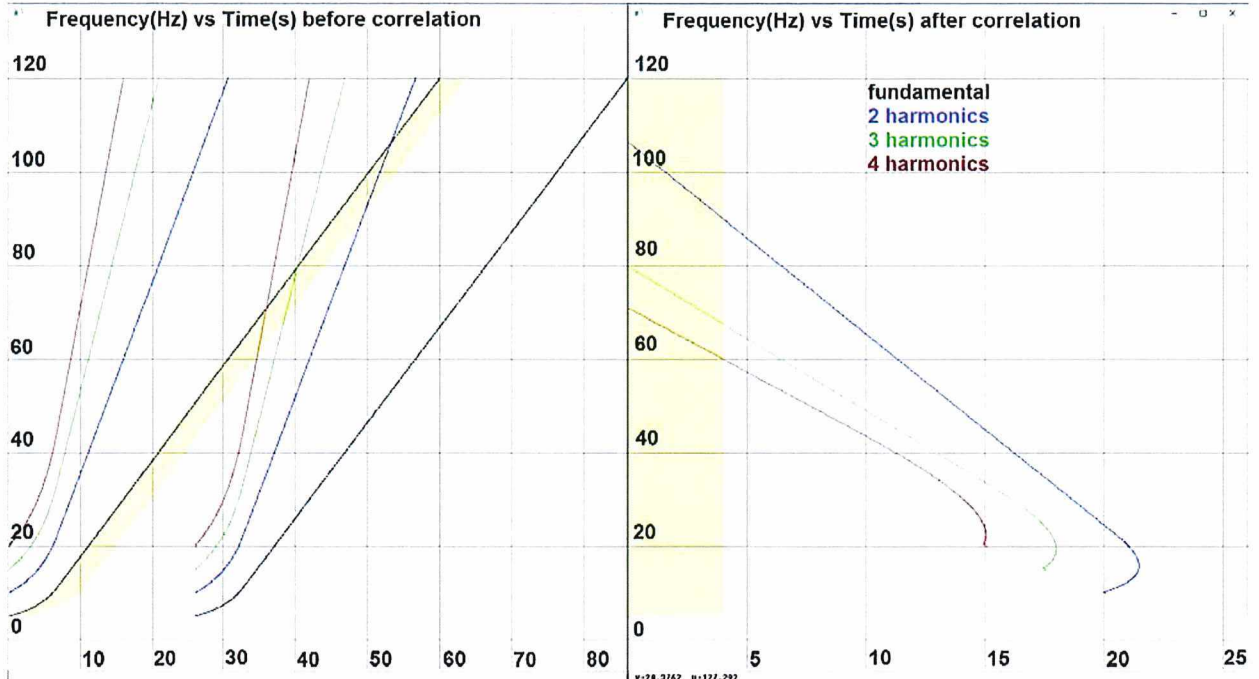



Abbildung 34: Linkes Fenster: f-t-Darstellung der Grundmode (schwarze Linie: 1. Oberschwingung, grüne Linie: 2. Oberschwingung, rote Linie: 3. Oberschwingung) zweier zeitversetzter Sweeps vor der Korrelation. Die Registrierzeit des 1. Sweeps ist Gelb hinterlegt. Rechtes Fenster: f-t-Darstellung der Grundmode des ersten Sweeps mit Registrierzeit (gelb) und Grundmode sowie höherer Moden des 2. Sweeps nach der Korrelation.

Die Kombination von kabellosen Registriereinheiten (Kap. 12.4.1) mit der Anregung seismischer Wellen im Slip-Sweep-Verfahren verkürzt die Zeit für die Erfassung seismischer Daten drastisch. Vor dem Hintergrund der zeitlichen Limitierung durch die Nutzung der land- und forstwirtschaftlichen Flächen im Messgebiet hat diese Kombination die Durchführung der 3D-Seismik Asse erst möglich gemacht.

Analog zum Konzept der Verwendung von Einzelgeophonen (Kap. 12.4.2), wurden bei der 3D-Seismik Asse Einzelvibratoren zur Erzeugung seismischer Wellen eingesetzt. Vibratorgruppen oder mit Vibratorgruppen gefahrene Muster (Pattern) würden ebenso wie Geophongruppen eine winkelabhängige Filterwirkung aufweisen und somit die Bandbreite des seismischen Signals begrenzen.

Nachteil der Erzeugung seismischer Wellen mit Einzelvibratoren und der Aufnahme mit Einzelgeophonen ist die geringe Energieabgabe bzw. der geringe Energieempfang im Vergleich zu herkömmlichen Vibratorgruppen und Geophongruppen. Für geringe Erkundungstiefen (< 1.000 m) stellt dies bei der Verwendung von Vibratoren mit Maximalkräften über 200 kN in der Regel kein Problem dar, für größere Erkundungstiefen kann dies im Wesentlichen durch einen hohen Überdeckungsgrad kompensiert werden (Kap. 10). Im vorliegenden Fall erwies sich allerdings auch schon bei den Testmessungen 2013, dass die Energie eines Einzelvibrators für eine Erkundungstiefe von ungefähr 2.000 m ausreichend ist [3].



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 50

## 12.2 Energieanregung – Sprengseismik

In den für die Vibrationsfahrzeuge nicht zugänglichen Waldgebieten wurden Sprengladungen in flachen Bohrungen zur Energieanregung eingesetzt. Insgesamt wurden für die Sprengseismik 6.426 Bohrungen im Trockenbohrverfahren abgeteuft. Davon konnten 6.364 Bohrungen mit Ladungsmengen zwischen 220 g und 1.455 g geladen, mit Bentonit verfüllt, und gezündet werden (Tabelle 11). Die Quellfähigkeit des zur Verfüllung und Abdichtung der Bohrungen verwendeten Bentonits (Handelsname Izolwell Rollers 6) wurde anhand von Proben regelmäßig, nach jeder Lieferung, am 01./02.10.2019, 18./19.10.2019, 24./25.10.2019 und am 18.11./19.11.2019 ohne Beanstandungen durch GT geprüft. Der Sprengstoff (Handelsname Seismo-PHEX) und die Zünder (Handelsname DYNASEIS) wurden durch den Sprengkoordinator von GT über die Firma Essing Sprengtechnik GmbH bezogen.

Die regulär vorgesehene Ladungsmenge war 970 g, bei der Annäherung zu bestimmten Objekten wurde sie üblicherweise auf 485 g oder 220 g reduziert (Kap. 6). Andere Ladungsmengen wurden nur dann verwendet, damit die in unterschiedlichen Stückelungen gelieferten Sprengladungen zum Ende des Projekts vollständig verbraucht wurden. 62 Bohrungen wurden nicht geladen, da sie keine Standfestigkeit aufwiesen und wieder zufielen, weil Wasser austrat und sie wieder verfüllt wurden oder weil sie vor dem Ladevorgang verlegt und noch einmal gebohrt werden mussten bzw. wegfielen. Bei einer Bohrung traten Schwierigkeiten beim Ladevorgang auf, so dass diese Ladung bereits von der Lade-Crew kontrolliert zur Zündung gebracht wurde und nicht zur seismischen Messung zählt. Außerdem wurden 15 sprengseismische Anregungspunkte aufgrund von GT-internen Qualitätskontrollen nach Abschluss der seismischen Messkampagne wegen einer fehlerhaften, nicht mehr rekonstruierbaren Geometrie oder zu starkem Noise aus dem Gesamtdatensatz entfernt. Die Bohrtiefen der für die seismischen Messungen genutzten Bohrungen lagen zwischen 4,5 m und 15 m (Tabelle 12, Abbildung 35).


Tabelle 11: Verteilung der Ladungsmengen auf die Bohrungen (Stand 30.03.2020).

Anzahl der Bohrungen	Ladungsmenge	Proz. Anteil an Gesamtmenge
89	220 g	1,40 %
2	440 g	0,03 %
738	485 g	11,60 %
26	880 g	0,41 %
1	925 g	0,02 %
5.501	970 g	86,44 %
1	1.190 g	0,02 %
6	1.455 g	0,09 %

Tabelle 12: Verteilung der Bohrtiefen.

Anzahl der Bohrungen	Bohrtiefen	Proz. Anteil an Gesamtmenge
18	4,5 m bis < 6 m	0,28 %
5648	6 m – 9 m	88,75 %
686	> 9 m – 12 m	10,78 %
12	> 12 m – 15 m	0,19 %

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 51
--	-----------

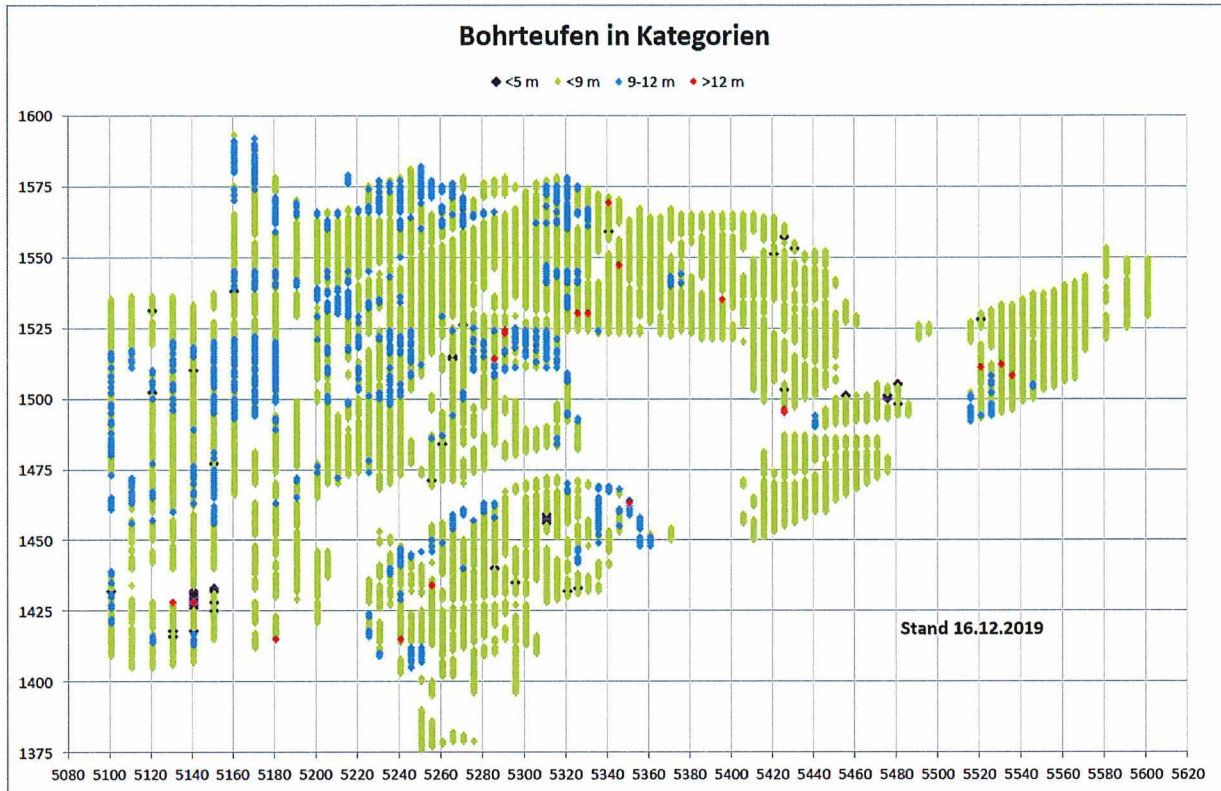


Abbildung 35: Verteilung der Bohrungen mit den jeweiligen Bohrtiefen im Raster der nummerierten Empfangs- und Anregungspunktlinien (Zusammenstellung [REDACTED]).


### 12.2.1 Bohren

Aufgrund des dichten Netzes von Rückegassen (Kap. 10) konnten 3.616 Bohrungen der 6.426 abgeteufte Bohrungen für die sprengseismischen Anregungspunkte mit einem auf einem Traktor New Holland TD5.105 montierten Bohrergerät PAT 301 (PAT) (Abbildung 36, links) gebohrt werden. 2.810 Bohrungen lagen abseits von Wegen oder Rückegassen „querfeldein“ im Asse-Wald und wurden mit einem tragbaren Bohrergerät EMCI Explo 220MPR (EMCI) (Abbildung 36, rechts) abgeteufte. Bedingt durch die Mobilität des Traktors betrug über die gesamte Bohrzeit von 63 Tagen die Leistung der PAT-Bohrergeräte im Schnitt 8,3 Bohrungen pro Tag und pro Bohrergerät. Die EMCI-Bohrergeräte mussten demontiert zu jedem Bohrpunkt getragen und dort wiederaufgebaut werden, was in einer im Vergleich geringeren Leistung von 4,7 Bohrungen pro Tag und pro Bohrergerät resultierte. Für den Betrieb beider Bohrergeräte war die Verbindung zu einem Kompressor notwendig, der den Luftdruck zum Ausblasen des Bohrkleins bereitstellte (Abbildung 37). An einem Kompressor konnten bis zu zwei Bohrergeräte angeschlossen werden. Alle Bohrungen wurden während des Bohrvorgangs anhand des ausgeblasenen Bohrkleins lithologisch aufgenommen. Unter geringer quartärer Bedeckung stehen im Wesentlichen die oberflächennah verwitterten Festgesteine des Keupers, Muschelkalks, Buntsandstein und Zechstein an (siehe auch [15]). Nach dem Abteufen der Bohrungen wurde diese mit einem Kunststoffrohr verrohrt, um bis zum später folgenden Ladevorgang ein Zufallen zu verhindern (Abbildung 16).

Die Bohrkampagne begann am 07.10.2019 im Westen des Asse-Waldes. Aufgrund des in dem Bereich vergleichsweise sehr steilen, schwierigen Geländes sowie aufgrund des geringen Vorlaufs der Kampfmittelondierungen (Kap. 7), der die räumliche Verteilung der Bohrergeräte einschränkte, blieb in den ersten acht Tagen die Bohrleistung hinter den Planungen und Erwartungen zurück. Hinzu kam, dass in den ersten Tagen sich die Arbeitsabläufe der einzelnen Bohrcrews auch erst einspielen



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	



Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE	Blatt: 52
---	-----------

mussten. Nach dem der Vorlauf der Kampfmittelsondierungen erhöht wurde, und die Bohrungen weiter nach Osten voranschritten, steigerte sich auch die tägliche Leistung der Bohrgeräte. In den ersten acht Tagen betrug die Leistung der EMCI-Bohrgeräte im Schnitt 3,9 Bohrungen pro Tag und pro Bohrgerät, die der PAT-Bohrgeräte 7,3 Bohrungen pro Tag und pro Bohrgerät. In den zweiten acht Tagen erhöhte sich dieser Schnitt auf 4,5 Bohrungen pro Tag und pro EMCI-Bohrgerät bzw. auf 8,0 Bohrungen pro Tag und pro PAT-Bohrgerät. Die Bohrleistung der EMCI-Bohrgeräte war damit dennoch zu gering, um den Anteil der Bohrungen abseits der Rückegassen vor Jahresende abzuschließen. Auf entsprechende Hinweise durch die Fremdbauüberwachung und Weisungen der BGE erhöhte GT ab dem 19.11.2019 daher die Anzahl der eingesetzten EMCI-Bohrgeräte sukzessive von 9 auf 11 und reduzierte die Anzahl der PAT-Bohrgeräte von 8 auf 6. Gleichzeitig gelang es GT ab dem 19.11.2019, auch die durchschnittliche Bohrleistung der EMCI-Bohrgeräte auf 5 und die der PAT-Bohrgeräte auf 9 Bohrungen pro Tag und pro Bohrgerät zu steigern. Die Bohrkampagne konnte damit zum 16.12.2019 erfolgreich und termingerecht vor Weihnachten 2019 abgeschlossen werden (Abbildung 38 Abbildung 39). Im Schnitt wurde für die Einzelbohrungen der Sprengseismik eine Bohrtiefe von 8,43 m erzielt.




Abbildung 36: Auf einem Traktor montiertes Bohrgerät PAT 301 (links) und portables Bohrgerät EMCI Explor 220MPR (rechts).



Abbildung 37: Kompressor Atlas Copco XAHS 186 zur Erzeugung von Druckluft für den Betrieb der Bohrgeräte.



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN
9A	5610000	SMÜ			HF	BW	0014	00


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse**

**Blatt: 53**

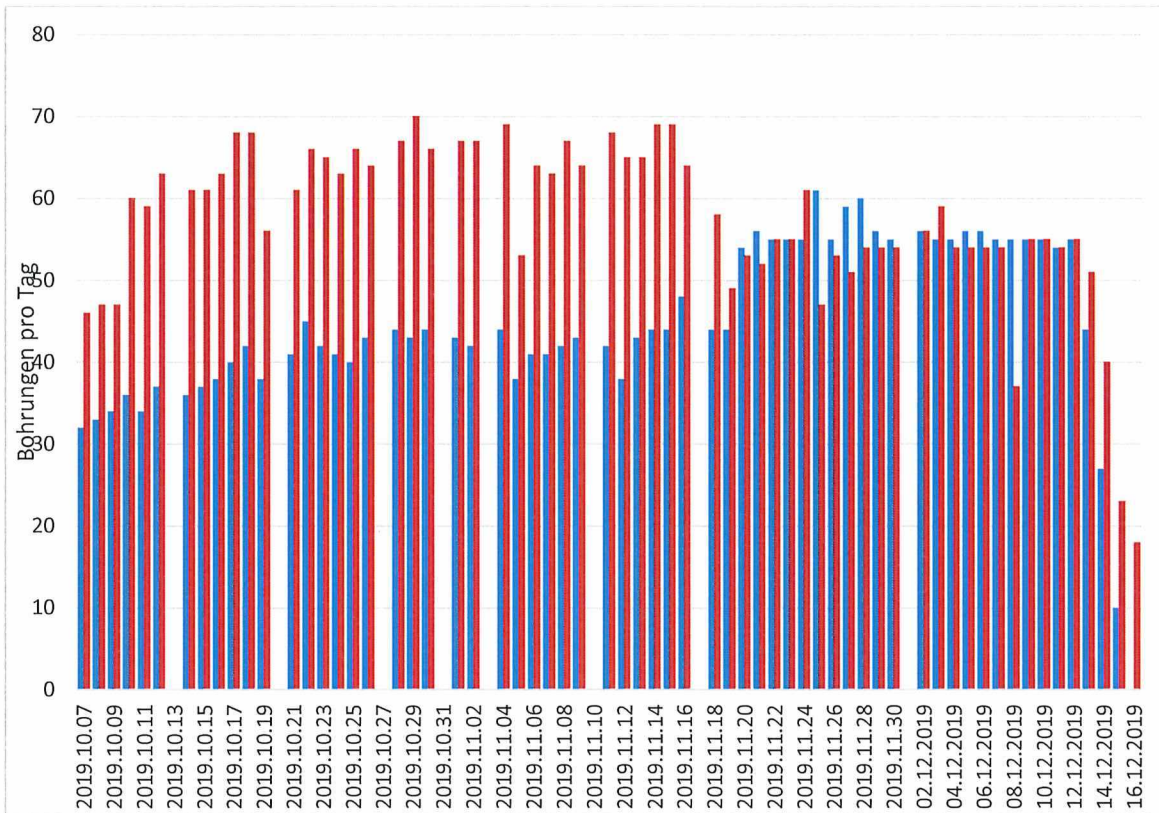


Abbildung 38: Anzahl der täglich abgeteufte Bohrungen der PAT-Bohrgeräte (orange Säule) und der EMCI-Bohrgeräte (blaue Säule).

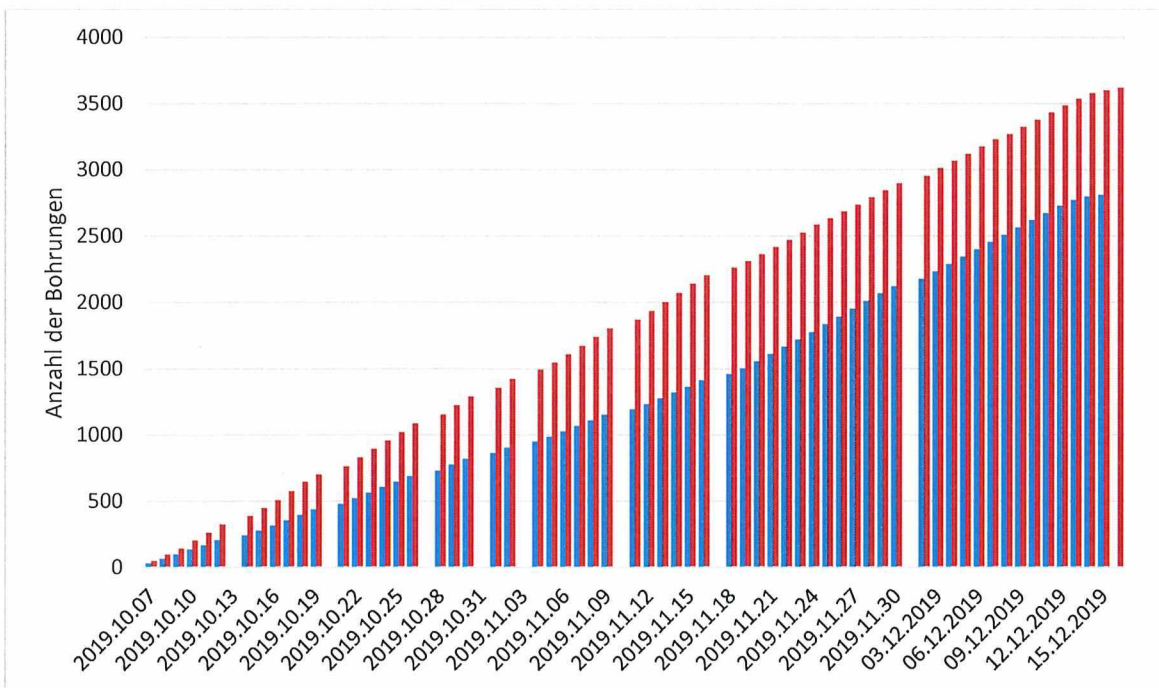



Abbildung 39: Kumulative Anzahl der abgeteufte Bohrungen der PAT-Bohrgeräte (orange Säule) und der EMCI-Bohrgeräte (blaue Säule).



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 54

## 12.2.2 Laden

Das Laden von 6.364 Bohrungen erfolgte im Zeitraum vom 08.01.2020 bis zum 13.02.2020 an insgesamt 32 Tagen, wobei in Abfolge mit dem Zünden der Ladungen berücksichtigt wurde, dass die Vorladezeit maximal 21 Tage betragen durfte. Im Schnitt wurden 199,9 Bohrungen pro Tag von insgesamt 4 Teams geladen.


Zur temporären Lagerung von Zündern und den Sprengladungen waren im Messgebiet zwei Bunker positioniert (Abbildung 40). Die Vorbereitung der Ladungen erfolgte an der jeweils zu besetzenden Bohrungen vor Ort. Im Falle einer Gesamtlademenge von 970 g, die sich auf zwei Patronen à 485 g aufteilte, wurde zuerst ein Zünder in eine entsprechende Aussparung der ersten Patrone (485 g) gesteckt. Die zweite Patrone (485 g) dann mit der ersten verschraubt und mit einem weiteren Zünder versehen. Die zusammengesetzte Ladung wurde anschließend mit einem Spreizanker verbunden, der ein späteres Herausziehen aus dem Bohrloch verhindert. Der eigentliche Ladevorgang erfolgte durch das Rohr mit entsprechende Ladestangen, wobei die Zünddrähte oben aus dem Rohr geführt werden. Nach Positionierung der Ladung wurde der elektrische Widerstand beider Zünder mit einem Ohmmeter geprüft, anschließend die Verrohrung gezogen (Abbildung 41). Danach wurde das Bohrloch mit Bentonit verfüllt (Abbildung 42, links) und gewässert, um das Quellen des Bentonit sicherzustellen, das Bohrloch damit abzudichten und eine gute Ankopplung der Ladung an den Untergrund zu gewährleisten (Vermeidung von Ausbläsern). Abschließend wurde das Loch mit einer Holzplatte abgedeckt, so dass kein Tier hineintreten oder fallen kann, und mit Erde bedeckt, damit die geladene Bohrung nicht unmittelbar sichtbar war (Abbildung 42, rechts). Von der Fremdbauüberwachung (Herr [REDACTED]) wurde eine Fotodokumentation der einzelnen Schritte des Ladevorgangs erstellt, die der BGE zur Verfügung steht.

Die mit Sprengladung besetzten Bohrungen und die Bunker wurden Tag und Nacht in regelmäßigen Abständen durch den Messtrupp bzw. einen separaten Sicherheitsdienst überwacht. Diese Überwachung wurde protokolliert.



Abbildung 40: Bunker zur temporären Lagerung von Sprengmitteln.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 55
--	-----------



Abbildung 41: Ziehen der Verrohrung.



Abbildung 42: Füllen der besetzten Bohrung mit Bentonit (links) und für die Sprengung vorbereitete, mit einer Sprengladung besetzte Bohrung (rechts).

### 12.2.3 Zünden

Das Zünden der 6.364 besetzten Bohrungen erfolgte im Zeitraum vom 17.01. bis 20.02.2020 an insgesamt 18 Tagen (Abbildung 65). Die sprengseismischen Anregungen erfolgten in der Regel mit vier gleichzeitig arbeitenden Teams in einem Zeitraum von zwei bis drei Stunden unmittelbar nach Sonnenaufgang bei Tageslicht. Davor und danach fanden vibroseismische Anregungen statt. Nur nach Beendigung der vibroseismischen Messungen und an den Tagen, an denen aufgrund der durchnässten Felder keine vibroseismischen Messungen durchgeführt werden konnten (10./11./12.02.2020 sowie am 15.02.2020), erfolgten den ganzen Tag ausschließlich sprengseismische Anregungen. Dabei betrug die maximale Leistung 675 Sprengungen pro Tag. Die personelle Besetzung der vier Sprengteams war identisch mit der Besetzung der Ladecrews, so dass nach Abschluss der vormittäglichen sprengseismischen Anregungen die Ladearbeiten fortgesetzt wurden (Kap. 12.2.2).

Für das Zünden der Sprengladungen kam das seismische Sprengsystem BoomBox III des Hersteller Seismic Source Co. zum Einsatz (Abbildung 43), das für die Zündung eine Zeitsynchronisation über GPS (mit einer Genauigkeit im Mikrosekundenbereich) verwendet. Dadurch konnte in einem



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 56
--	-----------

autonomen Modus gezündet werden, ohne dass eine Funkverbindung zu einem zentralen Aufzeichnungssystem bestand. Jedem Zündgerät wurden individuelle Zeitfenster zugewiesen, um zu verhindern, dass mehrere Ladungen gleichzeitig gezündet wurden. Durch ein Geophon, das wenige Zentimeter neben der Bohrung gesteckt war, wurden die sogenannten Aufzeiten bei der Sprengung gemessen. Alle Schussinformationen wurden zum späteren Herunterladen und Analysieren im Gerät gespeichert.




Abbildung 43: Sprengteam mit BoomBox III (gelbes Gerät im Tornister) im Einsatz.

## 12.3 Qualitätskontrolle - Energieanregung

### 12.3.1 Hardwire Similarity Tests

Während der seismischen Messungen wurde wöchentlich mit den fünf eingesetzten Vibratoren ein Hardwire Similarity Test durchgeführt, der für alle Vibratoren eine gute Synchronität der Sweeps und die richtige Polarität lieferte. Die Grafik 79 und Grafik 80 im Anhang 1 zeigen exemplarisch die Ergebnisse vom 20.01.2020 und 16.02.2020 der durchgeführten Multi-Vibratoren-Analyse. Die Phase, d.h. die Phasenverschiebung, blieb für alle Frequenzen immer unter dem akzeptablen Wert von 5°. Ebenso überschreitet die Distortion (Verzerrung) in keinem Fall den tolerablen Spitzenwert von 35 % und blieb im gesamten Verlauf des Sweeps unter 25 %. Betrachtet man die ebenfalls gemessenen Start Time Errors (Tabelle 13), so zeigt sich, dass die Werte im Lauf der Messungen nur sehr geringen Schwankungen unterlagen. Dabei lagen alle Werte immer unterhalb der vorgegebenen Toleranz von 50 µs.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AAANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE	Blatt: 57
---	-----------

Tabelle 13: Vergleich der bei den Hardwire Similarity Tests ermittelten Start Time Errors.

Vibrator	Start Time Error				
	20.01.2020	26.01.2020	02.02.2020	09.02.2020	16.02.2020
Nr. 1	38,8 µs	39,1 µs	40,8 µs	36,8 µs	38,1 µs
Nr. 2	37,2 µs	39,6 µs	35,4 µs	33,1 µs	38,5 µs
Nr. 3	40,3 µs	38,1 µs	39,2 µs	38,9 µs	41,1 µs
Nr. 4	41,7 µs	-	35,5 µs	35,7 µs	38,4 µs
Nr. 5	41,7 µs	43,4 µs	41,3 µs	38,8 µs	43,5 µs

### 12.3.2 Radio Similarity Tests

Abhängig von der täglichen Messzeit wurden drei- bis sechsmal täglich Radio Similarity Tests für jeden eingesetzten Vibrator durchgeführt. Die Grafik 81, Grafik 82, Grafik 83, Grafik 84 und Grafik 85 im Anhang 1 zeigen exemplarisch die Ergebnisse des Radio Similarity Tests der Vibratoren Nr. 1, 2, 3 und 5 vom 25.01.2020 um 07.45 Uhr, 13.00 Uhr, 16.00 Uhr, 18.15 Uhr und 21.30 Uhr. Zu den unterschiedlichen Messzeiten (und den unterschiedlichen Messorten) ergaben sich für die Vibratoren zwar leicht unterschiedliche Verläufe von Phase, Distortion (Verzerrung) und Force (Kraft) gegenüber der Signallänge von 60 s, die Abweichungen der Phase blieb aber immer unter 5° und auch die Force wies bis auf wenige Ausnahmen, in denen die Distortion sehr hohe Werte erreichte, einen gleichmäßigen Verlauf auf. Die Distortion lag im Verlauf des Sweeps überwiegend unter akzeptablen 25 %, erreichte aber sehr häufig zwischen 15 s und 25 s hohe Werte deutlich über 35 %. Bei reduzierter Kraft und bei einer Test-Position des Vibrators auf einer befestigten Fläche verringerten sich auch diese Extremwerte.

### 12.3.3 Post Sweep Services

Die üblichen Toleranzen für die Qualitätskontrolle der Vibratoren bei 70 % der Maximalkraft sind:


- Max Peak Phase (maximaler Phasenfehler) < 15°
- Min Peak Force (minimale Kraft) > 65 %
- Max Peak Distortion (maximale Signalverzerrung) < 35 %
- Average Phase (mittlerer Phasenfehler) < 5°
- Average Force (mittlere Kraft) > 65 %
- Average Distortion (mittlere Signalverzerrung) < 25 %

Die zu kontrollierenden Werte wurden aus den VAPS-Records des digitalen Kontrollsystem VE464 der Vibratoren zusammengestellt, wobei diese Records alle täglich ausgelösten Sweeps beinhalten. Also auch Test-Sweeps, die Signale der Radio Similarity Tests oder abgebrochene Sweeps.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen exemplarisch die Average Distortion (Abbildung 44), die Peak Distortion (Abbildung 45), die Average Phase (Abbildung 46) und die Peak Phase (Abbildung 47) aller Sweeps der am 22.01.2020 eingesetzten Vibratoren. Die Peak Distortion der überwiegend auf Feldern arbeitenden Vibrofahrzeuge ist sehr hoch und liegt meist über dem üblichen Wert von 35 %. Da die Spitzenwerte (Peak Distortion, Peak Phase) stark von der Oberfläche (asphaltierte Straße, Feldweg, Feld), dem oberflächennahen Untergrund (Straßenunterbau, bindiger Boden, nicht-bindiger Boden,...) und der Ankopplung der Baseplate an den Boden abhängen, war anzunehmen, dass die hohe Werte der Peak Distortion untergrundbedingt sind. Insbesondere auch weil die hohen Werte meist nur in einem begrenzten Zeitbereich des Sweeps zwischen 15 s und 25 s auftraten und bei einer Anregung auf Asphalt sich deutlich niedrigere Werte ergaben. Ein technischer Defekt eines



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE	Blatt: 58
---	-----------

einzelnen Vibrators war auszuschließen, da alle Vibratoren das gleiche Verhalten zeigten und alle anderen Kontrollwerte, wie Average Distortion, Peak Phase und Average Phase, im normalen Bereich lagen.

Die Grafiken 86 bis 89 im Anhang 1 fassen die Ergebnisse der täglichen Qualitätskontrolle der Vibratoren über die gesamte Messzeit zusammen. Eine Average Distortion kleiner als 25 % wurde im Mittel bei über 90 % aller Sweeps eingehalten (Grafik 86), eine Peak Distortion kleiner als 40 % jedoch nur bei weniger als 70 % aller Sweeps (Grafik 87). Eine Average Phase kleiner als 5° wurde im Mittel von jedem Sweep eingehalten (Grafik 88), selbst Werte der Peak Phase über 5° traten nur in Ausnahmefällen auf (Grafik 89). Auffällig, aber nicht repräsentativ, war der 30.01.2020 mit einem Anteil von 50 % bei dem die Peak Phase größer als 5° war (Grafik 89). An dem Tag wurden allerdings nur 35 vibroseismische Anregungspunkte mit zwei Vibrofahrzeugen gemessen, wobei die Messungen wegen technischer Probleme auch noch vorzeitig beendet wurden.

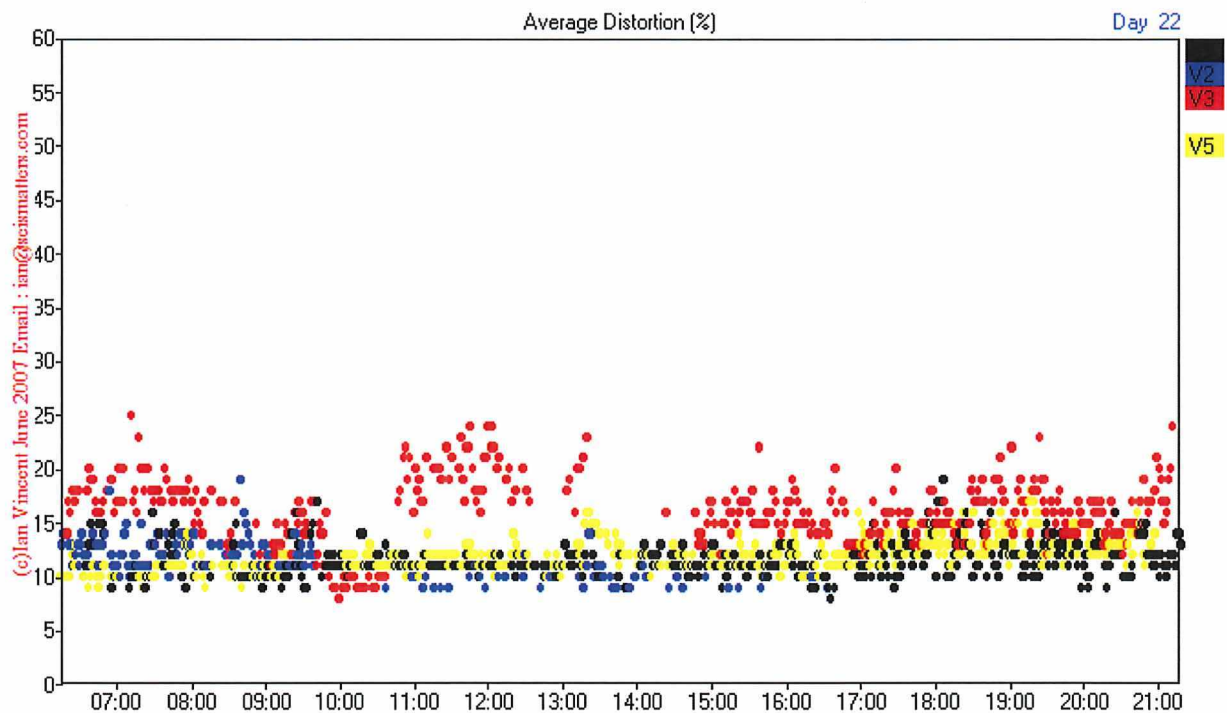



Abbildung 44: Average Distortion aller Sweeps der am 22.01.2020 eingesetzten vier Vibratoren (schwarze, blaue, rote, gelbe Punkte).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse
Blatt: 59

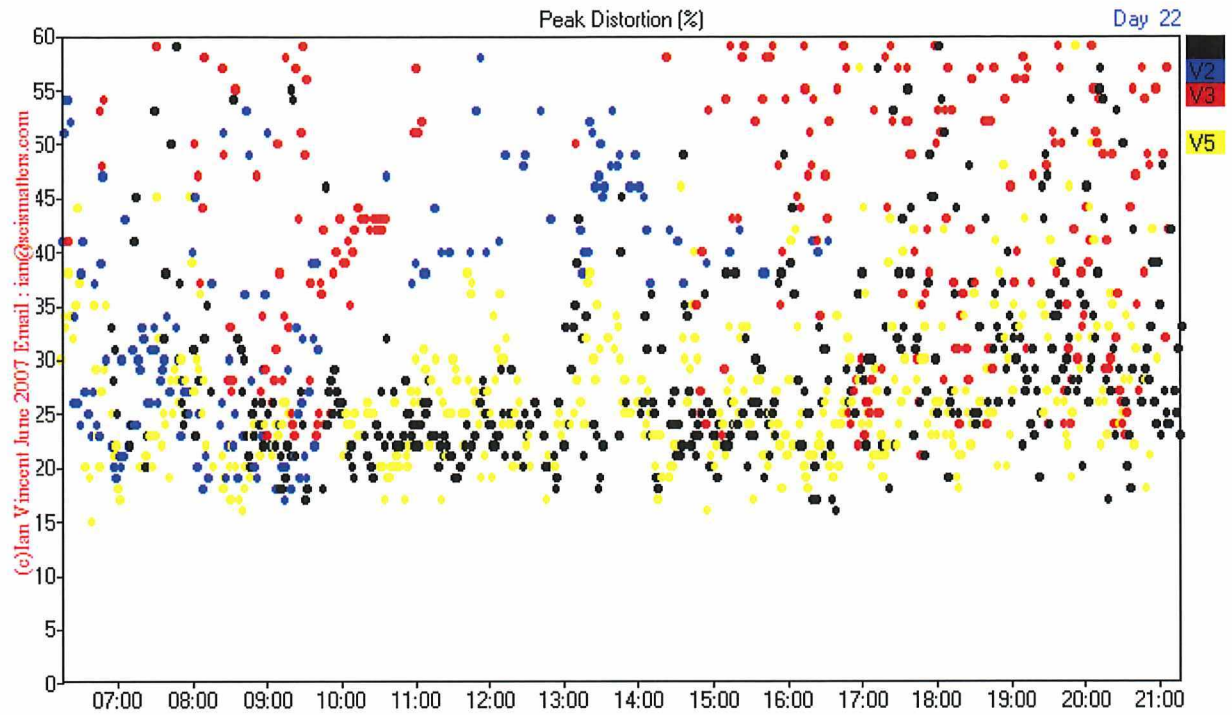


Abbildung 45: Peak Distortion aller Sweeps der am 22.01.2020 eingesetzten vier Vibratoren (schwarze, blaue, rote, gelbe Punkte).

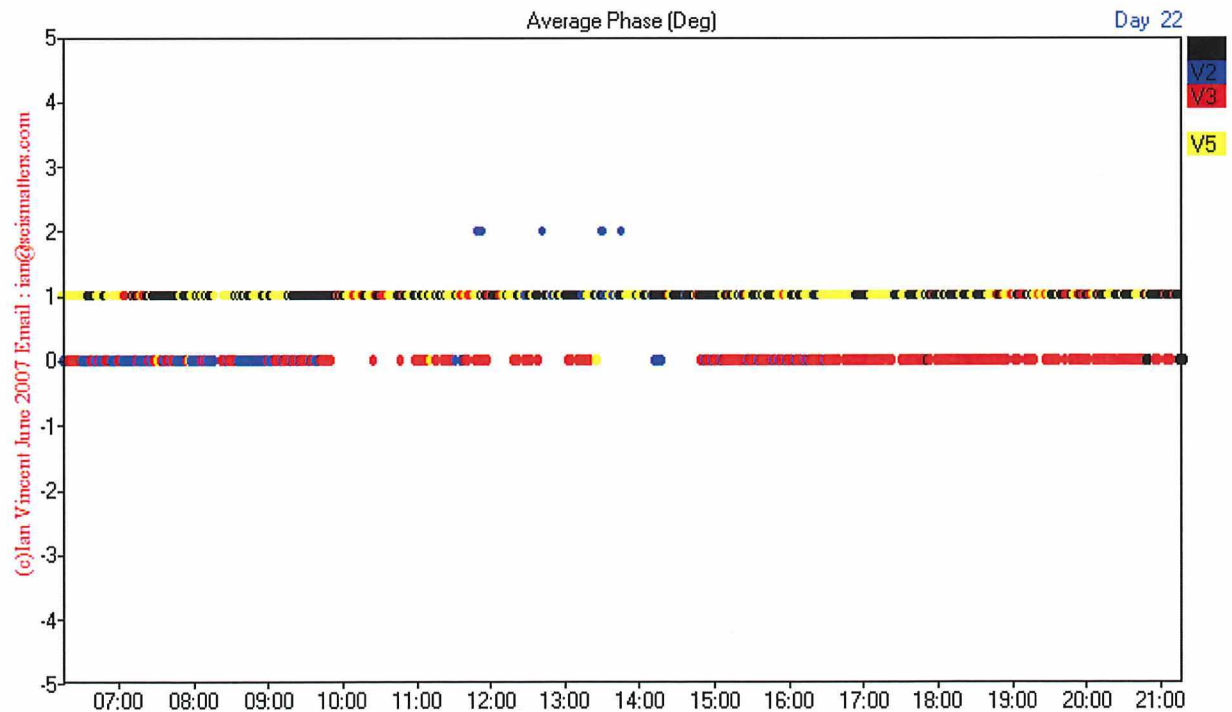



Abbildung 46: Average Phase aller Sweeps der am 22.01.2020 eingesetzten vier Vibratoren (schwarze, blaue, rote, gelbe Punkte).



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 60
--	-----------

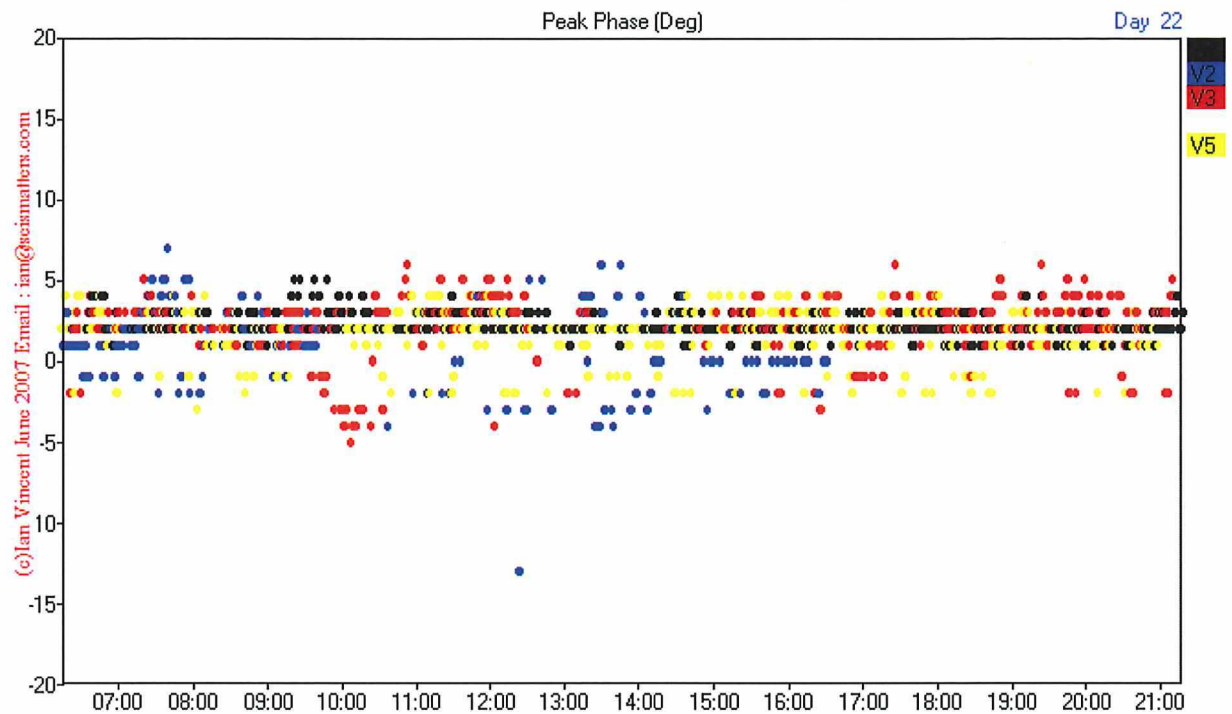


Abbildung 47: Peak Phase aller Sweeps der am 22.01.2020 eingesetzten vier Vibratoren (schwarze, blaue, rote, gelbe Punkte).

## 12.4 Energieaufzeichnung

Für die Energieaufzeichnung bei der 3D-Seismik Asse wurden kabellose Registriereinheiten mit eingebautem Einzelgeophon und einer Eigenfrequenz von 5 Hz eingesetzt (Abbildung 48). Im Vergleich zu herkömmlichen kabelgebundenen Geophonen ermöglichen kabellose Registriereinheiten eine größere Flexibilität bei der Platzierung der Geophone und verkürzen die Messdauer. Das Ziel der Verwendung von Einzelgeophonen ist die Aufzeichnung eines möglichst hochfrequenten und gleichzeitig breitbandigen seismischen Signals ohne azimuthale Filterwirkung.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 61
--	-----------

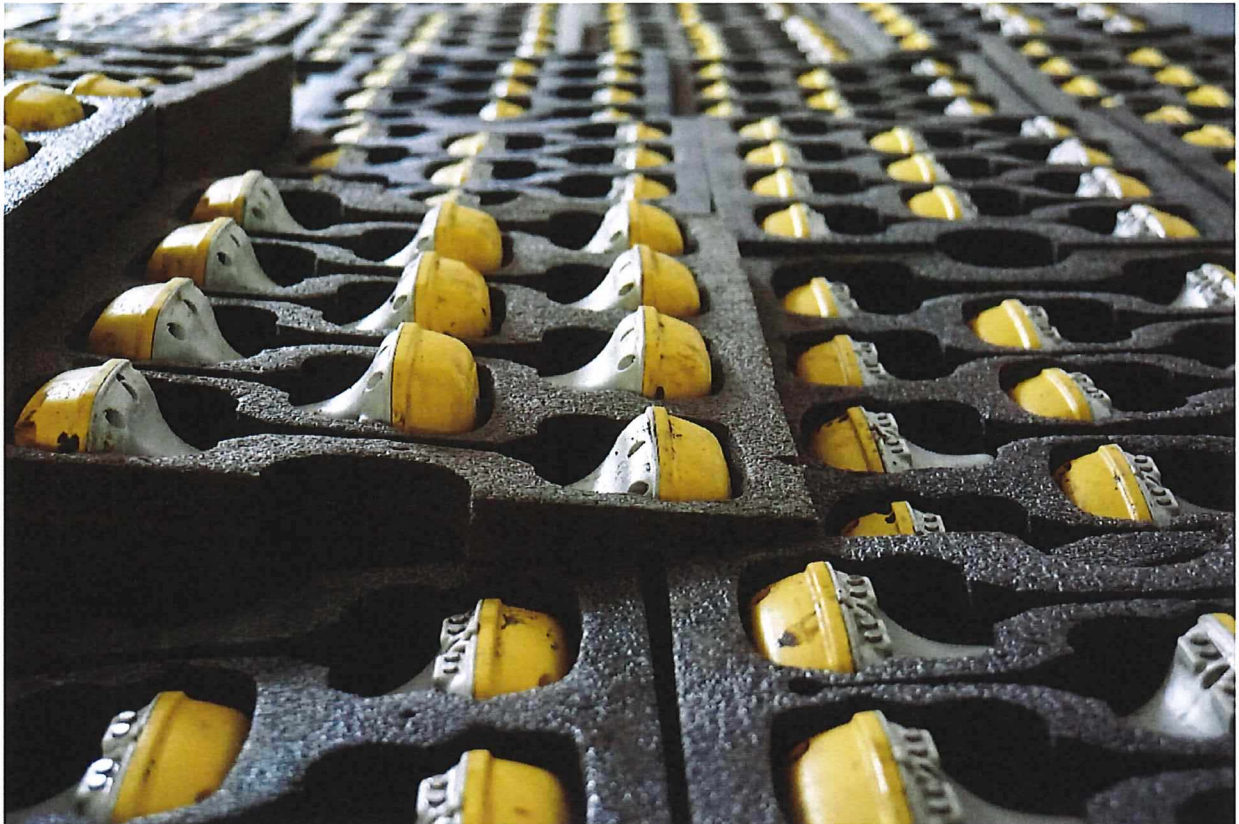


Abbildung 48: Zum Transport vorbereitete kabellose Registriereinheiten Innoseis Tremornet mit eingebautem Einzelgeophon.

#### 12.4.1 Kabellose Registriereinheiten

In den letzten Jahren haben die Speicherkapazität und die Laufzeit der internen Akkus der kabellosen Registriereinheiten stark zugenommen, so dass die seismischen Daten mittlerweile über mehrere Wochen ohne Unterbrechung aufgezeichnet werden können. Die hier von GT verwendeten Registriereinheiten Innoseis Tremornet sind um das Jahr 2016 auf den Markt gekommen und finden seit 2018 eine weitere Verbreitung bei seismischen Messkampagnen. Sie verfügen über eine Speicherkapazität von 8 bzw. 16 GigaByte und weisen eine Akkulaufzeit von mehr als 50 Tagen bei dauerhaftem Betrieb (24 Stunden pro Tag, 7 Tage die Woche) auf. Das Risiko von Datenverlusten durch technische Defekte ist nach Angaben des Herstellers sehr gering (Ausfallrate < 0,1 %). Natürlich bleibt das Risiko eines vollständigen Datenverlusts durch den Diebstahl kabelloser Registriereinheiten bestehen (bevor die Messdaten von den Registriereinheiten heruntergeladen werden, existiert keine Datensicherung).

Das Herunterladen der seismischen Daten von den kabellosen Registriereinheiten erfolgte üblicherweise beim Austausch der Registriereinheiten, wenn dies aufgrund des Endes der Akkulaufzeit oder wegen eines Defekts oder beim Versetzen der Registriereinheiten notwendig wurde, und natürlich am Ende der Messung. In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass je nach gewählter Dauer der autonomen Registrierung, dies bedeutet, dass es in diesem Zeitraum nahezu keine Möglichkeit gibt, die seismischen Messdaten einzusehen oder zu kontrollieren. Um dennoch eine Qualitätskontrolle der seismischen Daten zu ermöglichen, wurde bei der 3D-Seismik Asse eine separate Kontrolllinie mit 40 kabellosen Registriereinheiten aufgebaut, die an den ersten 10 Messtagen täglich ausgelesen und deren Messdaten überprüft wurden (Kap. 12.4.3).



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 62

Der Status einer Registriereinheit (z.B. noch vorhandene Speicherkapazität oder Akkulaufzeit) und des Geophons (z.B. Neigung, Noise) kann überprüft werden, wenn das System mit einer entsprechenden Wifi- oder Bluetooth-Schnittstelle ausgestattet ist. Dieser Test ist jedoch relativ zeitaufwendig und kann deshalb nicht jeden Tag für alle Sensoren durchgeführt werden. Bei der 3D-Seismik Asse wurde täglich mindestens ein Drittel der Auslage von ca. 40.000 Registriereinheiten überprüft (Kap. 12.4.3).


Im Vergleich zu kabelgebundenen Messsystemen ermöglichen die kabellosen seismischen Registriereinheiten eine höhere Produktivität. Die Datenübertragungszeiten, die Rechen- und Speicherzeiten sowie die Zeiten für Instrumenten- und Geophontests (außer einem täglichen Selbsttest) fallen weg. Die größte Produktivitätssteigerung ergibt sich jedoch daraus, dass die permanente gleichzeitige Verbindung aller Geophone mit einer zentralen Registrierapparatur nicht mehr aufrechterhalten werden muss und damit die Prüfung (Line Check) und der Austausch von Kabeln während der Messung nicht mehr notwendig ist. Unter Berücksichtigung der gleichen Aufzeichnungsparameter (d.h. gleicher Anregungspunktabstand, gleiche Anzahl von Vibratoren, gleiche Sweeplänge und gleiche Anzahl von Sweeps) kann ein kabelloses Messsystem die Produktivität im Vergleich zu kabelgebundenen Messsystemen etwa verdoppeln.

## 12.4.2 Einzelgeophone

Für reflexionsseismische Untersuchungen mit größeren Erkundungstiefen (> 1.000 m) ist die Verwendung von Geophongruppen mit seriell und parallel geschalteten Geophonen eine anerkannte Regel der Technik. Solche Geophongruppen sind in der Lage, die Dynamik der Signalaufzeichnung an einem Empfängerpunkt zu verbessern, da sie inkohärentes Umgebungsrauschen reduzieren. Zur gezielten Rauschunterdrückung werden Geophongruppen meist in einem bestimmten Mustern (Array) ausgelegt, wobei die Größe des Array und die Anzahl der Geophone so berechnet sein sollten, dass die Wellenlänge von Oberflächenwellen oder anderen kohärenten Störsignalen so abgetastet wird, dass eine destruktive Interferenz entsteht. Nachteile der Geophongruppen können Signalverzerrungen aufgrund von Höhenunterschieden innerhalb des Arrays (Intra-Array-Statik) und ein stark winkelabhängiger Filtereffekt sein [16].

Aufgrund der technischen Entwicklung der seismischen Messapparaturen in den letzten Jahren ist es nun möglich, eine hohe Anzahl von Kanälen (> 10.000) zu verwenden, was den Einsatz von Einzelgeophonen für die Erfassung seismischer Daten möglich macht. Einzelgeophone weisen nicht die Nachteile von Geophongruppen (Winkelabhängigkeit, Intra-Array-Statik) auf. Allerdings sind bei der Verwendung von Einzelgeophonen im Vergleich zu Geophongruppen kleinere Abstände zwischen den Empfangspunkten notwendig, um eine ausreichende räumliche Abtastung des Wellenfeldes zu gewährleisten und entsprechende Filter (z.B. zur Unterdrückung von Oberflächenwellen) bei der Datenverarbeitung anwenden zu können, was bei der 3D-Seismik Asse mit Punktabständen von 10 m gewährleistet ist. Das Hauptziel der Verwendung von Einzelgeophonen ist die Aufzeichnung eines möglichst hochfrequenten und breitbandigen seismischen Signals, da dies auch die Auflösung der seismischen Abbildung verbessert.

Für die 3D-Seismik Asse standen vor Ort über 40.000 kabellose Registriereinheiten vom Typ Innoseis Tremonet mit eingebauten hochempfindlichen Einzelgeophonen von Typ PS-GR5 (5 Hz Eigenfrequenz) zur Verfügung. Von 40.490 Registriereinheiten lagen Testberichte vor; im Feld stichprobenhaft notierte Seriennummern fanden sich in den Listen der Tests ausnahmslos wieder. Die Testberichte beinhalteten für fünf verschiedene Vorverstärkerstufen (0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB und 24 dB) die Ergebnisse für den Faktor der Verstärkung, den Dynamikbereich und den Gleichstrom-Offset. Darüber hinaus sind die Geophonteste zur Eigenfrequenz, zum Dämpfungswiderstand, zur Empfindlichkeit, zur Dämpfung, zur Verzerrung, zum Noise und zur Impedanz dokumentiert. Die Testberichte wurden von der Fremdbauüberwachung ( ) ausgewertet. Die Tabelle 14 und Tabelle 15 zeigen jeweils den Mittelwert, die Streuung sowie die

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 63

Minimal- als auch die Maximalwerte aller Registriereinheiten bzw. Geophone im Vergleich zu den vom Hersteller vorgegebenen Sollwerten. Die Registriereinheiten hielten alle Sollwerte ein (Tabelle 14), was ein ausgezeichnetes Ergebnis ist. Bei den Testergebnissen der Geophone lagen allerdings einige der Geophone außerhalb der Sollwerte (Tabelle 15). Hinzu kamen mehrere Extremwerte (z.B. offener Widerstand), die auf eine fehlerhafte Durchführung des Tests deuten. Hierbei ist anzumerken, dass die Tests ohnehin bei vergleichsweise geringen Temperaturen zwischen ungefähr -3°C und +9°C durchgeführt wurden, während sich die Herstellerangaben auf eine Temperatur von 20°C beziehen. Nur 251 Geophone waren in den Testberichten von GT als „failed“ gekennzeichnet, obwohl eine deutlich höhere Anzahl von den Sollwerten abwich (Tabelle 16). Die Tabelle 16 zählt für die einzelnen getesteten Parameter die Anzahl der von den Sollwerten abweichenden Geophone auf. Da einzelne Geophone in mehreren Parametern abwichen, ergab sich ungefähr eine Gesamtanzahl von 4,5 % der 40.490 getesteten Geophone, die nicht den technischen Spezifikationen des Herstellers entsprachen, was ein gerade noch akzeptables Ergebnis darstellt.

Tabelle 14: Zusammenstellung der Testergebnisse der Registriereinheiten Innsoeis Tremornet (Zusammenstellung                     ).

	Mittelwert	Streuung	Minimum	Maximum	Sollwert
<b>Gain Faktor</b>					
VV 0 dB	1,020	0,002	1,016	1,061	0,87 bis 1,17
VV 6 dB	1,989	0,005	1,894	2,069	1,80 bis 2,20
VV 12 dB	4,002	0,014	3,954	4,163	3,68 bis 4,28
VV 18 dB	7,857	0,030	7,765	8,170	7,32 bis 8,30
VV 24 dB	15,867	0,064	15,521	16,514	14,85 bis 16,62
<b>Dynamikbereich in dB</b>					
VV 0 dB	127,82	0,64	122,4	129,7	121,0 bis 137,0
VV 6 dB	127,65	0,70	121,2	129,4	121,0 bis 137,0
VV 12 dB	127,50	0,65	121,8	129,7	120,7 bis 136,7
VV 18 dB	126,80	0,62	121,9	128,5	119,8 bis 135,8
VV 24 dB	124,71	0,65	119,5	128,4	117,4 bis 133,4
<b>Offset in µV</b>					
VV 0 dB	-16,65	46,49	-241	171	±300
VV 6 dB	-20,47	87,07	-543	326	±600
VV 12 dB	-28,04	173,09	-806	646	±1200
VV 18 dB	-42,96	339,09	-1546	1260	±2400
VV 24 dB	-80,01	684,62	-3066	2536	±4800






Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 64

Tabelle 15: Zusammenstellung der Testergebnisse der in die Registriereinheiten Innsoeis Tremornet eingebauten Geophone (Zusammenstellung ).

	Mittelwert	Streuung	Minimum	Maximum	Sollwert	Anzahl Extremwerte
Eigenfrequenz in Hz	5,04	0,10	4,55	10,78	5,0±0,25	486
Widerstand in Ω	1874	20	1727	2031	1850±92	84
Empfindlichkeit in V/m/s	73,1	1,22	62,43	86,77	75±4	491
Dämpfung in %	72,98	1,53	62	86	73,0±3,5	498
Verzerrung in %	6,672	10,554	1,479	472,322	ohne	677
Unruhe in µV	17,54	43,78	1	941	<50	53
Impedanz in Ω	6140	136	4103	8208	6200	13

Tabelle 16: Auswertung der Testergebnisse der in die Registriereinheiten Innsoeis Tremornet eingebauten Geophone (Zusammenstellung ).

	Unterhalb der Toleranz	Oberhalb der Toleranz	Gesamt außerhalb der Toleranz	Gesamt inkl. der vor der Analyse gelöschten Extremwerte
Eigenfrequenz	489	164	653	1139
Widerstand	3	221	224	308
Empfindlichkeit	595	170	765	1256
Dämpfung	1032	197	1229	1727
Verzerrung	-	677	171	848
Unruhe	-	1408	1408	1461

### 12.4.3 Qualitätskontrolle - Energieaufzeichnung

Die im Feld eingesetzten Registriereinheiten registrierten ab dem 17.01.2020 täglich von 06.00 Uhr bis 22.00 Uhr. In der täglichen Einschaltphase führten die Registriereinheiten einen Selbsttest des Instruments zur Verstärkung, zum Dynamikbereich und zum DC-Offset sowie einen Test der Geophone zu Eigenfrequenz, Dämpfungswiderstand, Impedanz, Empfindlichkeit, Verzerrung und Dämpfung durch. Dies führte während der Messzeit zu insgesamt 1.208.971 Datensätzen. Die Ergebnisse der täglichen Selbstteste sind in der Tabelle 17 zusammengefasst. Auch hier zeigten die Registriereinheiten (Instrument) wieder ein sehr gutes Ergebnis mit nur wenigen Abweichungen von den Sollwerten, während bei den Geophonen insbesondere bei der Verzerrung (ca. 4,6 % aller Geophone), bei der Empfindlichkeit (ca. 2,3 %) und der Impedanz (ca. 1 %) Abweichungen von den Sollwerten auftraten. Insgesamt sind dies aber gute Werte, die keinen negativen Einfluss auf die Messergebnisse erwarten lassen. Bei ungefähr 1,1 % der Geophone wurde während des Selbsttests ein sehr hoher Noise-Pegel registriert. Ob dies nur temporär beim Selbsttest auftrat (Wind, Straßenverkehr) oder über einen längeren Zeitraum, lässt sich anhand dieser Daten nicht feststellen. An einigen Tagen war im Messgebiet ein kräftiger, böiger Wind zu verzeichnen (Kap. 12.5).


Neben diesem täglichen Selbsttest wurde täglich mindestens ein Drittel der ausgelegten Registriereinheiten von GT-Mitarbeitern abgegangen und von Handy aus mit einer App geprüft. Dabei wurden zum jeweiligen Zeitpunkt der Prüfung der Noise, der Dämpfungswiderstand, die

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 65
--	-----------


Neigung des Geophons, der noch vorhandene Speicherplatz, der Ladezustand des Akkus und der durchgeführte Selbsttest über eine Bluetooth-Schnittstelle ausgelesen und registriert. Defekte Registriereinheiten wurden sofort ausgetauscht und eine zu große Neigung ( $> 5^\circ$ ) korrigiert. In einigen Fällen wurden Registriereinheiten in der Nacht von Wildschweinen ausgegraben – auch dies wurde sofort behoben und die Registriereinheiten wiedereingesetzt. Die Abbildung 49 und Abbildung 50 zeigen die Anzahl der geprüften Registriereinheiten sowie die Anzahl der täglich ausgetauschten, korrigierten oder wiedereingesetzten Geophone. Die täglichen Kontrollen konzentrierten sich zum einen auf den Asse-Wald (Abbildung 51), da dort regelmäßig die Registriereinheiten von Wildschweinen ausgegraben wurden. Zum anderen wurde darauf geachtet, dass alle Registriereinheiten in drei Tagen mindestens einmal kontrolliert wurden. Die Ergebnisse zeigen dass, bis auf den ersten Tag der Messung, immer weniger als 1 % der Auslage von defekten, schräg stehenden oder ausgegrabenen Registriereinheiten betroffen war, was ein ausgezeichnetes Ergebnis ist (Abbildung 50). Auch wenn die Anzahl der täglich zu behebbenden Mängel gering erscheint, ist die regelmäßige Kontrolle aber notwendig, da sich sonst die Anzahl der ausfallenden Registriereinheiten mit der Zeit schnell aufsummiert. Weil mit der täglichen Kontrolle auch der Ladezustand der Akkus sowie der noch verbleibende Speicherplatz geprüft und generell das Vorhandensein der Registriereinheiten festgestellt wurde, war diese Kontrolle unverzichtbar, um einem Datenverlust vorzubeugen.

Tabelle 17: Auswertung der täglichen Selbsttests der Registriereinheiten Innoeis Tremornet (Zusammenstellung ).

Parameter	Toleranzwert laut Hersteller	Anzahl Abweichungen nach unten	Anzahl Abweichungen nach oben	Prozentzahl aller Datensätze
<b>Instrument</b>				
Verstärkung	$3,98 \pm 0,3$	123	0	0,010
Dynamikbereich	$120,7 \pm 8,0$ dB	211	0	0,017
Offset	$\pm 1.200$ $\mu$ V	0	1	0,000
<b>Geophon</b>				
Eigenfrequenz	$5,0 \pm 0,25$ Hz	2.287	5.641	0,66
Widerstand	$1.850 \pm 92$ $\Omega$	316	6.895	0,60
Empfindlichkeit	$76 \pm 4$ V/m/s	6.330	6.276	1,04
Dämpfung	$73 \pm 3,5$ %	20.914	7.053	2,31
Unruhe	$>1.250$ $\mu$ V	-	4.056	0,34
	$>2.500$ $\mu$ V	-	3.406	0,28
	$>5.000$ $\mu$ V	-	2.843	0,24
	$>10.000$ $\mu$ V	-	2.859	0,24
Verzerrung	$>10$ %	-	55.675	4,61
Impedanz	$6.200 \Omega \pm 7,5$ %	1.973	7.517	0,79



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 66
--	-----------

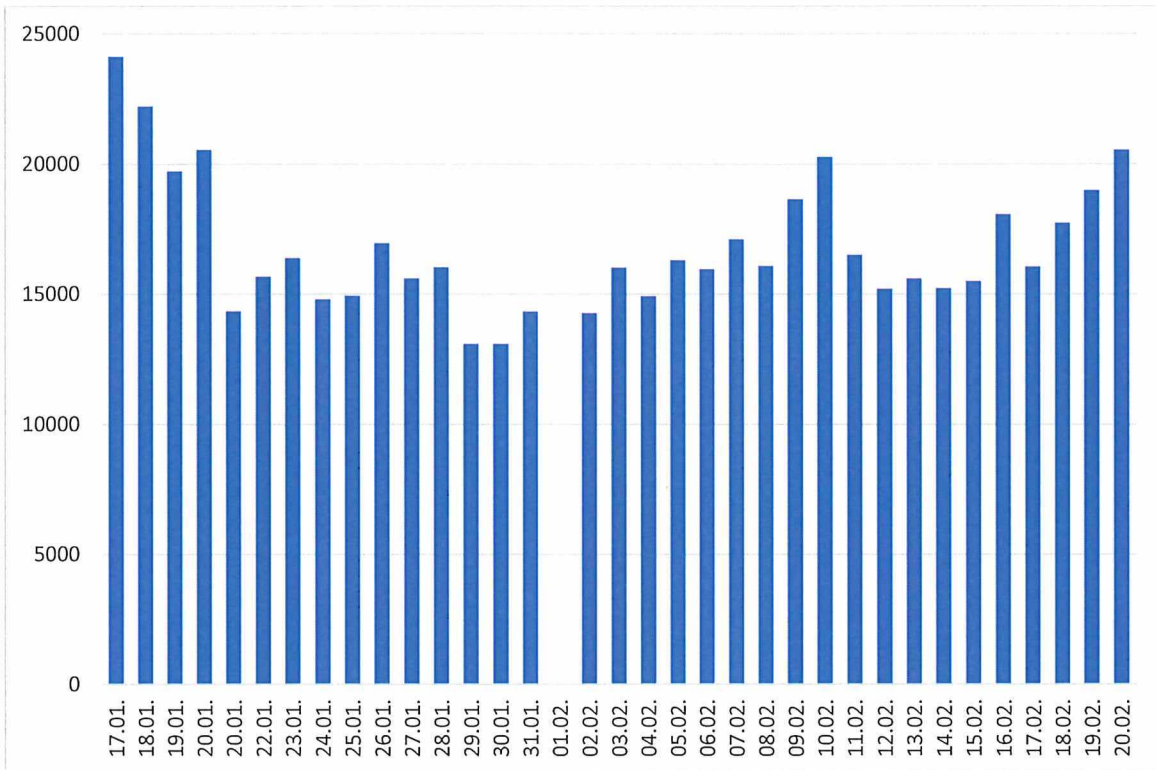


Abbildung 49: Anzahl der täglich per App kontrollierten Registriereinheiten/Geophone.

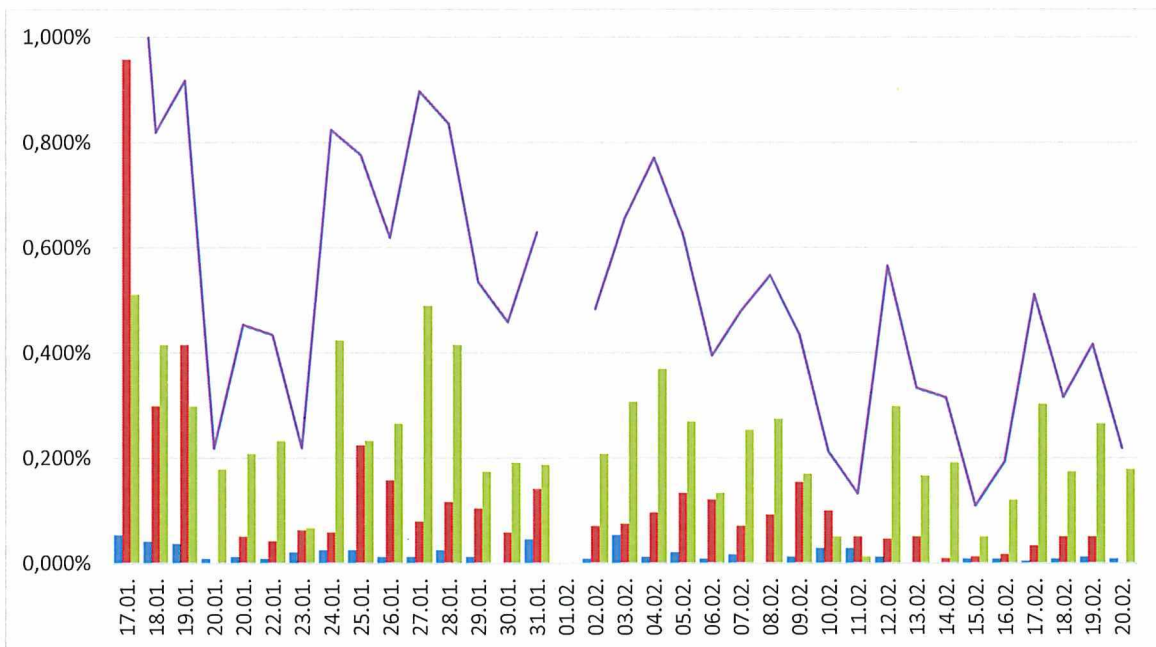



Abbildung 50: Prozentuale Anzahl der aufgrund eines Defektes ausgetauschten (blaue Säule), aufgrund zu starker Neigung (orange Säule) oder wiedereingesetzter (grüne Säule) Registriereinheiten und deren Summe (Linie) bezogen auf die Anzahl der täglich kontrollierten Registriereinheiten/Geophone.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 67

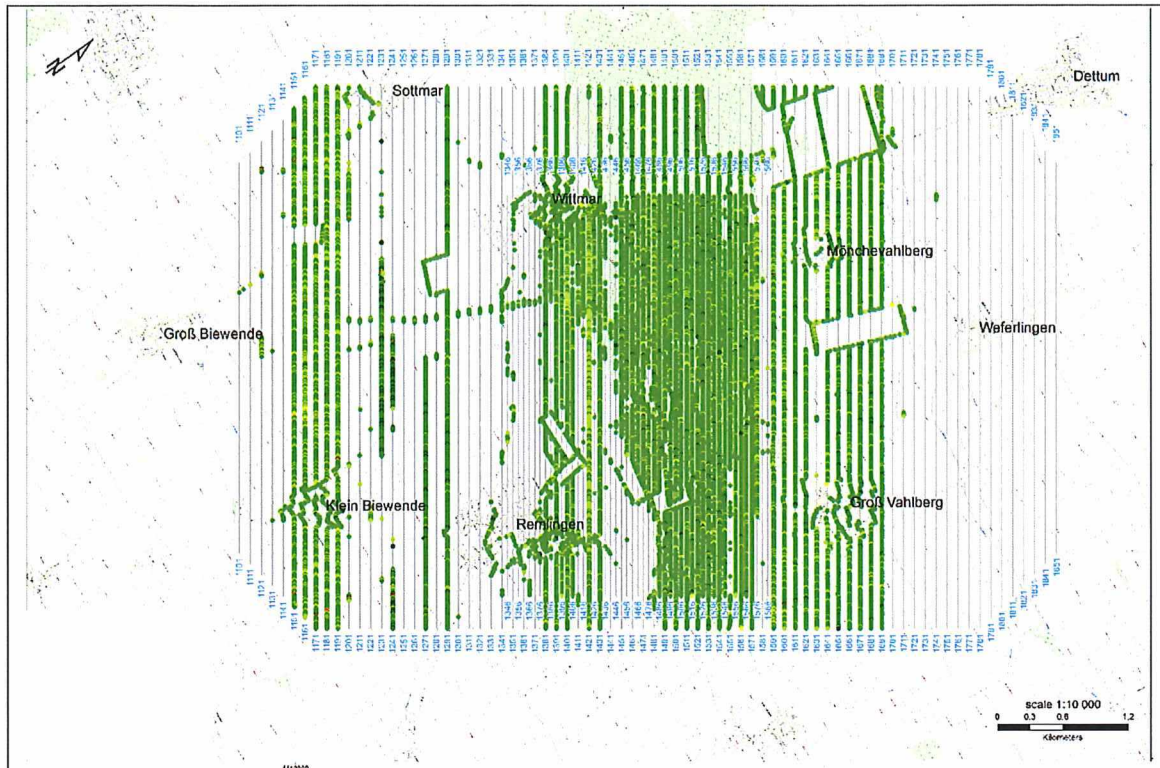


Abbildung 51: Am 25.01.2020 von GT kontrollierte Empfängerpunkte. Farblich markiert ist der Ladezustand der Akkus (Rot: Ladezustand < 50 %; gelbliche Farbtöne: Ladezustand zwischen 50 % und 80 %, Grün: Ladezustand > 80%).

## 12.5 Qualitätskontrolle - Messdaten

Da die kabellosen Registriereinheiten Innoseis Tremonet keine Möglichkeit aufweisen, die seismischen Messdaten während des Messvorgangs einzusehen oder abzurufen, wurde als temporäre Möglichkeit zur Qualitätskontrolle bei der 3D-Seismik Asse eine separate Kontrolllinie mit 40 kabellosen Registriereinheiten aufgebaut. Die Lage dieser Kontrolllinie entsprach dem Verlauf des Profils für die Parameterterste (Kap. 11), nur der Abstand der Registriereinheiten wurde von 20 m auf 60 m vergrößert. Alle 40 Registriereinheiten auf dieser Kontrolllinie wurden an den ersten 10 Messtagen täglich ausgelesen und deren Messdaten überprüft (Abbildung 52). Die Kontrolllinie bot damit eine sehr gute Möglichkeit die Datenqualität der seismischen Anregungen einzuschätzen. Die Seismogramme zeigten eine gleichbleibende, überwiegend sehr gute Datenqualität; verschiedene Reflexionen waren sicher zu identifizieren. Dadurch dass die Kontrolllinie senkrecht zum Streichen der Salzstruktur ausgelegt ist, ließen sich auch Reflexionen aus dem Flankenbereich feststellen. Im Bereich der Bundesstraße B79 und auch in den Ortschaften war ein erhöhter Noise-Pegel zu verzeichnen. Während in den Registrierungen der vibroseismischen Anregungen verschiedene Reflexionen in der Regel gut zu erkennen waren, war dies bei den sprengseismischen Anregungen erwartungsgemäß nicht der Fall, was aber am Ort der Anregung auf dem Top der Asse-Salzstruktur lag.

An einigen Tagen war im Messgebiet ein kräftiger, böiger Wind zu verzeichnen, der, obwohl die meisten der Geophone eingegraben waren, einen merklichen Einfluss auf den Noise-Pegel der Registrierungen hatte (Abbildung 53). Da es sich dabei um inkohärenten Noise handelt, ist aufgrund des hohen Überdeckungsgrades aber nicht zu erwarten, dass dieser die Qualität der seismischen Abbildung zu stark einschränkt. Der mit der App zur Kontrolle der Registriereinheiten punktuell von



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 68
--	-----------

der Fremdbauüberwachung ausgelesene Noise-Pegel lag, selbst in windexponierter Lage in der Nähe des Messwagens, bei 20 – 40  $\mu\text{V}$  und stieg nur kurzzeitig auf 80 – 120  $\mu\text{V}$  bei Windböen an, was beides akzeptable Werte sind.

Zur besseren Einschätzung der Windstärke im Messgebiet wurde ab dem 31.01.2020 auf dem Dach des Messwagens und ab dem 09.02.2020 auch auf dem Dach des Truppbüros die Windgeschwindigkeit gemessen (Abbildung 54, Abbildung 55). Die Windstärke war im Messgebiet sehr unterschiedlich verteilt. Auf der Höhenlage des Asse-Walds wehte ein starker Wind, auf den Feldern war er merkbar geringer, wobei er auf der Südseite des Asse-Waldes meist etwas stärker wehte als auf der Nordseite. In den Ortschaften (Wittmar) wehte dagegen nur ein mäßiger Wind. In der Nacht von 09.02. auf den 10.02.2020 zog das Sturmtief „Sabine“ durch das Messgebiet, wobei die Windgeschwindigkeiten im Laufe des 09.02.2020 stetig zunahmen (Abbildung 55) – Sturmstärke wurde im Messgebiet jedoch nicht erreicht. Trotzdem wurden am 09.02.2020 aus Sicherheitsgründen die Arbeiten im Asse-Wald um 15.30 Uhr und die seismischen Messungen um 19.30 Uhr abgebrochen und konnten am Folgetag aufgrund der notwendigen Prüfung der Messauslage und einiger umgestürzter Bäume nur in sehr reduziertem Umfang mit wenigen sprengseismischen Anregungen wieder aufgenommen werden.

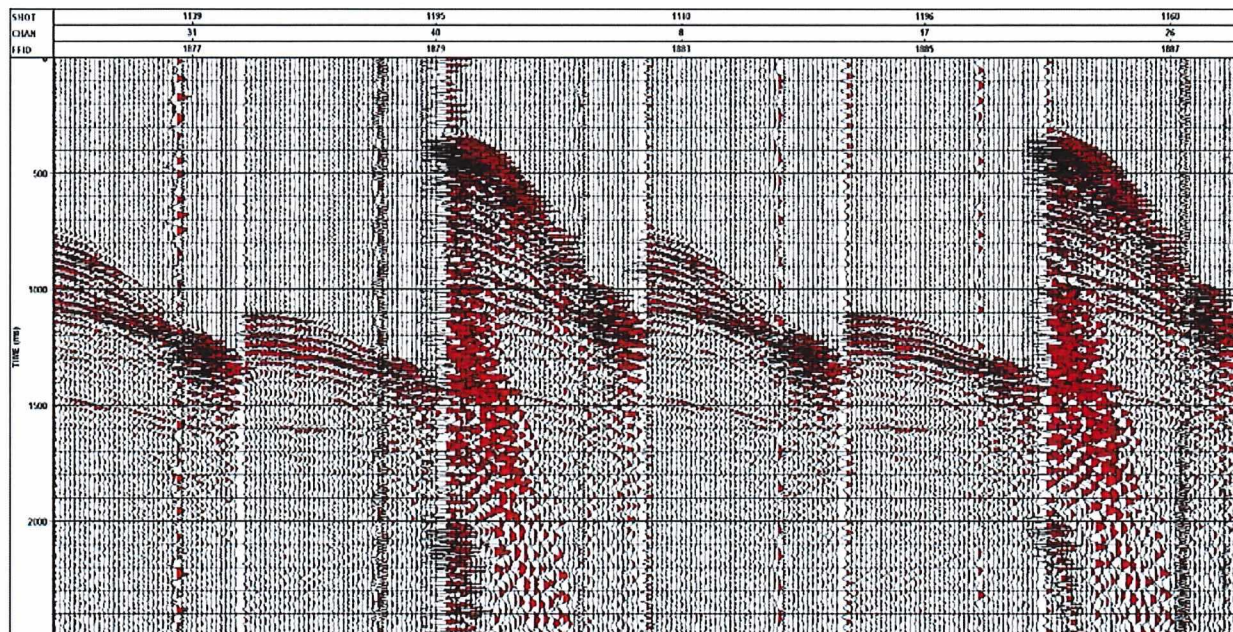


Abbildung 52: Nach sechs verschiedenen Anregungspunkten der vibroseismischen Messung sortierte Seismogramme, die auf der Kontrolllinie am ersten Messtag, 17.01.2020, registriert wurden.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 69
--	-----------

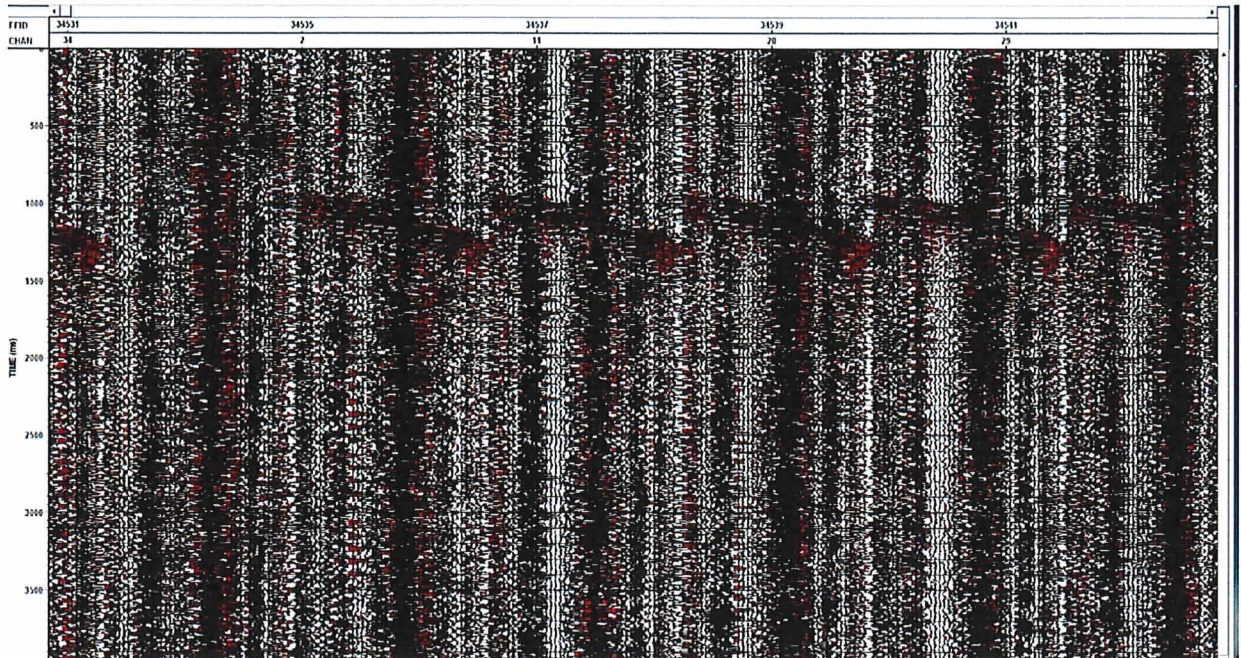



Abbildung 53: Nach sechs verschiedenen Anregungspunkten der vibroseismischen Messung sortierte Seismogramme, die auf der Kontrolllinie bei kräftigem, böigem Wind registriert wurden.



Abbildung 54: Messung der Windgeschwindigkeit auf dem Dach des Messwagens.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 70
--	-----------

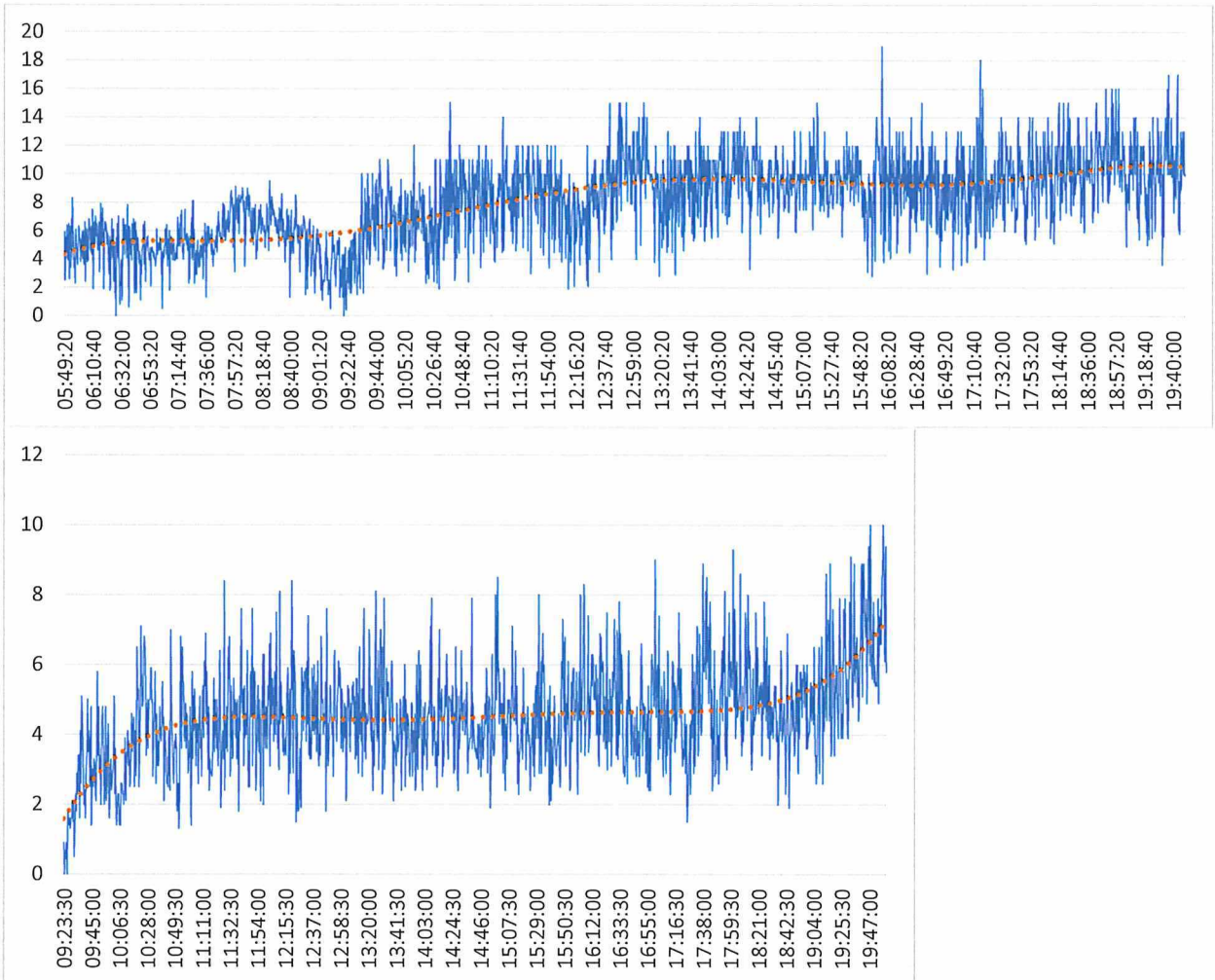



Abbildung 55: Windgeschwindigkeit in [m/s] am 09.02.2020 gemessen auf dem Dach des Messwagens (oben) und auf dem Dach des Truppbüros (unten). Die Ausgleichsline (gestrichelt, orange) wurde jeweils durch Polynom 6. Grades angepasst.

Nach Abschluss der seismischen Messungen am 20.02.2020 wurden bis zum 25.02.2020 die Registriereinheiten aus dem Feld eingesammelt, auf dem Hof des Truppbüros gereinigt (Abbildung 56) und die seismischen Messdaten ausgelesen. Das Auslesen der Daten erfolgte gleichzeitig in vier Ausleseeinheiten (Racks), in denen die Daten von jeweils 32 Registriereinheiten innerhalb von ca. 10 Minuten heruntergeladen wurden (Abbildung 57). Nach dem Auslesen der Daten, dem Erstellen einer Sicherungskopie und dem Aufladen der Akkus, wurden die Registriereinheiten für ein neues Projekt von GT programmiert, verpackt und am 06.03.2020 abtransportiert. 47 der ca. 40.000 Registriereinheiten wurden im Feld zunächst nicht gefunden oder beim Datenauslesen übersehen. Durch gezieltes Suchen im Feld und beim Ladevorgang tauchten bis zum 03.03.2020 zunächst 31 der vermissten Registriereinheiten wieder auf. Die genaue Anzahl der nicht aufgefundenen Registriereinheiten ist der Fremdbauüberwachung zum Zeitpunkt der Berichterstattung nicht bekannt, sie dürfte aber im einstelligen Bereich liegen (am 11.04.2020 ist von einem Anwohner noch eine Registriereinheit gefunden worden).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 71



Abbildung 56: Reinigung der eingesammelten Registriereinheiten.



Abbildung 57: Auslesen der seismischen Messdaten aus den Registriereinheiten.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 72



Mit dem Auslesen der seismischen Messdaten aus den Registriereinheiten setzte vor Ort auch deren Aufbereitung durch GT ein. Diese Datenaufbereitung umfasste im Wesentlichen die folgenden Schritte und wurde bis zum 14.03.2020 abgeschlossen:

- Zuweisen der Vermessungskordinaten der Registriereinheiten zu den seismischen Messdaten (zu beachten war, dass einige Registriereinheiten im Laufe der Messung an unterschiedlichen Positionen gestanden haben). Erstellen der Receiver Files im SPS-Format.
- Erstellung der Messgeometrie. Zuweisung der Anregungspunkte zu den jeweils aufzeichnenden Registriereinheiten. Erstellen der Source und Cross-Reference Files im SPS-Format.
- Festlegung und Ausschneiden des zu jeder Anregung gehörenden Zeitfensters aus den täglich aufgezeichneten Datenströmen der Registriereinheiten (60 s plus 4 s für die Vibroseismik, 4 s für die Sprengseismik) auf Basis der GPS-Zeiten im Observer-Log.
- Filtern der vibroseismischen Daten zur Unterdrückung des harmonischen Noise.
- Korrelation der vibroseismischen Daten mit dem Pilotsignal.
- Sortierung der unkorrelierten, der korrelierten sowie der korrelierten, gefilterten vibroseismischen Daten und der sprengseismischen Daten nach Anregungspunkten und Speicherung im SEG-D-Format.

Für die große Datenmenge und die dafür benötigte Rechenleistung standen im Data Center von GT vor Ort 15 Huawei FusionServer 2288H V5 mit je 2 GPUs Nvidia Geforce RTX 2080Ti 11G und 384 GB RAM sowie 2 Huawei FusionServer 1288H V5 mit jeweils 2 CPU Intel(R) Xeon(R) Gold 5218 und 256 GB RAM zur Verfügung. Der nutzbare Speicherplatz betrug ca. 1,5 PetaByte auf 8 Node Huawei OceanStore 9000V5 als Network Attached Storage (NAS) (Abbildung 58).

Auf der Basis von 35 Messtagen, 16 Stunden täglicher Messzeit, 1 ms Sample-Rate, 4 Byte Sample-Größe (bei SEG-Y oder SEG-D Format) sowie 44.677 Empfangspunkten, 40.000 aktiven Empfangspunkten, 29.733 Vibropunkten, 6.364 Sprengpunkten und einer Speicherkapazität von 12 TeraByte pro LTO-8-Band lassen sich die entstehenden Datenmengen wie folgt abschätzen:

- Rohdaten (gesamter Datenstrom) in SEG-Y:  
328 TeraByte → 28 LTO-8-Bänder
- Ausgeschnittene, unkorrelierte Rohdaten in SEG-D:  
281 TeraByte → 24 LTO-8-Bänder
- Ausgeschnittene, korrelierte Rohdaten in SEG-D:  
21 TeraByte → 2 LTO-8-Bänder
- Ausgeschnittene, korrelierte Rohdaten mit Unterdrückung von Harmonic Noise in SEG-D:  
21 TeraByte → 2 LTO-8-Bänder

Damit ergäbe sich eine Gesamtdatenmenge von 651 TeraByte verteilt auf 56 LTO-8-Bändern in einfacher Kopie.

Durch die Anfang März 2020 einsetzenden behördlichen Maßnahmen zur Verlangsamung der Ausbreitung des Corona-Virus in Europa, die mit zu dem Zeitpunkt noch nicht einschätzbaren Einschränkungen der Reise- und Bewegungsfreiheit verbunden waren, wurde in der 11. Kalenderwoche 2020 entschieden, die noch ausstehenden Arbeiten der Datenaufbereitung (Geometriekontrolle, Qualitätskontrolle mit einfacher Datenbearbeitung bis zu Stapelung, Archivierung auf LTO-8-Bänder) in Toruń durchzuführen und das Data Center sowie die noch in Wittmar verbliebenen GT-Mitarbeiter möglichst schnell nach Toruń zurück zu beordern. Um die Folgen eines sehr unwahrscheinlichen, aber nicht gänzlich auszuschließenden Datenverlustes beim Transport nach Toruń zu minimieren, verblieben die aus den Registriereinheiten ausgelesenen Rohdaten sowie eine Kopie der aufbereiteten Daten auf mehreren GT-eigenen Network Attached Storage (NAS) Systemen zunächst bei BGE auf der Schachanlage. Diese NAS wurden am 16.03.2020 an BGE übergeben und sollen zu einem späteren Zeitpunkt, wenn alle Daten auf LTO-Bändern sicher archiviert sind, nach Toruń transportiert werden.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 73

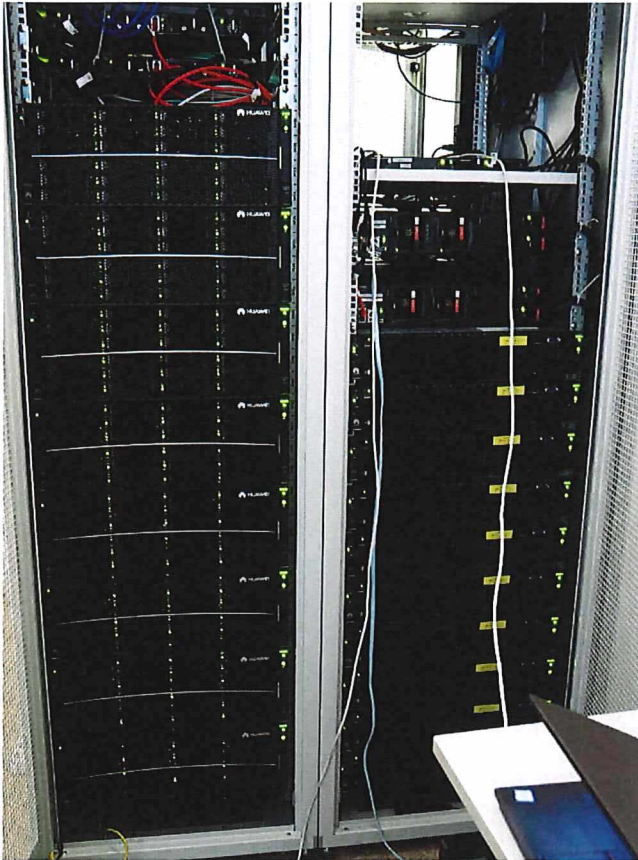


Abbildung 58: Von GT vor Ort installiertes „Data Center“.

Die Abbildung 59, Abbildung 60, Abbildung 61 und Abbildung 62 zeigen einen ersten Eindruck der im Truppbüro in Wittmar von GT aufbereiteten seismischen Messdaten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich um komplett unbearbeitete Rohdaten handelt, an die auch noch keine statischen Korrekturen angebracht wurden. Darüber hinaus verlaufen die Empfangslinien parallel zum Streichen der Salzstruktur, was für eine visuelle Kontrolle ungünstig ist, da Reflexionen von der Flanke der Salzstruktur nicht in der Ebene liegen, die durch die jeweilige Empfangslinie abgebildet wird. Die in Abbildung 59 und Abbildung 60 exemplarisch dargestellten Seismogramme zeigen eine sehr gute Datenqualität mit zahlreichen Reflexionen bis in Laufzeiten von 1500 ms. Lücken in den Daten weisen auf Flächen ohne Betretungsgenehmigung hin, wo keine Geophone standen. Die Verschiebung der Scheitelpunkte einiger Reflexionshyperbeln gegenüber dem Scheitelpunkt der direkten Welle weist auf Reflexionen von geneigten Schichtgrenzen hin (Abbildung 60). Selbst bei einer Anregung im südlichen Teil des Messgebiets lassen sich auf der Nordseite Signale erkennen, die vermutlich von Schichtgrenzen unterhalb der Salzstruktur herrühren (Abbildung 61). In den im Asse-Wald über dem Top der Salzstruktur sprengseismisch angeregten und empfangenen Registrierungen sind hauptsächlich Refraktionen sichtbar (Abbildung 62).



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00



Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 74

KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16

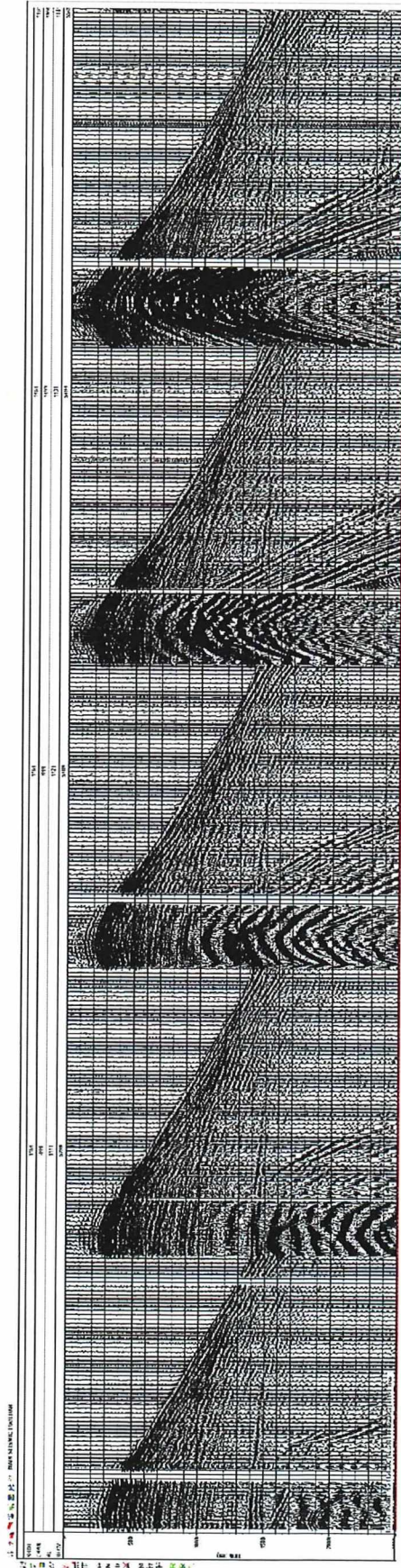


Abbildung 59: Vibroseismischer Anregungspunkt 1161 | 5181 (auf einem Feld südlich von Sottmar) und Registrierungen auf den Empfangslinien 1101, 1111, 1121, 1131 und 1141.

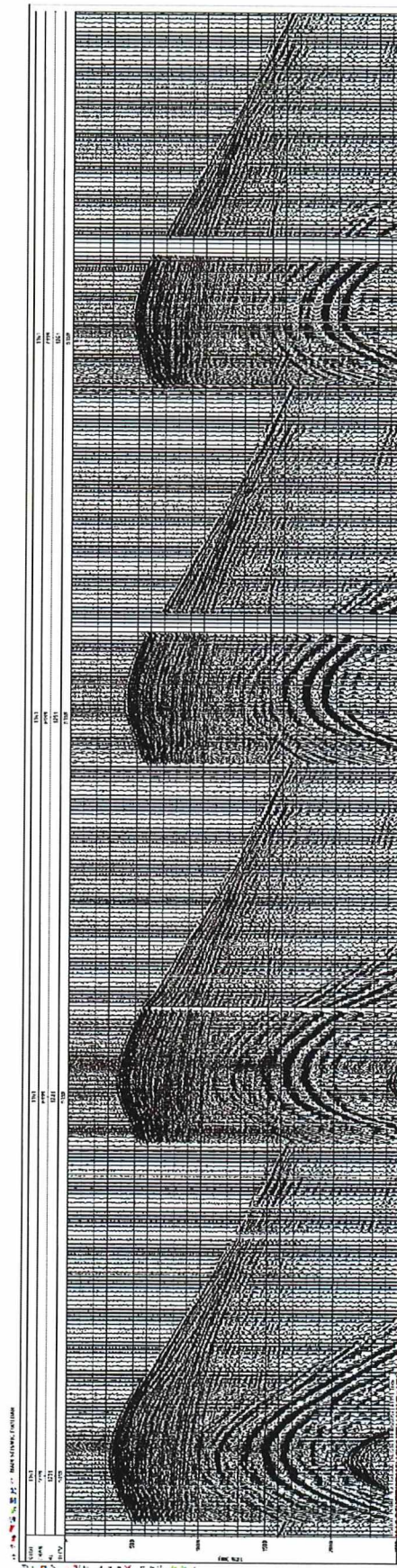


Abbildung 60: Vibroseismischer Anregungspunkt 1161 | 5181 (auf einem Feld südlich von Sottmar) und Registrierungen auf den Empfangslinien 1231, 1241, 1251, und 1261.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 75

KOM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16

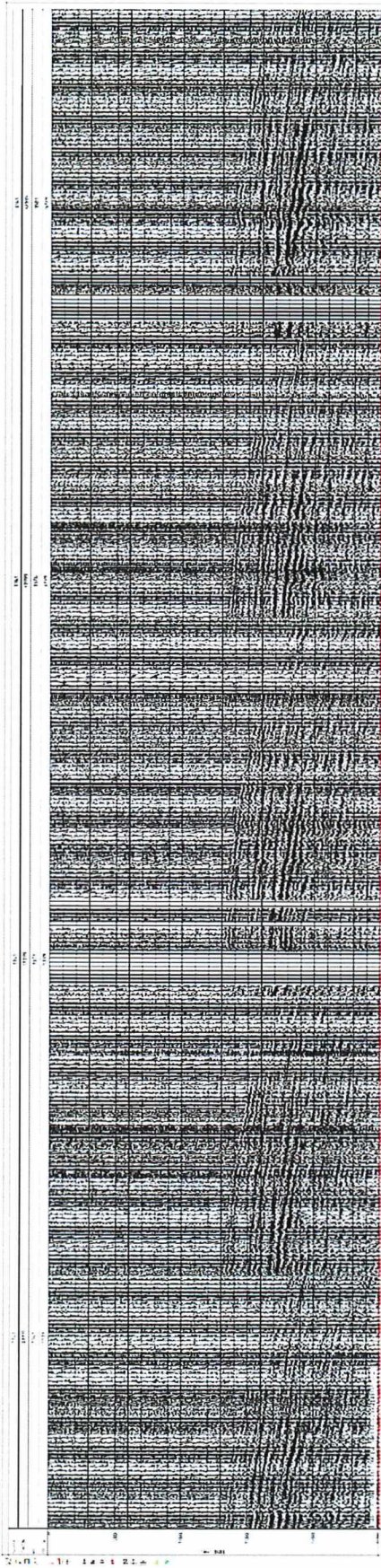


Abbildung 61: Vibroseismischer Anregungspunkt 1161 | 5181 (auf einem Feld südlich von Sottmar) und Registrierungen auf den Empfangslinien 1561, 1566, 15711, 1576 und 1581.

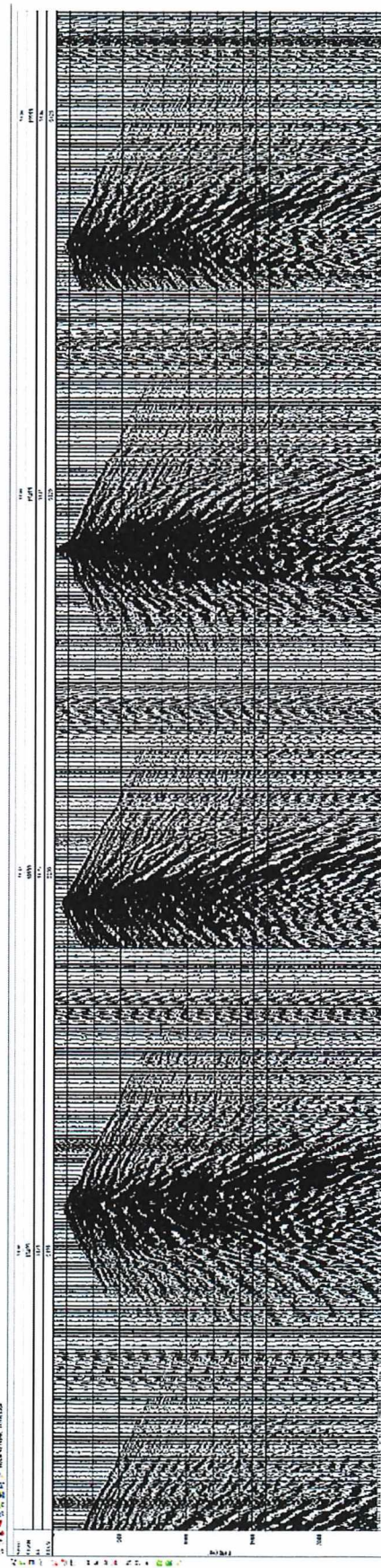


Abbildung 62: Sprengseismischer Anregungspunkt 1430 | 5256 (im Wald nördlich von Wittmar) und Registrierungen auf den Empfangslinien 1416, 1421, 1426, 1431 und 1436.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 76

Die Geometrie- und Qualitätskontrolle der seismischen Messdaten fand vom 08.03. bis 31.03.2020 bei GT in Toruń statt. Im Rahmen dieser GT-internen Kontrollen wurden 17 Anregungspunkte (2 vibroseismische und 15 sprengseismische Anregungspunkten) aufgrund einer fehlerhaften nicht mehr rekonstruierbaren Geometrie oder zu starkem Noise gelöscht. Außerdem wurden 11.174.841 von insgesamt 1.529.219.940 seismischen Spuren gelöscht, weil die Spuren zu stark verrauscht oder gar keine Daten (Amplitude = 0) vorhanden waren. Das entspricht 0,73 % der Gesamtdatenmenge, was ein sehr gutes Ergebnis ist.

Vom QC-Processing von GT wurden für verschiedene Inlines (parallel zu den Geophonlinien) und Crosslines (senkrecht zu den Geophonlinien) Rohstapelungen (Brute Stacks) und Post-Stack-Migrationen der 3D-Seismik erzeugt. Dabei wurden folgende Bearbeitungsschritte durchgeführt: Minimumphasentransformation, Korrektur der sphärischen Divergenz, Spiking Dekonvolution (160 ms Operatorlänge), Höhenstatik (Bezugsniveau 200 m NN, Ersatzgeschwindigkeit 2100 m/s), Geschwindigkeitsanalyse auf grobem Raster (etwa eine Analyse pro km<sup>2</sup>), NMO-Korrektur und Stapelung, FXY-Dekonvolution, Skalierung (AGC 500 ms), Post-Stack Zeitmigration (Phase Shift Migration). Die Abbildung 63 und Abbildung 64 zeigen als Ergebnis der Qualitätskontrolle exemplarisch die Stapelung und Migration einer Linie, die zentral in der Messfläche etwa senkrecht zum Streichen der Salzstruktur verläuft. Deutlich sind die Reflexionen der Schichtgrenzen im Deckgebirge bis zur Salzbasis bei ca. 1400 ms Laufzeit zu erkennen. Die Salzstruktur selbst ist reflexionsarm und lässt sich grob durch die Reflexionen der am Rande angeschleppten Schichten abgrenzen. Das Hochziehen der Reflexion der Salzbasis unterhalb der Salzstruktur ist typisch für eine Bearbeitung im Zeitbereich und spiegelt nicht die wahren Lagerungsverhältnisse wider. Im oberflächennahen Bereich bis ca. 300 ms Laufzeit sind noch keine Reflexionen der Salzoberfläche sichtbar. Die geologische Struktur im zentralen Bereich des seismischen Untersuchungsgebietes ist allerdings sehr komplex, so dass die angewandte einfache QC-Bearbeitung, mit Höhenstatik und einer Geschwindigkeitsanalyse auf einem groben Raster, wahrscheinlich nicht ausreicht, um Top Salz abzubilden. Aufgrund des Wechsels steil stehender Schichten, die an der Oberfläche austreichen, ist die reflexionsseismische Abbildung der oberflächennahen Schichten generell schwierig. Sehr wahrscheinlich wird eine Pre-Stack-Tiefenmigration, die Bestandteil der folgenden Datenbearbeitung sein wird, oder eine Refraktionstomographie unter Einbezug von Geophonen, die sich im Bergwerk befanden, die seismische Abbildung in allen Tiefenbereichen deutlich verbessern.

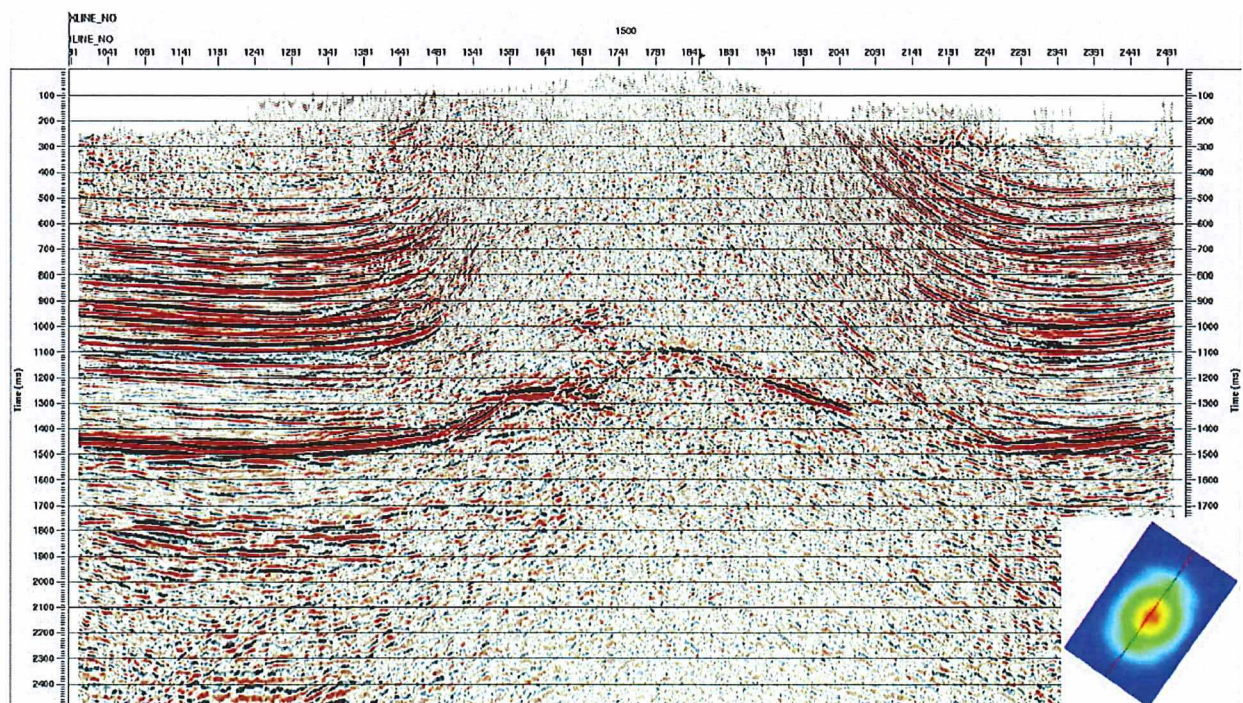


Abbildung 63: Rohstapelung der Crossline 1500 (Südwesten = links).



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 77

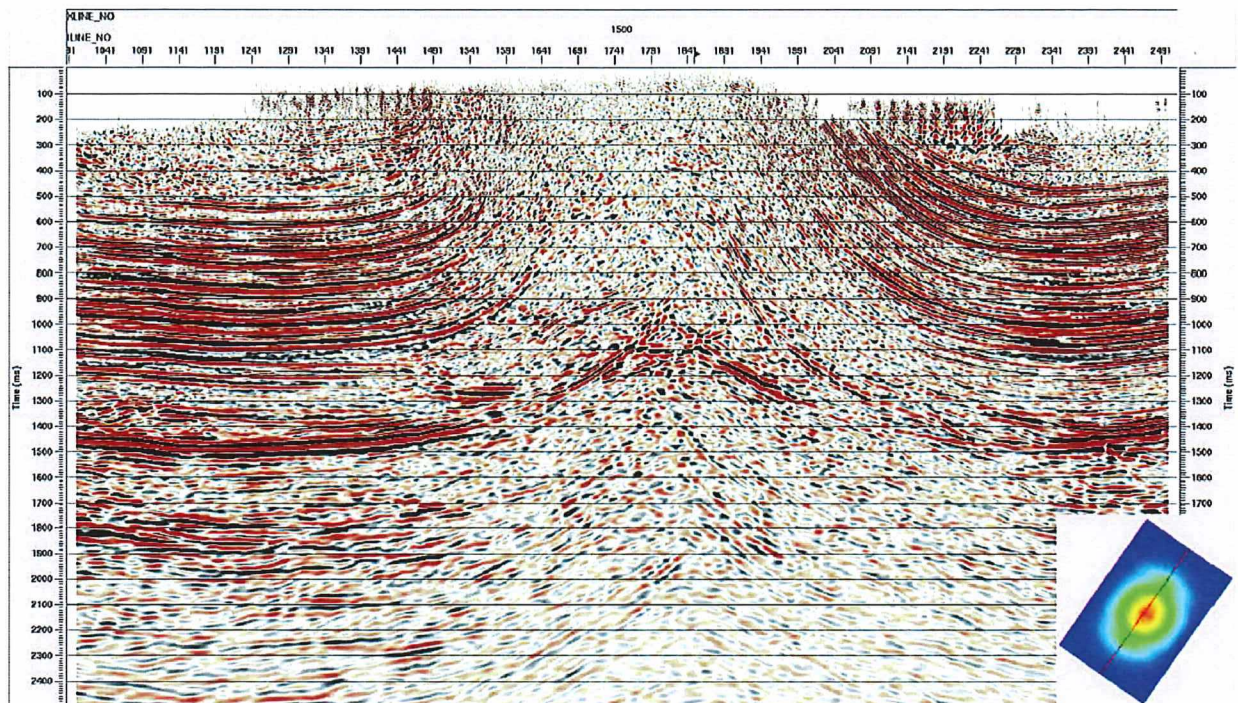


Abbildung 64: Post-Stack Zeitmigration der Crossline 1500 (Südwesten = links).


### 13 Produktivität

Die Abbildung 65 zeigt die tägliche Anzahl der vibroseismischen und sprengseismischen Anregungen im Messzeitraum zwischen dem 17.01.2020 und dem 20.02.2020. Über die Gesamtdauer der seismischen Messungen wurde für die Vibroseismik an insgesamt 24 Messtagen mit überwiegend vier gleichzeitig im Slip-Sweep-Verfahren eingesetzten Vibrofahrzeugen eine durchschnittliche Leistung von 1.240,5 Anregungen pro Tag erreicht, wobei das Maximum mit 1.899 Anregungen am 05.02.2020 beim Einsatz von 5 Vibrofahrzeugen erzielt wurde. Die Sprengseismik fand an insgesamt 18 Tagen statt und der Schnitt lag bei 353,6 Anregungen pro Tag. An Tagen ohne vibroseismische Messungen wurden im Maximum bis zu 675 Anregungen pro Tag mit vier Sprengteams erzielt.

Am 01.02.2020 fand der Wechsel der seismischen Anregung von der Süd- auf die Nordseite des Messgebietes statt, wobei an diesem Tag ca. 5.000 Registriereinheiten umgebaut wurden und daher auch keine Messungen stattfanden. Vom 27.01.2020 bis zum Tag des Umbaus ging die vibroseismische Produktion stark zurück, weil die Messungen auf den Feldern in der Südhälfte weitestgehend abgeschlossen und nur noch Anregungspunkte in Sottmar, Wittmar, in deren näherer Umgebung sowie auf der B79 offen waren. Die Anregungspunkte in den beiden Ortschaften und deren Umgebung dauerten etwas länger, da sie durchweg von Erschütterungsmessungen begleitet werden mussten. Außerdem wurde nicht mehr bis 22.00 Uhr angeregt, um in den Bereichen Beschwerden über Lärmbelastigungen zu vermeiden. Hinzu kam, dass am 30.01.2020 zwei Vibrofahrzeuge aufgrund eines Defektes nicht einsatzbereit waren.

Aufgrund ergiebiger Regenfälle lief die Produktion auf der Nordseite des Messgebiets nur langsam an. Gebiete mit stärkerer Hangneigung waren mit den Vibrofahrzeugen durch die Regenfälle kaum befahrbar. Auf den flachen Felder sammelte sich allerdings das Wasser, so dass auch dort die Gefahr bestand, dass sich die Vibrofahrzeuge festfahren. Ab dem 04.02.2020 wurde zur Erhöhung der Produktion ein fünftes Vibrofahrzeug von GT eingesetzt und auch das Wetter besserte sich.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 78
--	-----------

Am 09.02.2020 führte allerdings das Sturmtief „Sabine“ zu einem vorzeitigen Abbruch der Messungen an diesem Tag. Aufgrund von Windbruch im Asse-Wald und vollkommen durchnässten, unbefahrten Feldern konnte nach Durchzug des Sturmtiefs am 10.02.2020 die Produktion nur mit sehr wenigen sprengseismischen Anregungen wieder aufgenommen werden. Aufgrund der Nässe und der Ablehnung der Landwirte konnten die vibroseismischen Messungen auf den Feldern erst am 15.02.2020 fortgeführt und damit an dem Tag auch beendet werden. Am 13.02.2020 fanden die vibroseismischen Messungen auf den befestigten Straßen und in den Ortschaften auf der Nordseite des Messgebiets statt. Am 20.02.2020 wurde die 3D-Seismik dann mit den letzten 596 sprengseismischen Anregungen am frühen Nachmittag erfolgreich abgeschlossen (Abbildung 66). Trotz der wetterbedingten Einschränkungen war die 3D-Seismik damit neun Tage eher fertig als geplant.

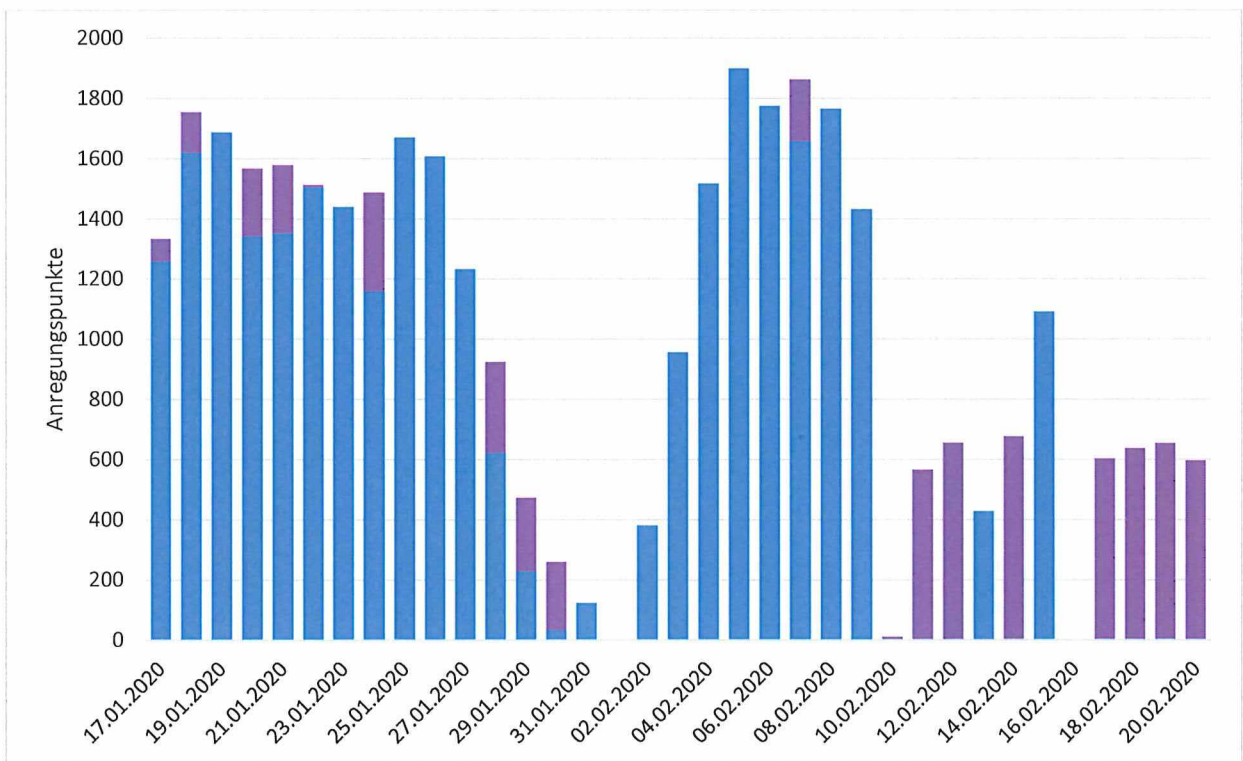


Abbildung 65: Tägliche Anzahl der vibroseismischen (blaue Säulen) und sprengseismischen Anregungspunkte (lila Säulen).



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 79



Abbildung 66: Am letzten Anregungspunkt.

## 14 Erschütterungsmessungen

Im näheren Umfeld von Gebäuden wurden die seismischen Anregungen durch Erschütterungsmessungen (PPV) begleitet, die in Anlehnung an DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 3 „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ [17] durchgeführt wurden:

- Bei den vibroseismischen Anregungen innerhalb der Ortschaften wurde die Kraft des Vibrators generell auf 15 % der Maximalkraft reduziert und an den vier nächstgelegenen Gebäuden zeitgleich die Erschütterungen registriert.
- Bei den vibroseismischen Anregungen auf Feldern, die sich den Gebäuden einer Ortschaft nähern, wurde ab einer bestimmten Entfernung die Kraft des Vibrators auf 50 % der Maximalkraft reduziert (Kap. 6) und an dem nächstgelegenen Gebäude zeitgleich die Erschütterungen registriert.
- Bei den sprengseismischen Anregungen wurde bei Annäherung an Gebäude die Ladungsstärke reduziert (Kap. 6) und an ausgewählten Gebäuden (z.B. Bismarck-Turm, Asse-Burg) Erschütterungsmessungen durchgeführt.

Zur Durchführung der Erschütterungsmessungen waren bei GT insgesamt sechs Geräte vom Typ Instantel BLASTMATE III vor Ort und entsprechendes Personal vorhanden. Die Kalibrierzertifikate der Messgeräte lagen alle innerhalb ihrer zweijährigen Gültigkeitsdauer. Die Erschütterungsmessgeräte wurden sofern möglich auf Türschwellen, Treppenabsätzen, Kellerfenstern, die fest mit dem Gebäude verbunden sind, aufgestellt. War dies in Ausnahmefällen nicht möglich, so wurde das Erschütterungsmessgerät vor dem Gebäude auf dem dort vorhandenen zugänglichen Grund (Garageneinfahrt, Bürgersteig, Wiese) aufgestellt (Abbildung 67). Ein Zugang in das Gebäude (Keller, Fundament, 1. Deckenebene) erfolgte nicht. Für die einzelnen Messpunkte



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 80

wurde durch die GT-Mitarbeiter ein Protokoll erstellt, das Informationen zum Bauwerk, zur Lage des Messpunktes und die Maximalwerte der gemessenen Schwinggeschwindigkeiten enthält. Die Protokolle und die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen stehen der BGE zur Verfügung.

Die einzuhaltenden Anhaltswerte der DIN 4150-03 Werte sind frequenzabhängig und liegen bei Frequenzen bis 10 Hz für empfindliche/denkmalgeschützte Gebäude bei 3 mm/s, für Wohngebäude bei 5 mm/s und für Industriegebäude bei 20 mm/s [17]. Um auf der „sicheren“ Seite zu sein, war von der Fremdbauüberwachung in Abstimmung mit GT zunächst die Vorgabe, unabhängig von der Frequenz für alle Wohngebäude eine Schwinggeschwindigkeit von 3 mm/s einzuhalten. Dies führte jedoch relativ häufig zu einem Abbruch des Sweeps, ohne dass Erschütterungen von den Anwohnern oder umstehenden Personen wahrnehmbar waren und ohne dass irgendwelche Schäden gemeldet wurden. Die Vorgabe der für Wohngebäude einzuhaltenden Schwinggeschwindigkeiten wurde daher von der Fremdbauüberwachung am 24.01.2020 auf 4 mm/s erhöht.


Insgesamt wurden an 2.562 Positionen Erschütterungsmessungen durchgeführt. Bei den vibroseismischen Anregungen in der Nähe von Gebäuden auf Feldern und den sprengseismischen Anregungen wurden in keinem Fall ein Überschreiten des vorgegebenen Anhaltswerts von 3 mm/s oder 4 mm/s festgestellt. In Wittmar berichteten allerdings einige Anwohner von Gebäuden, die so weit vom Anregungspunkt entfernt waren (Bereiche Forstweg sowie Ernst-Reuter-Weg / Ernst-Domke-Weg), dass dort keine Erschütterungsmessungen durchgeführt wurden, von deutlich fühlbaren Erschütterungen. In 109 Fällen, alle in Ortschaften bei einer auf 15 % reduzierten Kraft des Vibrators, wurde der Sweep wegen Erreichen des vorgegebenen Anhaltswerts abgebrochen (d.h. nicht, dass auch der Anhaltswert nach DIN 4150-3 überschritten wurde). Diese Anregungspunkte wurden aufgrund der bereits reduzierten Anregungskraft an dieser Position auch nicht wiederholt.



Abbildung 67: Erschütterungsmessungen (PPV) überwachen die durch die Anregung der seismischen Wellen erzeugten Erschütterungen an Gebäuden.

In der Zulassung des Sonderbetriebsplans „Nr. 9/2018 Durchführung einer 3D-seismischen Messung (3D-Seismik-Hauptmessung) zur Strukturerkundung im Gebiet der Schachanlage Asse,



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 81

Zeichenbuch-Nr. 2.18.2.2“ durch das LBEG vom 08.04.2019 wird in der Nebenbestimmung A10 gefordert, den Einfluss der seismischen Anregungen auf die Standsicherheit der Schächte Asse 2 und Asse 4 zu bewerten. Diese Nebenbestimmung wurde mit Einreichung der von der BGE Technology GmbH erstellten „Stellungnahme bezüglich eines möglichen Einflusses der seismischen Arbeiten (Energieanregung durch Vibratoren, Sprengungen) auf die Standsicherheit der Schächte Asse 2 und Asse 4“ vom 20.06.2019 erfüllt [18]. Da während der seismischen Messkampagne mehrere von GT zur Verfügung gestellte Registriereinheiten Innoseis Tremornet innerhalb der Schachanlage unter Tage Daten aufzeichneten (Kap. 10), besteht die Möglichkeit die Betrachtungen der oben genannten Stellungnahme mit aktuellen Messdaten zu ergänzen. In Anhang 3 werden Untersuchungen der Fremdbauüberwachung (Herr ██████████, Herr Dr. ██████████) zur entfernungsabhängigen Amplitudenabnahme sprengseismischer Anregungen und deren Abhängigkeit von der Geologie des Anregungspunktes dargestellt.

## 15 Schadensdokumentation

Im Zusammenhang mit den seismischen Messungen wurden von Anwohnern drei Sachschäden an Gebäuden gemeldet, was als eine sehr geringe Anzahl von Schadensmeldungen einzustufen ist:

- Horizontale Risse über einem Fenster in der Verklinkerung der Hausfassade, Hoher Weg 15a in Remlingen, gemeldet am 28.01.2020, nächstgelegener Anregungspunkt 5531 | 1302 – 1305.
- Vertikaler Riss in der Wand des Wohnzimmers, Ernst-Domke-Weg 7 in Wittmar, gemeldet am 28.01.2020, nächstgelegener Anregungspunkt 5171 | 1391.
- Gesprungene Glasscheiben in einem Gewächshaus Pontriesen 3 in Groß Vahlberg, gemeldet am 08.02.2020, nächstgelegener Anregungspunkt 5506 | 1680.

Alle gemeldeten Sachschäden wurden von IPS aufgenommen und zur weiteren Bearbeitung an die BGE weitergeleitet. Da in keinem Fall ein Überschreiten der für das jeweilige Bauwerk gültigen Anhaltswerte nach DIN 4150-3 vorliegt, lässt sich ein kausaler Zusammenhang der Schäden mit den seismischen Messungen zunächst nicht herstellen. Am Gebäude in Wittmar haben keine Erschütterungsmessungen stattgefunden, da der Anregungspunkt über 80 m entfernt ist. Auch in Remlingen sind die nächst gelegenen Anregungspunkte ca. 60 m entfernt. Beides Entfernungen, die einen Zusammenhang der Schäden mit den seismischen Messungen nahezu ausschließen.

Die Anregung der seismischen Wellen fand überwiegend auf Feldern und im Asse-Wald und nur zu einem sehr kleinen Teil auf befestigten Straßen statt. Auf den von den Vibrofahrzeugen genutzten Feldern und unbefestigten Wegen entstanden erwartungsgemäß sehr deutlich sichtbare Fahrspuren und Abdrücke der Bodenplatte (Abbildung 68, Abbildung 69). Aber auch im Wald sind durch die Bohr- und Transportfahrzeuge einige der Wege und Rückegassen stark in Anspruch genommen worden und sichtbare Fahrspuren entstanden (Abbildung 70). Die eigentlichen sprengseismischen Anregungspunkte wurden durch GT rekultiviert, so dass sie ein einiger Zeit kaum mehr sichtbar sein werden. Alle Markierungen der Anregungs- und Empfangspunkte, alle Reste der Verrohrungen, alle Bentonit-Säcke usw. sind von GT nach der Messung entfernt worden, so dass es hierdurch zu keinerlei Beeinträchtigungen mehr kommen sollte. In einem Fall hat sich ein Vibrofahrzeug in einem Feld festgefahren und musste mit einem zur Bergung spezialisiertem Fahrzeug freigeschleppt werden (Abbildung 71, Abbildung 72, Abbildung 73). Hier und auch in wenigen, anderen Fällen, wo sehr tiefe Fahrspuren entstanden sind, ist nicht auszuschließen, dass die Drainage der Felder beschädigt wurde.

Die durch Fahrspuren und Abdrücke entstandenen Schäden hängen sehr stark von der jeweiligen Bodenart und den aktuellen Feuchtigkeitsverhältnissen ab. Gerade im Norden des Messgebietes liegen um die Senke der Altenau generell feuchtere Bodenverhältnisse vor. Nach den durch das Sturmtief „Sabine“ am 09.02.2020 verursachten Regenfällen, haben zahlreiche Landwirte nicht mehr



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 82
--	-----------

zugelassen, dass die Vibrofahrzeuge die durchnässten Felder befahren. Die vibroseismischen Messungen auf den Feldern im Norden des Messgebiets konnten deshalb erst am 15.02.2020 in enger Absprache mit den Landwirten wieder aufgenommen werden. Trotzdem mussten dort einige Anregungspunkte ausfallen oder verlegt werden.

Mit den jeweiligen Eigentümern und Pächtern der für die seismischen Messungen genutzten Flächen und Wege wurde von der BGE ein Vertrag geschlossen, der sowohl die Betretungsrechte als auch die Entschädigungsleistungen für entstandene Schäden regelt. Die auf Ackerflächen und in Waldgebieten entstandenen Schäden sowie alle Wegeschäden wurden von IPS und einem unabhängigen Gutachter aufgenommen und werden, in Abhängigkeit von der Höhe der Kosten zur Wiederherstellung der Flächen und Wege sowie des Ersatzes für einen möglichen Ernteausfall, durch BGE beglichen.

Meldungen über den Diebstahl von Teilen der Messausrüstung liegen von Seiten GT nicht vor. Eine in der Nähe der Bushaltestelle in Wittmar stehende Registriereinheit wurde von Dritten beschädigt.




Abbildung 68: Fahrspuren eines Vibrofahrzeugs auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.



Abbildung 69: Fahrspuren eines Vibrofahrzeugs auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE


Blatt: 83



Abbildung 70: Fahrspuren der Bohrfahrzeuge auf einem Waldweg.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	



**BGE**  
BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 84



Abbildung 71: Festgefahrenes Vibrofahrzeug.

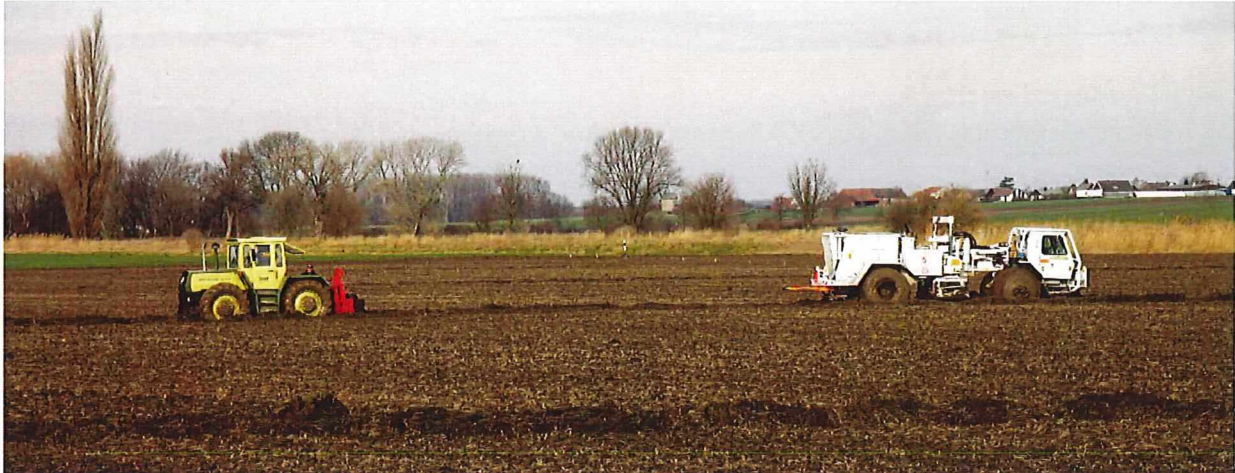


Abbildung 72: Bergung des festgefahrenen Vibrofahrzeugs.



Abbildung 73: Hinterlassene Fahrspuren des festgefahrenen Vibrofahrzeugs.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 85

Für die Objekte Asse-Burg, Bismarck-Turm und das historische Fördermaschinenhaus der Schachanlage Asse II erfolgte in der 2. Kalenderwoche 2020 vor Beginn der seismischen Messungen eine Beweisaufnahme durch die Firma AM Restore (Antony & von zur Mühlen GbR) im Auftrag der BGE (Abbildung 74). Dazu wurde ein Laserscanning der Bauten sowie eine fotografische Dokumentation, z.T. mittels Drohne, durchgeführt und daraus fotorealistische 3D-Modelle erstellt. Aufgrund der bei der 3D-Seismik eingehaltenen Sicherheitsabstände zu diesen drei Objekten und den Ergebnissen der dort durchgeführten Erschütterungsmessungen (die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten liegen alle deutlich unter den Anhaltswerten für historische Bauten), ist nicht zu erwarten, dass durch die seismischen Messungen Schäden aufgetreten sind. Es ist von BGE aber geplant, die Beweisaufnahme nach den seismischen Messungen zu wiederholen. Ein Ergebnis dieser Beweisaufnahme ist der Fremdbauüberwachung zum Zeitpunkt der Berichtserstellung nicht bekannt.



Abbildung 74: Beweisaufnahme per Laserscan am Bismarck-Turm.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	5610000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 86

## 16 Öffentlichkeit

Im Vorfeld und während der seismischen Messungen wurde von der BGE und ihrer Informationsstelle „Info-Asse“ eine intensive Öffentlichkeitsarbeit betrieben, um über das Seismik-Projekt, aber auch über den Hintergrund der Rückholung der in der Schachanlage Asse II eingelagerten Abfälle zu informieren. Bereits im Jahre 2018 fanden erste Informationsveranstaltungen für Eigentümer und Bewirtschafter der land- und forstwirtschaftlichen Flächen im Messgebiet statt. Die Öffentlichkeit wurde im Oktober 2018 im Rahmen einer regelmäßig stattfindenden Veranstaltungsreihe zur Asse über das Seismik-Projekt informiert. Während der seismischen Messkampagne fanden u.a. folgende Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit statt:

### *Informationsveranstaltungen:*

Mit Beginn der Arbeiten lud die BGE am 09.10.2019 die Öffentlichkeit zu einer Informationsveranstaltung in das Dorfgemeinschaftshaus in Remlingen ein, um über die Arbeiten in den kommenden Monaten zu berichten. Es wurden ein auf einem Traktor montiertes Bohrgerät, ein portables Bohrgerät, Geophone, ein GPS und ein Magnetometer für die Kampfmittelsondierungen ausgestellt. Nach Begrüßung durch den Vorsitzenden der BGE-Geschäftsführer (Herr Studt) und eine Einleitung durch den Projektleiter (Herr [REDACTED]) folgten Vorträge von Frau [REDACTED] (BGE) zu den Testbohrungen und Herrn [REDACTED] (GGL, Fremdbauüberwachung) zur 3D-Seismik. Von den etwa 30 - 40 Zuhörern (plus Mitarbeiter von BGE und GT) wurden nach den Vorträgen zahlreiche fachlich orientierte Fragen zur Seismik und wenige generelle Fragen zur Rückholung gestellt.

### *Flyer:*

Von der BGE wurde ein Informations-Flyer erstellt, der über das Ziel und die einzelnen Schritte der 3D-Seismik informierte sowie auf Ansprechpartner und die Internetseite der BGE verwies. Dieser Informations-Flyer wurde auf Informationsveranstaltungen verteilt und lag bei der Infostelle Asse aus. Er war auch in allen Fahrzeugen von GT, IPS und der Fremdbauüberwachung vorhanden, so dass die Mitarbeiter im Feld bei Nachfragen von Anwohnern und Passanten die passenden Informationen sofort zur Verfügung hatten.

### *Telefonische „Hotline“ und E-Mail:*

Eine explizite telefonische „Hotline“ gab es nicht, die Infostelle Asse stand aber während der seismischen Messungen von Montag bis Freitag zu üblichen Bürozeiten für Fragen, Auskünfte und Beschwerden sowohl telefonisch als auch per E-Mail zur Verfügung. Eine ständige telefonische Erreichbarkeit wurde, hauptsächlich für Fragen zu Betretungsrechten und Schadensmeldungen, durch IPS gewährleistet.

### *Internetseite (www.bge.de/de/asse/themenschwerpunkte/themenschwerpunkt-3d-seismik/):*

Die Internetseite der BGE informierte ausführlich über den Umfang, den Ablauf, den Fortschritt, die Sicherheit und die Technik der 3D-Seismik. Der Sachstand zum Fortschritt der Messungen wurde wöchentlich anhand entsprechender Kartendarstellungen aktualisiert. Die Internetseite steht auch nach Abschluss der Messkampagne weiterhin zur Verfügung.

### *Social Media:*


Auf twitter wurden von der BGE in unregelmäßigen Abständen über den Fortgang des Projektes informiert und besondere Veranstaltungen (Tag der Offenen Tür) angekündigt.

### *Tag der Offenen Tür:*

Ein „Tag der Offenen Tür“ fand am Samstag, den 08.02.2020, von 10.00 Uhr bis 15.00 Uhr im und vor dem Truppbüro von GT in Wittmar statt. Ausgestellt wurden ein Vibrofahrzeug, ein Bohrgerät von GT sowie verschiedene Poster und Fotos der BGE mit Inhalten zur Messmethodik und zum Messablauf der Seismik. Mehrere Registriereinheiten dienten ebenfalls als Anschauungsobjekte. „Give-Aways“ der BGE und ein Catering mit Kaffee, Tee, Soft-Drinks und Kuchen waren vorhanden



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BGE**  
 BUNDESGESELLSCHAFT  
 FÜR ENDLAGERUNG

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 87
--	-----------

und wurden von den Besuchern sehr gut angenommen. Mitarbeiter der BGE und der Infostelle Asse sowie die Fremdbauüberwachung standen für Fragen und Auskünfte zur Verfügung. Mit geschätzt ca. 200 Besucher war die Veranstaltung durchgehend gut besucht. Das Publikum zeigte sich sehr interessiert und hatte sich teilweise auch schon vorab gut informiert. Die Fragen konzentrierten sich im Wesentlichen auf die eingesetzte Technik (Vibrofahrzeuge, Geophone) und die folgende Datenbearbeitung. Einige Fragen gab es auch zum eigentlichen Sinn und Zweck der Messung und zur Dauer der folgenden Auswertung. In wenigen Fällen wurde gezweifelt, dass es überhaupt das Ziel ist, die radioaktiven Abfälle zurückzuholen und dass die seismischen Messungen auch dazu dienen könnten festzustellen, dass es besser wäre die Abfälle doch vor Ort zu belassen. Insgesamt war für den „Tag der Offenen Tür“ ein sehr positives Fazit zu ziehen.

#### Info-Asse:

In der Infostelle wurde im Rahmen der dort vorhandenen Ausstellung zur Schachanlage Asse II und der eingelagerten radioaktiven Abfälle ein zusätzlicher Ausstellungsraum eingerichtet in dem überwiegend anhand von Postern und Fotos über die 3D-Seismik informiert wurde. Leider war diese Ausstellung erst ab Anfang Februar 2020 zugänglich – sie bleibt aber auch nach Abschluss der Messkampagne erhalten.

#### Pressetermine:


- 09.10.2019: Filmcrew des NDR. Es wurden die aktuellen Bohrarbeiten gefilmt und eine BGE-Mitarbeiterin (Frau [REDACTED]) interviewt. Der Bericht wurde am gleichen Tag im NDR-Fernsehen ausgestrahlt.
- 18.11.2019: Reporter und Fotograf der „Neuen Presse“.
- 17.10.2019: Filmcrew des NDR. Am ersten Messtag wurden Aufnahmen der Vibratoren, der Sprengseismik, vom Laden der Bohrungen und vom Messwagen gemacht sowie Interviews mit dem Technischen Geschäftsführer (Herr Dr. Lautsch) der BGE aufgenommen (Abbildung 75). Der Bericht wurde am gleichen Tag im NDR-Fernsehen ausgestrahlt.
- 08.02.2020: Verschiedene Pressevertreter am Tag der Offenen Tür.
- 20.02.2020: Reporter der „Braunschweiger Zeitung“. Herr [REDACTED] (GGL, Fremdbauüberwachung) wurde zur Durchführung der 3D-Seismik interviewt.

Die Pressetermine wurden von der Pressesprecherin der BGE und/oder dem Leiter der Infostelle Asse begleitet und resultieren in einer entsprechenden Berichterstattung in Zeitung oder Fernsehen.

#### Besucherguppen (ohne im Projekt involvierte BGE- und GT-Mitarbeiter):

- 24.10.2019: Besuchergruppe mit Vertretern des LBEG und des Niedersächsischen Ministerium für Umwelt.
- 12.11.2019: Besuchergruppe der Abteilung Arbeitssicherheit der BGE.
- 19.11.2019: Ein Vertreter der Unteren Naturschutzbehörde.
- 25.11.2019: Besuchergruppe mit Geologen der Firma Ercosplan aus Erfurt. Die Mitarbeiter hatten in den Jahren 2013 bis 2016 im Auftrag der BGE den Asse-Höhenzug geologisch kartiert [15].
- 26.11.2019: Besuchergruppe mit Vertretern des LBEG, der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) und der Abteilung Arbeitssicherheit der BGE.
- 28.11.2019: Besuchergruppe mit Vertretern des Arbeitssicherheitsausschuss der BGE (Mitarbeiter der Abteilung Arbeitssicherheit, Sicherheitsbeauftragte, Mitglieder des Betriebsrates, Betriebsärztin).
- 28.11.2019: Besuchergruppe mit Vertretern der Markscheiderei (Asse) der BGE.
- 03.12.2019: Technischer Geschäftsführer (Herr Dr. Lautsch) der BGE.
- 11.12.2019: Redakteurin für digitale Kommunikation der BGE.
- 22.01.2020: BGE Mitarbeiter von den Standorten Asse und Gorleben.
- 30.01.2020: BGE Mitarbeiter aus der Abteilung Standorterkundung sowie Geophysiker vom Standort Asse.
- 05.02.2020: Besuchergruppe mit Vertretern der Abteilung Arbeitssicherheit der BGE.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 88
--	-----------

- 06.02.2020: Besuchergruppe mit Vertretern des LBEG.
- 08.02.2020: Besuchergruppe von ehemaligen Mitarbeitern der Firma Prakla-Seismos.
- 11.02.2020: Bürgermeister von Wittmar.
- 11.02.2020: Vorsitzender der BGE-Geschäftsführung (Herr Studt).
- 12.02.2020: Mitarbeiter des Instituts für Geophysik der TU Freiberg ( ).
- 13.02.2020: Studentengruppe und Mitarbeiter des Instituts für Geophysik der TU Braunschweig ( ).
- 14.02.2020: BGE-Mitarbeiter
- 17.02.2020: BGE-Mitarbeiter
- 17.02.2020: Redakteurin für digitale Kommunikation der BGE.
- 18.02.2020: Technischer Geschäftsführer (Herr Dr. Lautsch) und verschiedene Bereichs- und Abteilungsleiter der BGE.
- 19.02.2020: ehemaliger Mitarbeiter der Asse GmbH.
- 20.02.2020: Besuchergruppe mit Vertretern der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und BGE-Mitarbeitern vom Standort Asse.

Neben einer Einführung in das Seismik-Projekt wurden allen Besuchergruppen (vom 17.01. bis 20.02.2020) die im Einsatz befindlichen Vibrofahrzeuge oder die Sprengseismik und das Messfahrzeug sowie einige Registriereinheiten bzw. (im Oktober, November, Dezember 2019) das Abteufen von Bohrungen gezeigt. Die Besucher waren beeindruckt von der eingesetzten Technik und der notwendigen Organisation – die Resonanz war in allen Fällen sehr positiv. Zieht man einige Mehrfachbesucher der BGE ab, so haben insgesamt etwa 100 Personen die seismische Messkampagne besucht.

*Filmaufnahmen:*


Am 11.12.2019, 11.01.2020, 24.01.2020 und am 25.02.2020 wurden von der Firma „lichtempfindlich | Filmproduktion“ Aufnahmen für einen Image- bzw. Informationsfilm im Auftrag der BGE gemacht (Abbildung 76).



KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16

Abbildung 75: Interview des NDR mit Herrn Dr. Lautsch (Technischer Geschäftsführer der BGE).



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 89
--	-----------



Abbildung 76: Filmaufnahmen der Firma lichtempfindlich bei den sprengseismischen Messungen.

Die seismischen Messungen wurden nur in den Ortschaften von relativ wenigen Passanten und Anwohnern verfolgt. Die seismischen Messungen auf den Feldern oder in den Wäldern fanden weitestgehend ohne Zuschauer statt. Dort wurde nur in Ausnahmefällen von wenigen Einzelpersonen (oft den Bewirtschaftern) der Messvorgang für kurze Zeit beobachtet. In den mit Anwohnern bei den Messungen geführten Gesprächen und Diskussionen zeigte sich in allen Fällen ein großes Interesse an der Technik der Seismik, in vielen Fällen aber auch Zweifel sowohl an der Notwendigkeit als auch an der Absicht der Rückholung der radioaktiven Abfälle. Insgesamt machten die Zuschauer aber einen über das Projekt gut informierten Eindruck.

Bei der BGE gingen im Laufe der Messkampagne relativ wenige Beschwerden über die Durchführung der seismischen Messungen ein (eine genaue Zahl ist nicht bekannt). Die zum Teil über den Bürgermeister von Wittmar übermittelten einzelnen Beschwerden konzentrierten sich im Wesentlichen auf angeblich durch den Messtrupp von GT im Asse-Wald geworfene Wodka-Flaschen und auf Geschwindigkeitsüberschreitungen der Transportfahrzeuge (Toyota Hilux) von GT. Leider waren die Angaben der Beschwerden meist so dürftig (keine Ortsangabe, keine Zeitangabe, keine Notiz eines Nummernschildes), so dass eine mögliche weitere Nachforschung sinnlos war. Nach Beobachtung der Fremdbauüberwachung, aber auch nach den vorhandenen Prozeduren von GT (GPS-Tracking von Fahrzeugen, zufällige Alkoholkontrollen), schienen die Beschwerden eher haltlos oder die Beobachtungen betrafen gar nicht GT.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 90



## 17 Zusammenfassung

Zu der von der Geofizyka Toruń S.A. (GT) im Auftrag der Bundesgesellschaft mbH (BGE) durchgeführten seismischen Messkampagne (hochauflösende 3D-Seismik, VSP-Messungen, Nahlinien) im Umfeld der Schachanlage Asse II wurden die GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (GGL) und die VibroSeitz Consulting (VSC) als sogenannte Fremdbauüberwachung für die Beratung der BGE und die Überwachung der seismischen Messungen vor Ort beauftragt.

Ziele der 3D-Seismik sind die lagerichtige räumliche Abbildung der Salzhüllenden und des Salzspiegels im zentralen Bereich der Salzstruktur der Asse, die Charakterisierung potentieller Migrationspfade von Lösungszutritten, die Erlangung von detaillierten Kenntnissen über den Aufbau des Deckgebirges, sowie die großräumige Erfassung von Störungen und deren Charakterisierung. Die geologische Situation und die Abgrenzung des Deckgebirges zum Salinar bedingten eine Erkundungstiefe von 200 m bis ungefähr 2.000 m.

Hauptbestandteil der Messkampagne war die Durchführung einer 3D-Seismik mit 36.137 realisierten Anregungspunkten, davon 29.773 vibroseismischen und 6.364 sprengseismischen Anregungen sowie 44.677 Empfangspunkten, auf 88 Anregungslinien, 101 Empfangslinien und einer Gesamtfläche von ca. 36,5 km<sup>2</sup>. Im Rahmen von GT-internen Qualitätskontrollen wurden im Anschluss an die seismischen Messkampagne noch 2 vibroseismische und 15 sprengseismische aufgrund einer fehlerhaften Geometrie oder zu starkem Noise entfernt, so dass im Endeffekt 29.771 vibroseismische und 6.349 sprengseismische Anregungspunkte für die folgende Datenbearbeitung zur Verfügung stehen. Die VSP-Messungen erfolgten in vier bestehenden Bohrungen in Tiefenbereichen zwischen 230 m und 660 m. Der Messpunktabstand in den Bohrungen betrug 10 m und die vibroseismische Anregung erfolgte von jeweils drei Anregungspunkten mit unterschiedlichem Abstand und Azimut zu der jeweiligen Bohrung.

Die Einmessung aller Anregungs- und Empfangspunkte sowie das Erstellen der Bohrungen für die sprengseismischen Anregungen begannen Ende September bzw. Anfang Oktober 2019 und wurden bis zum 16.12.2019 abgeschlossen. Zur Erstellung der Bohrungen, die im Schnitt eine Tiefe von 8,43 m aufwiesen, kamen 17 gleichzeitig arbeitende Teams mit tragbaren und auf Traktoren montierten Bohrgeräten zum Einsatz. Alle sprengseismischen Anregungspunkte sowie kleinere Abschnitte auf den Anregungslinien wurden während der Einmessung auf Kampfmittelfreiheit geprüft. Die eigentlichen 3D-seismischen Messungen erfolgten im Zeitraum vom 17.01.2020 bis zum 20.02.2020, wobei an 35 Messtagen ein Schnitt von 1.032,5 Anregungspunkten pro Tag erzielt wurde. Das Maximum lag am 05.02.2020 mit 1.899 vibroseismischen Anregungen beim Einsatz von bis zu fünf Vibrofahrzeugen im Slip-Sweep-Verfahren. Alle seismischen Messungen in bebauten Gebieten wurden von Erschütterungsmessungen begleitet. Die VSP-Messungen fanden im Zeitraum vom 08.01. bis 12.01.2020 statt. Hinzu kam die im letzten Quartal 2019 durchgeführte Messung von insgesamt 155 Nahlinien für die 3D-Seismik zur Ermittlung der Geschwindigkeiten im oberflächennahen Untergrund.

Die hohen Anforderungen an die Auflösung und Qualität der seismischen Daten erforderten den Einsatz der innovativsten seismischen Techniken wie Einzelvibratoren, Einzelgeophone und breitbandige Signale. Gleichzeitig war es aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung der Messfläche sowie der Berücksichtigung naturschutzrechtlicher Belange notwendig, die umfangreiche Messung in sehr kurzer Zeit durchzuführen. Die Energieanregung erfolgte daher im Slip-Sweep-Verfahren mit vier bis fünf an unterschiedlichen Stellen im Messgebiet arbeitenden Einzelvibratoren, die ein breitbandiges Signal abstrahlten. Die Aufzeichnung erfolgte mit dem kabellosen Messsystem Innoseis Tremornet und vertikalen 5 Hz-Einzelgeophonen in einer festen Auslage von ca. 40.000 Registriereinheiten. Die Kombination von kabellosen Registriereinheiten mit der Anregung seismischer Wellen im Slip-Sweep-Verfahren verkürzt die Zeit für die Erfassung seismischer Daten drastisch. Vor dem Hintergrund der zeitlichen Limitierung durch die Nutzung der land- und



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 91



forstwirtschaftlichen Flächen im Messgebiet hat diese Kombination die Durchführung der 3D-Seismik Asse erst möglich gemacht.

Die Messausrüstung von GT war in einem getesteten, geprüften, einsatzbereiten Zustand, der durch tägliche Kontrollen verschiedener technischer Parameter der Registriereinheiten und Vibrofahrzeuge kontinuierlich überprüft wurde und keine signifikanten Mängel aufwies. Die im Projektverlauf registrierten seismischen Daten wiesen eine sehr gute Datenqualität auf, wobei an einigen Tagen ein erhöhter Noise-Pegel durch starken Wind zu verzeichnen war. Die Wetterbedingungen führten auf der Nordseite des Messgebietes zeitweise auch zu Einschränkungen in der Befahrbarkeit der landwirtschaftlichen Flächen. Aufgrund des hohen Überdeckungsgrades ist aber zu erwarten, dass mit den seismischen Daten eine sehr gute strukturelle Abbildung des Untergrundes gelingen wird, was erste Rohstapelungen im Rahmen der GT-internen Qualitätskontrolle schon bestätigten.

Im Vorfeld und während der seismischen Messungen wurde von der BGE und ihrer Informationsstelle „Info-Asse“ eine intensive Öffentlichkeitsarbeit betrieben, um über das Seismik-Projekt, aber auch über den Hintergrund der Rückholung der in der Schachanlage Asse II eingelagerten Abfälle zu informieren. Bis auf den sehr gut besuchten Tag der Offenen Tür war das Interesse der lokalen Bevölkerung an den seismischen Messungen aber relativ gering. Dennoch gab es während der seismischen Messungen viele Fachbesucher aus Ämtern, Universitäten und verschiedenen Abteilungen der BGE, sowie einige Berichte in Zeitungen und Fernsehen. Bei den Besuchern zeigte sich generell ein großes Interesse an der Technik der Seismik.

Die insbesondere auf den Ackerflächen durch das Befahren mit den Vibrofahrzeugen, und in Waldgebieten durch die Bohrfahrzeuge, entstandenen Schäden wurden in Zusammenarbeit mit einem unabhängigen Gutachter aufgenommen und werden, in Abhängigkeit von der Höhe der Kosten zur Wiederherstellung der Flächen und Wege sowie des Ersatzes für einen möglichen Ernteausfall, durch BGE beglichen.

Trotz der umfangreichen und schwierigen Bohrarbeiten für die Sprengseismik im Waldgebiet der Asse sowie der engen Zeitvorgaben für die Umsetzung des Messprogramms wurden die seismischen Feldarbeiten bereits Ende Februar 2020 vorfristig und unfallfrei abgeschlossen.






Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 92

## 18 Literaturverzeichnis

- [1] Atomgesetz, §57b, Abs. 8, „Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren, § 57b Betrieb und Stilllegung der Schachanlage Asse II.,“ *AtG - Atomgesetz*, 2013.
- [2] Geophysik GGD mbH, „Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörung der Schachanlage Asse II - Abschlussbericht,“ *Bundesamt für Strahlenschutz*, 28 Januar 2011.
- [3] DMT Petrologic GmbH, „Datenbearbeitung, Interpretation und Modellrechnungen einer (3D-)seismischen Testmessung im Bereich der Schachanlage Asse II - Abschlußbericht,“ *Bundesamt für Strahlenschutz*, 4 Juni 2014.
- [4] Geophysik GGD mbH, „Konzeptplanung für die Durchführung einer 3D-seismischen Messung (Hauptmessung) im Gebiet der Schachanlage Asse,“ *Bundesamt für Strahlenschutz*, 8 Mai 2014.
- [5] GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH, „Alternativen bei der Durchführung der 3D-seismischen Hauptmessung im Gebiet der Asse,“ *Bundesamt für Strahlenschutz*, 21 August 2016.
- [6] Bundesberggesetz, „Bundesberggesetz,“ *BergG*, 1980.
- [7] Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH, „Kampfmittelvorerkundung im Gebiet der Schachanlage Asse II für die 3D-seismischen Messungen, Asse GmbH,“ *Asse GmbH*, 29 September 2015.
- [8] Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH, „Kampfmittelvorerkundung im Gebiet der Schachanlage Asse II für die 3D-seismischen Messungen, BGE mbH,“ *Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH*, 15 08 2018.
- [9] A. Cordsen, M. Galbreith und J. Peirce, „Planning Land 3-D Seismic Surveys,“ *Geophysical Developments No. 9*, 2000.
- [10] Weinberg, H.J.; Klarr, K., „Erdfälle in der Asse,“ *Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, Institut für Tieflagerung*, Juli 1990.
- [11] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, „2. Fachgespräch: Organisatorisches; Testbohrung und Waldbegehung,“ *Besprechungsbericht Schachanlage Asse II*, 3 März 2019.
- [12] C. Bagaini, „Low-frequency vibroseis data with maximum displacement sweeps,“ *The Leading Edge*, Bd. Vol. 27, 2008.
- [13] D. Mougnot, „Pushing toward the low frequencies,“ *World Oil*, 2005.
- [14] G. Baeten, J. W. de Maag, R. E. Plessix, R. Klaassen, T. Qureshi, M. Kleemeyer, F. ten Kroode und Z. Rujie, „The use of low frequencies in a full-waveform inversion and impedance inversion land seismic case study,“ *Geophysical Prospecting*, Bd. Vol. 61, 2013.
- [15] Ercosplan Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH, „Bericht zur Revisionskartierung (M 1:5.000) der Salzstruktur Asse im Bereich zwischen Gross Denkte und Klein Vahlberg,“ *Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH*, 2018.
- [16] A. Refae, S. Khalil, B. Vincent und M. Ball, „Increasing bandwidth with single sensor seismic data - the Lehib oilfield case study,“ *First Break*, Bd. Vol. 26, 2008.
- [17] DIN 4150-03, „DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen,“ 1999.
- [18] B. Haverkamp, „Stellungnahme bezüglich eines möglichen Einflusses der seismischen Arbeiten (Energieanregung durch Vibratoren, Sprengungen) auf die Standsicherheit der Schächte Asse 2 und Asse 4,“ *BGE Technology GmbH*, 20 Juni 2019.
- [19] R. E. Sheriff und L. P. Geldart, „Exploration Seismology,“ *Cambridge University Press*, 1995.

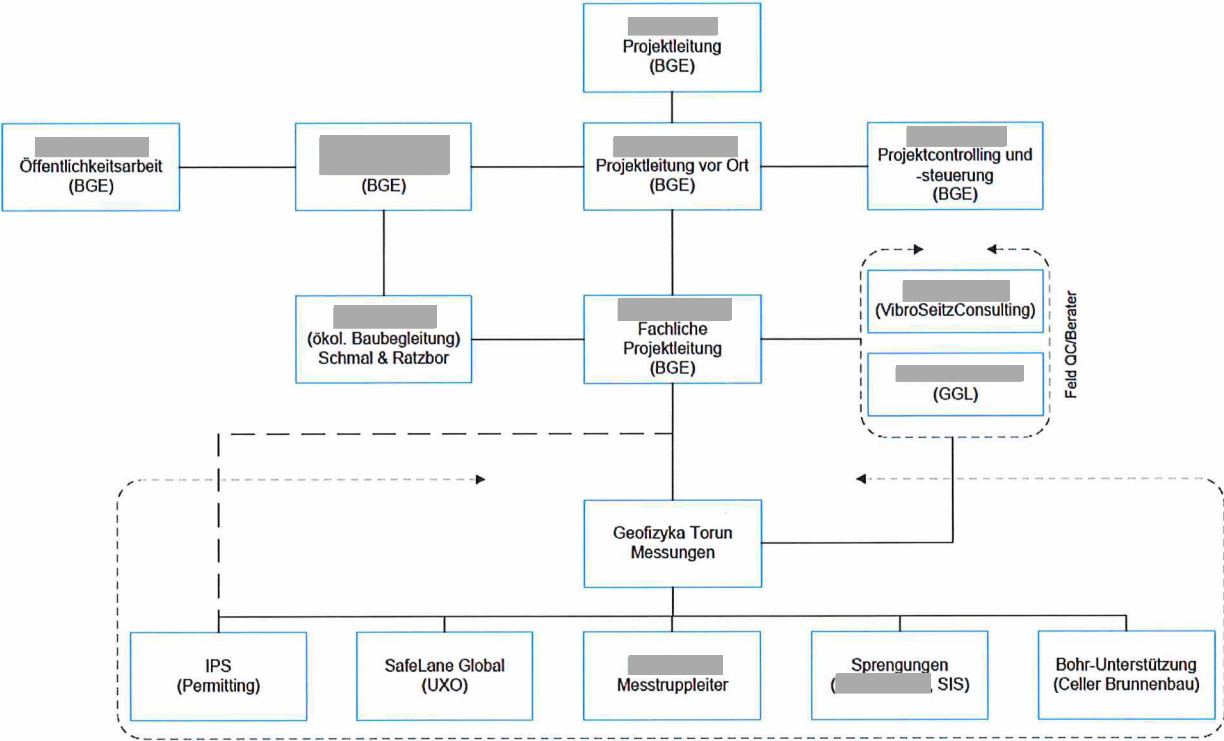


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	5610000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 93
--	-----------

**Anhang 1: Grafiken 77 - 89**



Grafik 77: Organigramm von BGE für die 3D-Seismik Asse (Stand 14.02.2020).

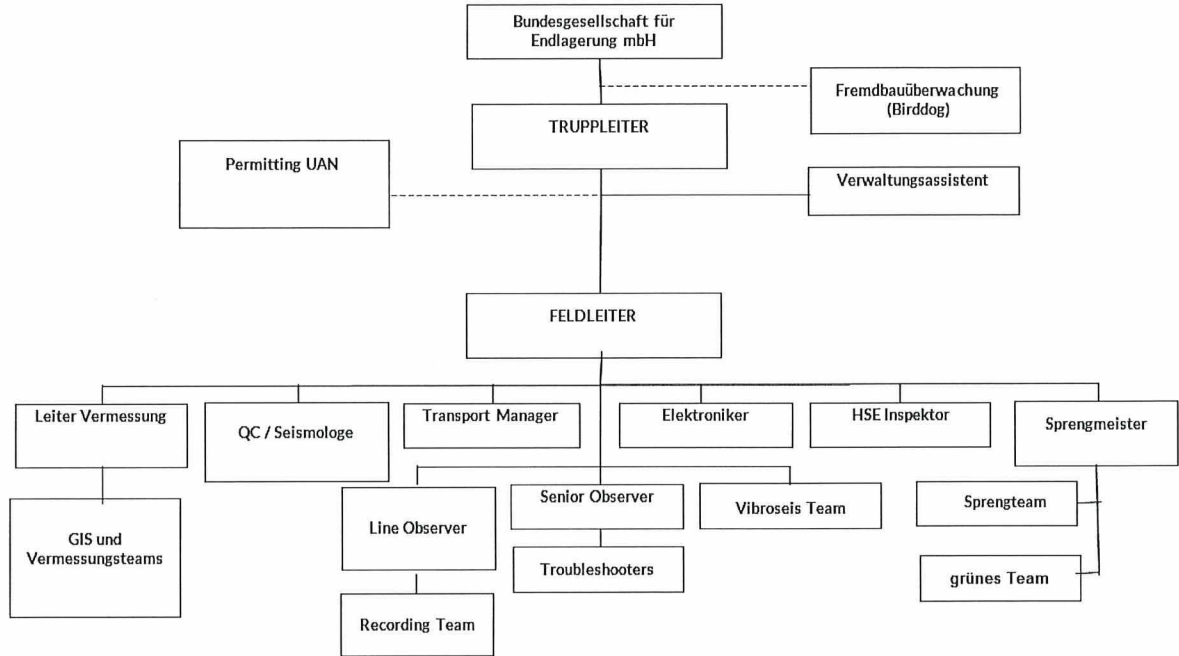


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse
Blatt: 94

### Organigramm des seismischen Trupps DE-24



Grafik 78: Organigramm von GT für die 3D-Seismik Asse.

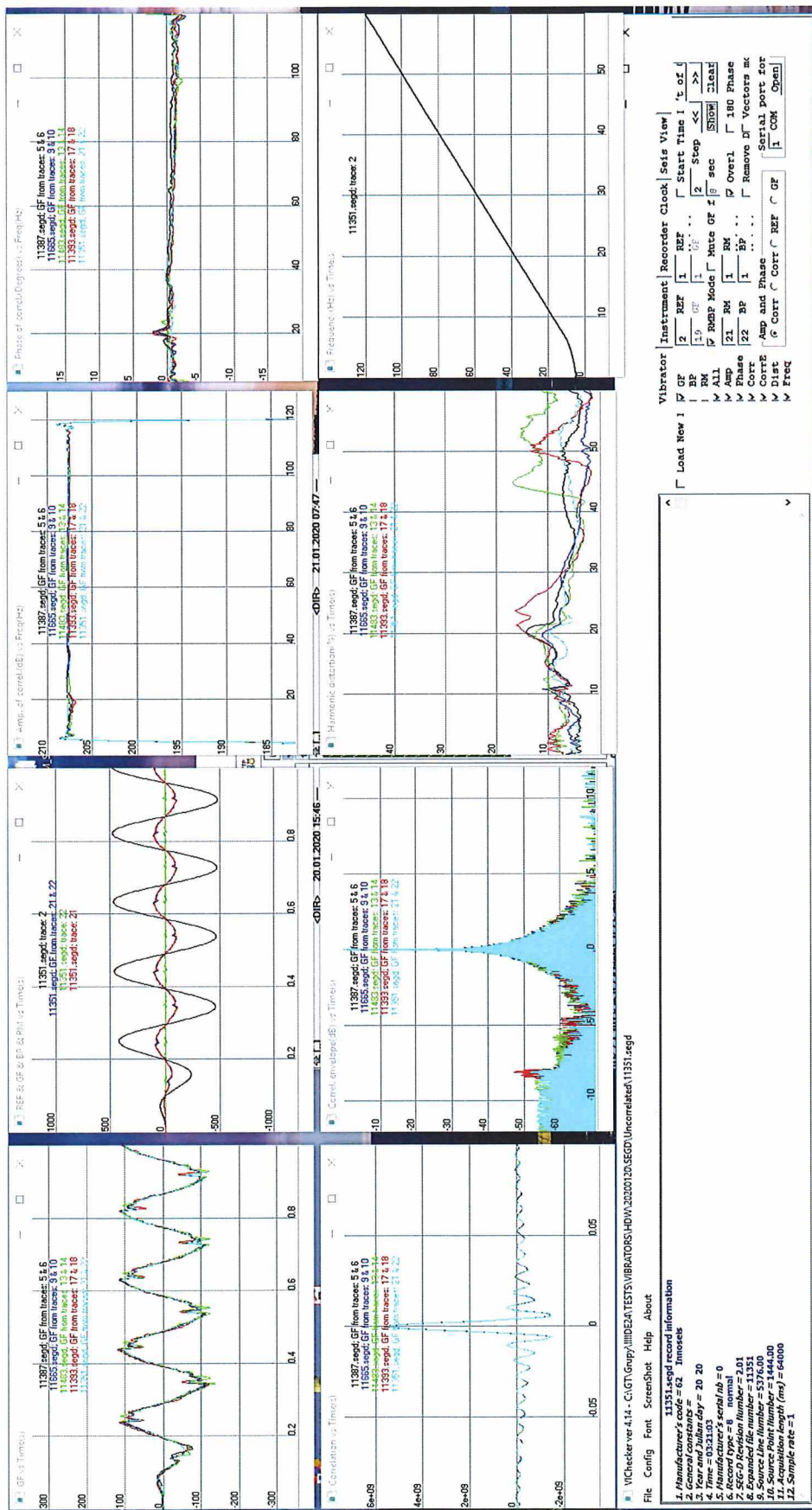


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00		


Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

Blatt: 95

KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16



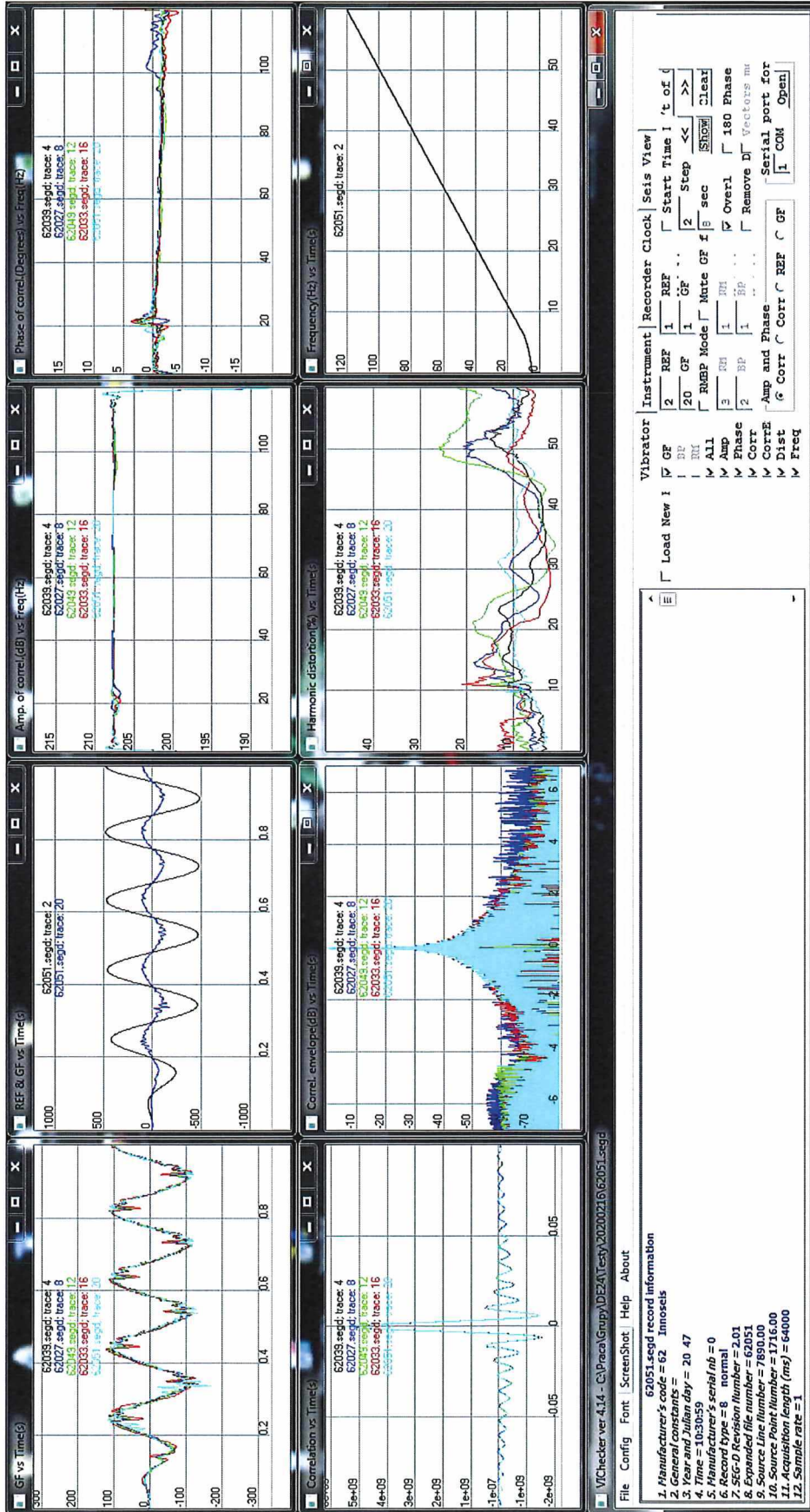
Grafik 79: Ergebnisse der Multi Vibrator Analyse am 20.01.2020 (Vibrator 1: schwarze Kurve, Vibrator 2: blaue Kurve, Vibrator 3: grüne Kurve, Vibrator 4: rote Kurve, Vibrator 5: hellblaue Kurve).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

Blatt: 96


KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16



Grafik 80: Ergebnisse der Multi Vibrator Analyse am 16.02.2020.  
(Vibrator 1: schwarze Kurve, Vibrator 2: blaue Kurve, Vibrator 3: grüne Kurve, Vibrator 4: rote Kurve, Vibrator 5: hellblaue Kurve).

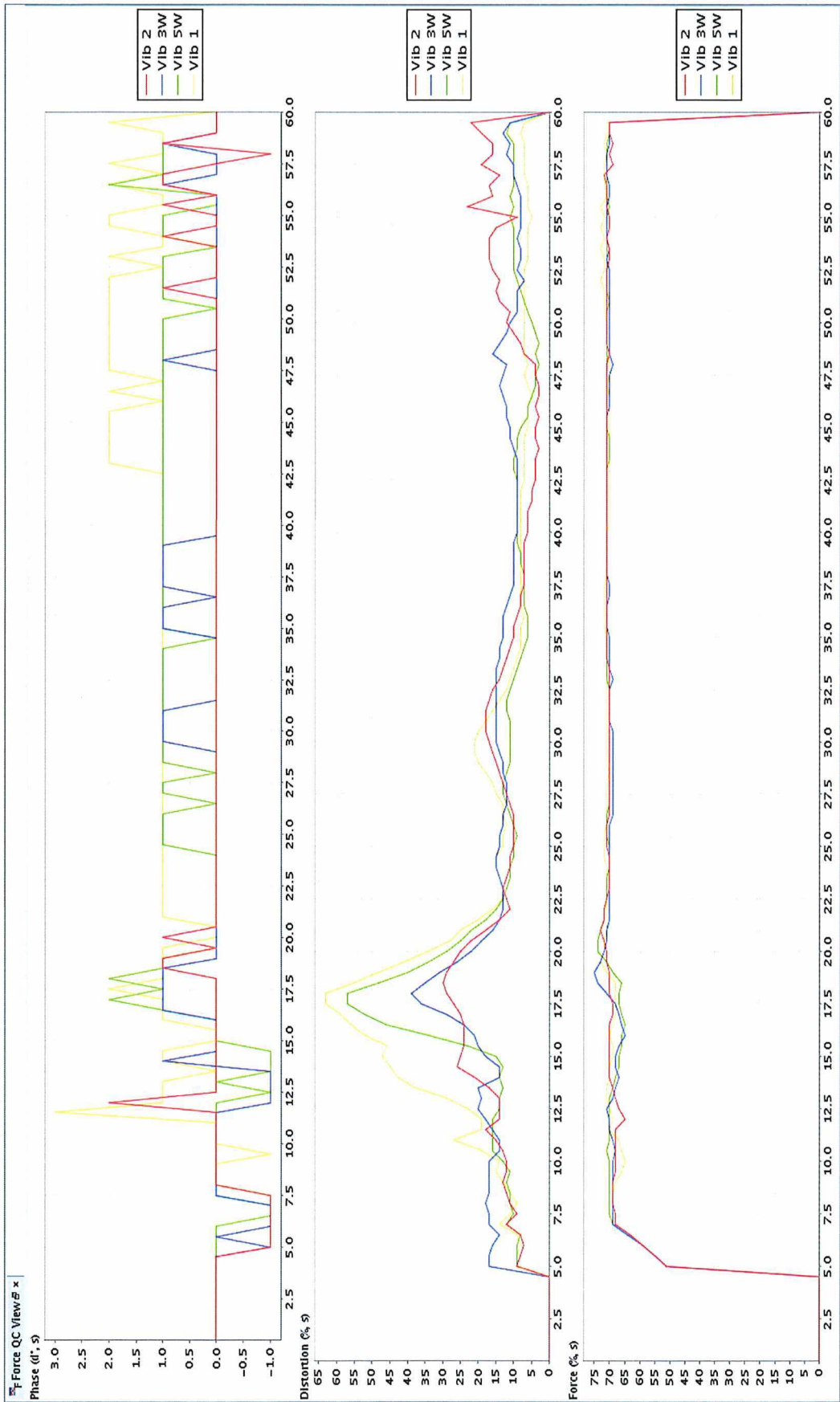


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00


**BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE
Blatt: 97

KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16



Grafik 81: Ergebnisse des Radio Similarity Tests am 25.01.2020, 07.45 Uhr.

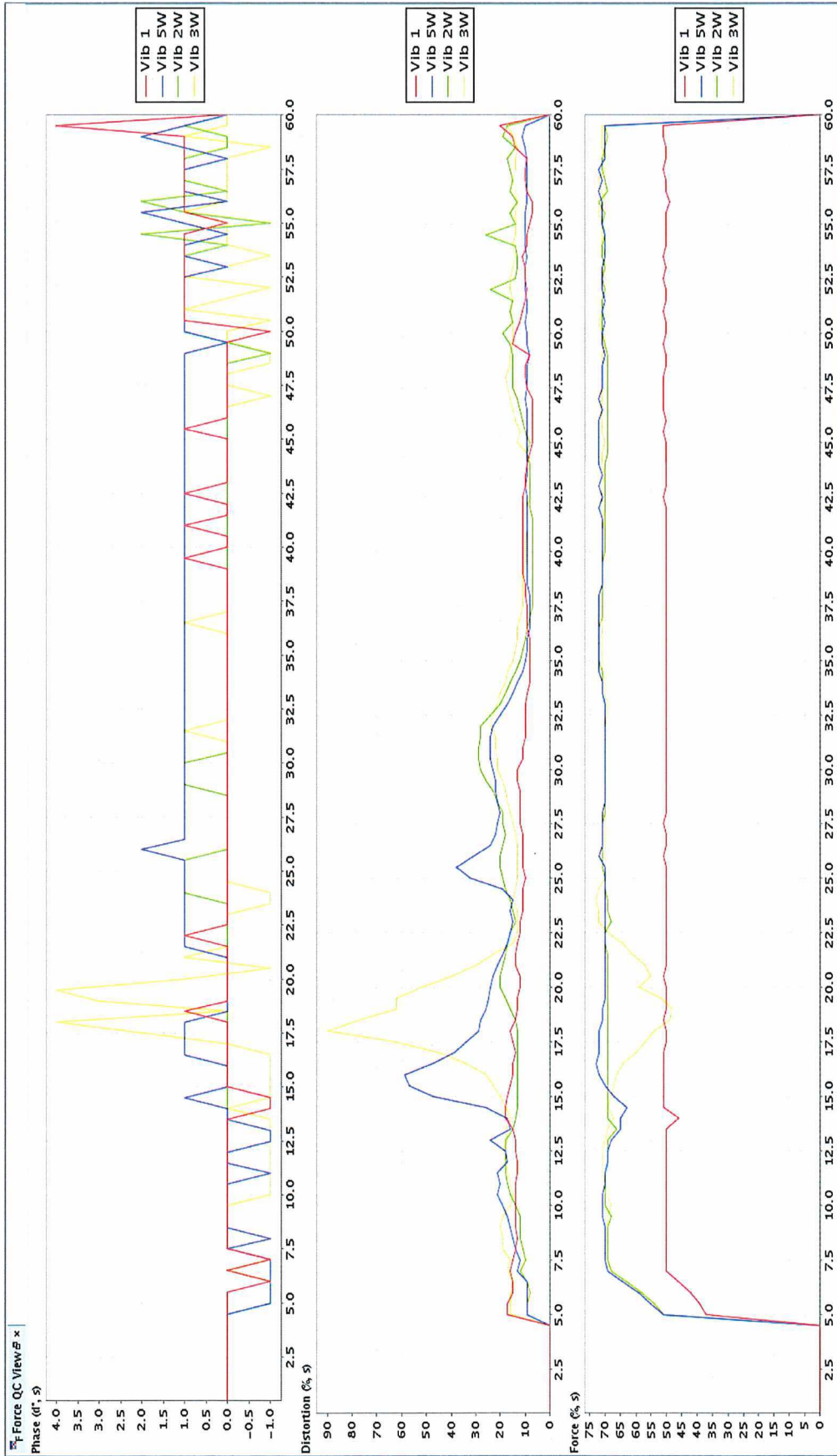
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00



Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

Blatt: 98

KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16



Grafik 82: Ergebnisse des Radio Similarity Tests am 25.01.2020, 13.00 Uhr.

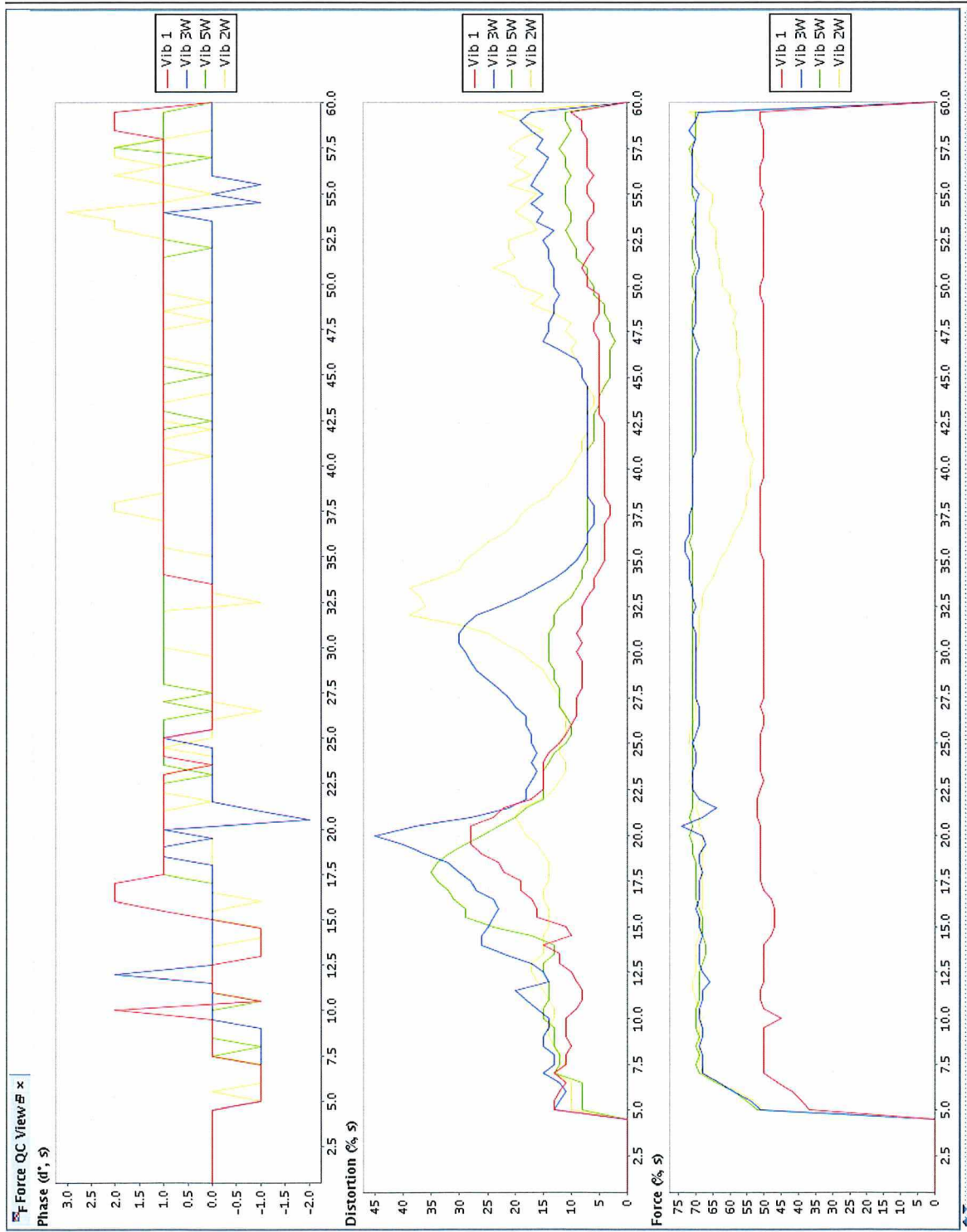


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

Blatt: 99

KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16

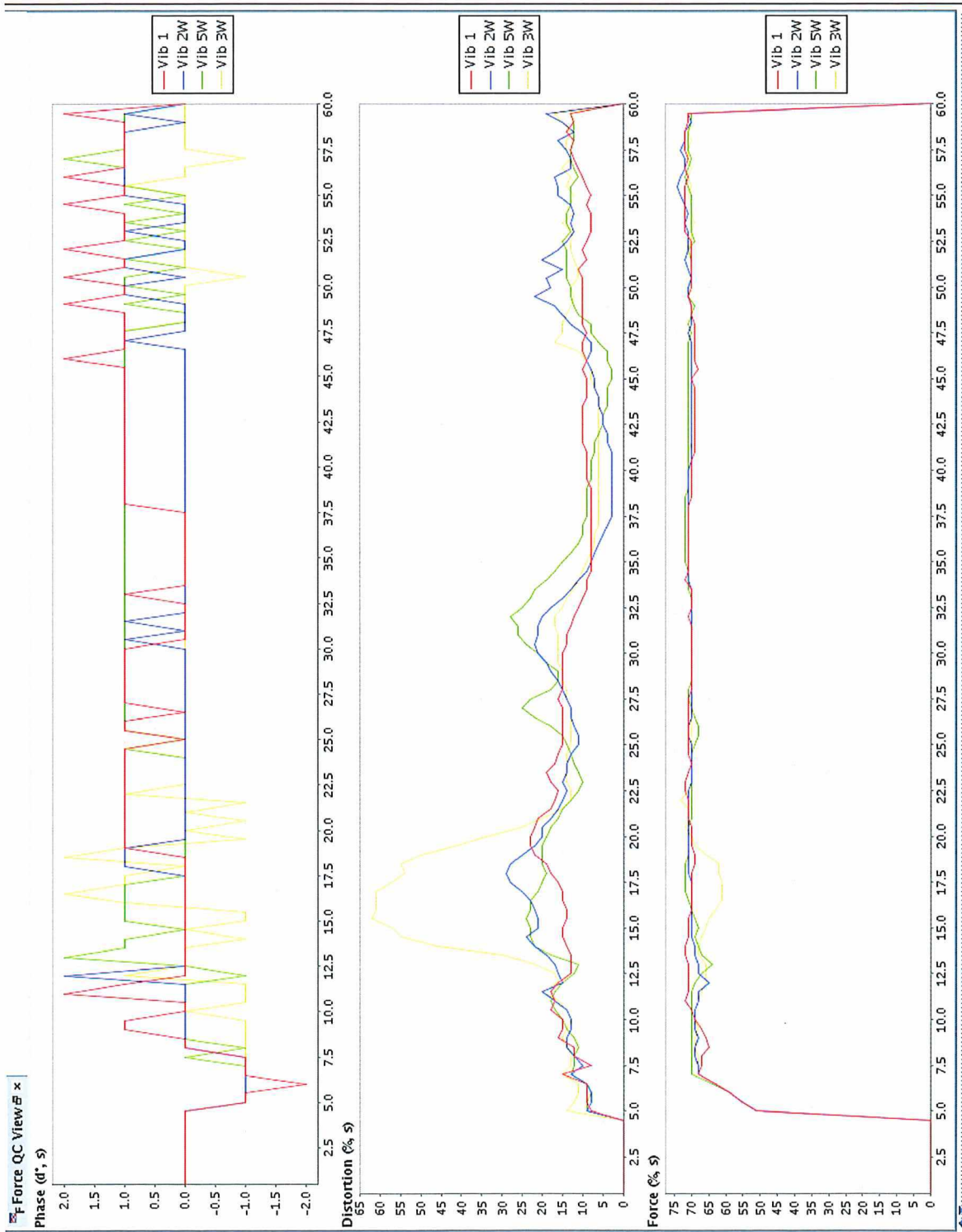


Grafik 83: Ergebnisse des Radio Similarity Tests am 25.01.2020, 16.00 Uhr.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

Blatt: 100




KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16

Grafik 84: Ergebnisse des Radio Similarity Tests am 25.01.2020, 18.15 Uhr.

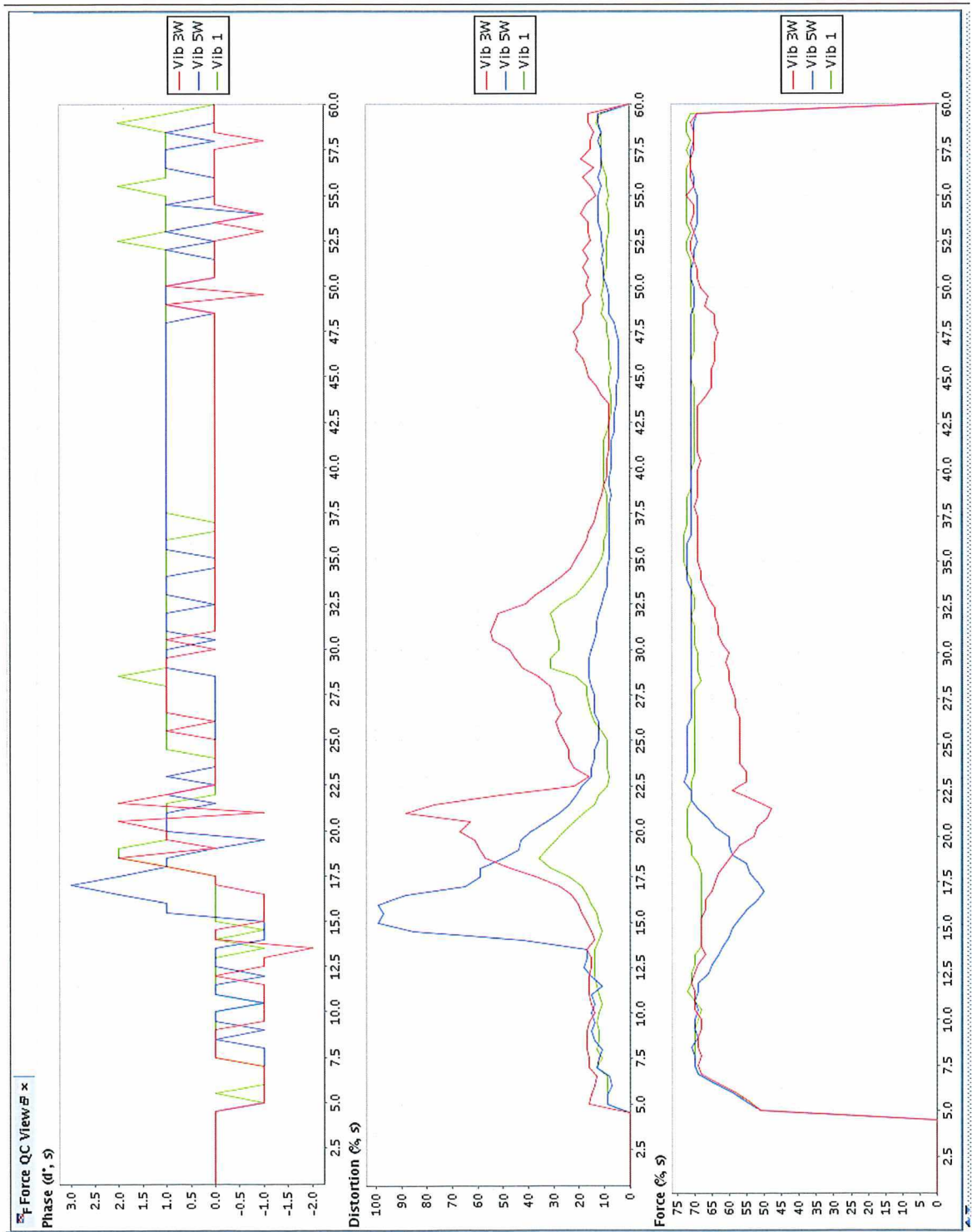


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00

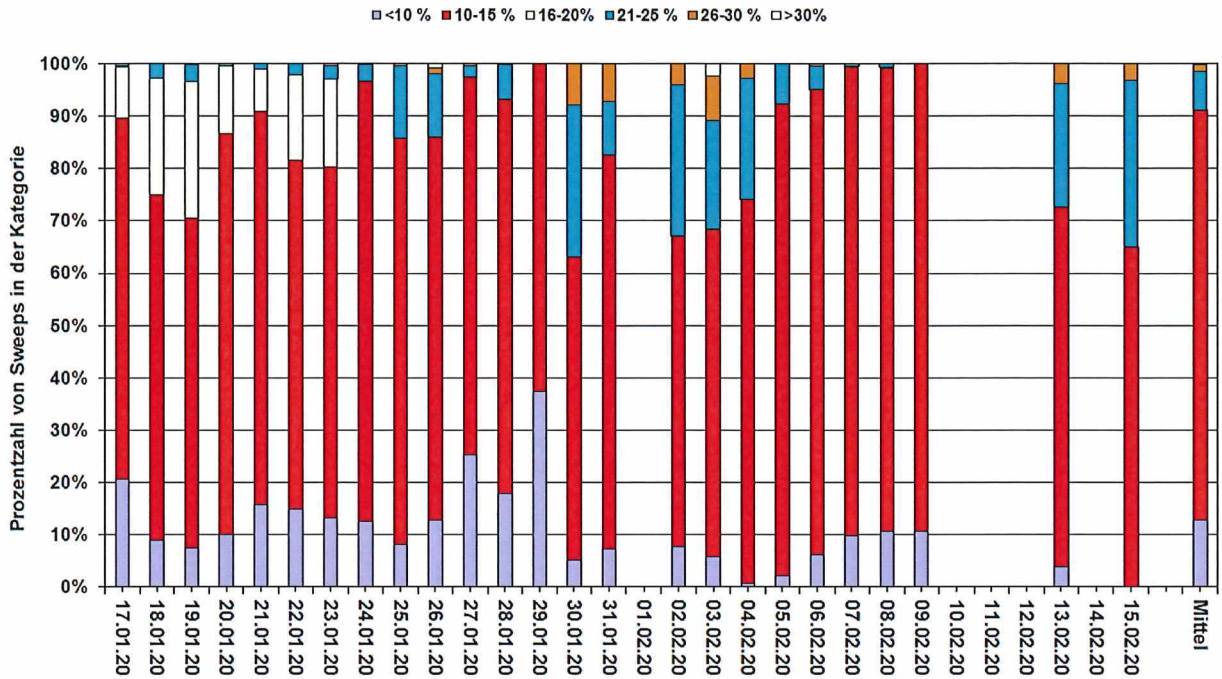

**BUNDEGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE
Blatt: 101

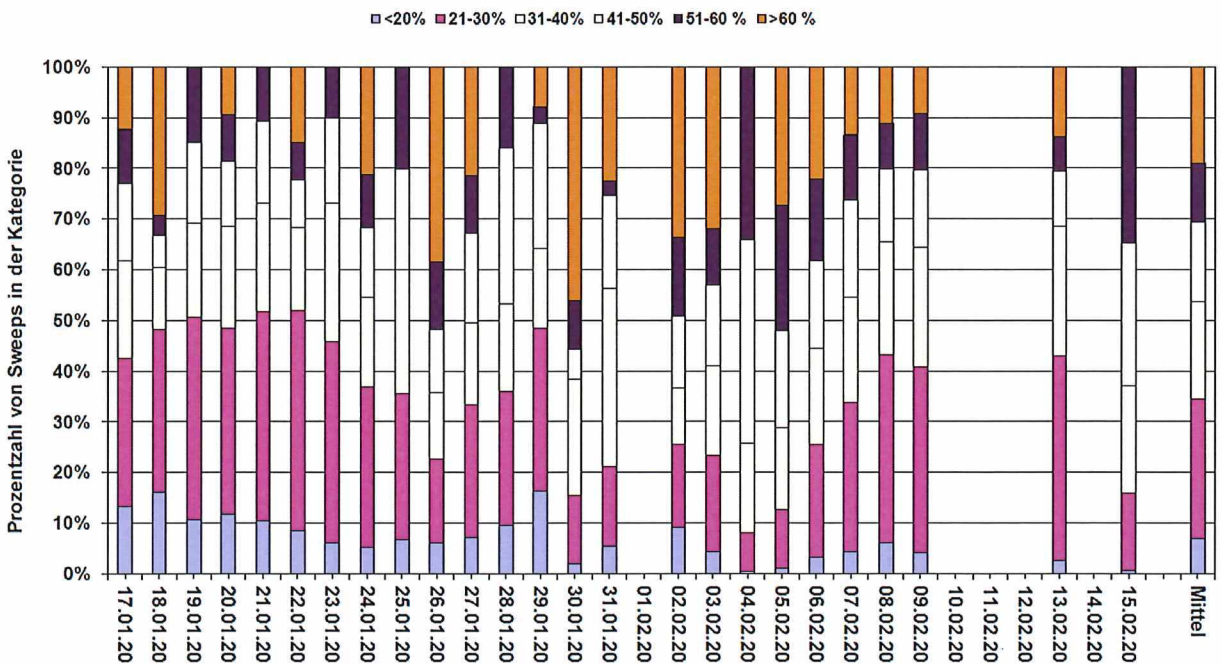
KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16



Grafik 85: Ergebnisse des Radio Similarity Tests am 25.01.2020, 21.30 Uhr.




Graphik 86: Prozentualer Anteil aller Sweeps in den jeweiligen Bereichen der Average Distortion (mittlere Signalverzerrung) (Zusammenstellung  ).



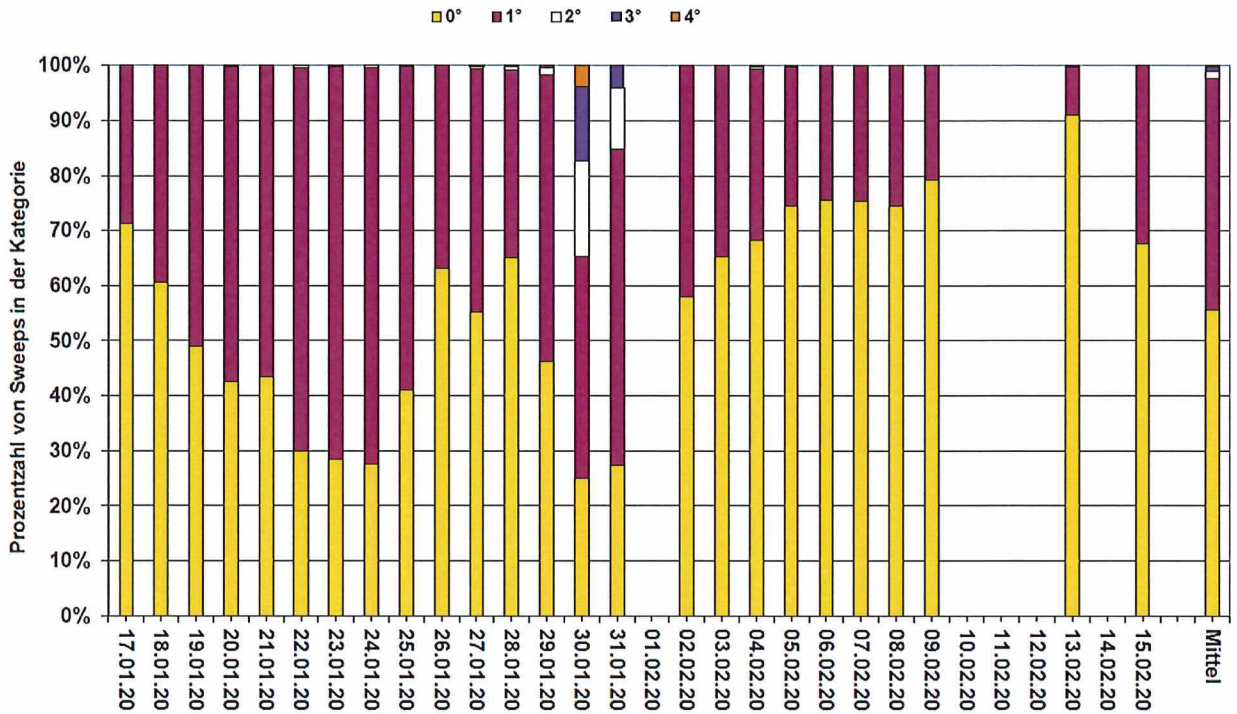
Graphik 87: Prozentualer Anteil aller Sweeps in den jeweiligen Bereichen der Peak Distortion (maximale Signalverzerrung) (Zusammenstellung  ).



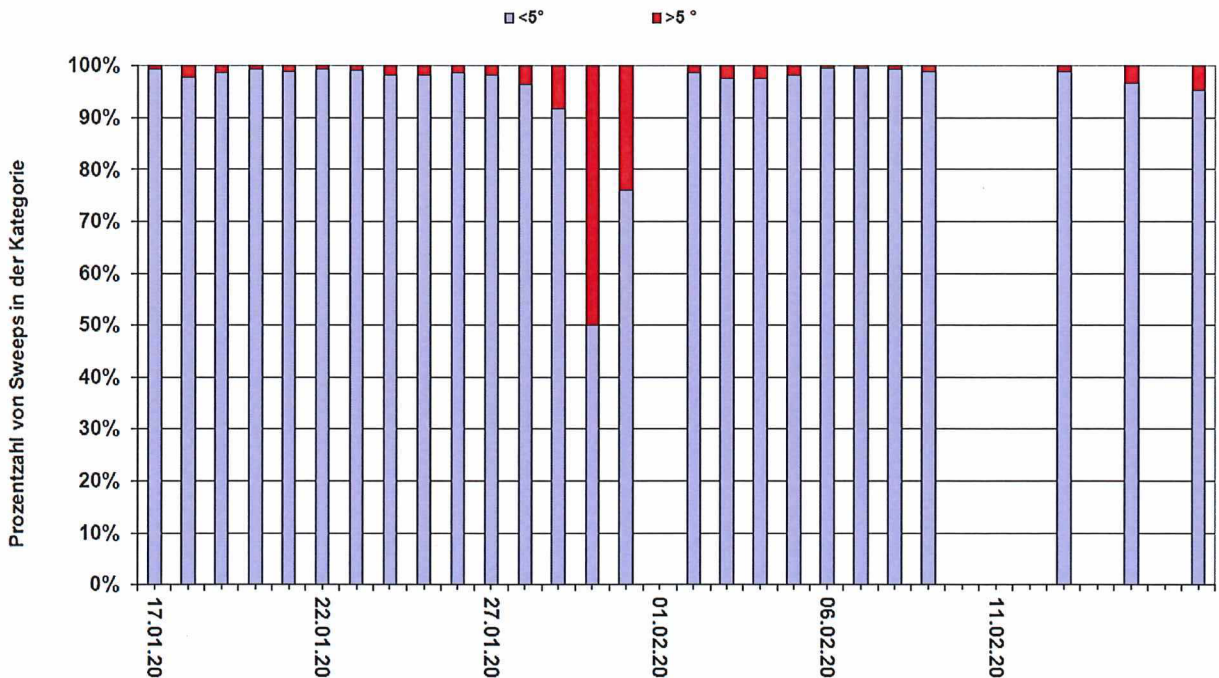
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

Blatt: 103



Grafik 88: Prozentualer Anteil aller Sweeps in den jeweiligen Bereichen der Average Phase (mittlerer Phasenfehler) (Zusammenstellung  ).



Grafik 89: Prozentualer Anteil aller Sweeps in den jeweiligen Bereichen der Peak Phase (maximaler Phasenfehler) (Zusammenstellung  ).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDEGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**



Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 104
--	------------


**Anhang 2: Untersuchungen zum Überdeckungsgrad bei Vertauschung von Anregungs- und Empfangspunkten im Waldgebiet der Asse**


Stand: 18.03.2019

## 3D-seismische Hauptmessung

### Untersuchungen zum Überdeckungsgrad bei Vertauschung von Anregungs- und Empfangslinien im Waldgebiet der Asse


GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH  
 Bautzner Str. 67  
 04347 Leipzig  
 @ggl-gmbh.de  
 www.ggl-gmbh.de


 GGL Geophysik und  
 Geotechnik Leipzig GmbH

## Vergleich der CMP-Überdeckungsgrade (ohne Neigung)


- I: Aktive Auslage (Patch) wie in Leistungsbeschreibung**
- II: ... mit kompletter Vertauschung von Anregungs- und Empfangspunkten**
- III: ... mit kompletter Vertauschung von Anregungs- und Empfangspunkten und geänderten Linienabständen in Zone D**

**In Zone D: 200 m Anregungspunktlinienabstand  
 100 m Empfangspunktlinienabstand**


 GGL Geophysik und  
 Geotechnik Leipzig GmbH

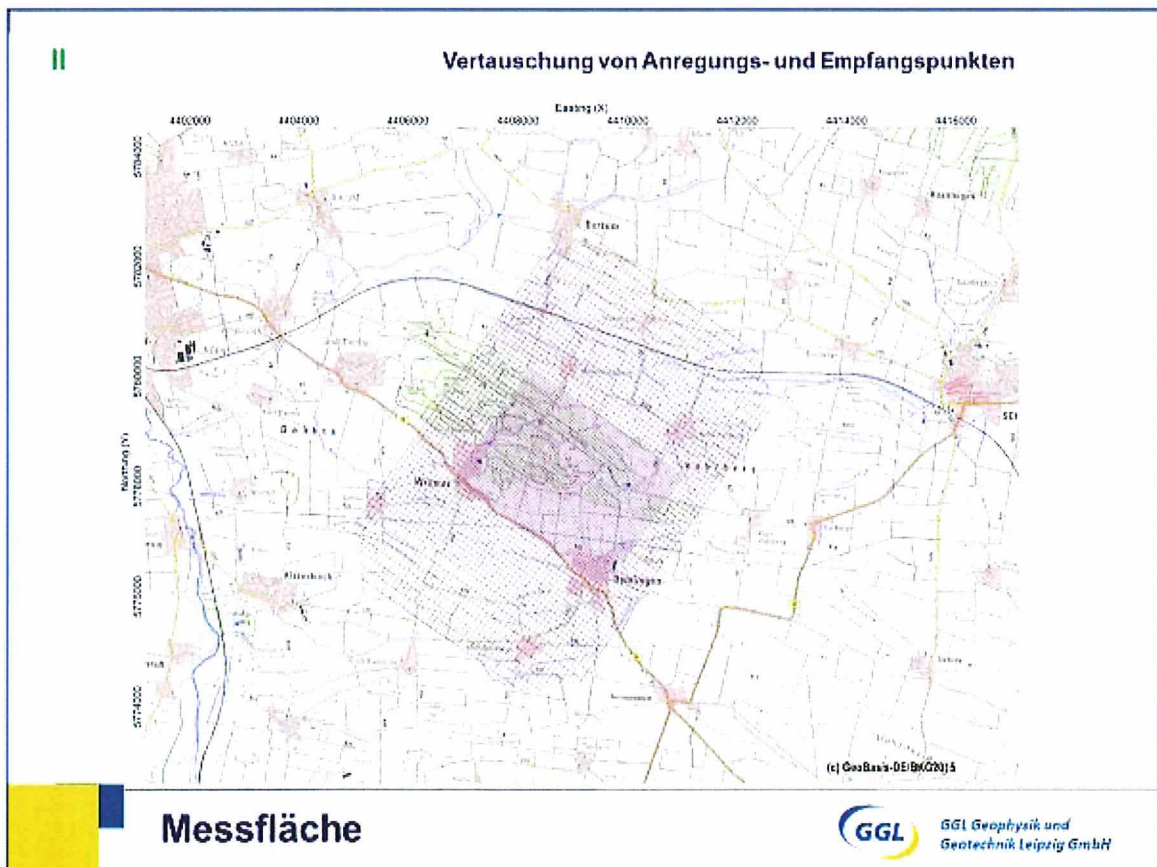
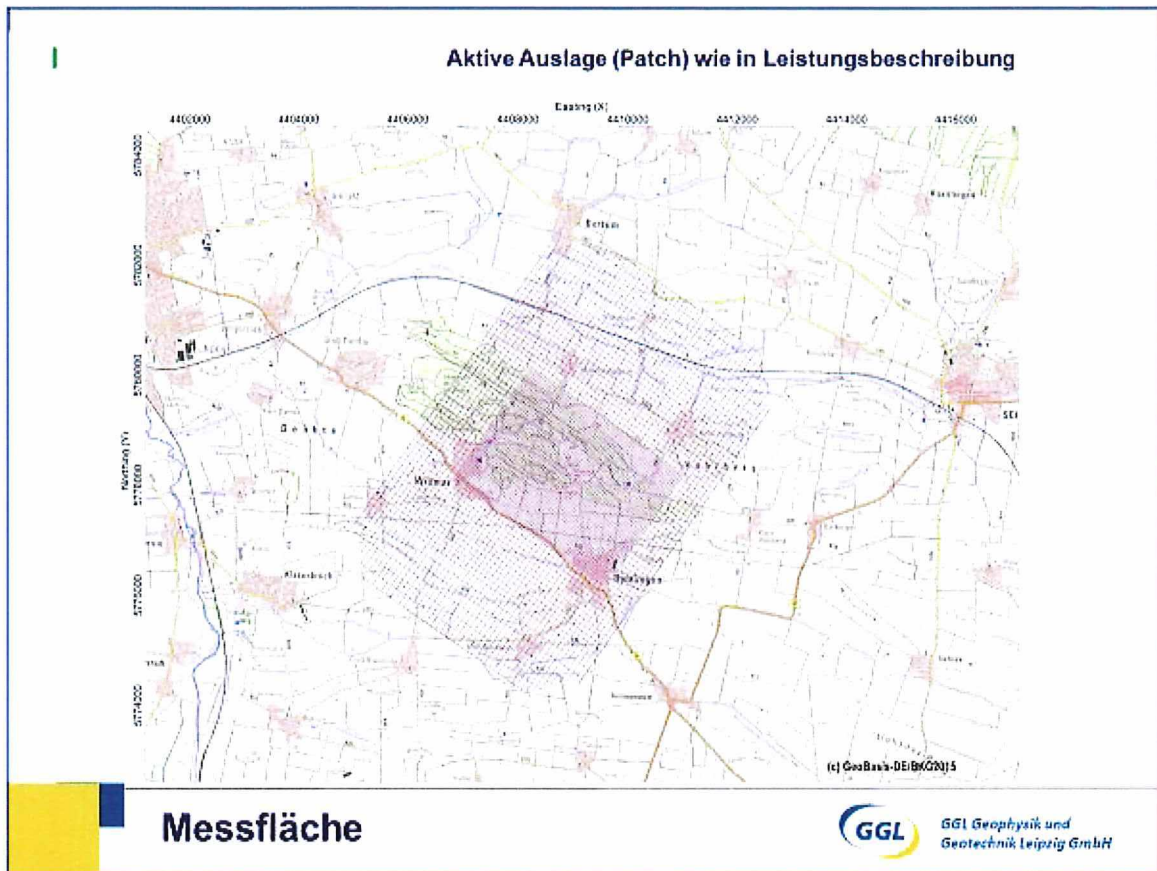


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

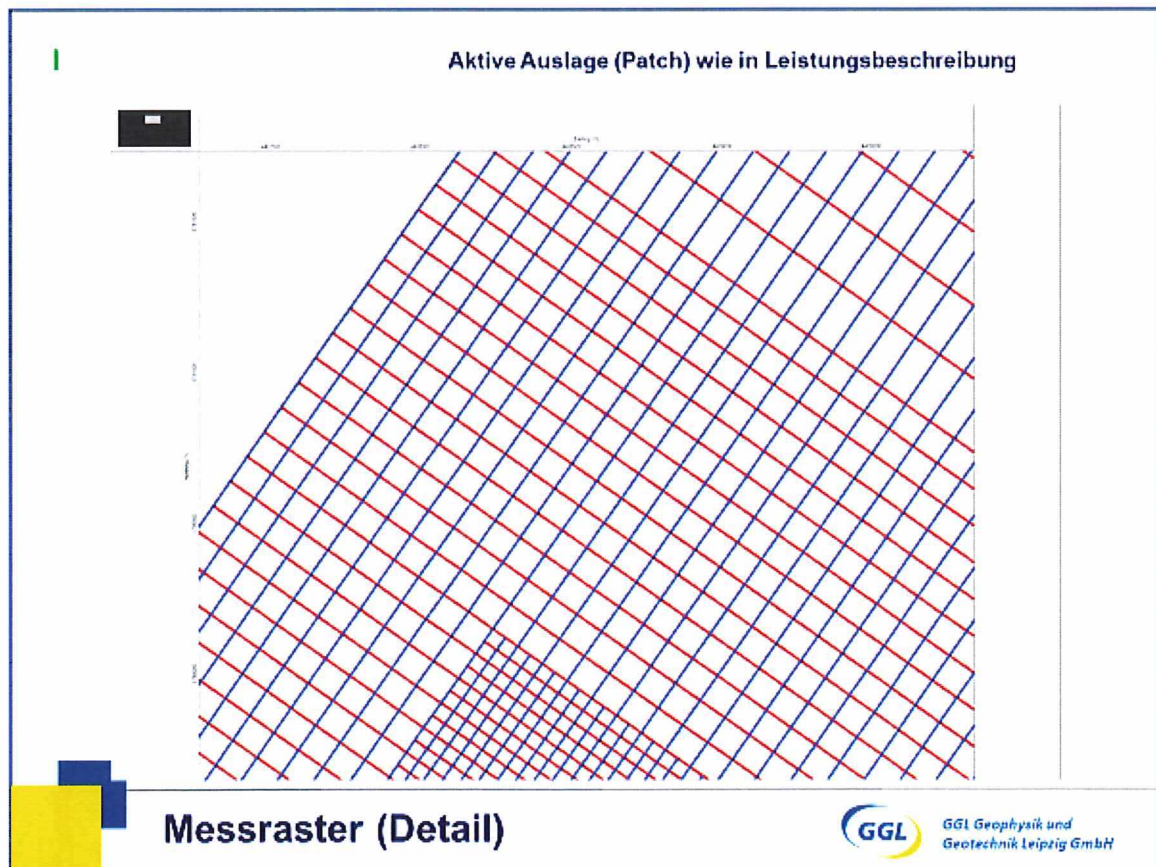
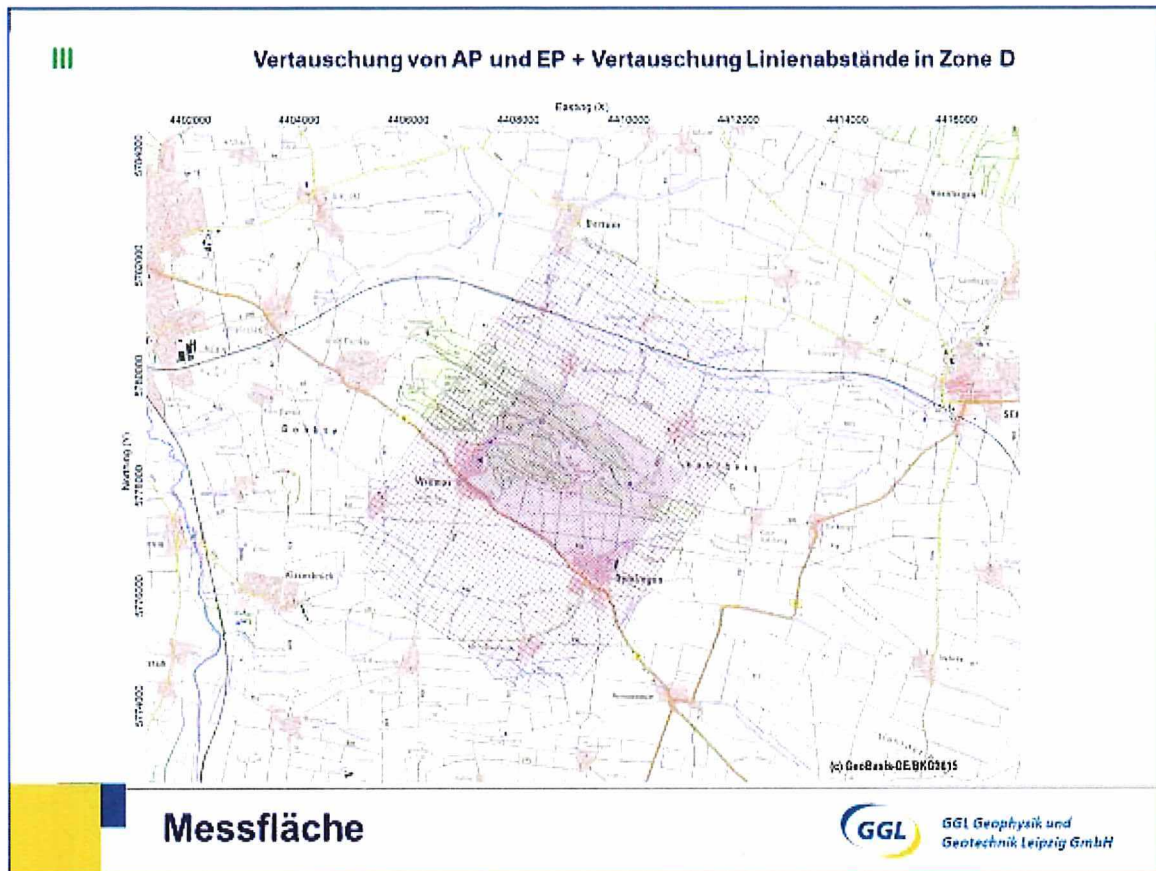

**BUNDEGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse**


**Blatt: 105**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00

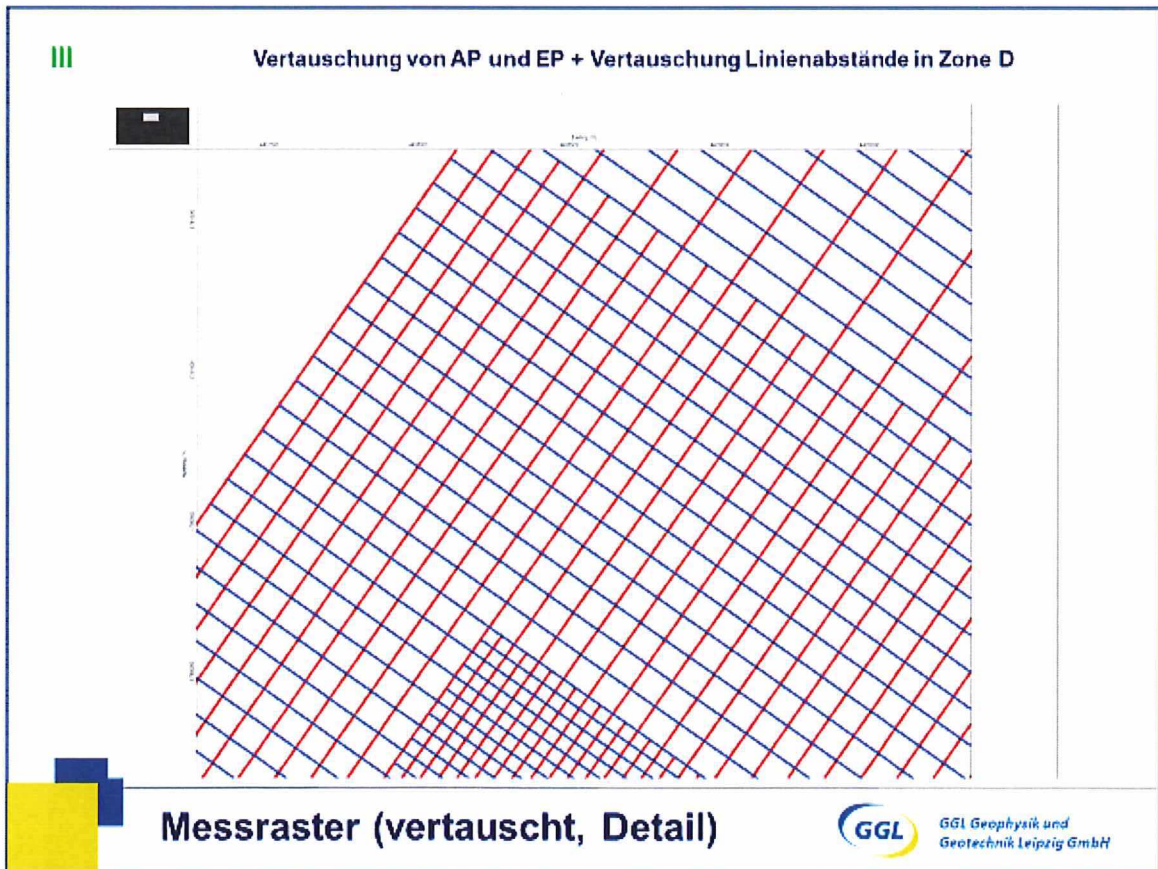
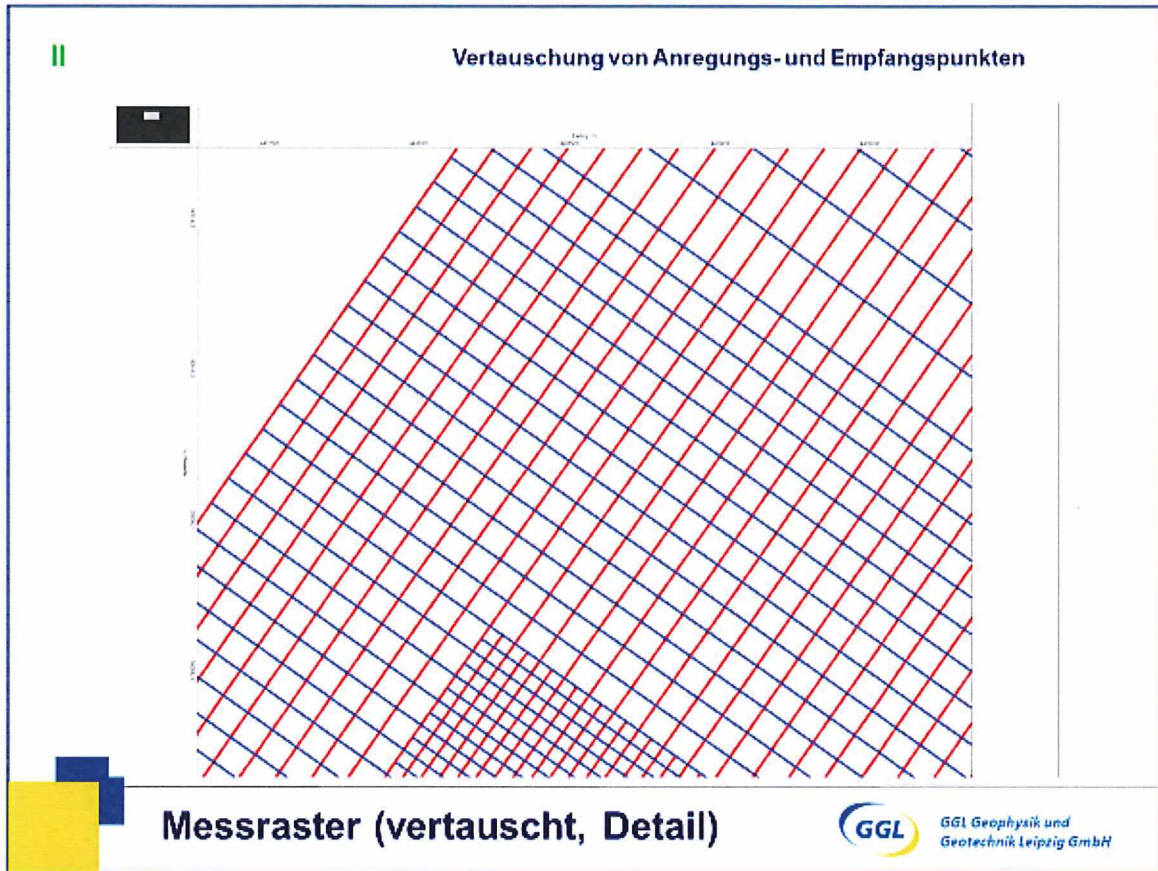




Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

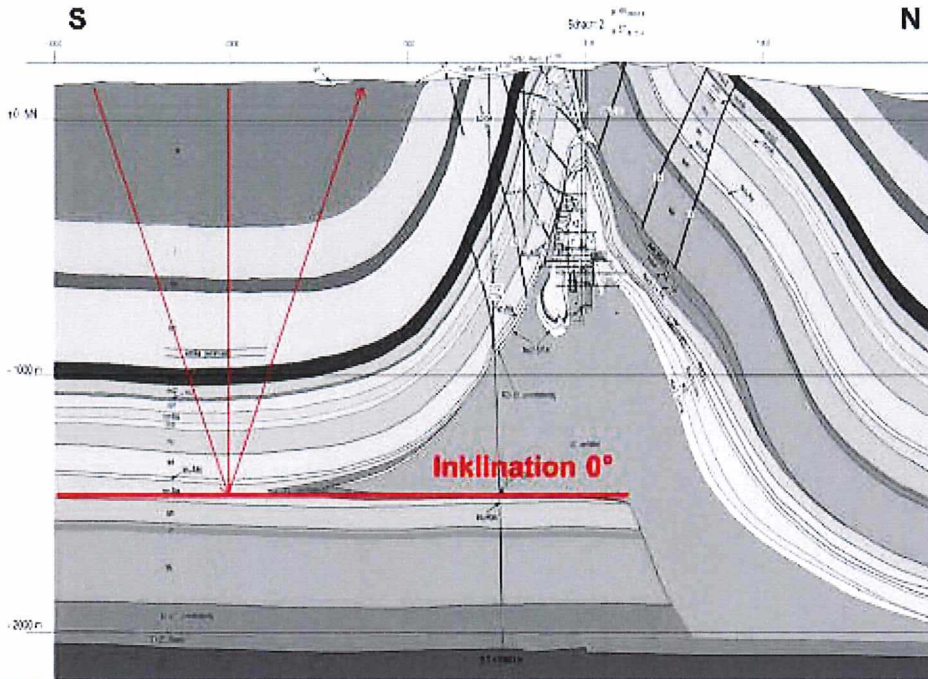
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

Blatt: 107





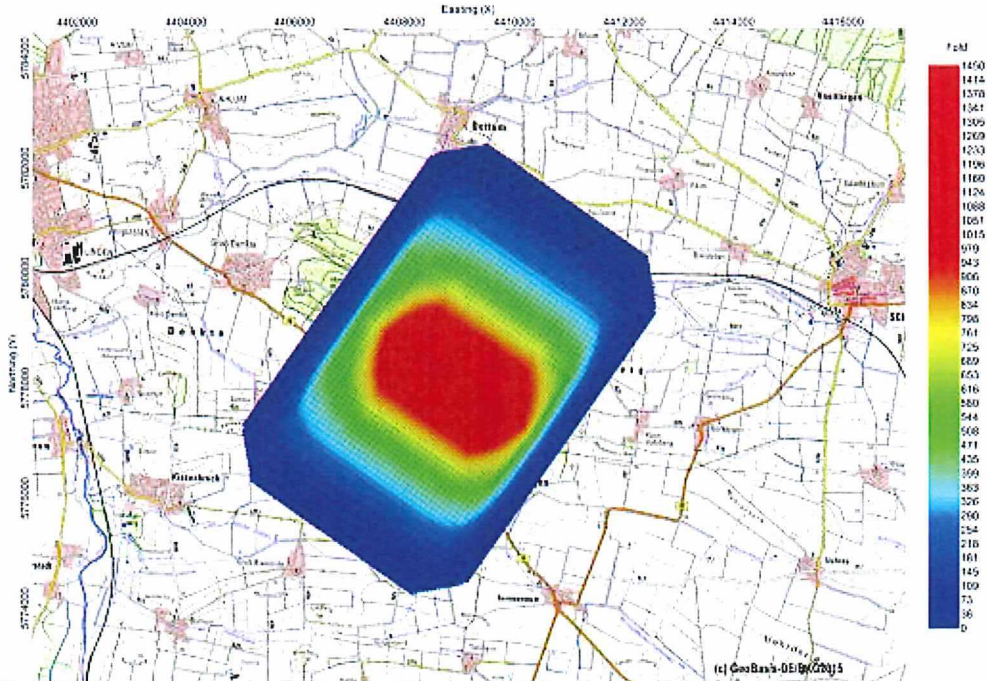
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00



**Ebener Reflektor**

KOM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16

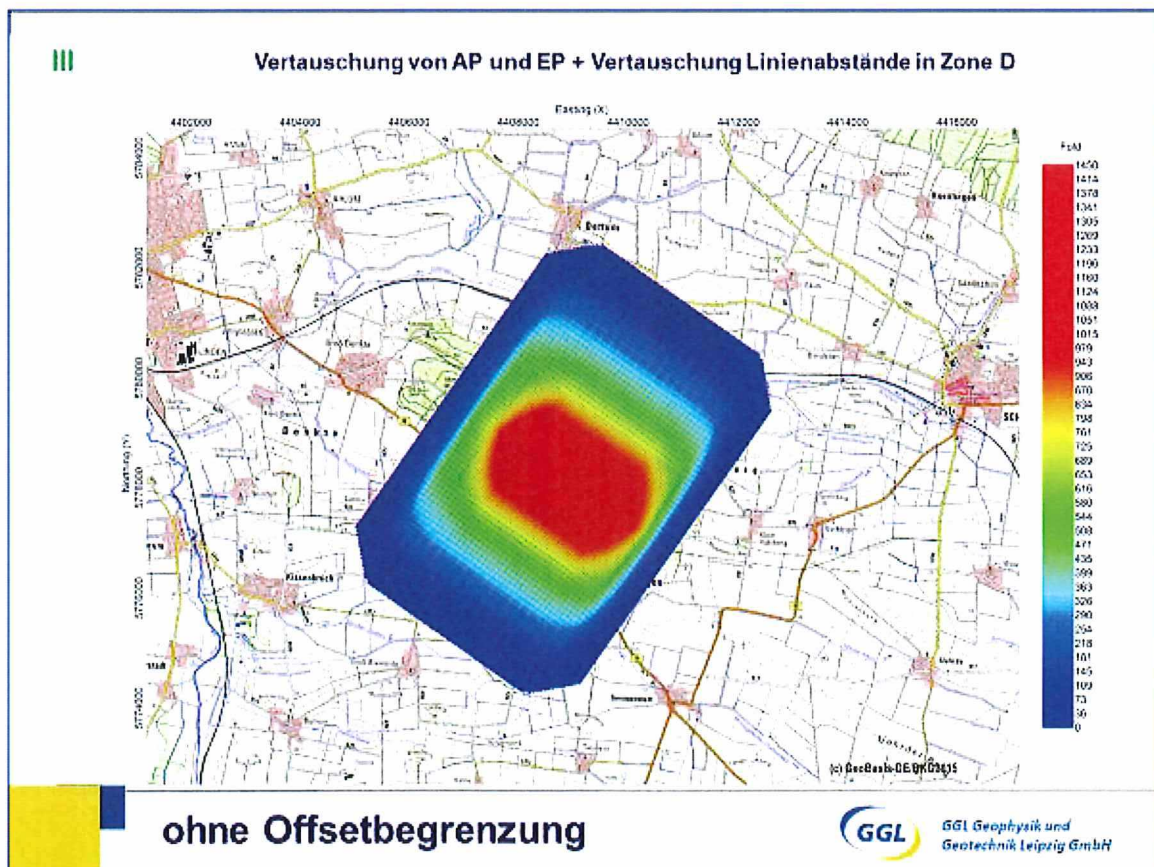
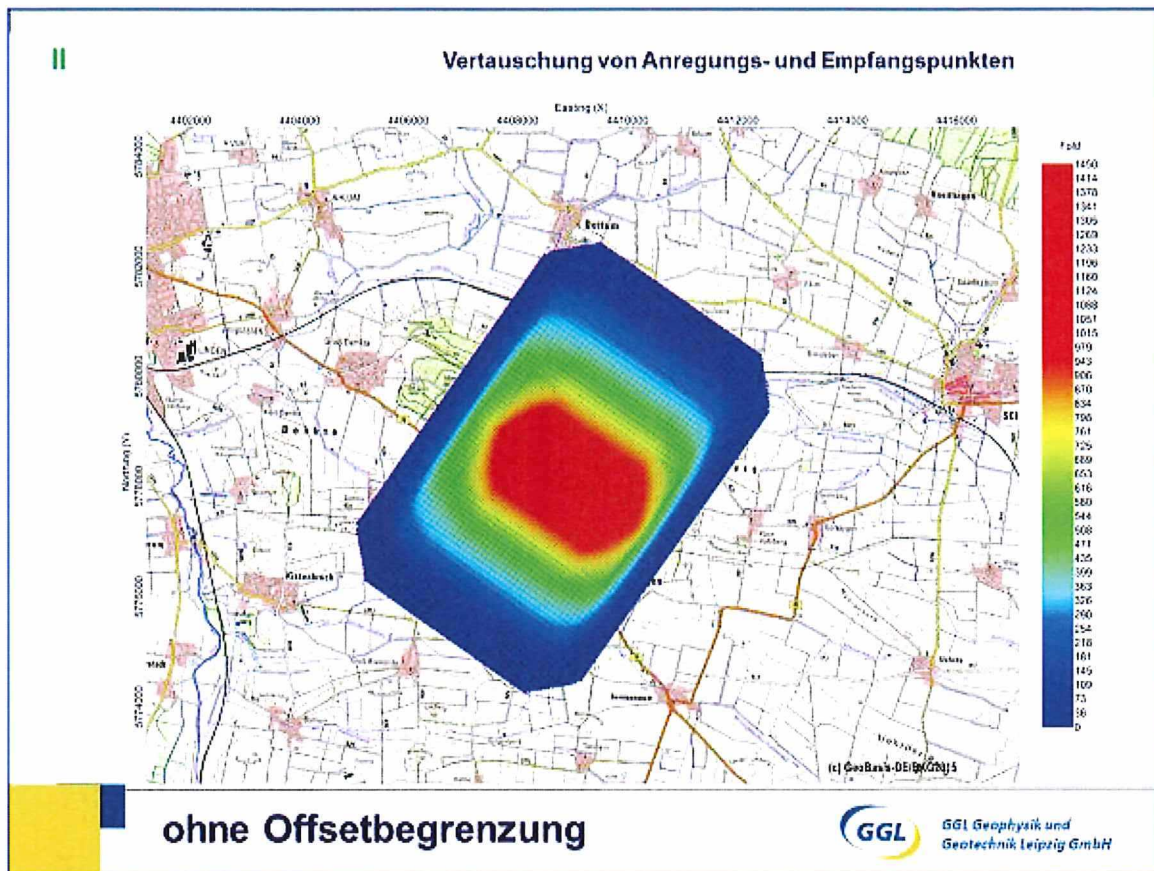
**Aktive Auslage (Patch) wie in Leistungsbeschreibung**



**ohne Offsetbegrenzung**

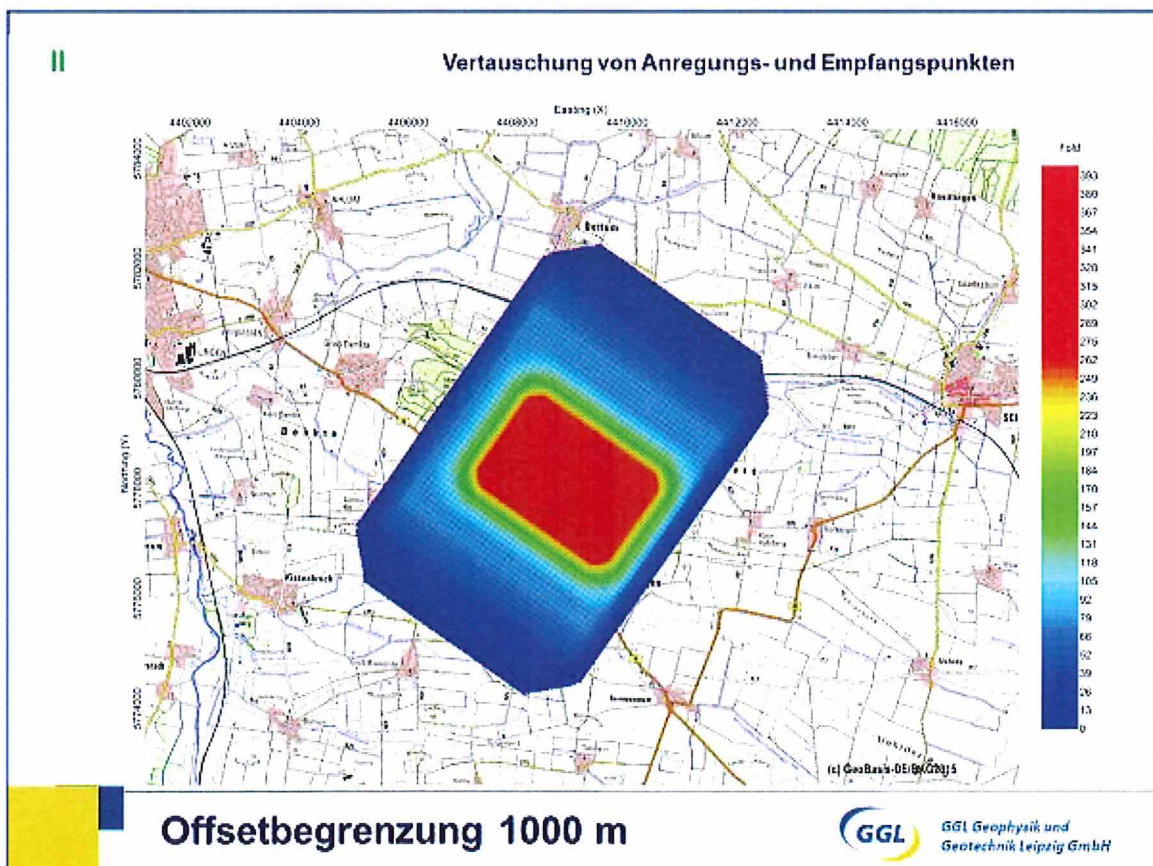
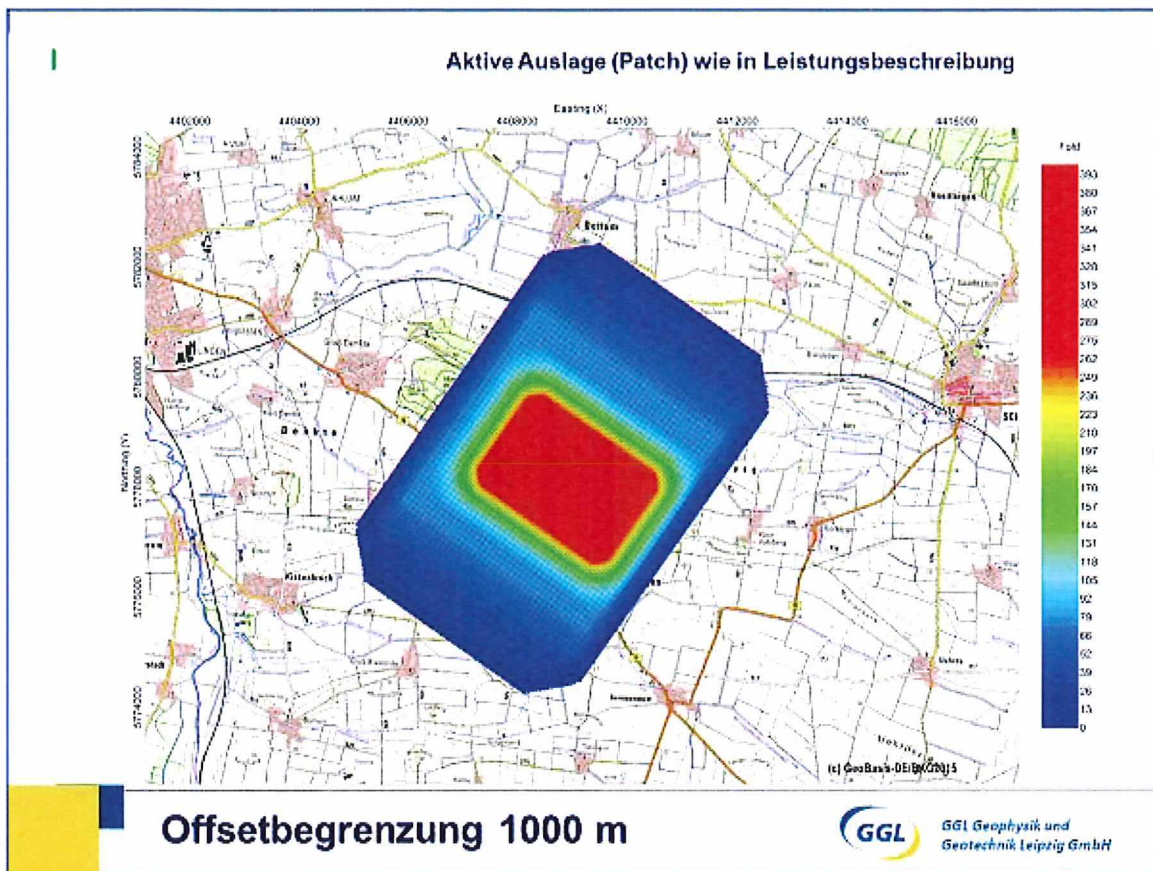


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00



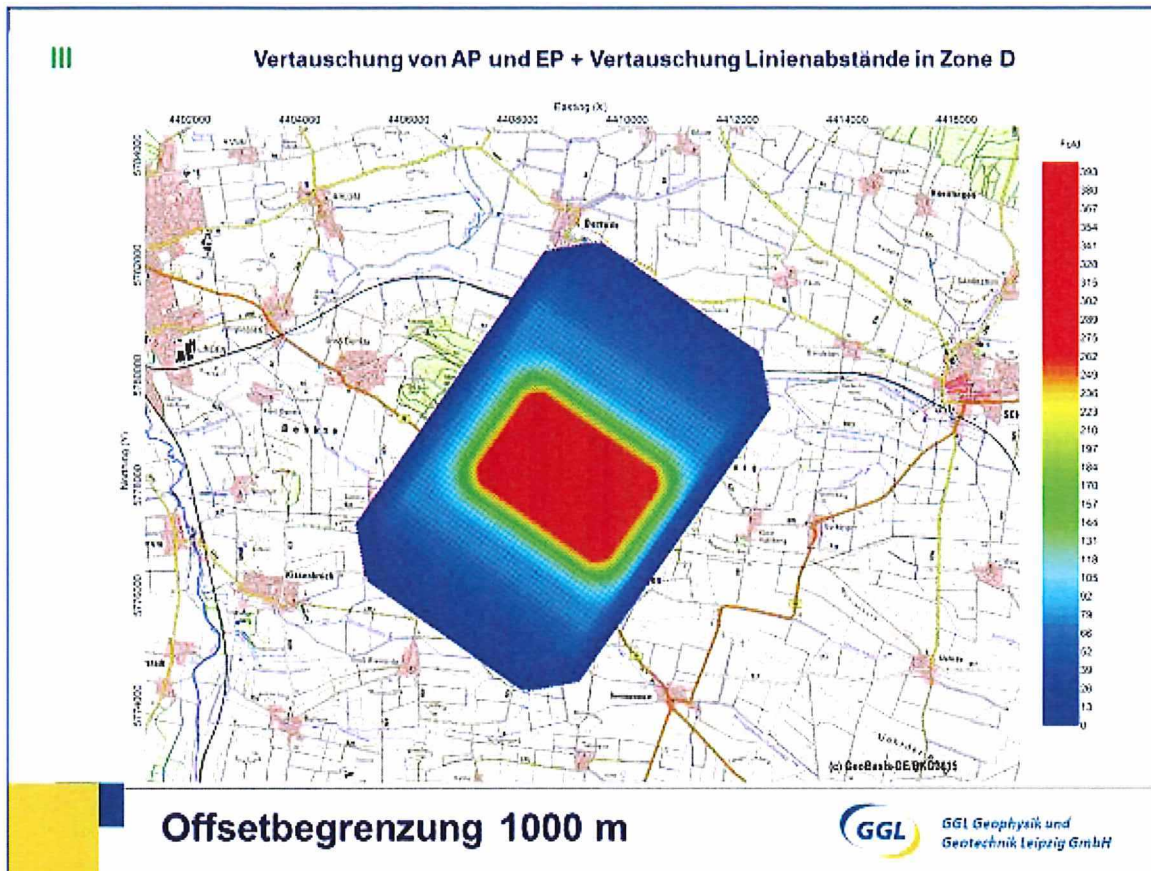


Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00



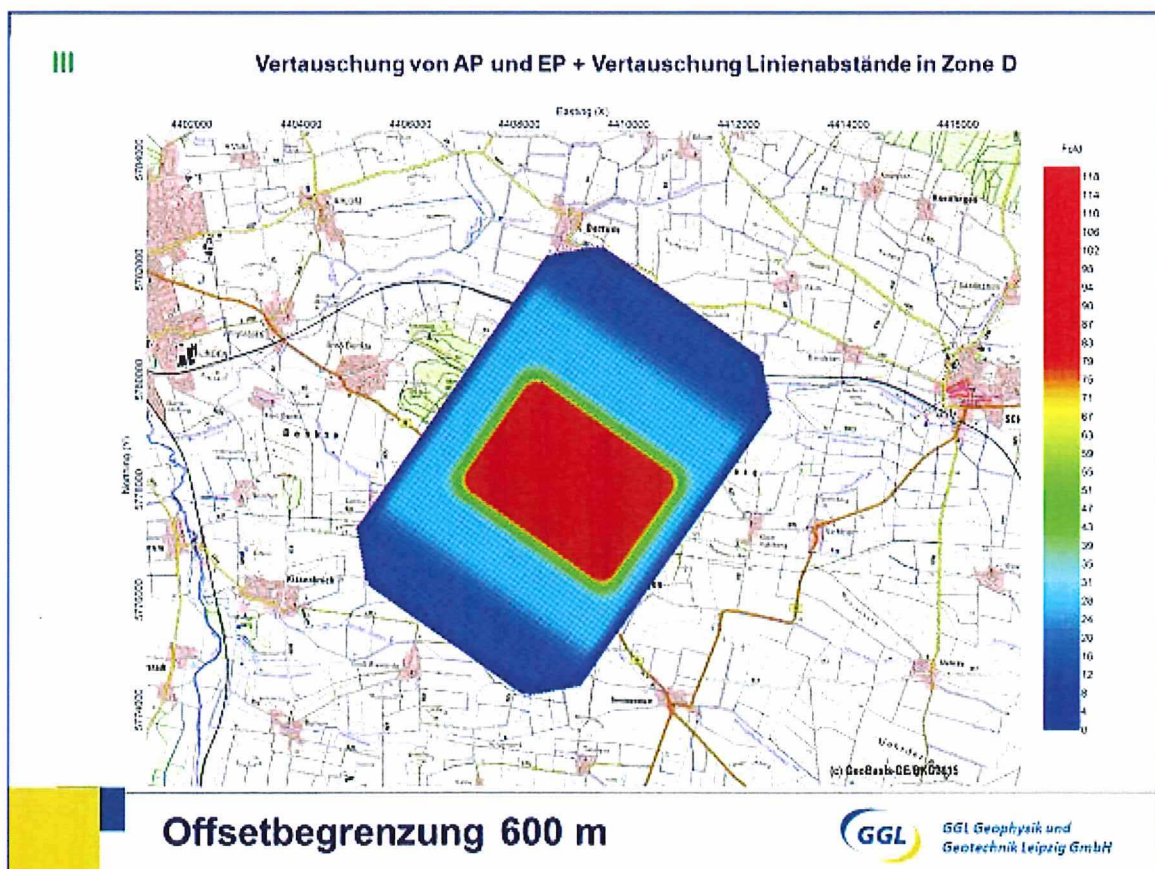
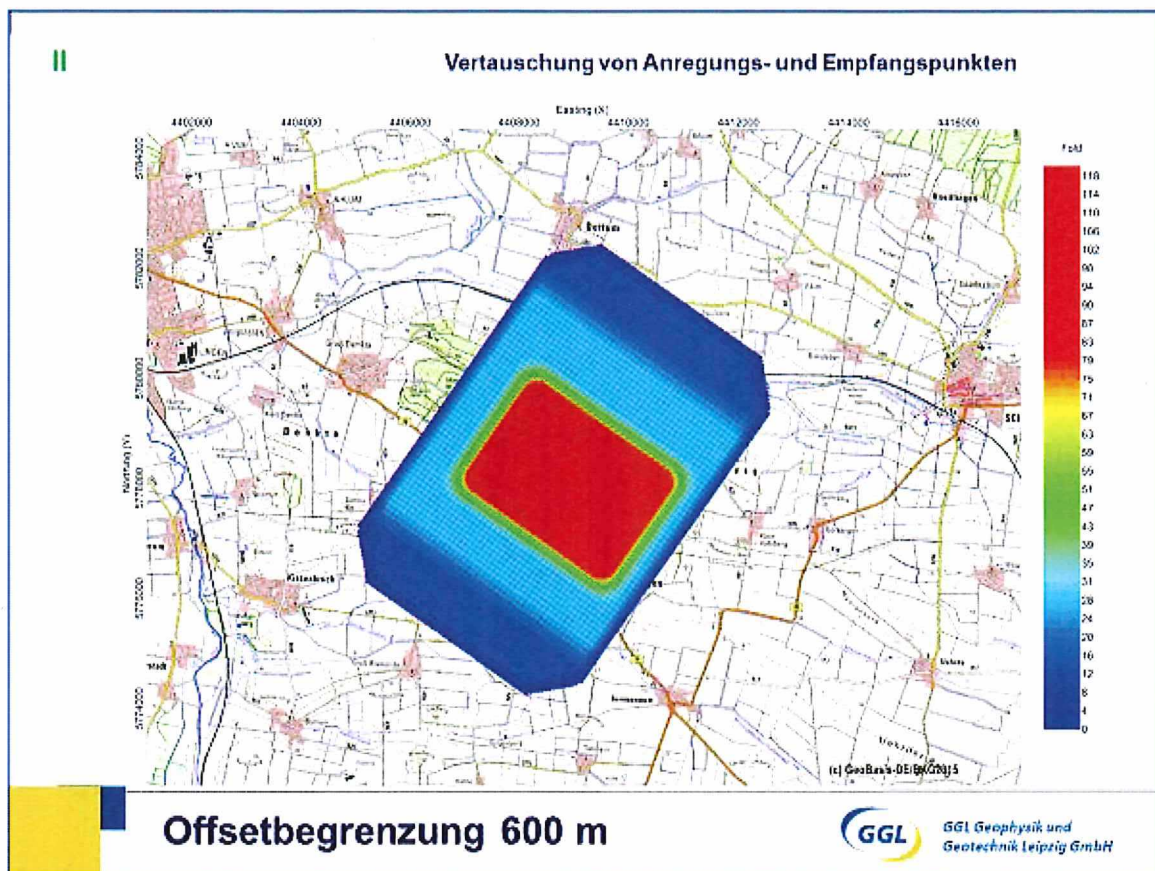


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	



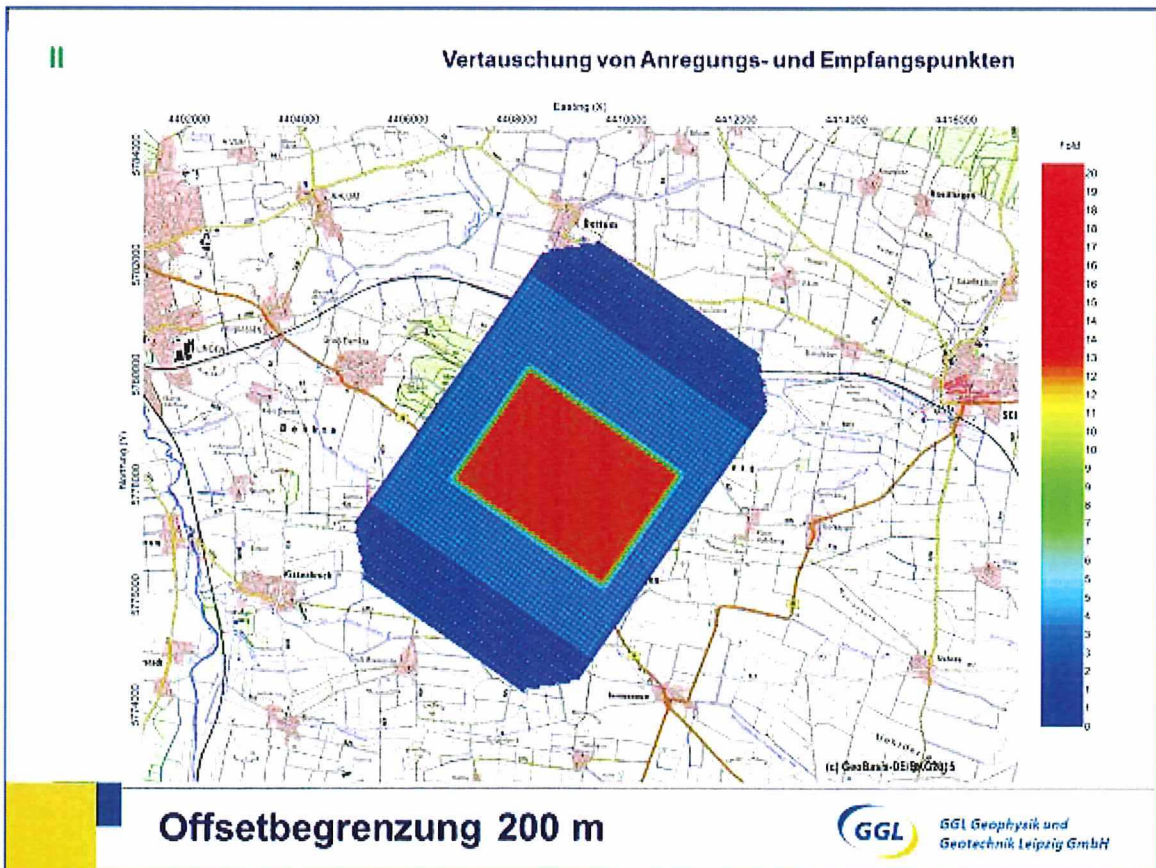


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00






Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00

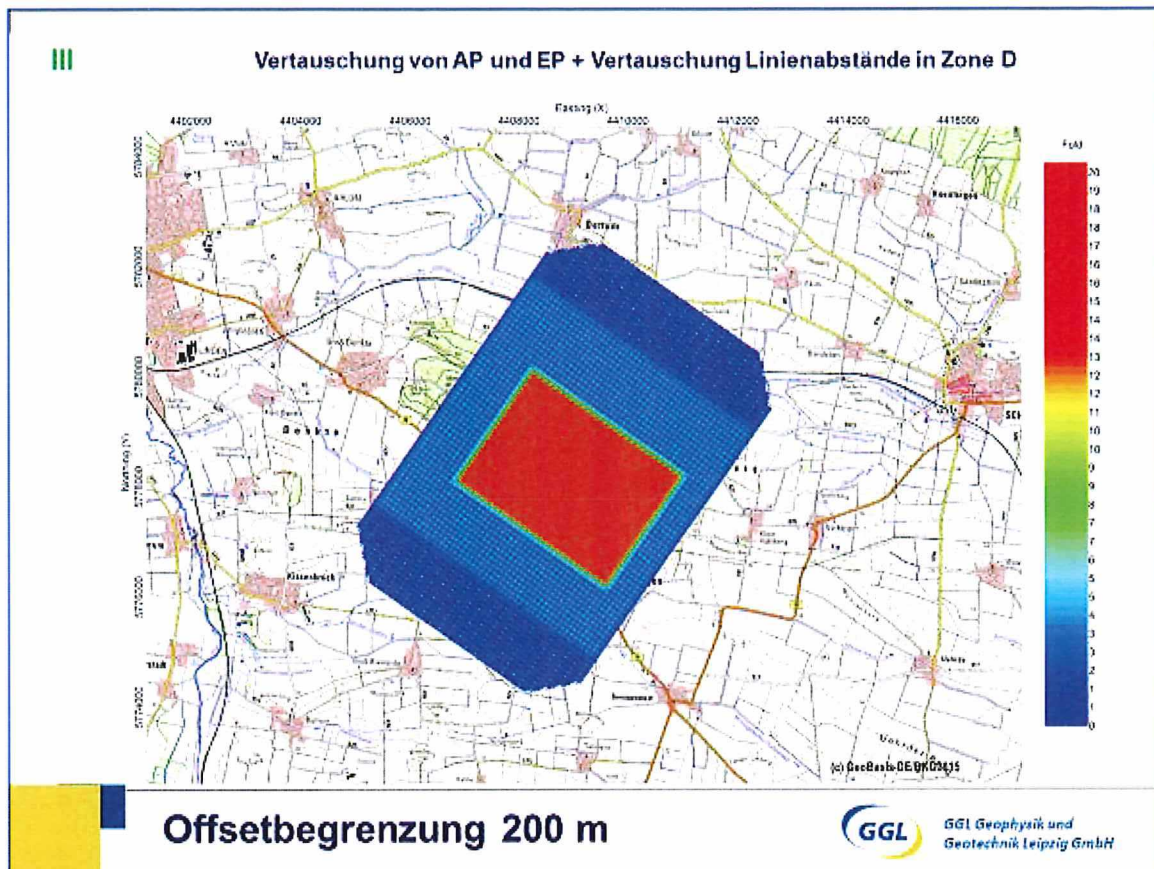




Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE	Blatt: 114
---	------------



## Fazit

- Die Vertauschung von allen Anregungs- und Empfangspunkten im gesamten Messgebiet hat, wie erwartet, keinen Einfluss auf den Überdeckungsgrad.
- Die komplette Vertauschung führt allerdings dazu, dass sich die kostenbestimmende Anzahl der Anregungspunkte von vorher 39860 auf 45630 (der vorherigen Anzahl der Empfangspunkte) erhöht. Dies erhöht die Kosten und kann die Messdauer verlängern.
- Durch die Veränderung der Linienabstände in Zone D (wieder auf 200 m für die Anregungslinien und 100 m für die Empfangslinien) lässt sich die Anzahl der Anregungspunkte auf 40110 reduzieren. Dieses sind im Vergleich zur ausgeschriebenen Variante nur 250 Anregungspunkte mehr. Gleichzeitig erhöht sich dabei die Anzahl der Empfangspunkte auf 45380, was immer noch 300 Empfangspunkte weniger sind wie in der ausgeschriebenen Variante.
- Die Auswirkungen der Variante mit den geänderten Linienabständen in Zone D auf den Überdeckungsgrad sind unerheblich.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 115

**Anhang 3: Untersuchungen zur entfernungsabhängigen Amplitudenabnahme  
sprengseismischer Anregungen**

## **Bericht der Fremdbauüberwachung**

### **3D-Seismik Asse**

#### **Untersuchungen zur entfernungsabhängigen Amplitudenabnahme sprengseismischer Anregungen**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 116

**Bericht der Fremdbauüberwachung**  
**3D-Seismik Asse**  
**Untersuchungen zur entfernungsabhängigen**  
**Amplitudenabnahme sprengseismischer Anregungen**

Objekt: Fremdbauüberwachung  
3D-Seismik Asse  
Untersuchungen zur entfernungsabhängigen  
Amplitudenabnahme sprengseismischer Anregungen

Auftraggeber: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH  
Eschenstr. 55  
31224 Peine

Abrufbestellung: 45183546 vom 02.03.2020

Wertkontrakt: 46001098, vormals RV180012 (BfS-Vertrag 8003-3)

Auftrags-Nr.: GGL 15-016

Bearbeiter: 

Ort, Datum: Leipzig, 11.05.2020



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 117

## Einleitung

In der Zulassung des Sonderbetriebsplans „Nr. 9/2018 Durchführung einer 3D-seismischen Messung (3D-Seismik-Hauptmessung) zur Strukturerkundung im Gebiet der Schachanlage Asse, Zechenbuch-Nr. 2.18.2.2“ durch das LBEG vom 08.04.2019 wird in der Nebenbestimmung A10 gefordert, den Einfluss der seismischen Anregungen auf die Standsicherheit der Schächte Asse 2 und Asse 4 zu bewerten. Diese Nebenbestimmung wurde mit Einreichung der von der BGE Technology GmbH erstellten „Stellungnahme bezüglich eines möglichen Einflusses der seismischen Arbeiten (Energieanregung durch Vibratoren, Sprengungen) auf die Standsicherheit der Schächte Asse 2 und Asse 4“ vom 20.06.2019 erfüllt [18]. Da während der seismischen Messkampagne mehrere von GT zur Verfügung gestellte Registriereinheiten Innoseis Tremornet innerhalb der Schachanlage unter Tage Daten aufzeichneten, besteht die Möglichkeit, die Betrachtungen der oben genannten Stellungnahme mit aktuellen Messdaten zu ergänzen. In dem vorliegenden Bericht werden erste Untersuchungen zur entfernungabhängigen Amplitudenabnahme sprengseismischer Anregungen und deren Abhängigkeit von der Geologie des Anregungspunktes dargestellt.

## Datengrundlage

### Seismische Daten

Im Zeitraum der seismischen Hauptmessung vom 17.01.2020 bis 20.02.2020 waren 24 Innoseis Tremornet Registriereinheiten in der Schachanlage Asse II unter Tage auf verschiedenen Sohlen verteilt und registrierten gleichzeitig zur Oberflächen-3D-Seismik die vibroseismischen und sprengseismischen Anregungen. Ein einmaliger Austausch der untertägigen Registriereinheiten erfolgte in der Umbaupause der 3D-Seismik am 01.02.2020, in der keine Anregungen stattfanden. Untersucht werden im vorliegenden Bericht die unter Tage registrierten Sprenganregungen, welche anhand der einzelnen Sprengzeiten aus dem Datenstrom der jeweiligen Registriereinheiten von GT ausgeschnitten und kanalsortiert als einzelne Seismogramme im SEG-D-Format zur Verfügung gestellt wurden.

### Geometrie (SPS-Files)

Die Geometrieinformationen wurden aus den SPS-Dateien von GT (Stand 24.02.2020<sup>1</sup>) entnommen, welche in Übereinstimmung mit den sprengseismischen Anregungen insgesamt 6.365 Datensätze enthielten und neben den Anregungs- und Empfangskoordinaten u.a. auch Informationen zur Tiefe der Ladung (DEPTH) und der eingesetzte Ladungsmenge (SRC\_CODE „E1“ bis „E6“) der jeweiligen Sprenganregung lieferten. In dem SPS-File war eine Sprenganregung als ungültig gekennzeichnet (SRC\_CODE „KL“ für „kill“) und der Datensatz wurde nicht in die vorliegende Untersuchung mit einbezogen.

<sup>1</sup> Es ist anzumerken, dass die Angaben zur Verteilung der Ladungsmengen auf die Bohrungen in den SPS-Dateien vom 24.02.2020 nicht exakt mit den Angaben der *Tabelle 11* (Stand 30.03.2020 nach einer Excel-Tabelle von GT) übereinstimmt.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 118

## Oberflächengeologie

Zur Beurteilung, ob sich je nachdem, in welcher geologischen Schicht die sprengseismischen Anregung erfolgte, ein unterschiedliches Amplitudenverhalten ergibt, mit dem man formationsabhängig die Dämpfung bestimmen kann, wurde jeder Sprengpunkt entsprechend den aktuellen Kartierergebnissen [15] in einem GIS mit der Oberflächengeologie verknüpft.

## Datenauswahl

### Empfängerauswahl

Von den 24 in der Schachtanlage platzierten Registriereinheiten wurden drei geeignete ausgewählt (Geophonpunkte (GP) 116, 118 und 121). Die Daten dieser drei Registriereinheiten überzeugten durch:

- keine Unterbrechungen oder Datenausfälle,
- ein relativ geringes Hintergrundrauschen,
- eine gute Ankopplung,
- ein vergleichsweise großes Signal-Rauschverhältnis,
- eine sichere Festlegung von Ersteinsatzlaufzeiten.

Die Lage aller untertägigen Registriereinheiten (grüne und magentafarbene Punkte) ist in Grafik 90 dargestellt. Die zur Analyse ausgewählten drei Registriereinheiten sind magentafarben gekennzeichnet.

### Anregungspunktauswahl

#### Ladungsmenge

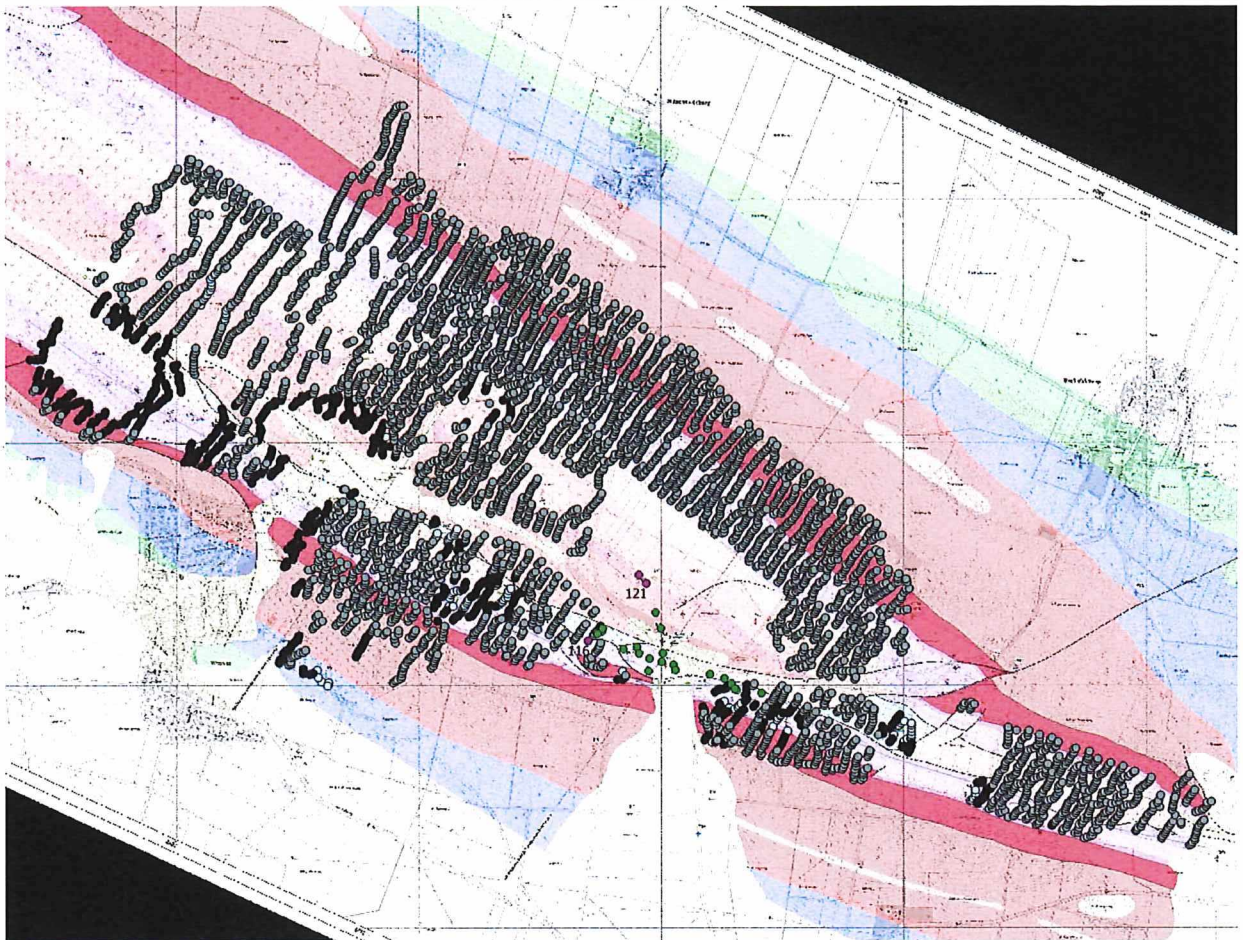
Um anregungsseitig vergleichbare Amplituden für die Analyse zu verwenden zu können, wurden sprengseismische Anregungen mit derselben Ladungsmenge von 970 g ausgewählt. Diese sind im SPS-File mit dem SRC\_CODE „E1“ gekennzeichnet. Das sind mit 5.499 mehr als 86 % aller sprengseismische Anregungen. In Grafik 90 sind diese Anregungspunkte grau hinterlegt. Die 740 in Grafik 90 schwarz markierten Punkte mit halber Ladungsmenge (485 g) wurden wie alle weiteren 125 hellblau markierten Punkte mit anderen Ladungsmengen für die Untersuchungen zur Amplitudenabnahme nicht gesondert betrachtet, da die Abstände zu den Registriereinheiten ungleichmäßiger verteilt sind und die Anzahl der Anregungspunkte in einer bestimmten geologischen Formation relativ klein ist.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 119



Grafik 90: Lage der untertägigen Registereinheiten (grüne und magentafarbene Punkte) und Sprengpunkte (dunkelgraue, schwarze und hellblaue Punkte) vor oberflächengeologischem Kartenhintergrund [15]. Die drei zur Analyse ausgewählten Registereinheiten (GP 116, 118 und 121) sind magentafarben gekennzeichnet. Die Lagen der zur Analyse verwendeten 5.499 Sprengpunkte (970 g Ladung) sind dunkelgrau markiert.

## Oberflächengeologie

Um einen möglichen Zusammenhang der Dämpfung von der Geologie nachzuweisen, wurden jedem sprengseismischen Anregungspunkt gemäß der aktuellen Oberflächengeologischen Karte [15] ein Code (GEOL\_CODE) zugewiesen (Liste 1). Zwar liegt der tatsächliche Sprengpunkt entsprechend der Ladungstiefe im Mittel rund 9 m unterhalb der Erdoberfläche, so dass insbesondere im Randbereich der an der Erdoberfläche kartierten Formationsgrenzen die Zuordnung nicht immer stimmen dürfte. Dennoch können die kartierten oberflächengeologischen Grenzen als räumliches Auswahlkriterium für die Amplitudenuntersuchungen genutzt werden. Zur genaueren Abgrenzung wird in einem zweiten Schritt auch die auf den Zentralteil der jeweiligen an der Oberfläche kartierten geologischen Formation beschränkte Datenauswahl analysiert. Insgesamt wurden vier verschiedene Auswahlen der Lage der sprengseismischen Anregungspunkte ausgewertet:

Auswahl 1: Untersuchung von Anregungspunkten entlang eines Schnittes über alle möglichen durch die Sprenganregung abgedeckten Oberflächengeologien. Der gewählte Korridor (grün) entlang des ausgewählten Schnittes hat eine Breite von 50 m und enthält 196 Sprengpunkte (Grafik 91).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 120

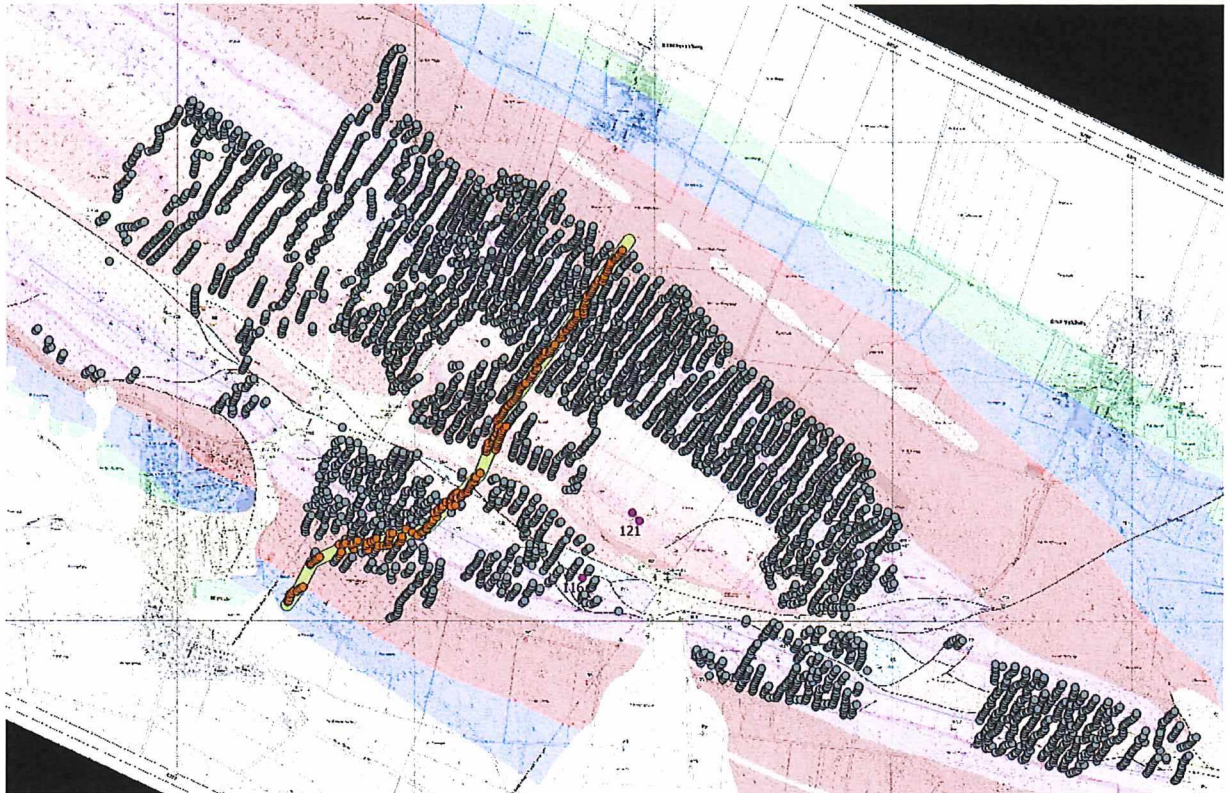
- Auswahl 2: Untersuchung von Sprengpunkten im Unteren Muschelkalk. Die Formationen des Unteren Muschelkalks (GEOL\_CODE 9 – 12) sind pinkfarben hervorgehoben (Grafik 92). Zur Analyse werden 1.080 Sprengpunkte (orange) verwendet.
- Auswahl 3: Sprenganregung im Unteren Buntsandstein (Rogensteinzone). Die Formation der Rogensteinzone (GEOL\_CODE 17) ist rötlich hervorgehoben (Grafik 93). Zur Analyse werden 149 Sprengpunkte (gelb) verwendet.
- Auswahl 4: Sprenganregung im Oberen Muschelkalk (OMK, Ceratitenschichten). Die Formation des Oberen Muschelkalks (GEOL\_CODE 5) ist rötlich hervorgehoben (Grafik 94). Zur Analyse werden 157 Sprengpunkte (orange) auf der Nordflanke im Zentrum der OMK-Zone verwendet.

Liste 1: Kodierung der kartierten Oberflächengeologien.

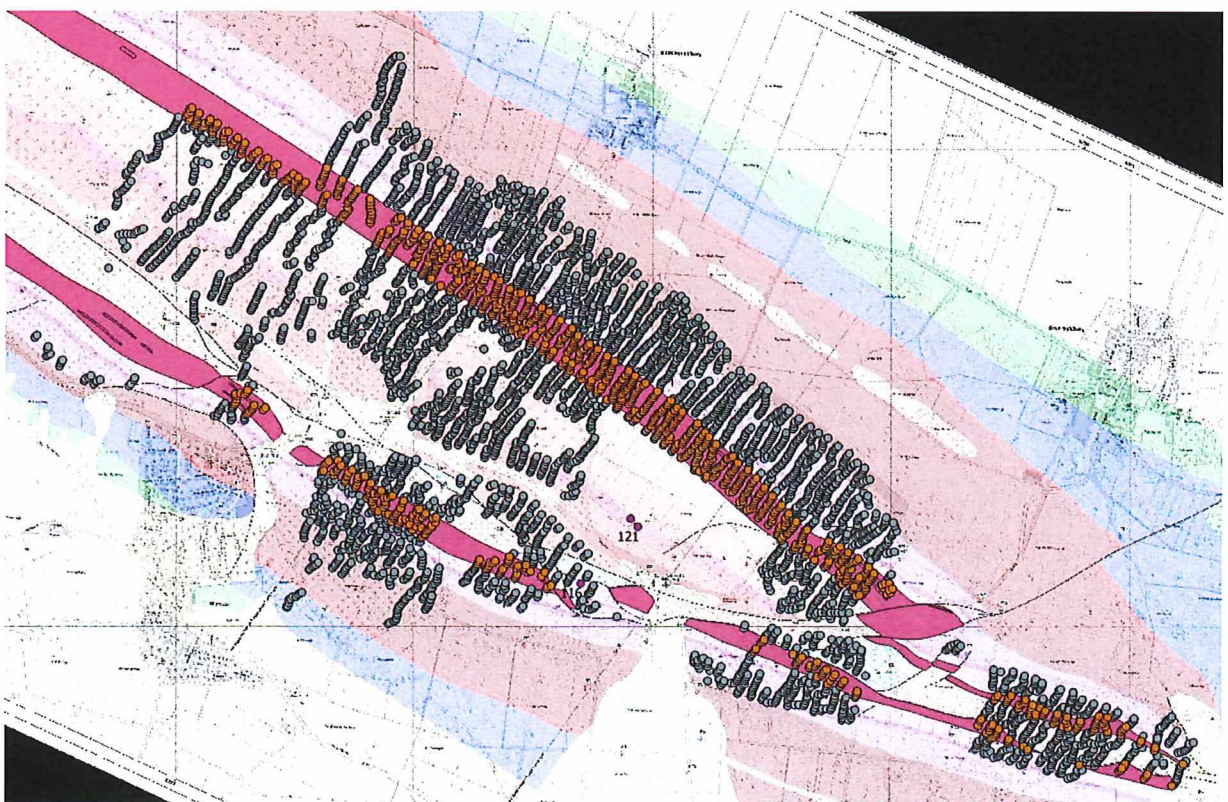
OBERFLÄCHENGEOLOGIE	GEOL_CODE
Quartär	1
Jura	2
Keuper ungegliedert	3
Oberer Keuper	4
Oberer Muschelkalk - Ceratitenschichten	5
Oberer Muschelkalk - Trochitenschichten	6
Mittlerer Muschelkalk	7
Mittleren Muschelkalk - Subrosionssenken	8
Unterer Muschelkalk	9
Unterer Muschelkalk - Oolithbänke	10
Unterer Muschelkalk - Schaumkalkbänke	11
Unterer Muschelkalk - Terebratelbänke	12
Oberer Buntsandstein	13
Oberer Buntsandstein - Subrosionssenken	14
Mittlerer Buntsandstein	15
Unterer Buntsandstein	16
Unterer Buntsandstein - Rogensteinzone	17
Zechstein	18



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	



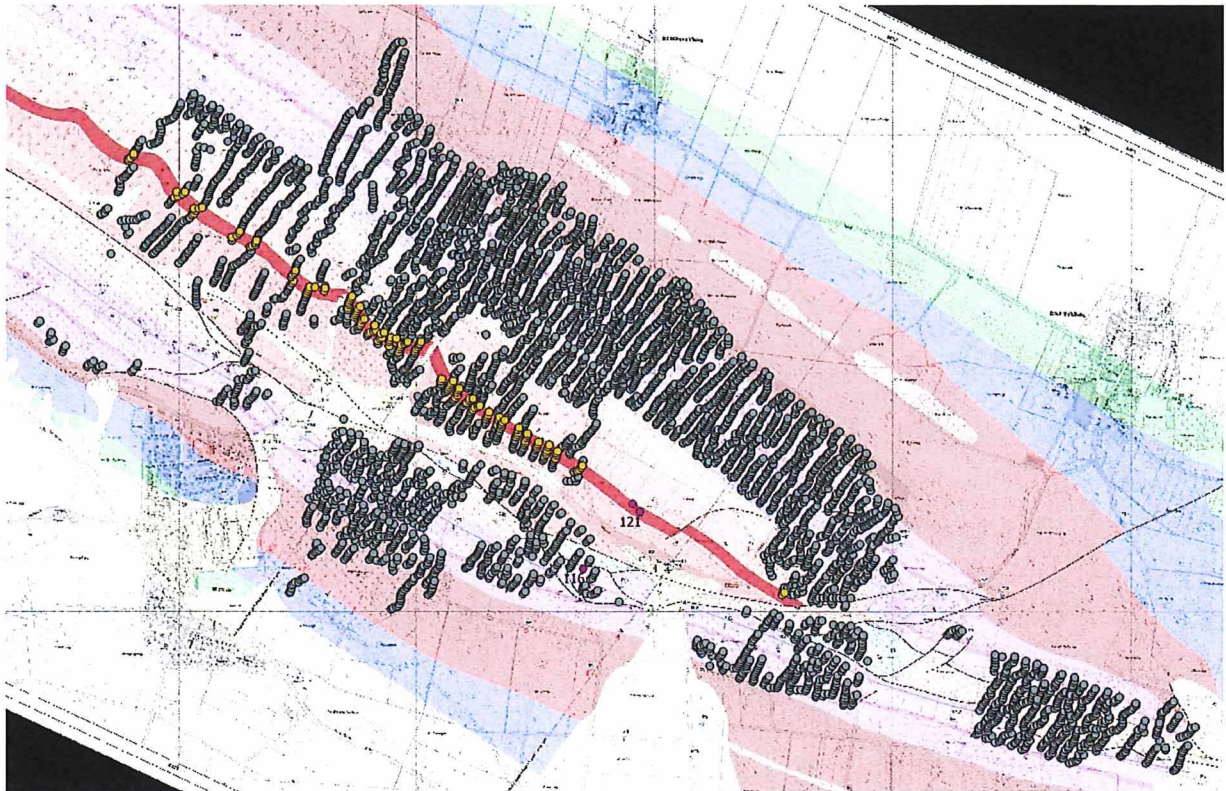
Grafik 91: Untersuchung von Anregungspunkten (orange) entlang eines Schnittes über alle möglichen durch die Sprenganregung abgedeckten Oberflächengeologien (Auswahl 1).



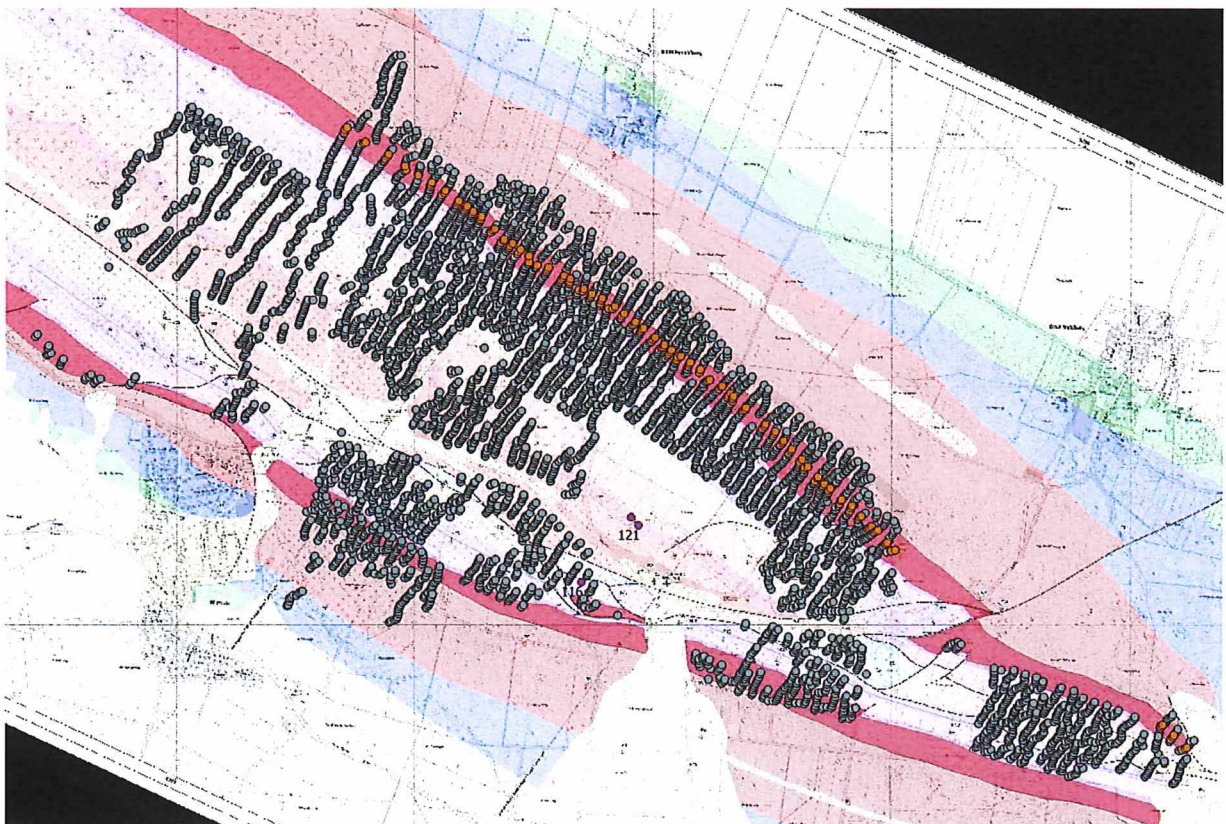
Grafik 92: Sprenganregung im Unteren Muschelkalk (Auswahl 2). Die Formationen des Unteren Muschelkalks sind pinkfarben hervorgehoben.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00



Grafik 93: Sprenganregung im Unteren Buntsandstein (Rogensteinzone) (Auswahl 3). Die Formation der Rogensteinzone ist rötlich hervorgehoben.



Grafik 94: Sprenganregung im Oberen Muschelkalk (OMK, Ceratitenschichten) auf der Nordflanke (Auswahl 4). Die Formation des Oberen Muschelkalks ist rötlich hervorgehoben.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 123

## Auswertung

Die Auswertung der seismischen Daten inklusive der Darstellung der seismischen Datenspuren wurden mit dem seismischen Bearbeitungssystem ProMAX 2D (Landmark Graphics Corporation, USA) durchgeführt.


Die Auswertung erfolgte nach den folgenden Punkten:

- Einlesen der seismischen Felddaten.
- Einlesen und Anbringen der Geometrieinformationen aus den SPS-Files in die Spurköpfe der seismischen Daten und in die Datenbasis des Bearbeitungssystems.
- Berechnung des Abstands  $r$  zwischen Anregungs- und Empfangspunkt im dreidimensionalen Raum einschließlich der Berücksichtigung der Ladungsteufen für jede Datenspur.
- Manuelle Festlegung der Ersteinsatzlaufzeiten (P-Wellen, Kompressionswellen) für drei ausgewählte Registriereinheiten (GP 116, 118 und 121 und alle Sprengpunkte mit einer Ladungsmenge von 970 g.
- Berechnung der durchschnittlichen Geschwindigkeit (VAVG) zwischen Anregungs- und Empfangspunkt unter Annahme geradliniger Wellenausbreitung.
- Multiplikation aller Amplituden mit dem Faktor 200. Damit liegen die Ersteinsatzamplituden alle in einem Wertebereich zwischen 0,1 und 1.000. (Für die Berechnung der Dämpfung hat die Multiplikation mit einer Konstanten keinen Einfluss).
- Berechnung der durchschnittlichen Ersteinsatzsignalenergie (Zeitfenster von 17 ms Länge ab Ersteinsatz).
- Berechnung der RMS-Amplitude der gesamten seismischen Spur.
- Ausgabe aller Berechnungsergebnisse als Tabelle.
- Darstellung von Amplituden  $A$  gegen Abstand  $r$  von ausgewählten Daten (s. Kap. 0).
- Statistische Trendanalyse: Amplitudenverteilung mit Berechnung des Dämpfungsfaktors  $\alpha$  und dem Koeffizienten  $A_0$ .
- Darstellung der Geschwindigkeiten gegen den Abstand  $r$  für jede Datenauswahl.

## Interpretation / Ergebnisse

Für die Darstellungen der Daten sowie die Trendanalysen wurde das Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Microsoft Corporation, USA) verwendet. Dargestellt werden für die nachfolgenden Auswahlen jeweils die mittlere Energie des Ersteinsatzes und die durchschnittliche P-Wellengeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  zwischen dem Sprengpunkt und dem jeweiligen Untertageempfänger:

1. Das Diagramm „FB\_AMP20“ zeigt jeweils die Abhängigkeit der mittleren Energie des Ersteinsatzes vom Abstand  $r$ . Für jede betrachtete seismische Datenspur wird das Wertepaar als blauer Punkt eingetragen. Aus der sich ergebenden Punktwolke kann der der Abfall der mittleren Energie ( $\sim$  Amplitudenabfall) mit zunehmendem Abstand  $r$  bestimmt werden. Der Amplitudenabfall wird in der Regel durch einen exponentiellen Zusammenhang der Form  $A(r)=A_0 \cdot e^{-\alpha \cdot r}$  beschrieben, wobei  $A$  auf der Ordinate und  $r$  auf der Abszisse eingetragen wird. Bei der Wahl einer logarithmischen Skalierung ( $\log_{10}$ ) der Ordinate wird der Zusammenhang linear und die Koeffizienten  $A_0$  und  $\alpha$  lassen sich durch lineare Regression aus der Punktwolke bestimmen. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse sind orangefarben im jeweiligen Diagramm eingetragen: Als Ausgleichsgerade in der Punktwolke bzw. als Formel mit dem exponentiellen Zusammenhang sowie den Koeffizienten  $A_0$  und  $\alpha$ . Zudem ist das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  angegeben, welches

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 124

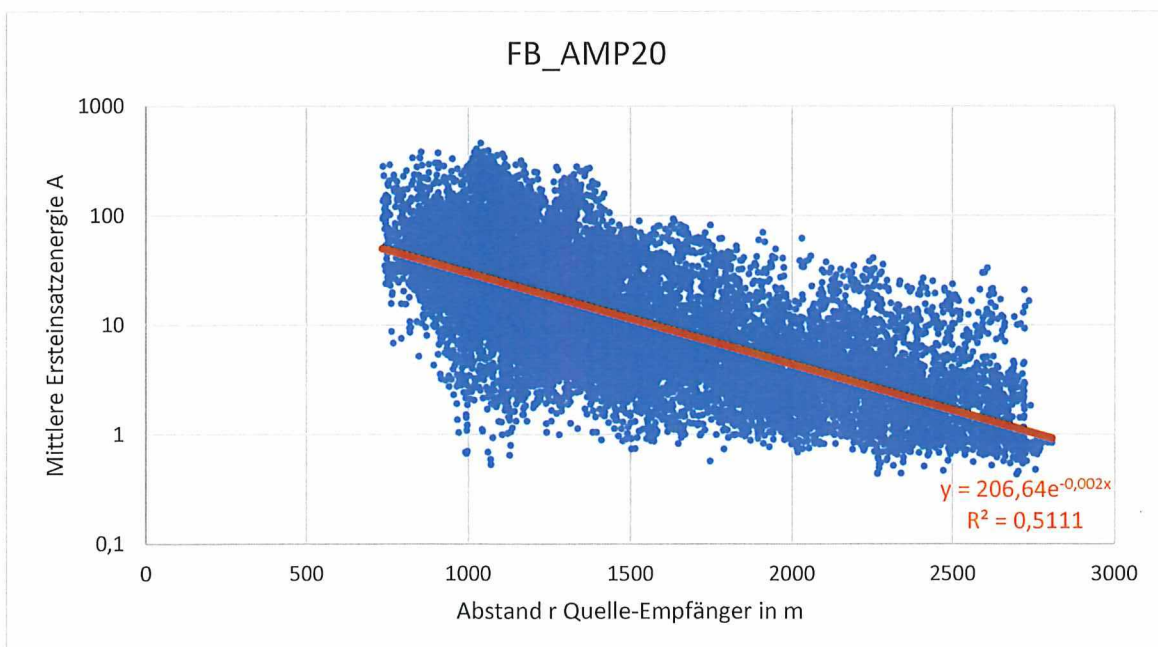
zwischen 0 (kein Zusammenhang) und 1 (perfekte Übereinstimmung) liegen kann und ein Maß dafür ist, wie gut der Zusammenhang zwischen der Trendlinie und der Punktwolke ist.

- Das Diagramm „VAVG“ zeigt jeweils die Abhängigkeit der aus den festgelegten Ersteinsatzzeiten berechneten durchschnittlichen Geschwindigkeiten zwischen dem Sprengpunkt und der untertägigen Registriereinheit vom Abstand  $r$ . Es soll zur Qualitätskontrolle dienen. Laufen die Wellen unterschiedlich lang in derselben Formation, so sollte die Geschwindigkeit unabhängig vom Laufweg, d.h. konstant sein. Geschwindigkeitssprünge können dann ein Hinweis darauf, dass Formationen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durchlaufen wurden oder Fehler in den Laufzeiten auftreten.

### Gesamtdaten (alle Sprengpunkte (SP), Geophonpunkte (GP) 116, 118 und 121)

Zur Übersicht der insgesamt im Datensatz vorkommenden Amplitudenwerte wurden in Grafik 95 zunächst die mittleren Energiewerte des an den drei ausgewählten Empfängern registrierten Ersteinsatzes aller Sprengpunkte (mit sämtlichen Ladungsmengen, s. Grafik 90) eingetragen. Der mit den Daten abgedeckte Abstand  $r$  reicht von 736 m bis 2.808 m. Zwischen dem kleinsten Amplitudenwert von 0,43 und dem größten 464 liegt ein Faktor von über 1.000. Die Streuung der Amplitudenwerte entlang der Ordinate ist gleichmäßig groß und nimmt mit zunehmendem  $r$  geringfügig ab. Aus der Regressionsanalyse ergibt sich für den Koeffizienten  $\alpha$  ein Wert von 0,002 bei einem mäßigen Bestimmtheitsmaß  $R^2$  von ungefähr 0,5.

Die aus der Laufzeit des Ersteinsatzes und den geradlinigen Abstand  $r$  berechneten Geschwindigkeiten variieren zwischen 1.984 m/s und 7.374 m/s (Grafik 96). Die geologischen Verhältnisse lassen eigentlich Geschwindigkeiten zwischen 2.500 m/s bis 5.200 m/s erwarten, so dass unerwartet kleine oder unrealistisch hohe Geschwindigkeiten eine falsche Ersteinsatzzeit vermuten lassen. Grund dafür kann sein, dass die interne Uhr der Registriereinheiten aufgrund des unter Tage fehlenden GPS-Zeitsignals im Laufe der Zeit zunehmend vor- bzw. nachgeht (Drift), so dass die anhand der exakten Sprengzeiten ausgeschnittenen Daten (4 s Zeitfenster ab Sprengzeitpunkt) zeitlich verschoben sind. Die Amplitudenuntersuchungen werden hierdurch nicht beeinträchtigt, sofern der Datenausschnitt noch die Ersteinsätze enthält, aber die Laufzeiten und damit resultierend die Geschwindigkeitsinformationen sind dann fehlerbehaftet.




KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16

Grafik 95: Daten aller Sprengpunkte, 19.092 Spuren (6.364 SP, GP 116, 118 und 121).

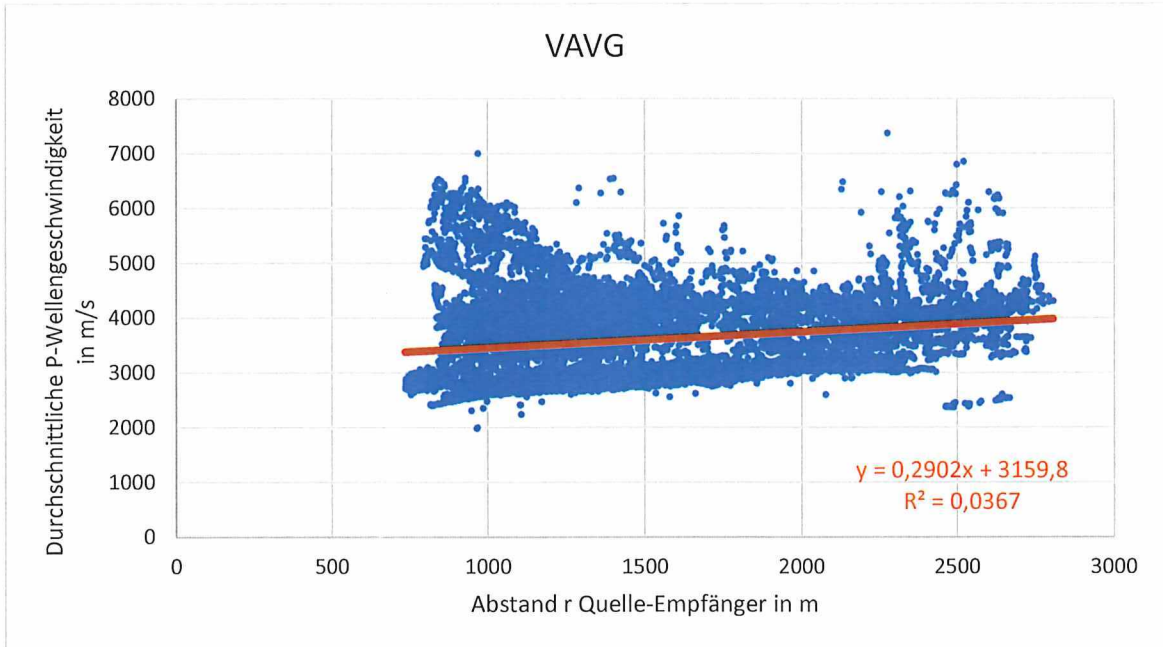


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BGE**  
 BUNDESGESELLSCHAFT  
 FÜR ENDLAGERUNG

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 125



Grafik 96: Daten aller Sprengpunkte, 19.092 Spuren (6.364 SP, GP 116, 118 und 121).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 126


### Auswahl 1 (SP über alle möglichen Oberflächengeologien, GP 116, 118 und 121)

Zur Einschätzung, ob sich unterschiedliche Energieniveaus bei Anregung in verschiedenen Formationen einstellen, wurden die in einem schmalen Korridor über den Asse-Höhenzug verlaufenden Sprengpunkte entsprechend Grafik 91 aussortiert und untersucht. Die von Süden nach Norden sortierten seismischen Spuren sind jeweils für die drei untertägigen Registriereinheiten unskaliert in Grafik 97 dargestellt. Sie zeigen deutliche Schwankungen der Amplituden, die sich in den Seismogrammen an entsprechender Stelle auf jeder der drei Registriereinheiten wiederfinden lassen. Eine genauere Betrachtung ist mit Grafik 98 möglich, in der der Datenausschnitt im Bereich der Ersteinsätze an GP 116 dargestellt ist. Über den einzelnen Spuren des Seismogramms ist die Zuordnung der Sprengpunkte zur Oberflächengeologie nach dem GEOL\_CODE aus ersichtlich. Hohe Amplituden finden sich demnach bei sprengseismischen Anregungen im Oberen Buntsandstein (GEOL\_CODE 13), gefolgt vom Keuper auf der Nord- und Südflanke der Asse (GEOL\_CODE 3 und 4) und vom Jura (GEOL\_CODE 2) ganz im Süden. Sehr gleichmäßige Schwingungsbilder mit mittleren Amplituden finden sich bei den Anregungen im Unteren Buntsandstein (GEOL\_CODES 16 und 17) sowie im Mittleren Buntsandstein (GEOL\_CODE 15). Schwächere Amplituden kann man tendenziell den Anregungen im Unteren Muschelkalk (GEOL\_CODES 9 bis 12) zuordnen. Einschränkend muss festgestellt werden, dass die Abgrenzung anhand der kartierten Oberflächengeologie im Kontext mit den registrierten Amplituden nicht immer schlüssig ist, was entweder an der bereits erwähnten im Mittel um 9 m tieferen Lage der Sprengpunkte oder an der Genauigkeit der kartierten geologischen Grenzen liegen kann.

Entsprechend der getroffenen Auswahl mit den sehr unterschiedlichen Amplitudenniveaus und geringem Abstandsbereich (quer zum Asse-Höhenzug) lässt die in Grafik 99 gezeigte Statistik keinen exponentiellen Zusammenhang der Amplitudenabnahme in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  erkennen ( $R^2=0,02$ ).

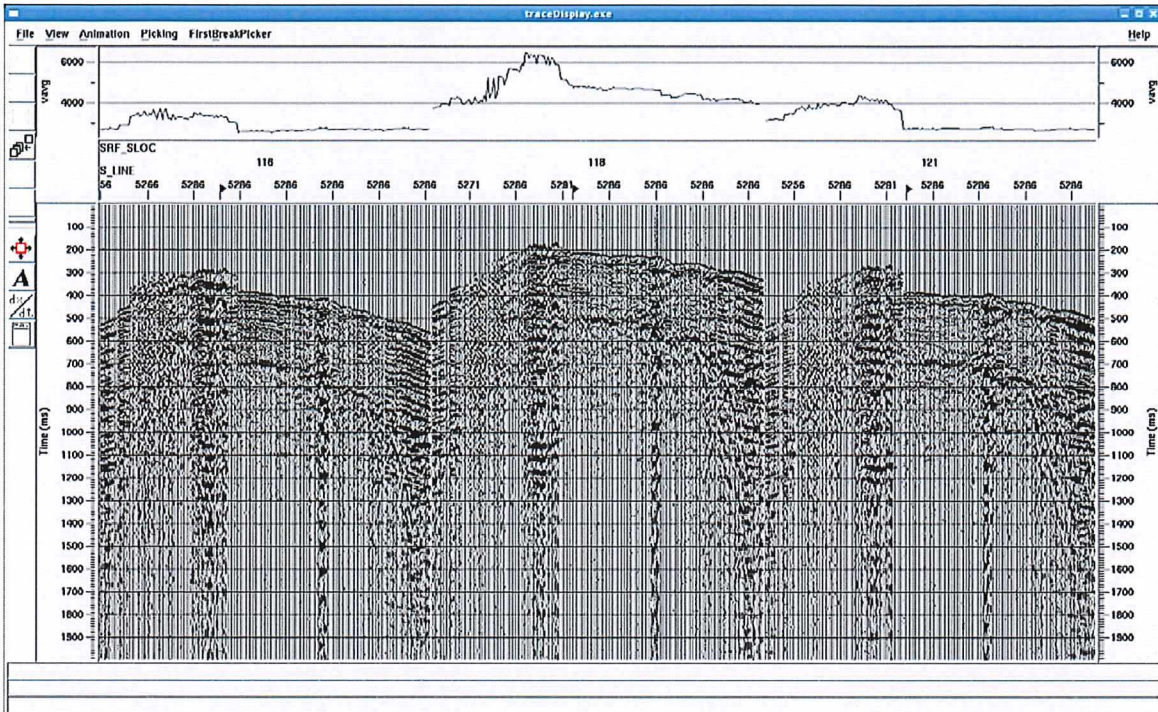
Auffällig sind auch die Unterschiede der durchschnittlichen Geschwindigkeiten VAVG (dargestellt in Grafik 97 über den Seismogrammen). Während die Geschwindigkeiten von GP 116 und GP 121 bei Anregungen auf der Nordflanke Werte unter 3.000 m/s aufweisen, weichen sie bei GP 118 trotz der räumlichen Nähe zu GP 121 mit Werten von zwischen 4.000 m/s und 5.000 m/s deutlich ab. Wie bei den Betrachtungen zu den Gesamtdaten beschrieben (s.o.) kann dies ein Hinweis auf eine Drift der internen Uhr der Registriereinheiten sein, so dass die anhand der exakten Sprengzeiten ausgeschnittenen Daten zeitlich verschoben sind und eine Geschwindigkeitsbestimmung damit fehlerhaft ist. Die große Variabilität der Geschwindigkeiten manifestiert sich dementsprechend auch in dem in Grafik 100 dargestellten Diagramm.



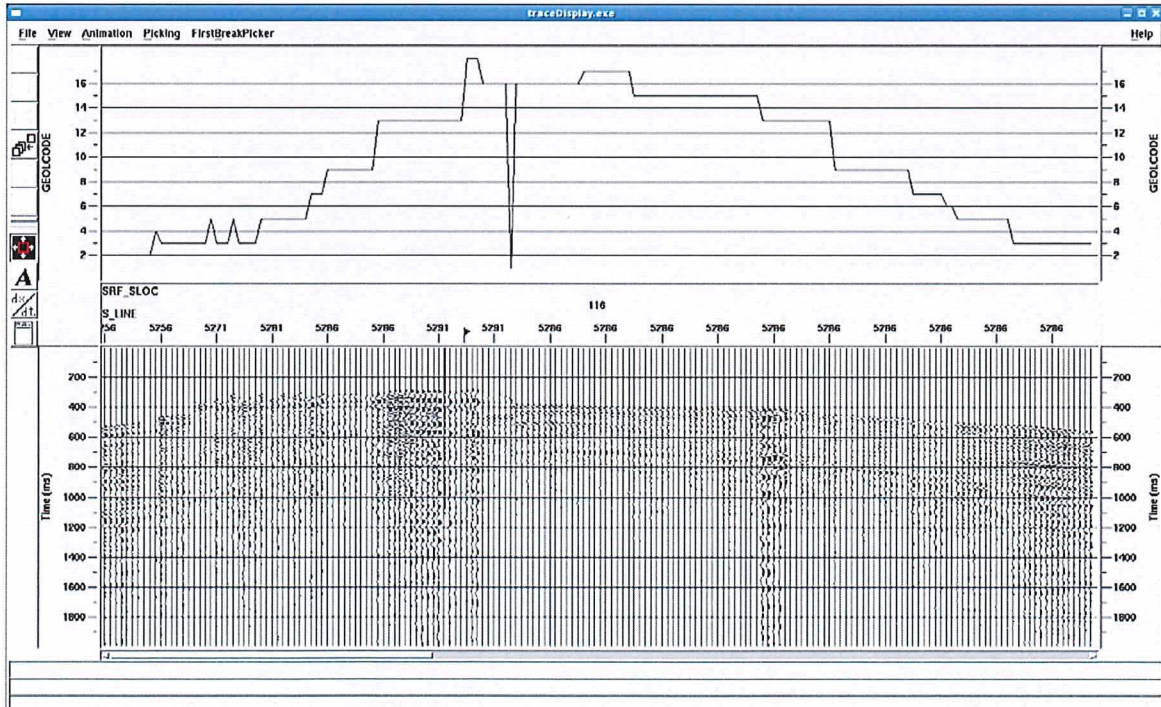
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

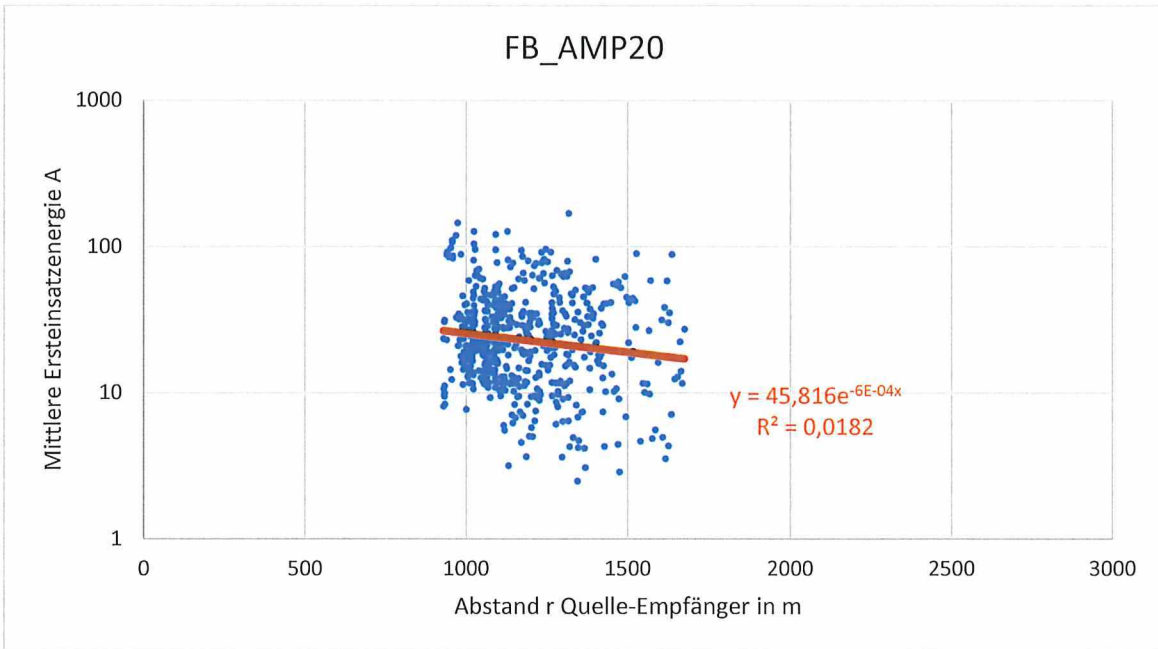
Blatt: 127



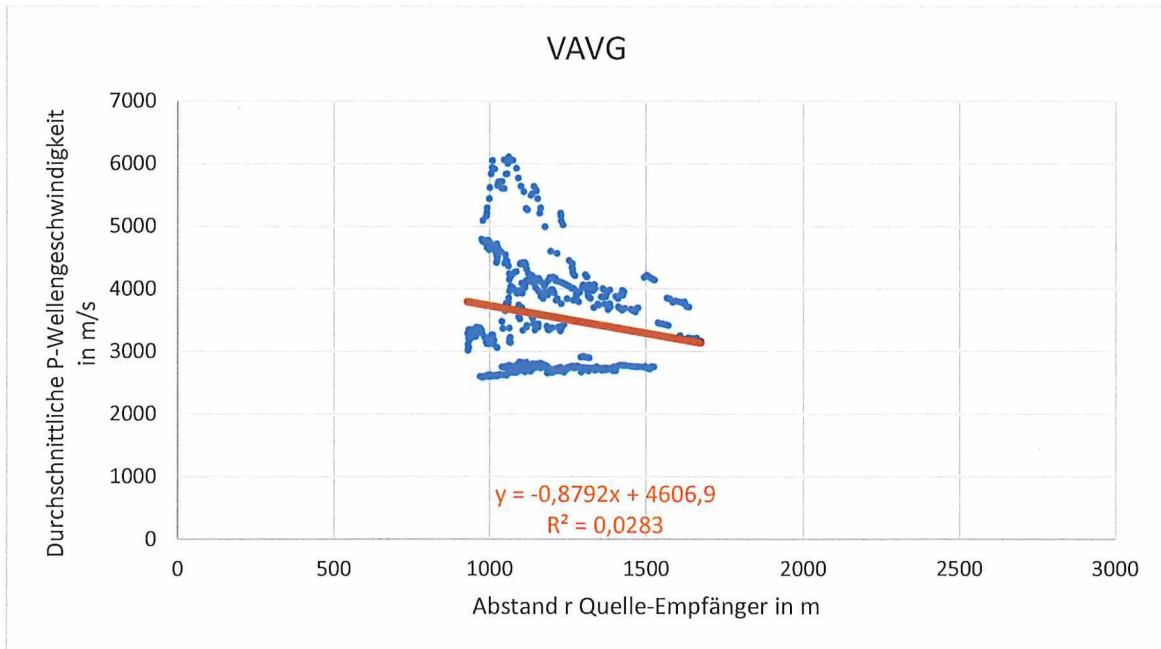
Graphik 97: Datenspur zur Auswahl 1: jeweils von Süden nach Norden über alle Oberflächengeologien, 588 Spuren (196 SP, GP 116, 118 und 121).



Graphik 98: Auswahl über alle möglichen Oberflächengeologien wie in Graphik 97, Ausschnitt mit GP 116 und Darstellung der am Sprengpunkt kartierten Oberflächengeologie (gemäß GEOL\_CODE in Liste 1).



Grafik 99: Sprenganregung über alle Oberflächengeologien, 588 Spuren (Auswahl 1, 196 SP, GP 116, 118 und 121).



Grafik 100: Sprenganregung über alle Oberflächengeologien, 588 Spuren (Auswahl 1, 196 SP, GP 116, 118 und 121).



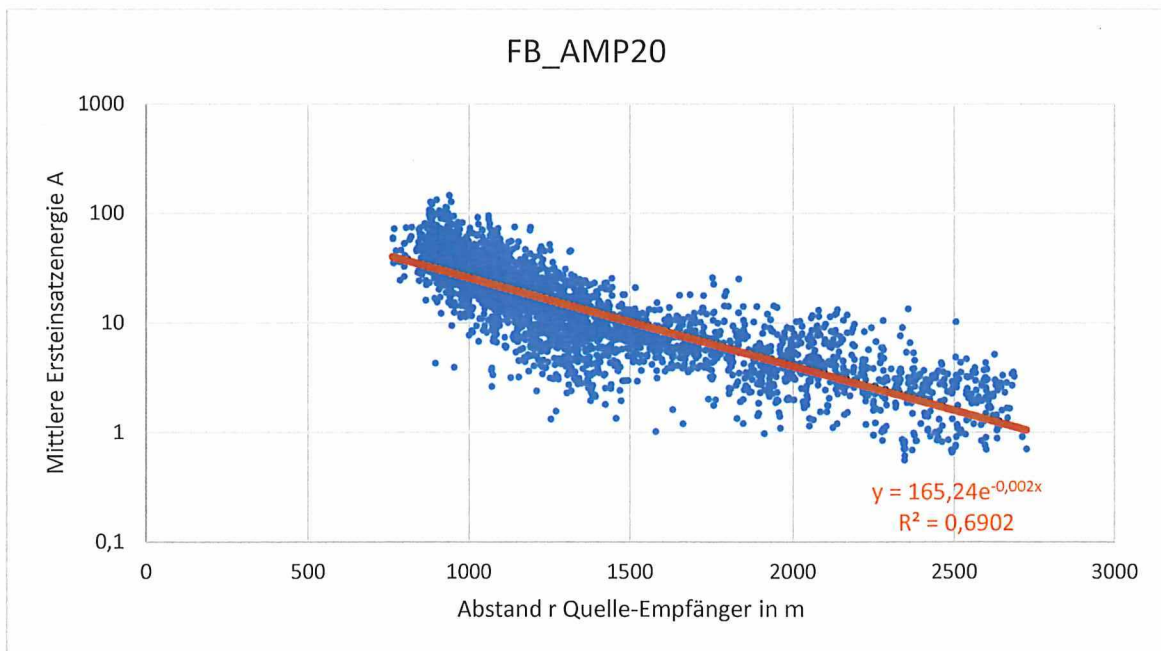
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**


Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse	Blatt: 129
--	------------

### Auswahl 2 (SP im Unteren Muschelkalk (GEOL\_CODE 9 bis 12), GP 116, 118 und 121)

Nachfolgend soll untersucht werden, ob die in Auswahl 1 festgestellten qualitativen Amplitudenunterschiede in den verschiedenen Formationen auch für eine größere auf je eine Formation beschränkte Auswahl zutreffen und sich quantitativ erfassen lassen. Dazu werden als Beispiel für geringe Amplituden in Auswahl 2 die Spuren von einer Sprenganregung im Unteren Muschelkalks (GEOL\_CODE 9-12) untersucht. Diese umfassen die Grafik 92 orange markierten 1.080 Sprengpunkte, die sich auf die Nord- und Südflanke des Asse-Höhenzugs verteilen. Die Amplituden-Statistik FB\_AMP20 für die betrachteten Empfänger GP 116, 118 und 121 ist in Grafik 101 dargestellt. Die realisierten Abstände  $r$  sind mit 750 m bis etwa 2.750 m deutlich größer als bei der Analyse von Auswahl 1 und erreichen annähernd die Spanne vom Gesamtdatensatz in Grafik 95. Im Vergleich dazu ist aber die Streuung der Amplituden deutlich kleiner, so dass die aus der Punktwolke bestimmte Regressionsgerade ein höheres Bestimmtheitsmaß von  $R^2=0,69$  erreicht, wobei der Dämpfungsfaktor  $\alpha$  mit 0,002 mit demjenigen der Gesamtdatenauswahl übereinstimmt. Die als vergleichsweise gering eingeschätzten Amplituden der Spuren mit Sprenganregung im Unteren Muschelkalk drücken sich durch den im Vergleich zu den Spuren des Gesamtdatensatzes kleineren Koeffizienten  $A_0$  aus (Auswahl 2: 169,24 vs. Gesamtauswahl: 206,64). Die Streuung der für die Auswahl 2 in Grafik 102 dargestellten Geschwindigkeiten VAVG ist allerdings hoch und die Verteilung der Punkte innerhalb der Punktwolke relativ ungleichmäßig.

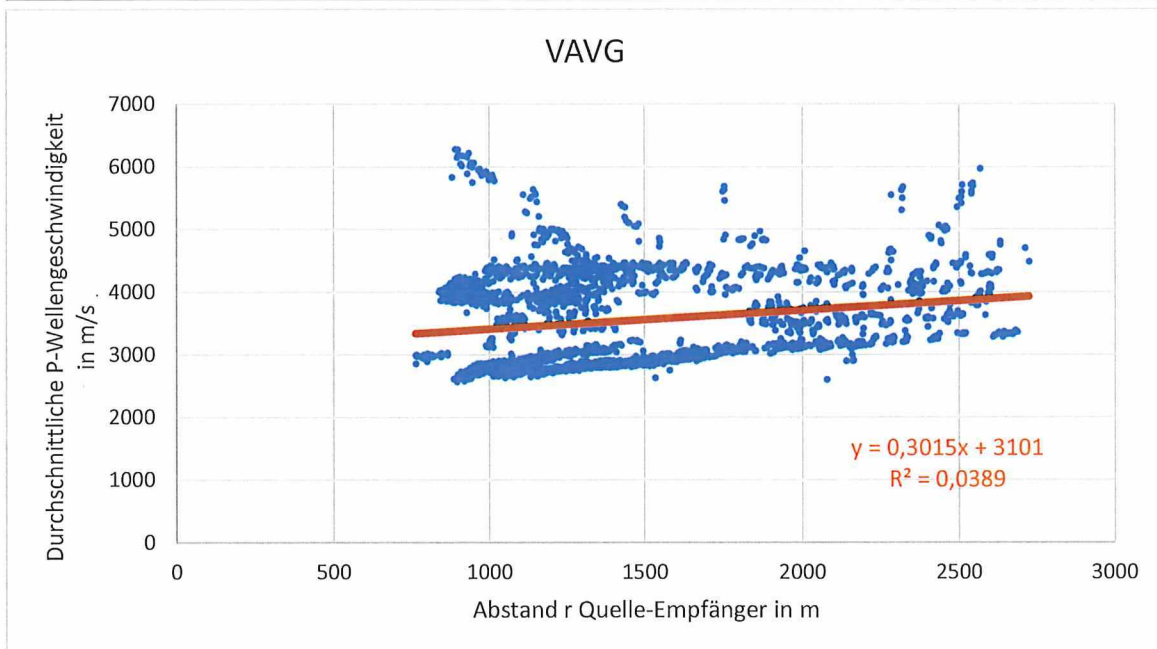


Grafik 101: Sprenganregung im Unteren Muschelkalk, 3.240 Spuren (Auswahl 2, 1.080 SP, GP 116, 118 und 121).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 130



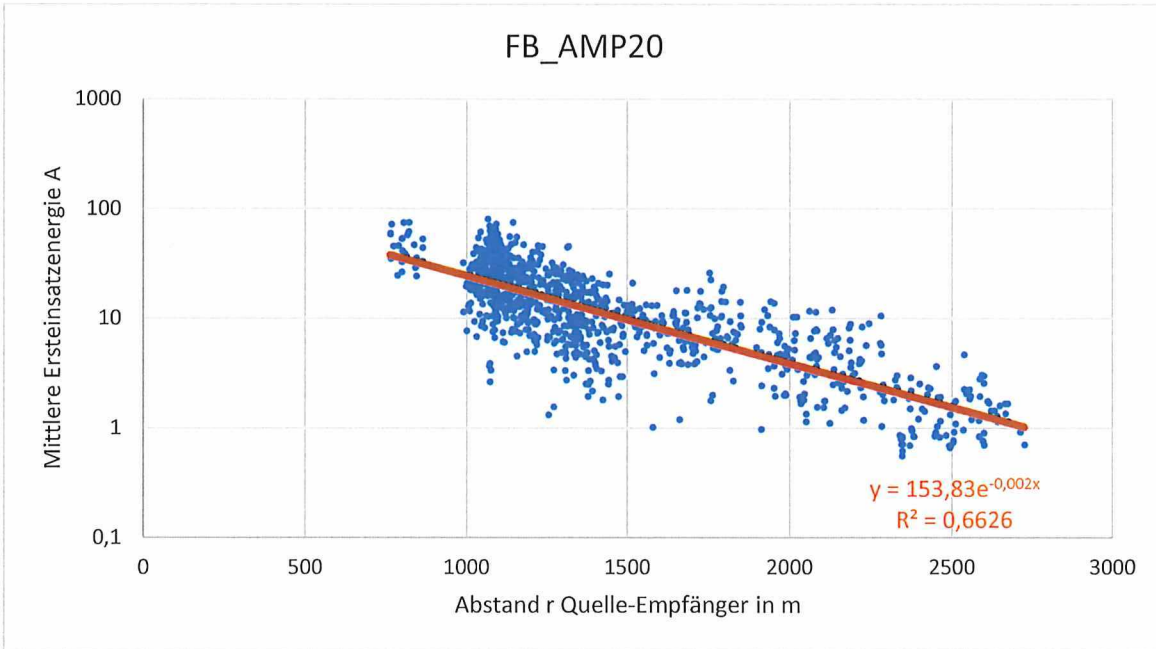
Grafik 102: Sprenganregung im Unteren Muschelkalk, 3.240 Spuren (Auswahl 2, 1.080 SP, GP 116, 118 und 121).

Zur Untersuchung, ob sich eine Verbesserung der statistischen Anpassung von FB\_AMP20 erzielen lässt und ob die unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereiche durch die unterschiedliche Lage der Empfänger verursacht worden sind, werden die Statistiken für jeden Empfänger separat angefertigt und in den folgenden Abbildungen dargestellt:

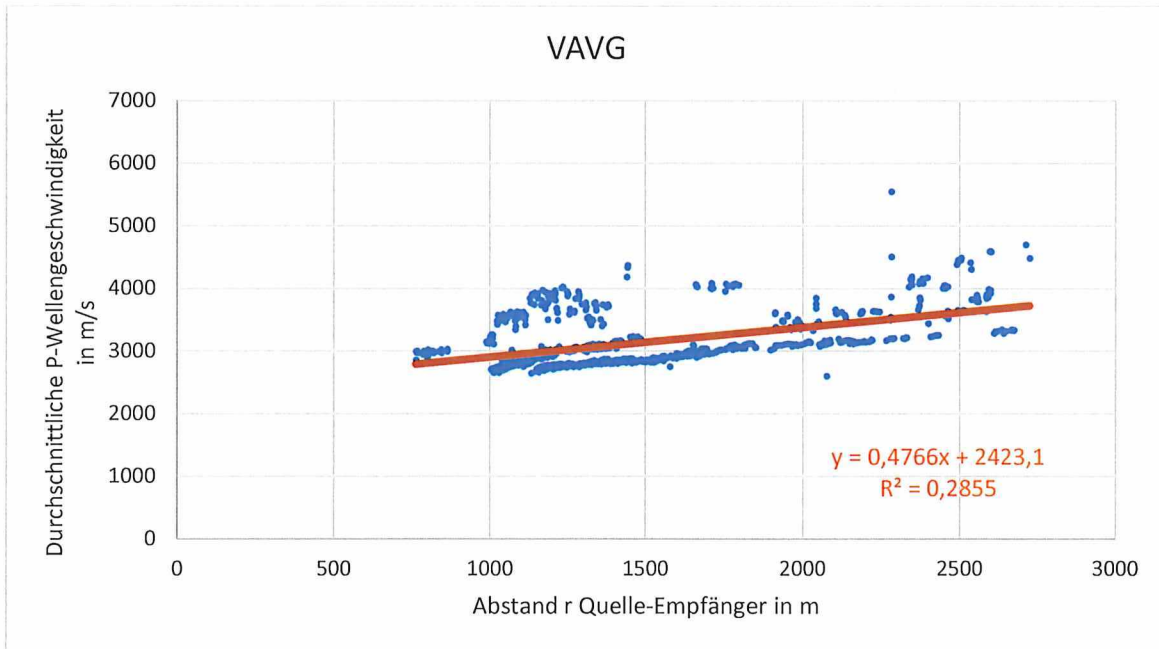
- für GP 116: Grafik 103, Grafik 104,
- für GP 118: Grafik 105, Grafik 106,
- für GP 121: Grafik 107, Grafik 108

Für die Analysen stehen pro Empfänger nur noch ein Drittel der Spuren (= 1.080) im Vergleich zur Analyse in Grafik 101 zur Verfügung. Der Vergleich der Amplitudenverteilungen (FB\_AMP20) der einzelnen Empfänger (Grafik 103, Grafik 105 und Grafik 108) untereinander zeigt bei unverändertem  $\alpha$  eine vergleichbare Streuung über alle Abstände, so dass sich das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  bei den Regressionsgeraden nur geringfügig unterscheidet (0,66 - 0,71). Die Koeffizienten für  $A_0$  unterscheiden sich für die GP 116 und 121 kaum (154 und 157), der GP 118 liegt mit  $A_0=183$  etwas darüber, im Mittel entspricht das dem Wert von 165, wie in der gemeinsamen Analyse (Grafik 101). Auch die ungleichmäßige Streuung mit Clusterbildung bleibt in den Analysen der Geschwindigkeitsverteilungen der separaten Empfänger in Grafik 104, Grafik 106 und Grafik 108 enthalten. Auffällig ist in den Analysen allerdings, dass die Geschwindigkeiten bei GP 116 und GP 121 im Mittel zwischen 3.000 m/s bis 4.000 m/s liegen und bei GP 118 trotz der geringen Entfernung (67 m) zu GP 121 die Geschwindigkeiten mit 4.000 m/s bis 5.000 m/s deutlich größer sind. Auch dieses ist ein Indiz für die angesprochenen Probleme bei der Zeitsynchronisation der untertägigen Registriereinheiten.

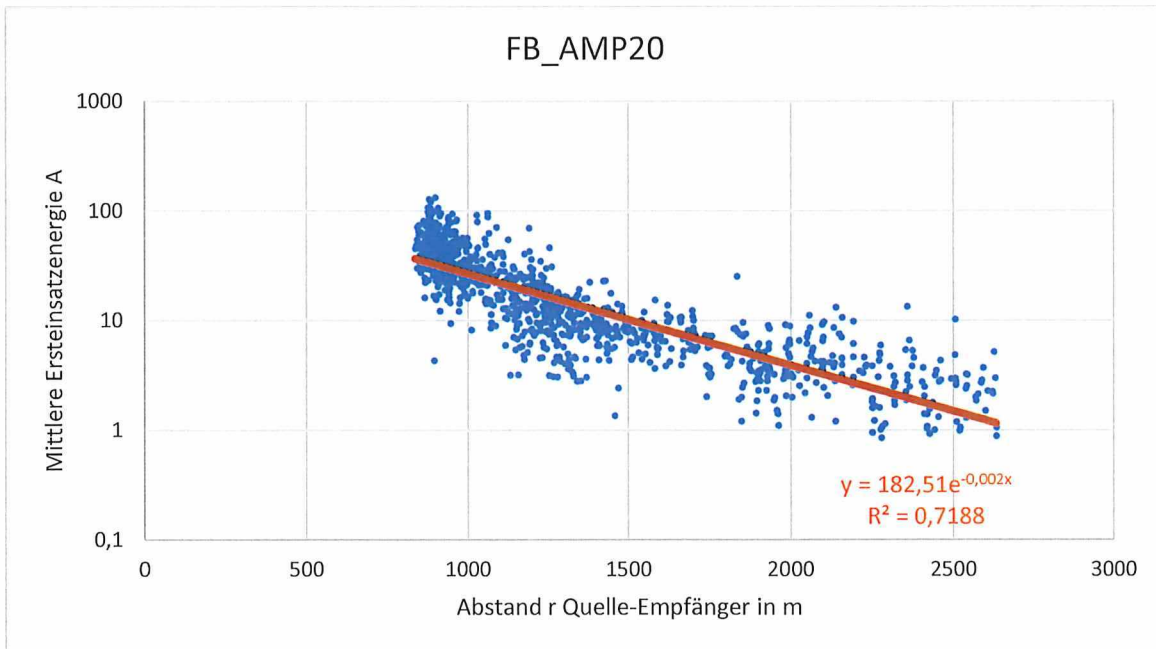




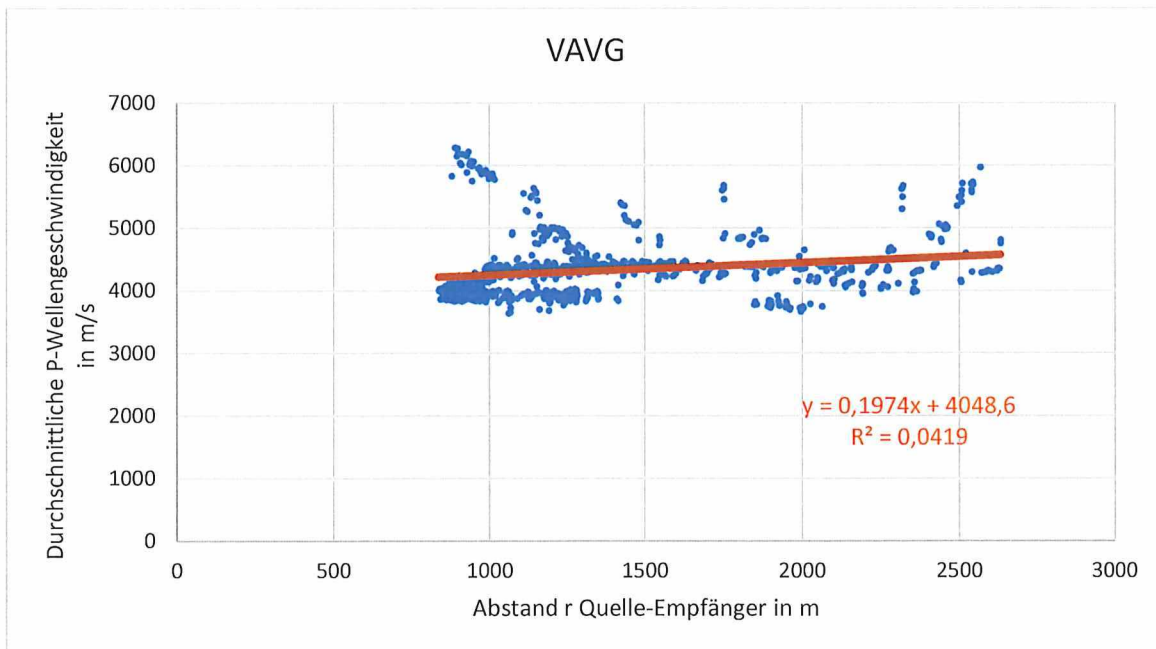
Grafik 103: Sprenganregung im Unteren Muschelkalk, 1.080 Spuren (Auswahl 2, 1.080 SP, GP 116).



Grafik 104: Sprenganregung im Unteren Muschelkalk, 1.080 Spuren (Auswahl 2, 1.080 SP, GP 116).

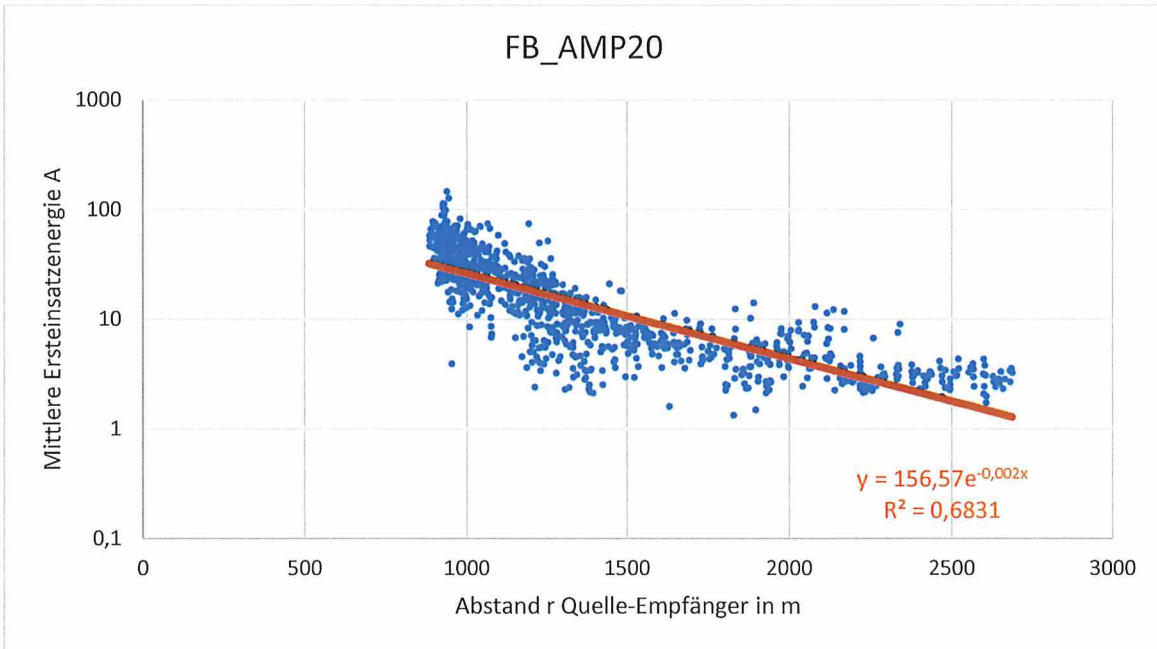


Grafik 105: Sprenganregung im Unteren Muschelkalk, 1.080 Spuren (Auswahl 2 1.080 SP, GP 118).

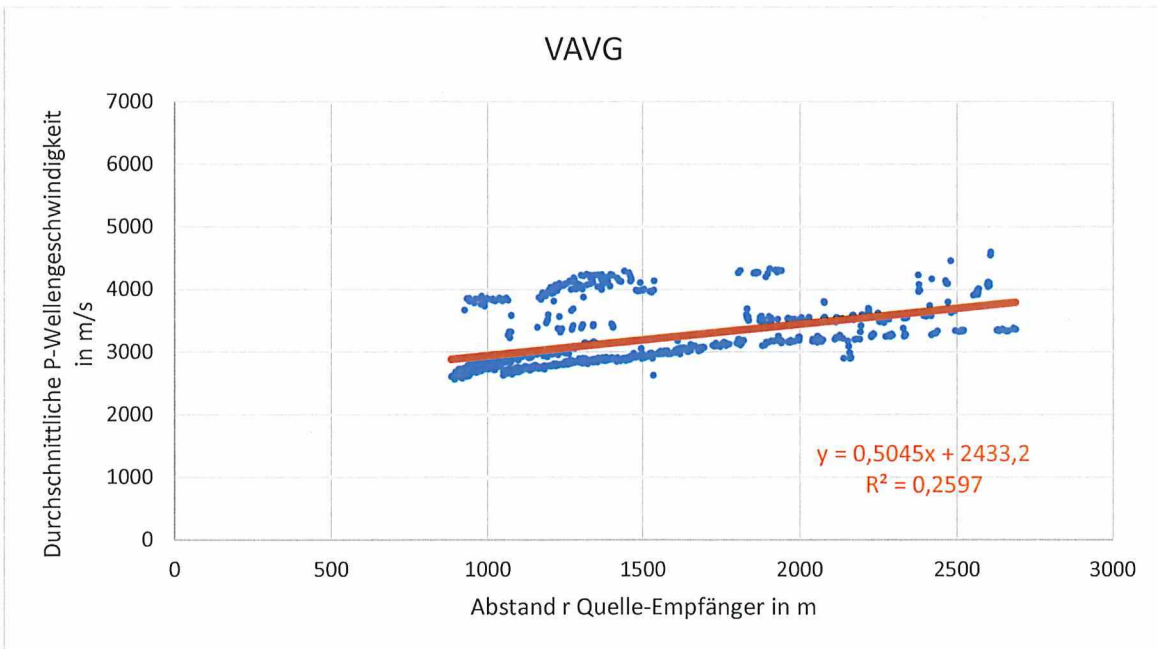


Grafik 106: Sprenganregung im Unteren Muschelkalk, 1080 Spuren (Auswahl 2,1.080 SP, GP 118).





Grafik 107: Sprenganregung im Unteren Muschelkalk, 1.080 Spuren (Auswahl 2, 1.080 SP, GP 121).



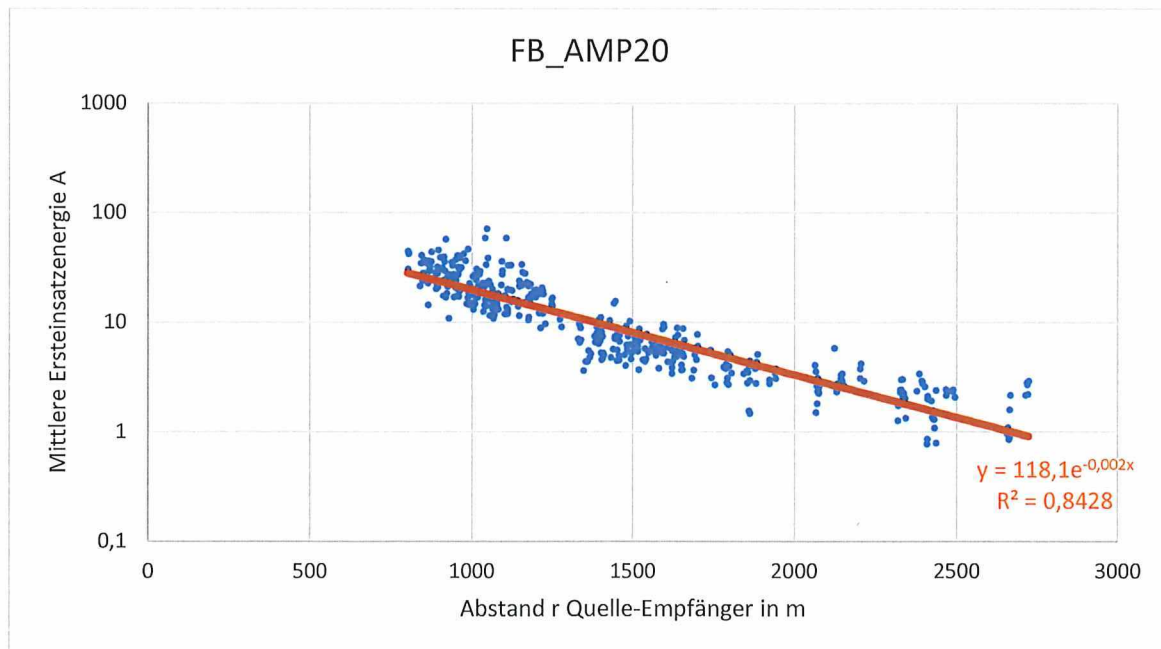
Grafik 108: Sprenganregung im Unteren Muschelkalk, 1.080 Spuren (Auswahl 2, 1.080 SP, GP 121).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 134

**Auswahl 3** (SP im Unteren Buntsandstein - Rogensteinzone (GEOL\_CODE 17), GP 116, 118 und 121)

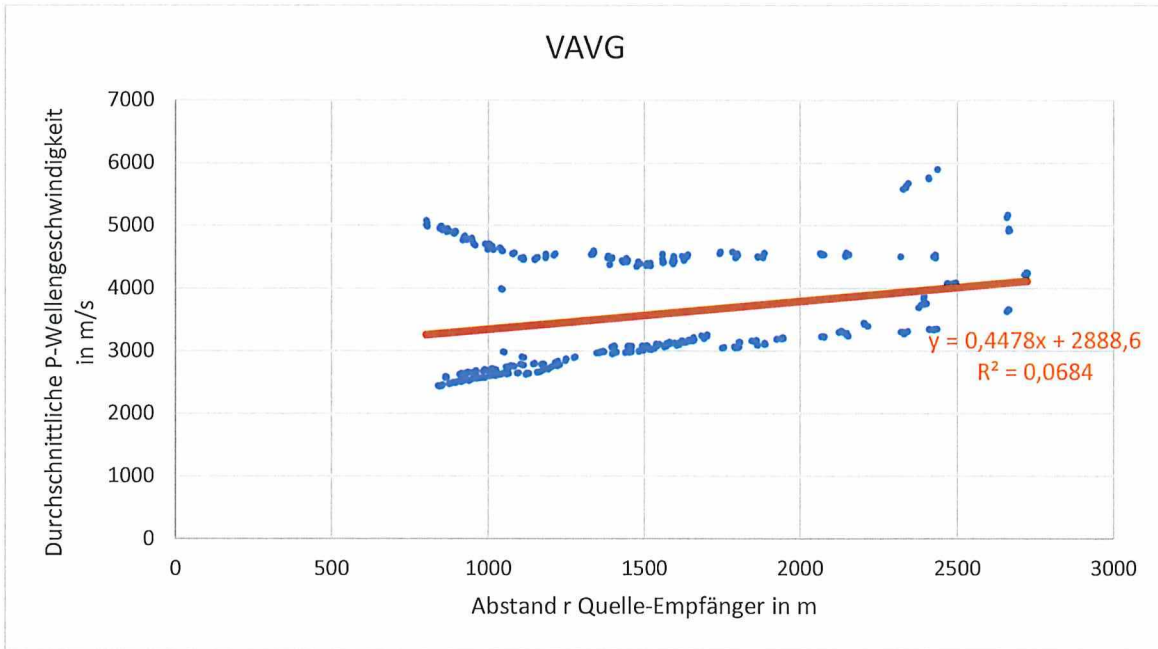
In Auswahl 3 werden die Spuren von sprengseismischen Anregungen im Unteren Buntsandstein – Rogensteinzone (GEOL\_CODE 17) untersucht (Grafik 93). Die Rogensteinzone ist in der SW-NE-Ausdehnung sehr schmal und auf dem Top des Asse-Höhenzugs gut auskartiert. Die Sprengpunkte liegen zudem auf einer Linie mit den Empfängern GP 118 und GP 121, so dass die Wellenwege weitestgehend in einer Ebene und gleichen Schichten erfolgen sollten.

Dieses führt in dem FB\_AMP20-Diagramm im Vergleich zu den bisher vorgestellten Analysen mit allen drei Empfängern zu den geringsten Abweichungen von der Regressionsgeraden und somit zu einem hohen Bestimmtheitsmaß von 0,71 (Grafik 109), welches auch in den separaten Darstellungen für GP 116 (Grafik 111), GP 118 (Grafik 113) und GP 121 (Grafik 115) festgestellt werden kann. Der Koeffizient  $\alpha$  liegt wie bisher auch bei 0,002 und der Koeffizient  $A_0$  liegt mit 118 im mittleren Bereich. Eine Zweiteilung der Geschwindigkeiten offenbart sich bei dem VAVG-Diagramm in Grafik 110. Ein Teil der Punkte liegt auf einer Geraden in einem Geschwindigkeitsbereich zwischen 2.500 m/s bis 3.700 m/s, der – nach Analyse der separierten Empfänger – gut mit den Ergebnissen für GP 116 (Grafik 112) und GP 121 (Grafik 116) korreliert. Der andere Teil der Punktwolke weist deutlich höhere Geschwindigkeiten mit Werten zwischen 4.500 m/s und 5.000 m/s auf, welche GP 118 zuzuordnen sind (Grafik 114). Die angesprochenen Probleme bei der Zeitsynchronisation der Registriereinheiten unter Tage scheinen also insbesondere an GP 118 zu liegen.

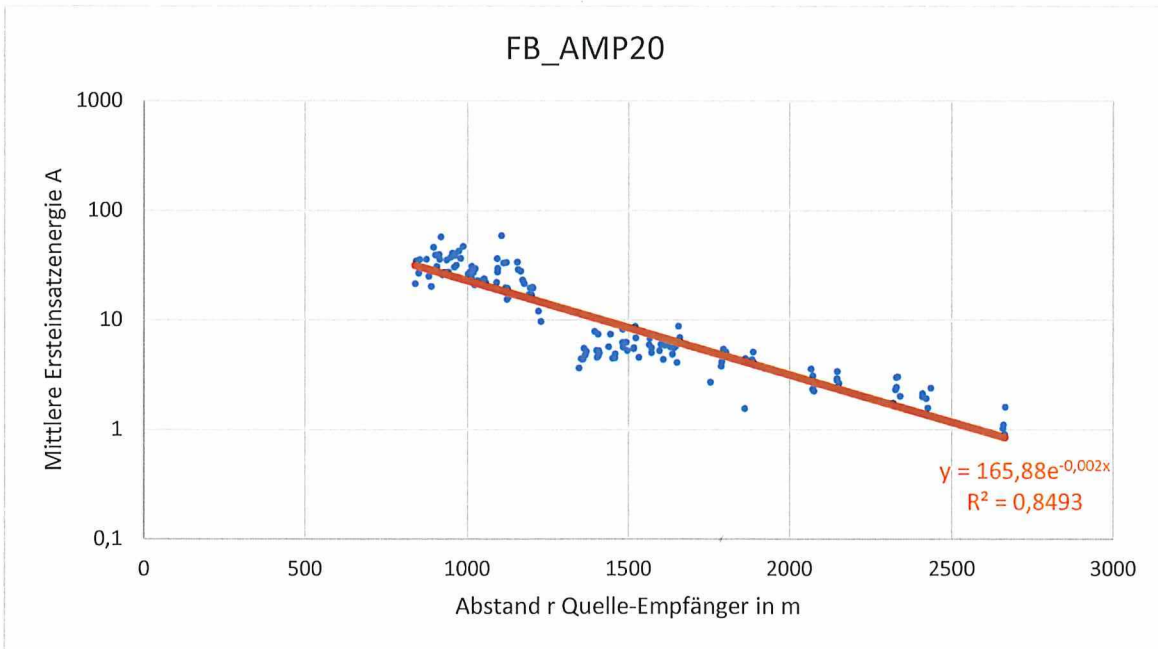


Grafik 109: Sprenganregung im Unteren Buntsandstein - Rogensteinzone, 447 Spuren (Auswahl 3, 149 SP, GP 116, 118 und 121).

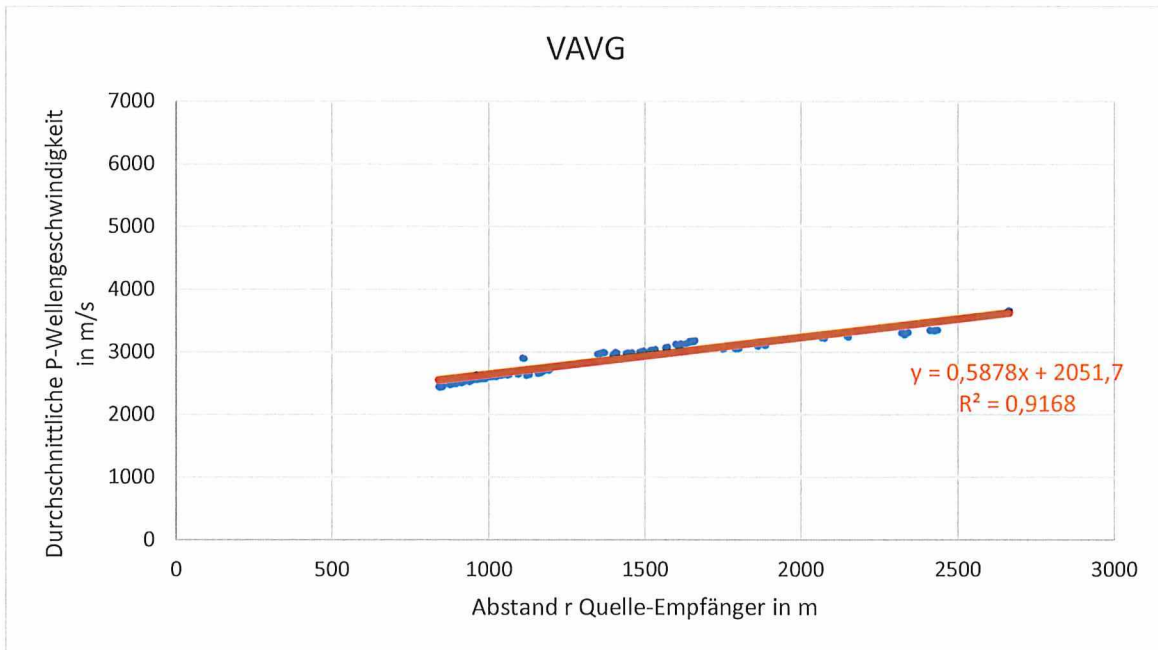




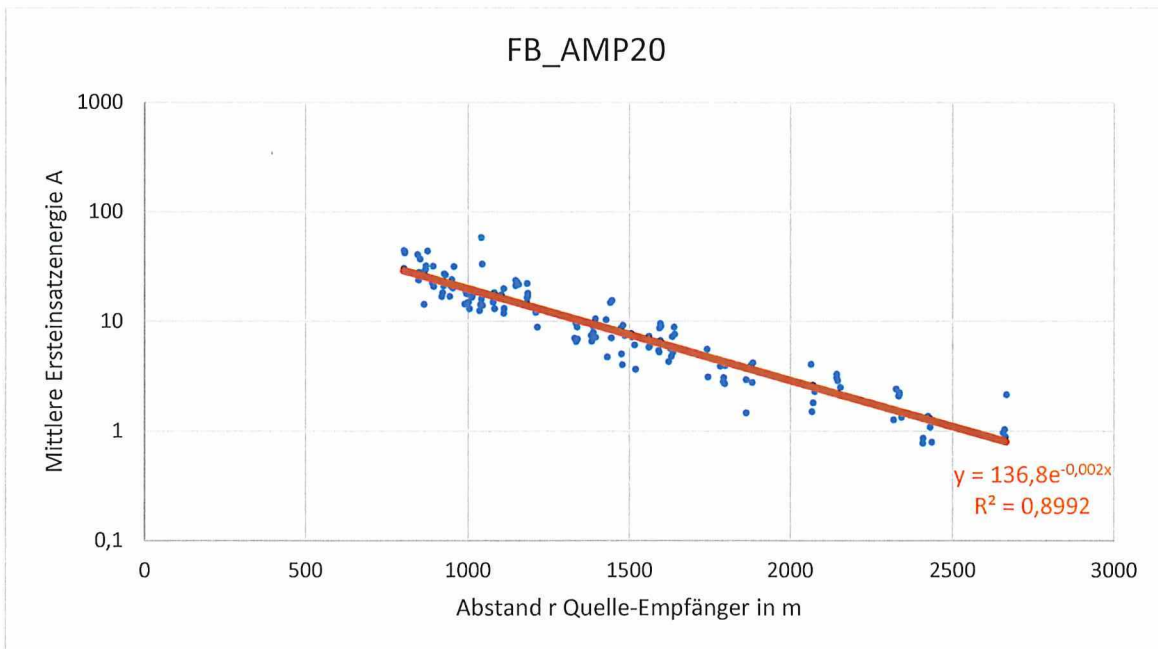
Grafik 110: Sprenganregung im Unteren Buntsandstein - Rogensteinzone, 447 Spuren (Auswahl 3, 149 SP, GP 116, 118 und 121).



Grafik 111: Sprenganregung im Unteren Buntsandstein - Rogensteinzone, 149 Spuren (Auswahl 3, 149 SP, GP 116).

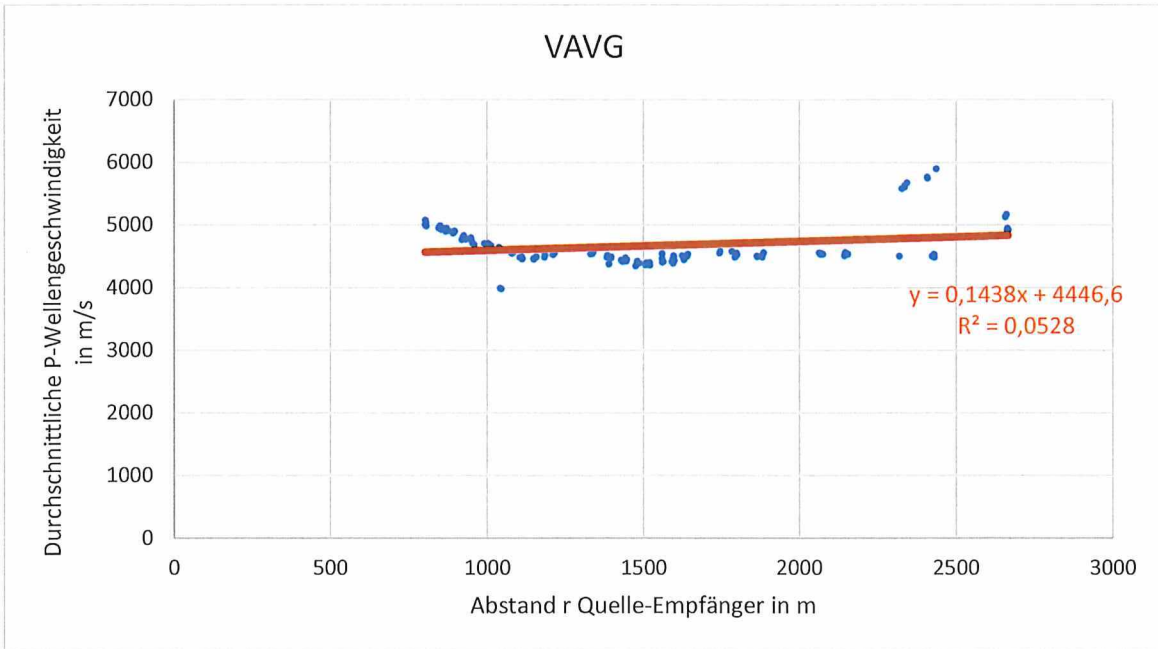


Grafik 112: Sprenganregung im Unteren Buntsandstein - Rogensteinzone, 149 Spuren (Auswahl 3, 149 SP, GP 116).

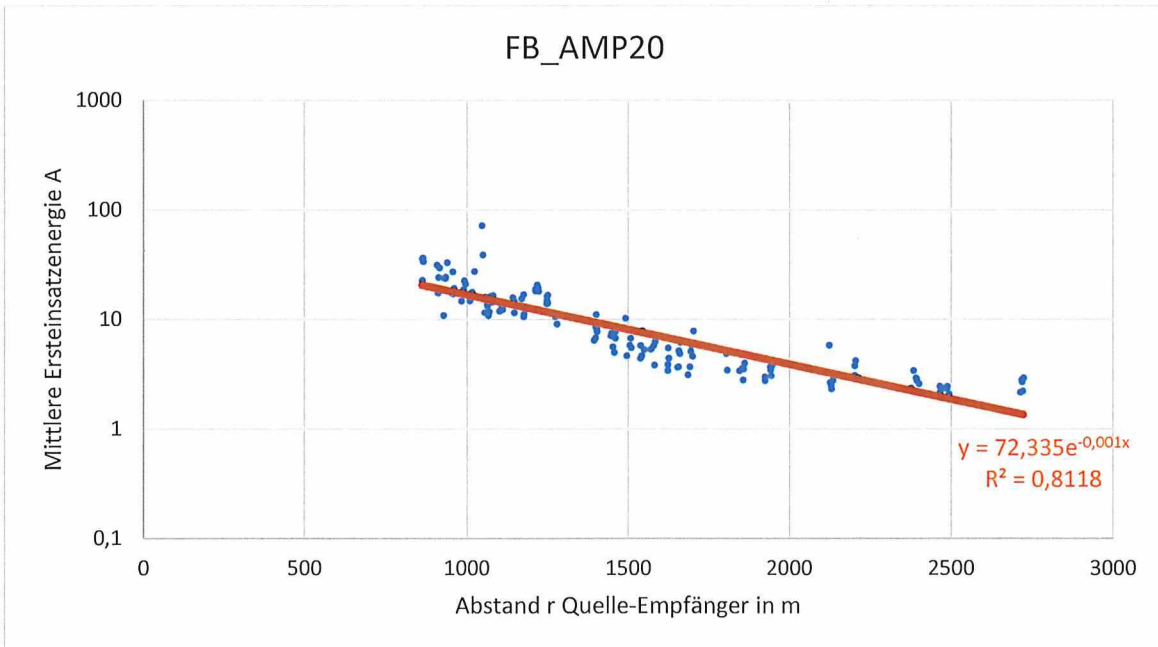


Grafik 113: Sprenganregung im Unteren Buntsandstein - Rogensteinzone, 149 Spuren (Auswahl 3, 149 SP, GP 118).





Grafik 114: Sprenganregung im Unteren Buntsandstein - Rogensteinzone, 149 Spuren (Auswahl 3, 149 SP, GP 118).

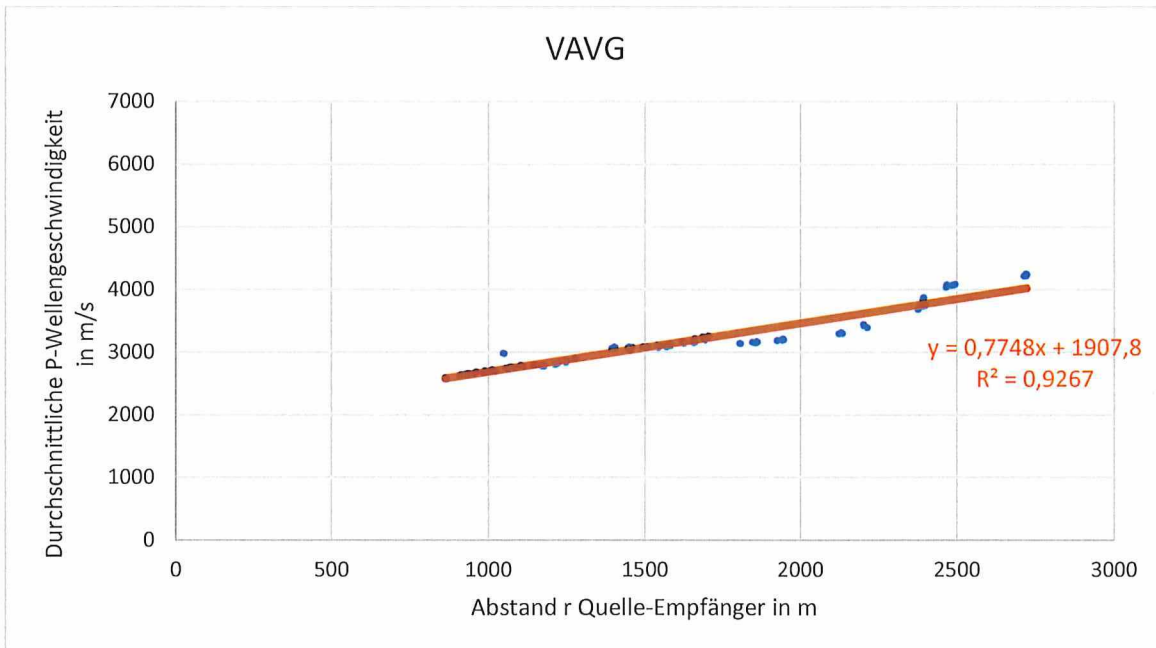


Grafik 115: Sprenganregung im Unteren Buntsandstein - Rogensteinzone, 149 Spuren (Auswahl 3, 149 SP, GP 121).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse

Blatt: 138



Grafik 116: Sprenganregung im Unteren Buntsandstein - Rogensteinzone, 149 Spuren (Auswahl 3, 149 SP, GP 121).

**Auswahl 4** (Sprenganregung im Oberen Muschelkalk - Ceratitenschichten (GEOL\_CODE 5), GP 116, 118 und 121)

Als vierte Auswahl werden Sprengpunkte im Zentrum des kartierten Oberen Muschelkalk – Ceratitenschichten für einen ungestörten Bereich auf der Nordflanke des Asse-Höhenzuges betrachtet (Grafik 94). Die seismischen Spuren sind mit den rot markierten Ersteinsätzen Grafik 117 für alle drei Registriereinheiten dargestellt. Die aus den Ersteinsatzzeiten und der Geometrie ermittelten Geschwindigkeiten sind über den Seismogrammen eingetragen.

Die Analyse der Amplituden in Grafik 118 liefert abweichend von den bisherigen Untersuchungen einen Koeffizienten für  $\alpha = 0,001$ , welches möglicher Weise mit dem bei dieser Auswahl fehlenden Sprengpunkten mit geringen Abständen zusammenhängen kann.

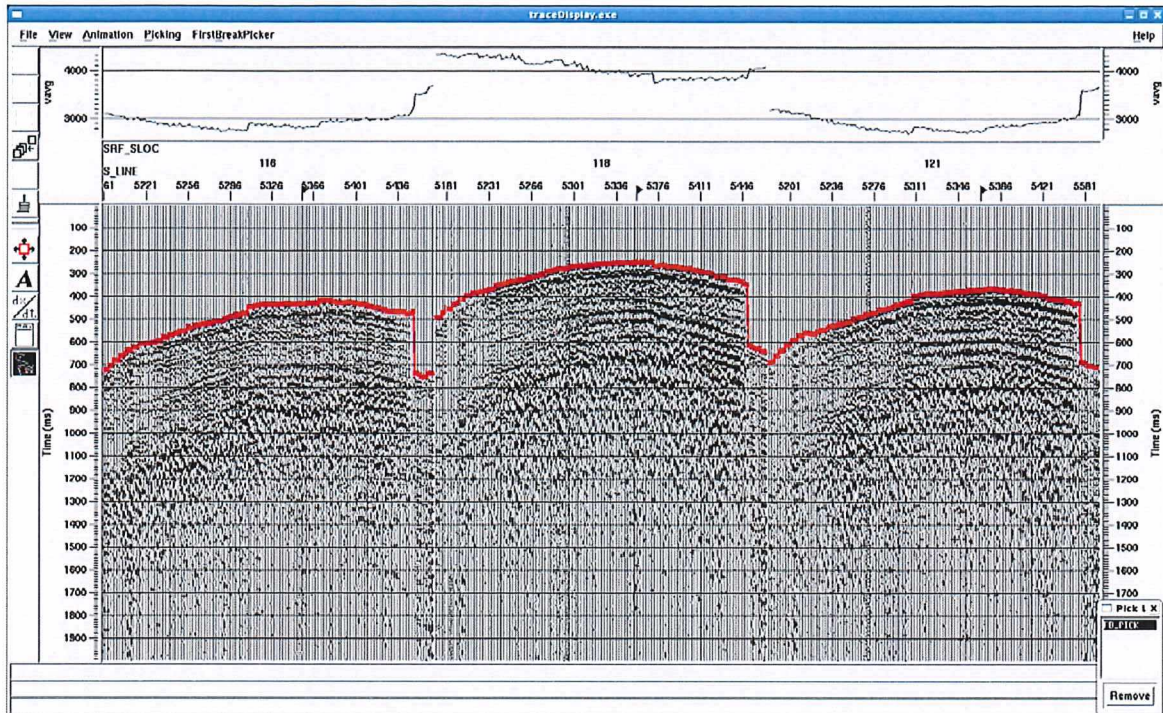
Die am Empfänger GP 118 auftretenden erhöhten Geschwindigkeiten führen, wie z.B. bei Auswahl 3, zur Zweiteilung der Daten der Geschwindigkeitsanalyse (Grafik 119). Als neuer Aspekt, der auf allen drei Registriereinheiten zu beobachten ist, sind die kleinen Sprünge in dem über den Seismogrammen in Grafik 117 dargestellten Geschwindigkeitsverläufen. Sie treten insbesondere dann auf, wenn der Messtag wechselt, was ebenfalls für eine empfänger- und zeitabhängige Drift der internen Uhr der Registriereinheiten spricht.



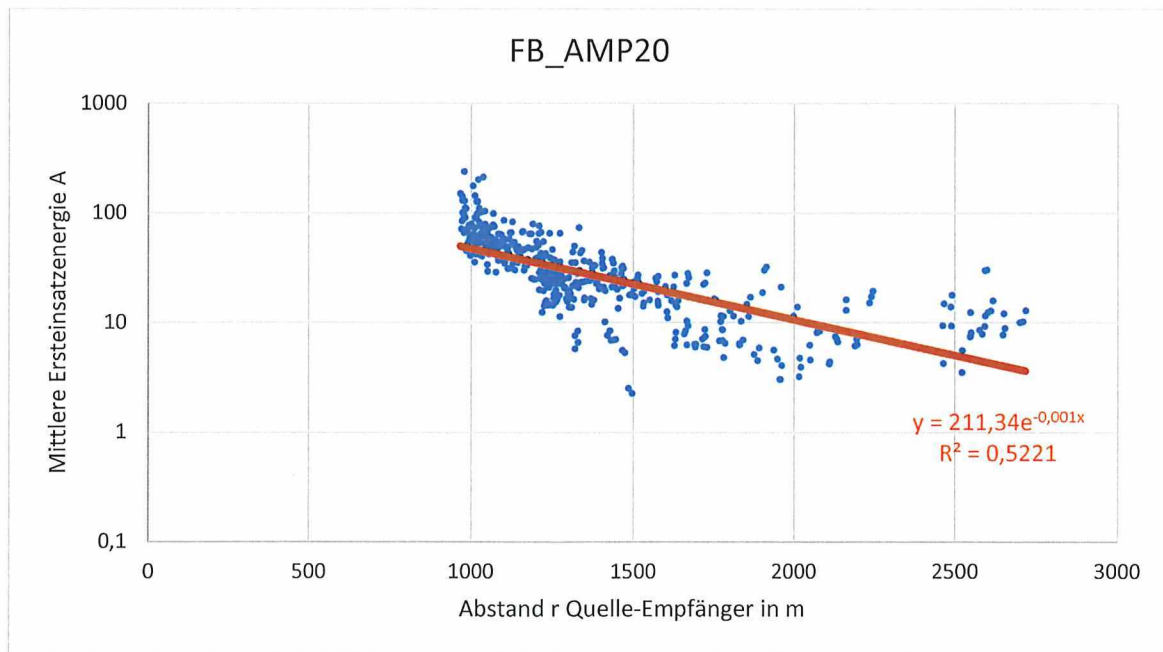
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

Blatt: 139



Graphik 117 Datenspuren mit Markierung der festgelegten Ersteinsätze (rot) zur Auswahl 4: Sprenganregung im Oberen Muschelkalk (OMK, Ceratitenschichten), 471 Spuren (157 SP, GP 116, 118 und 121).

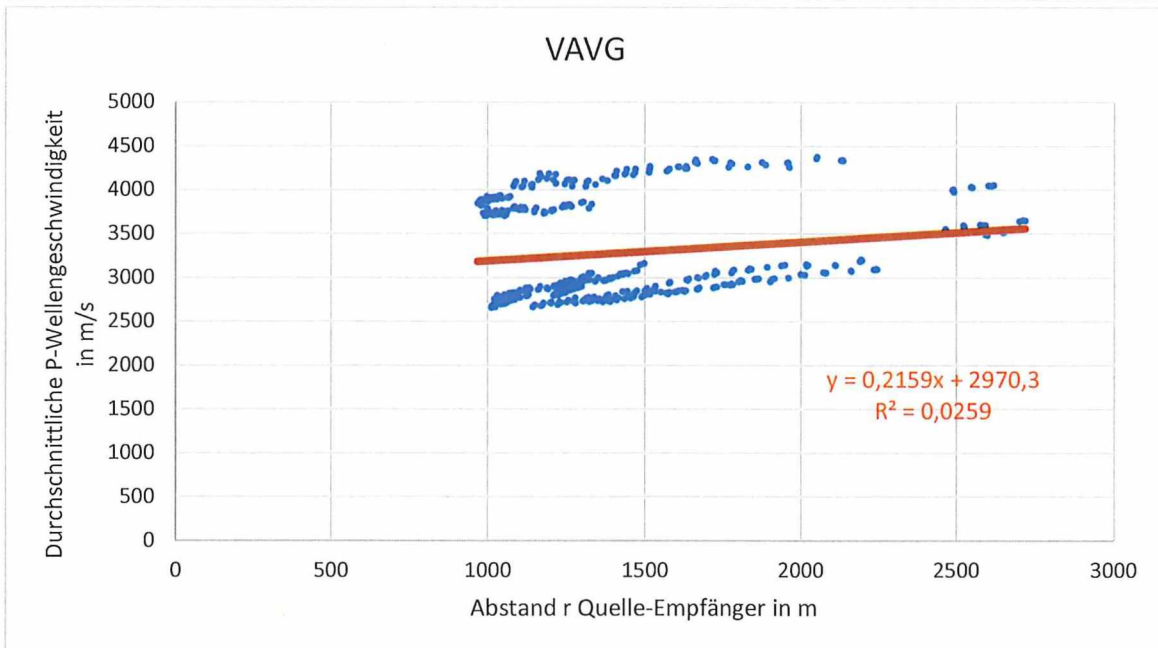


Graphik 118: Sprenganregung im Oberen Muschelkalk (OMK, Ceratitenschichten), 471 Spuren (Auswahl 4, 157 SP, GP 116, 118 und 121).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	

Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-SeismikASSE

Blatt: 140



Grafik 119: Sprenganregung im Oberen Muschelkalk (OMK, Ceratitenschichten), 471 Spuren (Auswahl 4, 157 SP, GP 116, 118 und 121).


## Amplitudeneffekte

Die im vorliegenden Bericht untersuchte exponentielle Energie- bzw. Amplitudenabnahme, die durch die Ausgangsamplitude  $A_0$  und den Koeffizienten  $\alpha$  beschrieben wird, beinhaltet alle möglichen Effekte, die sich auf die Amplituden bei der Ausbreitung seismischer Wellen auswirken können. Zum Beispiel:

- Die **Ankopplung der Quelle** bestimmt bei gleicher Ladungsmenge die Ausgangsamplitude  $A_0$ . Eine schlechte Verdämmung der Ladung (hier mit Bentonit im Bohrloch) kann im Extremfall zu Ausbläsern führen und ein Teil der Energie verpufft nach oben und wird nicht in den Untergrund abgestrahlt. Eine Sprengung im unkonsolidierten Boden oder im Bereich von größeren Bohrlochrandausbrüchen (Hohlräumen) kann zu einer unzureichenden Energieübertragung in den Untergrund führen.
- Die Ausgangsamplitude  $A_0$  ist proportional zur **Ladungsmenge**. Die abgestrahlte Energie ist proportional zum Quadrat der Amplituden. Größere Ladungsmengen resultieren bei gleichem Sprengstoff (im Mittel) in größeren Amplituden  $A_0$  (Grafik 120).
- Die **Abstrahlcharakteristik** einer seismischen Quelle erzeugt eine azimutale Abhängigkeit der Ausgangsamplitude  $A_0$ . Im Idealfall entspricht eine Sprenganregung einer Punktquelle im homogenen Vollraum, bei der sich die akustische Energie in alle Raumrichtungen gleichmäßig ausbreitet. In der Praxis kann aber auch bei einer Sprenganregung die Amplitude je nach Raumrichtung variieren. Hierbei spielen insbesondere die Ladungstiefe unter der Erdoberfläche, die Anordnung der Ladungen (z.B. Pattern mehrerer Bohrungen) und die Homogenität der näheren Quellumgebung eine Rolle.
- Einen großen Einfluss auf die Amplitudenabnahme hat die **sphärische Divergenz**. Im homogenen Vollraum verteilt sich die Energie der seismischen Wellenfront bei der Ausbreitung im Raum auf eine mit zunehmendem Abstand  $r$  von der Punktquelle (Sprengpunkt) größer werdende Kugeloberfläche ( $O = 4 \cdot \pi \cdot r^2$ ). In der Praxis entsteht aufgrund von Inhomogenitäten (z.B. Schichten) keine ideale Kugeloberfläche, außerdem ist aufgrund der geringen Ladungstiefe eher von einem Halbraum auszugehen. In jedem Fall nimmt auch ohne materialbedingte Absorption die Amplitude mit der Entfernung ab. Bei einem Abstand von 1.200 m zwischen einer



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Blatt: 141**

- seismischen Punktquelle und dem Empfänger beträgt die Energieabnahme durch sphärische Divergenz etwa 16 dB [19].
- Bei der Wellenausbreitung in einem geschichteten Medium wird an Grenzflächen, an denen sich das Produkt aus Wellenausbreitungsgeschwindigkeit und Dichte ändert, ein Teil der Energie der seismischen Wellen reflektiert. Der verbleibende Anteil breitet sich weiter in Ausbreitungsrichtung aus (Transmission). **Reflexions- und Transmissionskoeffizient** sind abhängig vom Einfallswinkel der Welle auf die Grenzfläche. Zu berücksichtigen ist auch, dass bei Reflexion und Transmission unter nicht senkrechten Einfall auf eine Grenzfläche eine Konversion von Wellentypen (z.B. P-Wellen zu S<sub>v</sub>-Wellen) auftritt. Bei einem Geschwindigkeitskontrast von 1.000 m/s und keinem Dichtekontrast wird bei senkrechtem Einfall der Welle auf eine Schichtgrenze ungefähr 4 % der Energie reflektiert [19].
  - Bei der materialabhängigen **Absorption** wird die Energie der sich ausbreitenden Welle in thermische Energie umgewandelt. Die Absorption ist abhängig von der Frequenz der seismischen Welle und zu einem kleinen, für die Seismik eher vernachlässigbaren Anteil auch temperaturabhängig. In Sedimentgesteinen ist bei einer Frequenz von 10 Hz und einem Laufweg von 1.200 m eine Energieabnahme durch Absorption von etwa 0,75 dB zu erwarten [19]. Für Frequenzen von 100 Hz kann die Absorption auf 7,5 dB ansteigen.
  - Die **Ankopplung der Geophone** spielt bei der Energieaufnahme eine Rolle. Auch hier ist, wie bei der Quelle, eine möglichst kraftschlüssige Ankopplung an den Untergrund herzustellen. Üblicherweise werden die Geophone an der Erdoberfläche (Halbraum) in den Boden gesteckt. Im vorliegenden Fall unter Tage liegen, bezogen auf die Wellenlänge, die deutlich größer ist als der Stollendurchmesser, eher Vollraumbedingungen vor.
  - Die **Empfangscharakteristik** eines Geophons erzeugt eine azimutale Abhängigkeit der registrierten Amplitude. Die eingesetzten Geophone sind Vertikalgeophone, die auch möglichst vertikal aufzustellen sind. Ihre größte Empfindlichkeit liegt in der Schwingachse des Geophons, senkrecht dazu ist die Empfindlichkeit theoretisch gleich Null.

Das Diagramm in Grafik 120 zeigt, dass die Energie der Sprengpunkte mit einer Ladungsmenge von 485 g im statistischen Mittel geringer ist als die Energie der Sprengpunkte mit doppelter Ladungsmenge. Dennoch gibt es in allen Abstandsbereichen Sprengpunkte, wo auch mit geringerer Ladungsmenge eine hohe Energie erzielt wird. Die Ursache dafür liegt vermutlich in einer sehr guten Ankopplung der Quelle in der jeweiligen Formation.



Grafik 120: Daten aller Sprengpunkte mit einer Ladungsmenge von 970 g (blau) und 485 g (violett), registriert an GP 116, 118 und 121.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 142



## Empfehlungen

Bei den durchgeführten Untersuchungen zur entfernungsabhängigen Amplitudenabnahme sprengseismischer Anregungen gab es deutliche Hinweise darauf, dass die interne Zeit der Registriereinheiten unter Tage von der Echtzeit, welche bei den übertägigen seismischen Messungen über das GPS-Zeitsignal zur ständigen Synchronisierung der internen Zeiten verarbeitet wird, abweicht. Dies beeinflusst die Bestimmungen von Amplitudenabnahmen zwar nicht, allerdings sind damit verlässliche Aussagen zu Ausbreitungsgeschwindigkeiten einschließlich laufzeitomographischer Auswertungen nicht mehr möglich. Probleme wird diese Zeitabweichung (Drift) auch für die untertägig registrierten Daten der vibroseismischen Anregungen bedeuten, die nach dem Ausschneiden aus dem Datenstrom noch korreliert werden müssen, was bei einem falschen Zeitfenster ein erhöhtes Korrelationsrauschen und damit eine schlechtere Datenqualität bedeuten würde. Es ist daher bei einem künftigen Einsatz von Registriereinheiten unter Tage sicherzustellen, dass diese ein GPS-Zeitsignal empfangen, um die Synchronisation mit den vibro- oder sprengseismischen Anregungszeiten zu gewährleisten.

Erwartungsgemäß ergab sich bei den entfernungsabhängigen Amplitudenuntersuchungen eine exponentielle Amplitudenabnahme. In diese Energieabnahme fließen integral alle Effekte ein, die einen Einfluss auf die Amplitude haben können (Ankopplung der Quelle, Abstrahlcharakteristik, sphärische Divergenz, Absorption, usw.). Aus VSP-Messungen könnte die material- und frequenzabhängige Absorption gesondert bestimmt werden, so dass teilweise eine Separation der Effekte möglich wäre.

Wenn die unter Tage gemessenen Amplituden im Sinne von Erschütterungen nach DIN 4150-3 beurteilt werden sollen, dann müssten die Geophone kalibriert sein und die Amplituden des Seismogramms in Schwinggeschwindigkeiten umgerechnet werden [17]. Dazu ist die Kenntnis einer entsprechenden frequenzabhängigen Übertragungsfunktion der Geophone notwendig. Es wäre dann individuell für jede Registriereinheit anstelle der mittleren Energie die maximale Amplitude der gesamten seismischen Spur zu untersuchen. Dies muss nicht der Ersteinsatz sein – jedoch ist nur anhand des Ersteinsatzes eine systematische Untersuchung der entfernungsabhängigen Amplitudenabnahme möglich. Für weiterführende Erschütterungsmessungen ist außerdem zu empfehlen, das Netzwerk des seismischen Monitorings der Schachanlage Asse II zu nutzen, da die Übertragungsfunktion dieser Sensoren vermutlich bekannt ist und die Messeinheiten drei Komponenten aufweisen, was eine Bestimmung der Einfallrichtung und eine Untersuchung aller Komponenten des Wellenfeldes auf maximale Amplituden bzw. Schwinggeschwindigkeiten ermöglichen würde.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ			HF	BW	0014	00	
Abschlussbericht der Fremdbauüberwachung zur 3D-Seismik Asse									Blatt: 143



## Zusammenfassung

Die unter Tage in der Schachanlage Asse II während der 3D-seismischen Hauptmessung mit 24 Registriereinheiten (Innoseis Tremornet) kontinuierlich aufgezeichneten sprengseismischen Daten sind für Energie- und Amplitudenuntersuchungen gut geeignet. Hinsichtlich des Signal-Rauschverhältnisses zeigen sie weitestgehend eine gute Datenqualität. Allerdings gibt es deutliche Hinweise darauf, dass die interne Zeit der Registriereinheiten unter Tage von der Echtzeit, welche bei überträgigen Messungen über das GPS-Zeitsignal zur ständigen Synchronisierung der internen Zeiten verarbeitet wird, abweicht. Das heißt, dass der aus dem kontinuierlichen Datenstrom einer jeden Registriereinheit ausgeschnittene Zeitbereich für eine Registrierung der sprengseismischen Anregung nicht mit dem Sprengzeitpunkt übereinstimmt, sondern nach eigenen Schätzungen über 100 ms abweichen kann.

Im vorliegenden Bericht wurde die Abnahme der mittleren Energie in einem Zeitfenster von 17 ms ab Ersteinsatz für verschiedene Entfernungen und geologische Lokationen der Sprengpunkte untersucht. In diese Energieabnahme fließen integral alle Effekte ein, die einen Einfluss auf die Amplitude haben können (Ankopplung der Quelle, Abstrahlcharakteristik, sphärische Divergenz, Absorption, usw.). Eine Trennung dieser Effekte erfolgte nicht und ist für die Aufgabenstellung auch nicht erforderlich.

Bei den sprengseismischen Anregungen in unterschiedlichen Geologien zeigt sich erwartungsgemäß eine sehr ähnliche exponentielle Energieabnahme mit Dämpfungsfaktoren  $\alpha$  um 0,002, da die Abnahme der Energie bzw. Amplitude bei diesen Laufwegen und Frequenzen von der sphärischen Divergenz dominiert wird. Einen signifikanten Einfluss auf die Amplitude hat aber auch die Geologie, in der die Sprengung erfolgt. Die höchsten Amplituden  $A_0$  als mögliches Maß für eine Bewertung der Ankopplung ergaben sich bei den sprengseismischen Anregungen im Oberen Muschelkalk (Ceratitenschichten), gefolgt von den Amplituden der Anregungen im Unteren Muschelkalk. Die geringsten Amplituden weisen die Anregungen im Unteren Buntsandstein (Rogensteinzone) auf.

