



**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

# Deckblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	HF	RZ	0012	00	Stand: 09.11.2017

Titel der Unterlage:  
**MESSEWERTERFASSUNG UND -AUSWERTUNG DER TESTSPRENGUNGEN IN DER  
 TAGESBOHRUNG REMLINGEN 15**

Ersteller:  
**AM ROMBERG CONSULTING GMBH**

Stempelfeld:

bergrechtlich verantwortliche Person:   <hr/> Datum und Unterschrift	atomrechtlich verantwortliche Person:   <hr/> Datum und Unterschrift	Projektleitung:   <hr/> Datum und Unterschrift	Freigabe zur Anwendung:   <hr/> Datum und Unterschrift
--	--	---	---

**Diese Unterlage unterliegt** samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der BGE.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	HF	RZ	0012	00	Stand: 09.11.2017

Titel der Unterlage:

MESSEWERTERFASSUNG UND -AUSWERTUNG DER TESTSPRENGUNGEN IN DER  
TAGESBOHRUNG REMLINGEN 15

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

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



PT050177



Stand: 09.11.2017

Blatt: 1

**DECKBLATT**

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01

Kurtitel der Unterlage:

Messwerterfassung und -auswertung der Testspengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15

Ersteller / Unterschrift:

AmRomberg Consulting

Prüfer / Unterschrift:

Titel der Unterlage:

**Messwerterfassung und -auswertung  
der Testspengungen  
in der  
Tagesbohrung Remlingen 15**

Freigabevermerk:

## Freigabedurchlauf

Fachbereich:  
Technische Planung

Datum: 27. NOV. 2017

Name:

Unterschrift

Stabsstelle Qualitätsmanagement:

Datum: 28. NOV. 2017

Name:

Unterschrift

Endfreigabe:  
Geschäftsführung Asse-GmbH

Datum: 29. Nov. 2017

Name:

Unterschrift

KQM\_Deck-Revisionsblatt\_REV17\_Stand-2016-06-15

# REVISIONSBLATT

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01

Kurztitel der Unterlage:

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengeungen in der Tagesbohrung Remlingen 15

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	21.04.2017	T-P		-	Ersterstellung
01	09.11.2017	T-P	3	R	Inhaltsverzeichnis aktualisiert
			9	V	Abbildung 2 aktualisiert
			24	V	Abbildung 17 und 18 aktualisiert
			25	V	Abbildung 19 und 20 aktualisiert
			30	V	Textergänzung
			31	V	Abbildung 24 und 25 aktualisiert
			32	V	Textergänzung
			36	V	Literaturverzeichnis neu

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

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	ASSE Quality - Vertriebslinien
NNAA	NNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	
Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15							Blatt: 3

## Inhaltsverzeichnis

Blatt

Deckblatt .....	1
Revisionsblatt .....	2a
Inhaltsverzeichnis .....	3
Freigabeblatt.....	5
1 Einleitung.....	6
2 Probesprengungen .....	7
3 Messpunkte .....	9
3.1 Oberflächenstationen .....	10
3.1.1 Messstation BOS.....	10
3.1.2 Messstation IMMI2 .....	11
3.1.3 Messstation R5.....	12
3.1.4 Messstation R6.....	13
3.1.5 Messstation R7.....	14
3.1.6 Messstation R8.....	15
3.1.7 Messstation RTP .....	16
3.2 Untertagemessstationen .....	17
3.2.1 Messstationen S490O .....	17
3.2.2 Messstation S574O .....	18
3.2.3 Messstation S595W.....	19
3.2.4 Messstation S637M.....	20
3.2.5 Messstation S700O .....	21
3.2.6 Messstation S775W.....	22
4 Seismische Überwachung der Sprengversuche.....	23
4.1 Lokalisierung der Sprengorte .....	26
4.2 Auswirkungen auf die Tagesoberfläche.....	28
5 Amplitudenabnahme und Dämpfung.....	30
5.1 Amplitudenabnahme .....	30
5.2 Dämpfung .....	32
5.3 Hinweise zur Sprengarbeit .....	34
6 Zusammenfassung .....	35
7 Literaturverzeichnis.....	36

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zeitpunkt und Ladungsmengen der Probesprengungen .....	8
Tabelle 2: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "BOS". .....	10
Tabelle 3: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "IMMI2".....	11
Tabelle 4: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "R5". .....	12
Tabelle 5: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "R6". .....	13
Tabelle 6: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "R7". .....	14
Tabelle 7: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "R8". .....	15
Tabelle 8: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "RTP". .....	16
Tabelle 9: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagemessstation am Standort "S490O". .....	17
Tabelle 10: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagemessstation am Standort "S574O".....	18
Tabelle 11: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagemessstation am Standort "S595W". ....	19
Tabelle 12: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagemessstation am Standort "S637M". ....	20
Tabelle 13: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagemessstation am Standort "S700O".....	21
Tabelle 14: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagemessstation am Standort "S775W".....	22
Tabelle 15: Übersicht über die Aufzeichnungen der 11 durchgeführten Probesprengungen. ....	29
Tabelle 16: Dämpfungswerte abhängig von Ladungsmenge und Zentralfrequenz.....	34

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 4
--	----------

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Schema der Verrohrung Tagesbohrung Remlingen 15 ..... 8

Abbildung 2: Lage der installierten Stationen des Oberflächen- und des Untertagemessnetzes ..... 9

Abbildung 3: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "BOS" ..... 10

Abbildung 4: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "IM-MI2" .. 11

Abbildung 5: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "R5" ..... 12

Abbildung 6: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "R6" ..... 13

Abbildung 7: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "R7" ..... 14

Abbildung 8: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "R8" ..... 15

Abbildung 9: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "RTP" ..... 16

Abbildung 10: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S4900" 17

Abbildung 11: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S5740" 18

Abbildung 12: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S595W" 19

Abbildung 13: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S637M" 20

Abbildung 14: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S7000" 21

Abbildung 15: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S775W" 22

Abbildung 16: Lage der Sprengpunkte sowie der Oberflächen- und Untertagemesspunkte ..... 23

Abbildung 17: Sprengung am 29.10.2016, 07:22:50 Uhr UTC, Oberflächenmessnetz..... 24

Abbildung 18: Sprengung am 29.10.2016, 07:22:50 Uhr UTC , Untertagemessnetz. .... 24

Abbildung 19: Frequenz-Zeit-Darstellung, Sprengung am 29.10.2016, Oberflächenstation R5 ..... 25

Abbildung 20: Frequenz-Zeit-Darstellung, Sprengung am 29.10.2016, Untertagestation S4900 .. 25

Abbildung 21: Lokalisierungen der Probesprengungen in der Flachbohrung /Remlingen 15 ..... 26

Abbildung 22: Laufzeit-Entfernungs-Diagramm für die Untertagestationen der Asse-GmbH ..... 27

Abbildung 23: Isoseisten der Bodenschwinggeschwindigkeit in mm/s, Sprengung Flachbohrung 28

Abbildung 24: Amplitudenabnahme als Funktion der Entfernung, Untertagestationen ..... 31

Abbildung 25: Amplitudenabnahme als Funktion der Entfernung, UT/Oberflächenstationen ..... 31

Abbildung 26: Beziehung zwischen der Lademenge und der aufgezeichneten Maximalamplitude 31

Abbildung 27: Entfernungs-Maximalwert-Kurve/Dämpfung (Lademenge 1 kg, Frequenz 200 Hz). 33

Abbildung 28: Entfernungs-Maximalwert-Kurve/Dämpfung (Lademenge 2 kg, Frequenz 200 Hz). 33

Abbildung 29: Entfernungs-Maximalwert-Kurve/Dämpfung (Lademenge 3 kg, Frequenz 200 Hz). 34

**Anzahl der Blätter dieses Dokumentes ..... 36**

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01



Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengeungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 5
---	----------

**Freigabeblatt**



Am Romberg Consulting GmbH  
 Generationenweg 4  
 44225 Dortmund  
 Deutschland

Tel.: +49 (0) 231 - 2 86 67-310  
 Fax: +49 (0) 231 - 2 86 67-349  
 mail@romberg-consulting.de

**Bearbeiter / Ersteller:**

**eigenhändige Unterschrift**

, Geschäftsführer

**Dortmund, den 09.11.2017**

**Freigabe:**

**eigenhändige Unterschrift**

Geschäftsführer

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	



Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 6
--	----------

## 1 Einleitung

Die Asse-GmbH plant, ca. 300 m südöstlich des bestehenden Grubengebäudes einen neuen Tagesschacht Asse 5 zu errichten, der wesentliche Infrastrukturaufgaben für die geplante Rückholung der untertage verbrachten radioaktiven Einlagerungen übernehmen soll.

Der vorgesehene Schachtstandort wurde durch die Tagesbohrung Remlingen 15 auf die lokalen Untergrundstrukturen untersucht. Dies betrifft sowohl das Deckgebirge als auch den Salzstock selbst ab einer Teufe von ca. 450 m. Die Ergebnisse der Bohraufnahme dieser Erkundungsbohrung und der bohrbegleitenden Messungen stellen die zu erwartende Geologie entlang der Schachtachse dar und liefern die Grundlagen für die Abteuf- und Ausbauplanung des prospektierten Schachtes. Sie sollen außerdem Beiträge leisten für die Geologie des Planungsraums für zukünftige Grubenräume zwischen dem geplanten Schacht Asse 5 und dem bestehenden Grubengebäude.

Aus zeitlichen und wirtschaftlichen Gründen ist geplant, die Teufarbeiten im Sprengvortrieb durchzuführen, soweit dies aus Sicherheitsgründen vertretbar ist. Die Entfernungen zwischen dem Teufbetrieb Asse 5 (abhängig von der Teufe) und den verschiedenen Punkten im Grubengebäude liegen zwischen 300 und 900 m (horizontaler Abstand) bzw. ergibt sich aus der Diagonale aus horizontaler Entfernung und Teufendifferenz (je nach Stand der Teufsohle).

Die Abschätzung der Erschütterungsauswirkung durch Sprengarbeiten auf die Zonen potentieller Laugenzutritte in die Schachanlage Asse II und deren Integrität wird in einem eigenständigen Gutachten untersucht, das von einem Team Romberg Consulting, geomecon, DMT, Harbourdom, Sprengsachverständigenbüro Hellmann umfassend bearbeitet wird.

Erschütterungsauswirkungen durch Sprengarbeiten beim Teufen setzen sich immer zusammen aus den drei Komponenten

1. Eintrag der Erschütterungen am Sprengort
2. Ausbreitung der Erschütterungen im Gebirge
3. Einwirkung der Erschütterungen am Zielort

Zur Abschätzung der verursachten Erschütterungen am Zielort gibt es ‚Faustformeln‘, die jedoch große Unsicherheiten enthalten. Der Eintrag der Erschütterungen am Sprengort wird bei diesen Formeln durch die Lademenge, die Ausbreitung der Erschütterungen im Gebirge durch einen Abnahmeexponenten charakterisiert, wobei die Zusammenhänge zwischen Eintrag und Einwirkung aus Erfahrungswerten bestimmt werden.

Wesentlich genauer ist eine experimentelle Bestimmung der Eintrag- und Ausbreitungseffekte durch Probesprengungen. Diese erlauben neben den Aussagen zu Komponente 1 eine Abschätzung der Einwirkungen für den untersuchten Standort, im einfachsten Falle als einfache Funktion des Abstands vom Sprengort. Die Probesprengungen können darüber hinaus auch genutzt werden, um ein dreidimensionales Ausbreitungsmodell des Untergrundes (Komponente 2) zu kalibrieren und hier zu realistischen Sicherheitszuschlägen zu kommen. So kann das Ausbreitungsverhalten der seismischen Wellen im Untergrund aufgrund der besonderen Geologie am Standort Asse modelliert werden.

Einwirkungen am Zielort (Komponente 3) werden durch die Modellierung als maximale dynamische Spannung, Schwinggeschwindigkeit oder Schwingbeschleunigung beschrieben. Was dies für das angestrebte Schutzziel bedeutet, hängt vom schutzwürdigen Objekt bzw. dessen schutzwürdigen Eigenschaften ab. Für einige Objekte, wie Wohnhäuser oder Rohrleitungen an der Tagesoberfläche, sind Anhaltswerte bekannt, bei deren Unterschreitung eine Schädigung nicht eintritt (DIN 4150-3 - Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen).

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 7
--	----------

Eine Auswertung eines betroffenen Gebietes kann über die Interpolation der einzelnen Messwerte erfolgen (Isoseisenkarte). Damit ist auch eine Beurteilung für Objekte möglich, in denen nicht gemessen wurde.

Zur Erfassung der Ausbreitung von Sprengerschütterungen und zur Untersuchung der Lademengenabhängigkeiten wurden daher Probesprengungen im Zuge der Verfüllung der Tagesbohrung Remlingen 15 (in der Tagesbohrung selbst) durchgeführt, zusätzlich in einer nahegelegenen vertikalen Flachbohrung.

Die Überwachung der Probesprengungen erfolgte an insgesamt 6 Messorten im Grubengebäude und an 6 Messorten an der Oberfläche mit Messgeräten, die nach DIN 45669 (Messung von Schwingungsimmissionen) kalibriert waren. Die Messorte wurden nach geophysikalischen und betrieblichen Gesichtspunkten ausgewählt und lagen möglichst ungestört durch betriebliche Einflüsse in verschiedenen Teufen- und Entfernungsbereichen zum Emissionsort.

### **Aufgabenstellung**

Die Aufgabenstellung umfasste

- die Konzepterstellung für ein Sprengschema aus der Tagesbohrung Remlingen 15
- die Konzepterstellung für ein passives untertägiges Messschema
- die Aufstellung und den Betrieb der Messstationen sowie die Auswertung der seismischen Daten aus den Sprengversuchen und den Abgleich mit dem mikroseismischen Netz der Standortüberwachung der Asse-GmbH
- vorläufige orientierende Hinweise für die Durchführung von Sprengarbeiten beim Teufen des Tagesschachts Asse 5.

Die Aufstellung und der Betrieb der o.g. übertägigen Messstationen zur Aufnahme und Registrierung von Erschütterungen durch die Probesprengungen erfolgte in Abstimmung mit der Standortüberwachung der Asse-GmbH als separater Auftrag an die DMT GmbH, Essen, die Auswertung wurde in den vorliegenden Bericht integriert (Kapitel 4.2).

An dem Auftrag 'Probesprengungen' haben die Mitglieder des o.g. Teams mitgewirkt. Wesentlichen Anteil an der messtechnischen Erfassung und Auswertung der Probesprengung hat dabei die DMT-Fachstelle für Erschütterungsmessungen gehabt.

## **2 Probesprengungen**

Zur Ermittlung der Auswirkung eines Sprengvortriebes beim Abteufen eines neuen Zugangsschachtes wurden in der Bohrung Remlingen 15 insgesamt 9 sowie in einer Flachbohrung (SprBrl. Reml. 15-01) zusätzlich 2 Probesprengungen mit unterschiedlichen Ladungsstärken durchgeführt (Tabelle 1), um eventuelle Abhängigkeiten der seismischen Welleneinleitung in das Gebirge durch die Lademengen zu erfassen. Die Sprengungen aus der Flachbohrung neben Remlingen 15 wurden erforderlich, weil die Tagesbohrung bis zu einer Teufe von 450 m einfach oder mehrfach verrohrt ist (Abbildung 1).

In jedem Teufenbereich wurden drei Sprengungen mit unterschiedlichen Lademengen im Abstand von etwa 10 – 25 m durchgeführt.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	



Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 8
--	----------

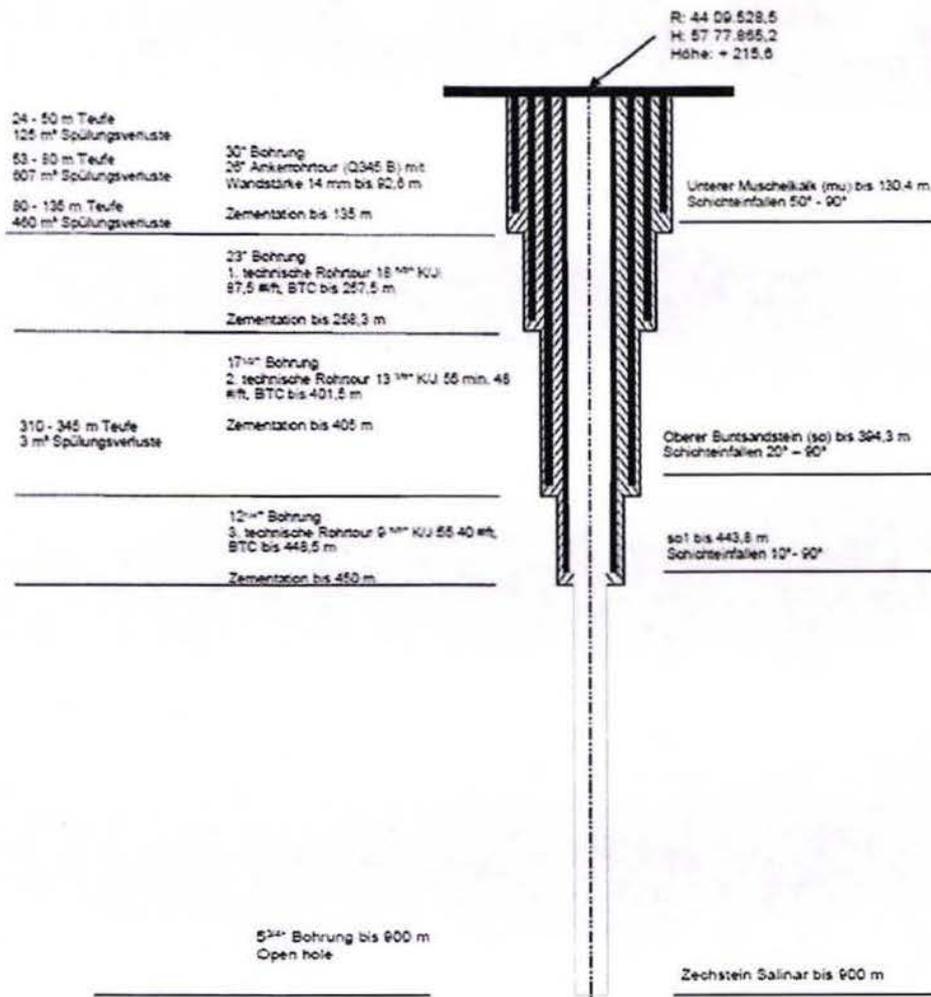


Abbildung 1: Schema der Verrohrung Tagesbohrung Remlingen 15

Tabelle 1: Zeitpunkt und Ladungsmengen der Probesprengungen

Datum	Zeit [UTC]	Bohrung	Teufe [m]	Tiefe [m ü. NN]	Ladungsmenge [kg]
29.10.2016	07:22:50	SprBrl.Reml.15-01	68,5	147	3
05.11.2016	10:30:00	SprBrl.Reml.15-01	47,9	167	1
05.11.2016	12:01:50	Remlingen 15	867	-652	3
05.11.2016	13:06:30	Remlingen 15	857	-642	2
05.11.2016	14:10:20	Remlingen 15	847	-632	1
12.11.2016	11:22:45	Remlingen 15	760	-545	3
12.11.2016	12:16:30	Remlingen 15	750	-535	2
12.11.2016	14:02:30	Remlingen 15	740	-525	1
12.11.2016	14:49:45	Remlingen 15	612	-397	3
12.11.2016	15:35:10	Remlingen 15	602	-387	2
12.11.2016	16:20:55	Remlingen 15	590	-375	1

Verwendet wurde ein hochbrisanter seismischer Sprengstoff (Seismo-PHEX) in patronierter Form, wie er in flüssigkeitsgefüllten tiefen Bohrlöchern zur Anwendung kommt. Die Flüssigkeitsfüllung stellt eine gute Ankopplung zur Bohrlöcherwandung sicher, sie erfordert aber geeignete druckfeste Sprengstoffe, wie sie im normalen Teufbetrieb nicht erforderlich sind.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	ASSE Sachverständigenbüro
NNAA	NNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	
Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15							Blatt: 9

### 3 Messpunkte

Die Oberflächenstationen wurden vom 26.09.2016 auf dem Gelände der Asse-GmbH installiert und bis zum 20.12.2016 betrieben. Die Untertagestationen wurden am 27.09.2016 im Grubengebäude aufgebaut und bis zum 29.11.2016 betrieben. Nachfolgend ist eine kurze Übersicht zu jeder Messstation aufgeführt, eine Übersicht zum gesamten installierten Messnetz zeigt Abbildung 2 (blau übertage, rot untertage).

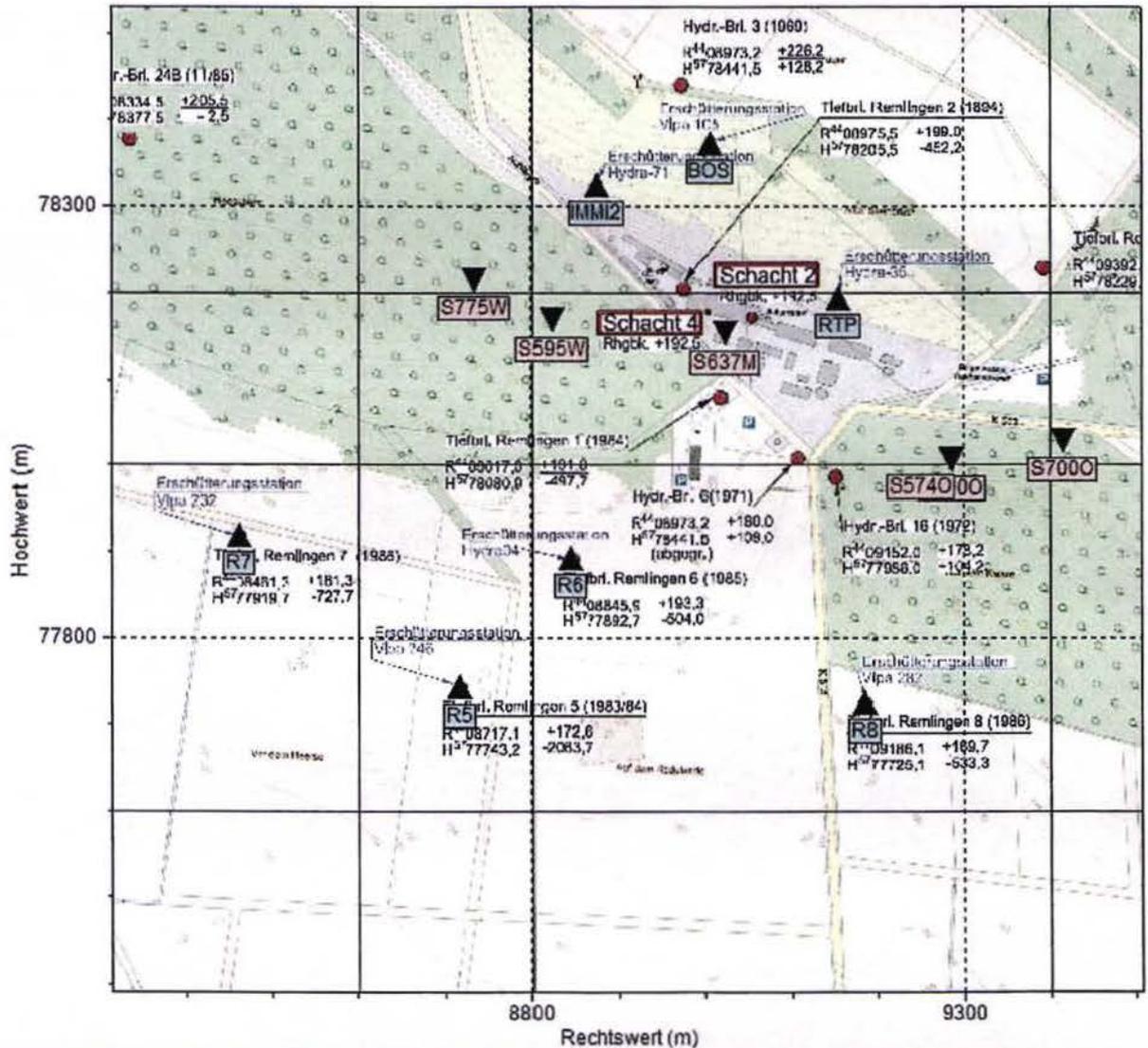


Abbildung 2: Lage der installierten Stationen des Oberflächen- (blau) und des Untertagemessnetzes (rot)

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 10
--	-----------

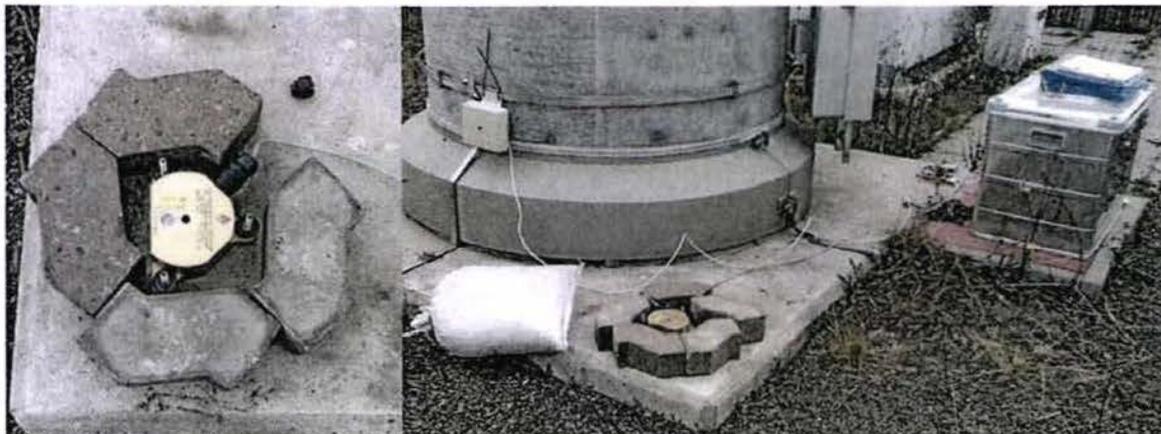
### 3.1 Oberflächenstationen

#### 3.1.1 Messstation BOS

Die Oberflächenmessstation „BOS“ wurde an der Nordflanke, östlich der BOS-Basisstation, am Fuß eines Funkmastes errichtet (Abbildung 3). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Norden ausgerichtet (Azimut = 0°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 2 angegeben.

*Tabelle 2: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "BOS"*

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
BOS	3454614,1	5530669,3	227,42	26.09.2016	20.12.2016



*Abbildung 3: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "BOS"*

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01



Messwernerfassung und -auswertung der Testsprengeungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 11
---	-----------

### 3.1.2 Messstation IMMI2

Die Oberflächenmessstation „IMMI2“ wurde an der Nordflanke im eingezäunten Außenbereich am Gebäude Z32 errichtet (Abbildung 4). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 3 angegeben.

*Tabelle 3: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "IMMI2"*

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
IMMI2	4408875,73	5778325,12	214,54	26.09.2016	20.12.2016



*Abbildung 4: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "IM-MI2"*

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 12
--	-----------

### 3.1.3 Messstation R5

Die Oberflächenmessstation „R5“ wurde an der Südflanke im Bunker der Tiefbohrung Remlingen 5 errichtet (Abbildung 5). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "R5"

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
R5	4408717,16	5777743,85	171,03	26.09.2016	20.12.2016

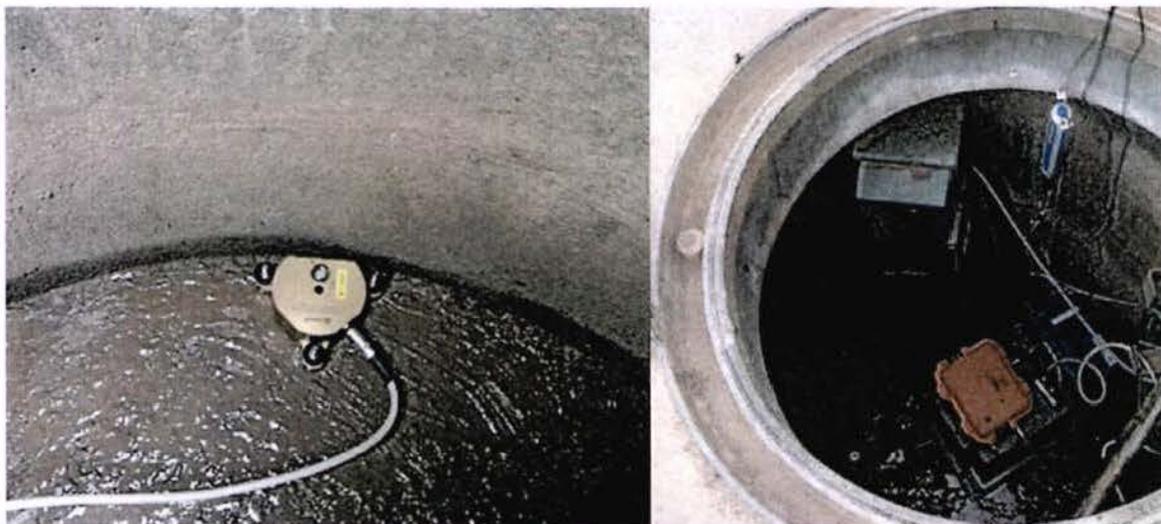
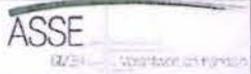


Abbildung 5: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "R5"

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	



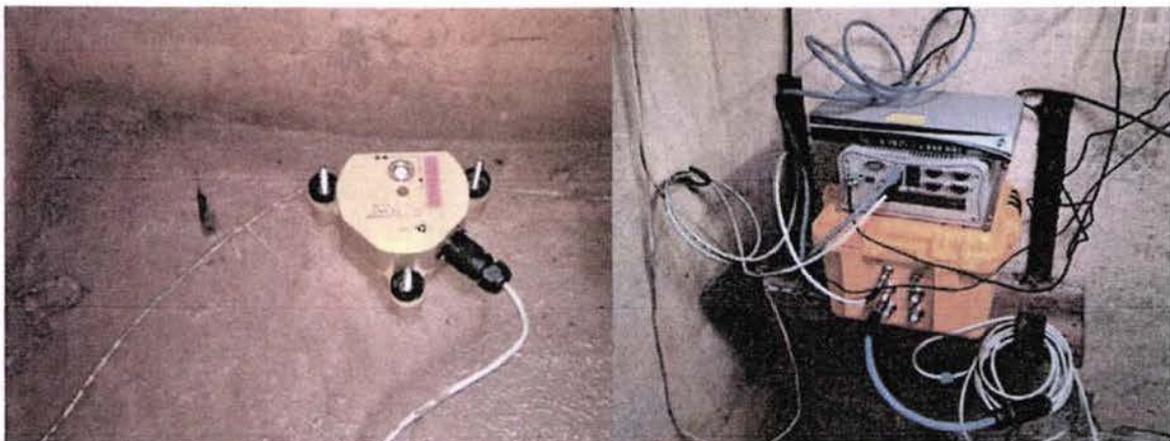
Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 13
--	-----------

### 3.1.4 Messstation R6

Die Oberflächenmessstation „R6“ wurde an der Südflanke im Bunker der Tiefbohrung Remlingen 6 errichtet ( Abbildung 6). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 5 angegeben.

*Tabelle 5: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "R6"*

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
R6	4408845,16	5777893,39	191,32	26.09.2016	20.12.2016



*Abbildung 6: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "R6"*

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengeungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 14
---	-----------

### 3.1.5 Messstation R7

Die Oberflächenmessstation „R7“ wurde an der Südflanke im Bunker der Tiefbohrung Remlingen 7 errichtet (Abbildung 7). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 6: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "R7"

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
R7	4408461,94	5777920,29	179,43	26.09.2016	20.12.2016



Abbildung 7: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "R7"

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 15
--	-----------

### 3.1.6 Messstation R8

Die Oberflächenmessstation „R8“ wurde an der Südflanke im Bunker der Tiefbohrung Remlingen 8 errichtet (Abbildung 8). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "R8"

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
R8	4409186,23	5777725,54	170,01	26.09.2016	20.12.2016

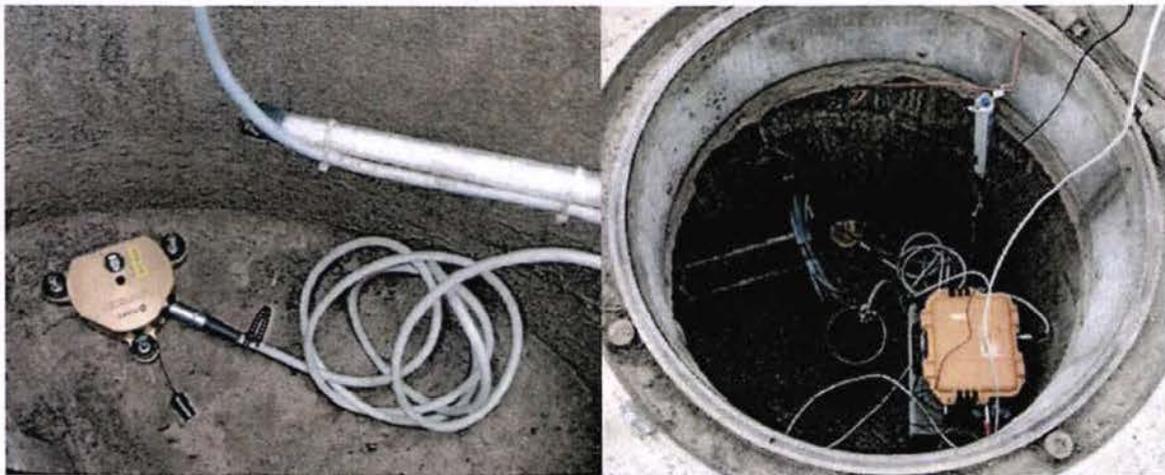
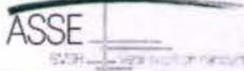


Abbildung 8: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "R8"

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testspregungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 16
---	-----------

### 3.1.7 Messstation RTP

Die Oberflächenmessstation „RTP“ wurde an der Nordflanke, nordöstlich der Schachtanlage, auf dem „Regentonnenplatz“ errichtet (Abbildung 9). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 8 angegeben.

*Tabelle 8: Koordinaten und Messzeitraum der Oberflächenmessstation am Standort "RTP"*

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
RTP	4409156,61	5778194,36	202,61	26.09.2016	20.12.2016



*Abbildung 9: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "RTP"*

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01


  
ASSE  
Geotechnik

Messwerterfassung und -auswertung der Testspregungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 17
---	-----------

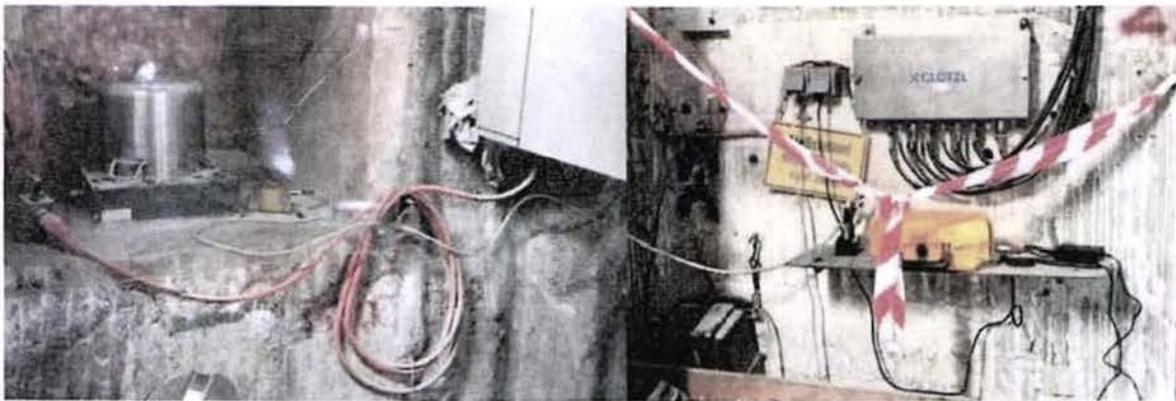
### 3.2 Untertagesstationen

#### 3.2.1 Messstationen S4900

Die Untertagesmessstation „S4900“ wurde im Grubengebäude im Osten auf der 490 m Sohle neben dem installierten Breitbandseismometer (STS2) errichtet (Abbildung 10). Sie ist die einzige Untertagesmessstation mit GPS-Zeitsignal. Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 9 angegeben.

*Tabelle 9: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagesmessstation am Standort "S4900"*

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
S4900	4409286,79	5778006,54	-295,47	27.09.2016	29.11.2016



*Abbildung 10: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S4900"*

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengeungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 18
---	-----------

### 3.2.2 Messstation S5740

Die Untertagesmessstation „S5740“ wurde im Grubengebäude im Osten auf der 574 m Sohle errichtet (Abbildung 11). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 10 angegeben.

Tabelle 10: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagesmessstation am Standort "S5740"

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
S5740	4409285,9	5778008,14	-369,89	27.09.2016	29.11.2016

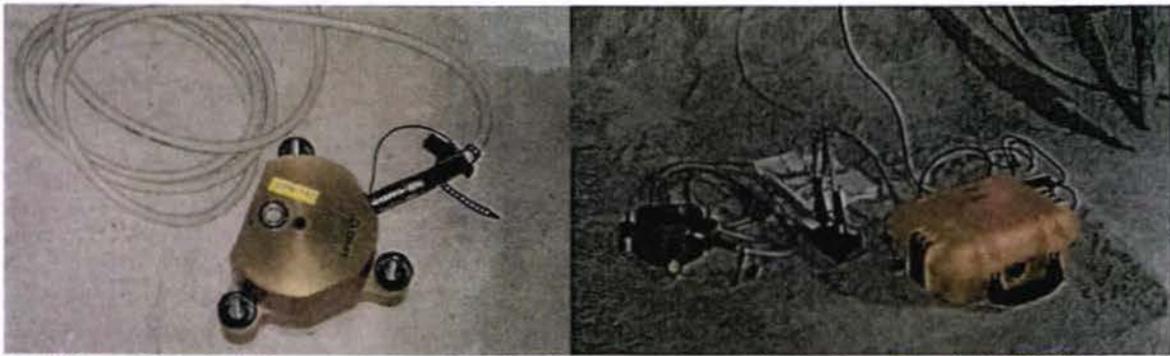


Abbildung 11: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S5740"

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testspregungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 19
---	-----------

### 3.2.3 Messstation S595W

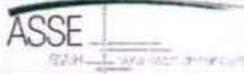
Die Untertagesmessstation „S595W“ wurde im Grubengebäude im Westen auf der 595 m Sohle errichtet (Abbildung 12). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 11 angegeben.

Tabelle 11: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagesmessstation am Standort "S595W"

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
S595W	4408824,14	5778169,1	-389,74	27.09.2016	29.11.2016



Abbildung 12: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S595W"

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengeungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 20
---	-----------

### 3.2.4 Messstation S637M

Die Untertagesmessstation „S637M“ wurde im Grubengebäude in der Mitte auf der 637 m Sohle errichtet (Abbildung 13). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 12 angegeben.

*Tabelle 12: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagesmessstation am Standort "S637M"*

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
S637M	4409024,13	5778153,3	-441,79	27.09.2016	29.11.2016



*Abbildung 13: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S637M"*

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testspregungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 21
---	-----------

### 3.2.5 Messstation S7000

Die Untertagesmessstation „S7000“ wurde im Grubengebäude im Osten auf der 700 m Sohle errichtet (Abbildung 14). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 13 angegeben.

Tabelle 13: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagesmessstation am Standort "S7000"

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
S7000	4409415,66	5778028,62	-505,84	27.09.2016	29.11.2016

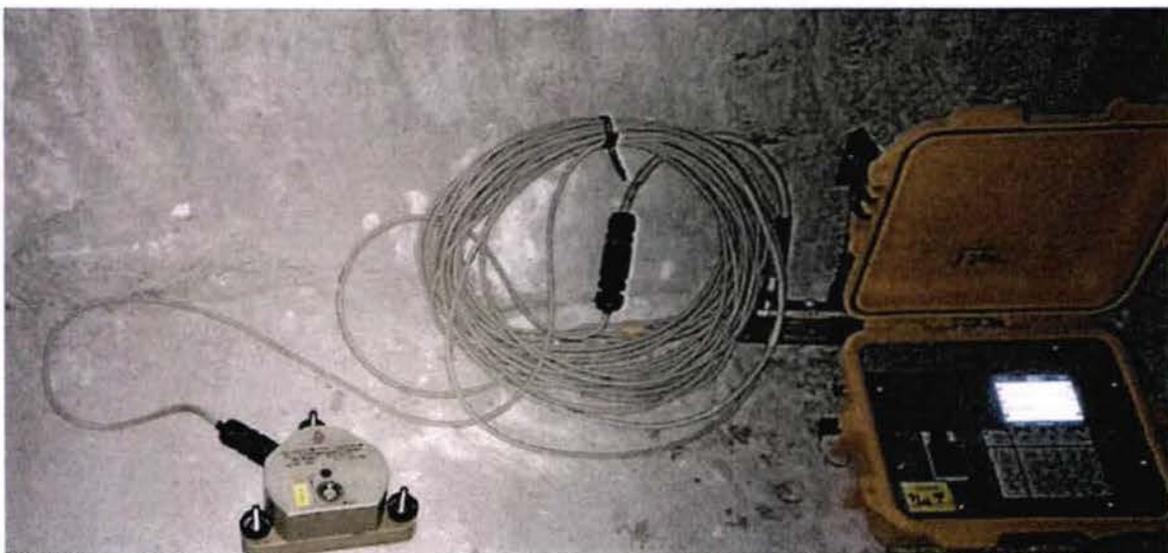
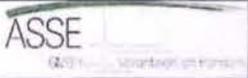


Abbildung 14: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S7000"

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01



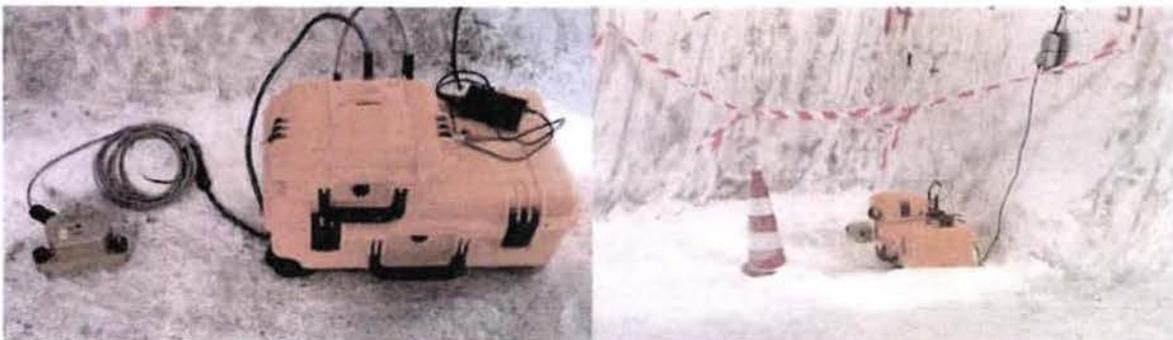
Messwerterfassung und -auswertung der Testspregungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 22
---	-----------

### 3.2.6 Messstation S775W

Die Untertagesmessstation „S775W“ wurde im Grubengebäude im Westen auf der 775 m Sohle errichtet (Abbildung 15). Der Y-Kanal des Sensors (K2) wurde nach Süden ausgerichtet (Azimut = 180°). Koordinaten und Messzeitraum sind in Tabelle 14 angegeben.

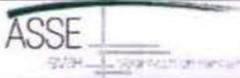
*Tabelle 14: Koordinaten und Messzeitraum der Untertagesmessstation am Standort "S775W"*

Messpunkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	Messbeginn	Messende
S775W	4408734,91	5778215,4	-573,09	27.09.2016	29.11.2016



*Abbildung 15: Installation von Sensor (links) und Messequipment (rechts) am Standort "S775W"*

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01



Messwernerfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 23
--	-----------

#### 4 Seismische Überwachung der Sprengversuche

Die Lage der Bohrung Remlingen 15 und der Flachbohrung sowie deren Abstand zu den unter- und oberflächigen Messstationen ist in Abbildung 16 schematisch dargestellt (Sprengpunkte als gelbe Sterne, Oberflächenmesspunkte blau, Untertagemesspunkte rot). Die Sprengungen wurden sowohl vom Oberflächenmessnetz, als auch von den Untertagemessstationen aufgezeichnet. Zusätzlich war auch das Untertagemessnetz der Asse- GmbH in Betrieb.

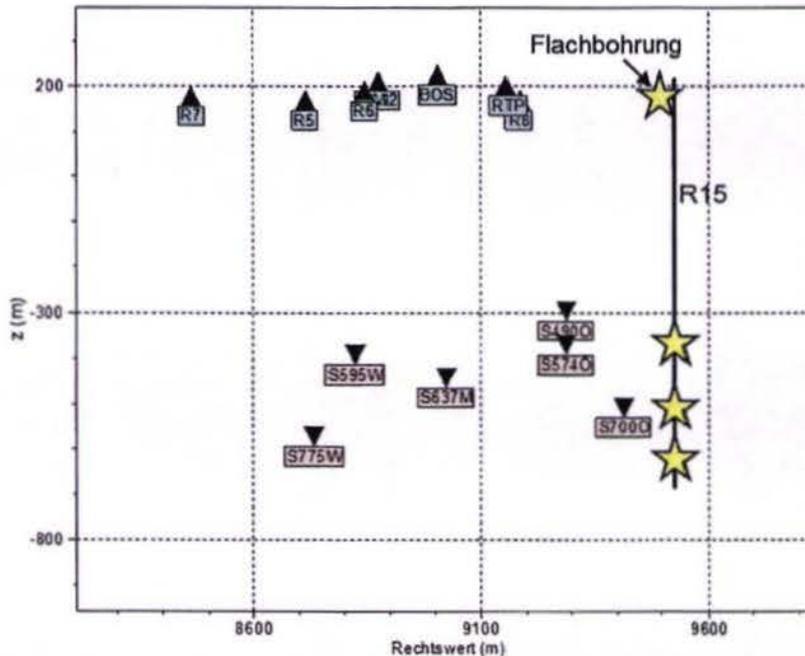


Abbildung 16: Lage der Sprengpunkte sowie der Oberflächen- und Untertagemesspunkte

In Abbildung 17 (Oberflächenmessnetz) und Abbildung 18 (Untertagemessnetz) sind beispielhaft die Registrierungen der Sprengung am 29.10.2016 um 07:22:50 Uhr UTC in einer Teufe von 68,5 m und einer Ladungsmenge von 3 kg dargestellt. In blau sind die Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit der jeweiligen Komponente angegeben. Die Untertagemessstationen sind, bis auf die Station S4900, nicht zeitsynchron, was den zeitlichen Versatz der Phaseneinsätze erklärt.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01

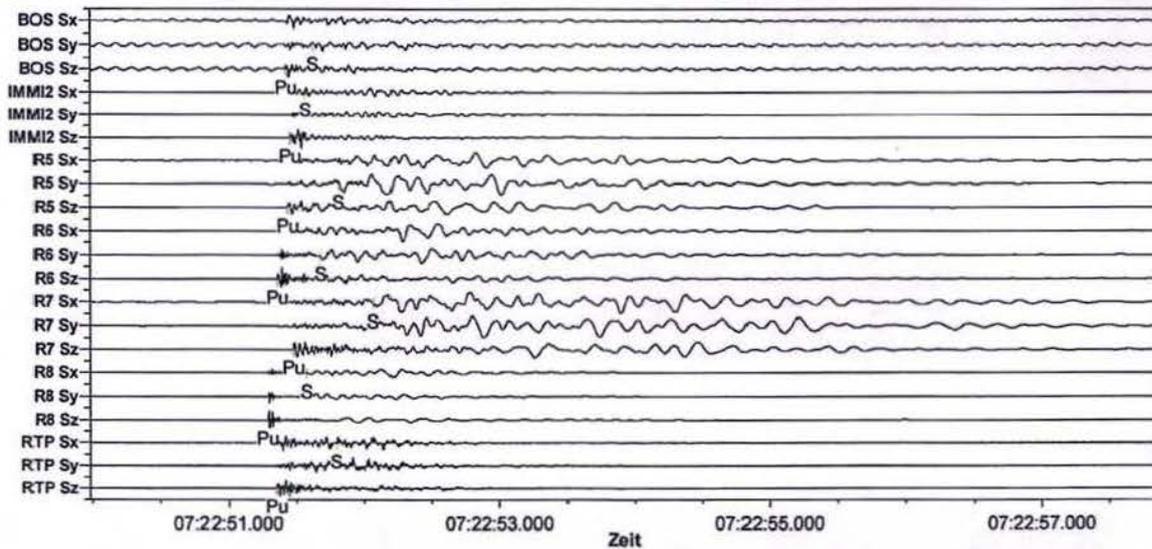


Abbildung 17: Sprengung am 29.10.2016, 07:22:50 Uhr UTC, Oberflächenmessnetz

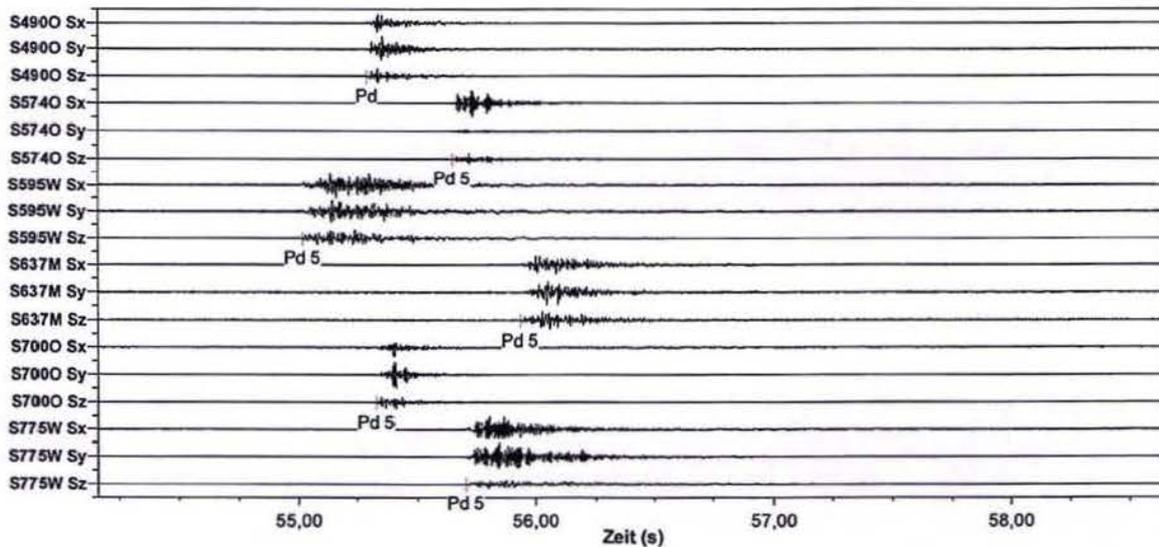


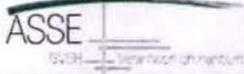
Abbildung 18: Sprengung am 29.10.2016, 07:22:50 Uhr UTC, Untertagemessnetz.

Generell weisen Oberflächen- und Untertagestationen einen unterschiedlichen Frequenzgehalt auf. Die Oberflächenstationen zeigen einen scharfen P-Einsatz mit Frequenzen bis 100 Hz und anschließenden niederfrequenten späteren Wellenphasen). Dies ist in Abbildung 19 als Frequenz-Zeit-Darstellung der vertikalen Komponente der Aufzeichnung der Sprengung am 29.10.2016 an der Oberflächenstation R5 erkennbar.

Die Untertagestationen weisen höhere Frequenzen auf, deren Signale im Vergleich deutlich schneller abklingen. Die Untertagestationen weisen generell höhere Frequenzen bis 400 Hz auf, deren Signale im Vergleich deutlich schneller abklingen (Abbildung 20 mit vergleichbarer Darstellung für die gleiche Sprengung).

Für die Kalibrierung der Modellrechnungen werden nur Frequenzen bis 100 Hz berücksichtigt, da in der Spannungsmodellierung eine Berechnung in Schwingwegen erfolgt, was eine Senkung des Frequenzgehaltes nach sich zieht. Zudem werden bei den späteren Sprengungen zum

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	



Messwernerfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 25
--	-----------

Schachtteufen deutlich höhere Ladungsmengen verwendet werden. Dies wird eine signifikante Vergrößerung des Quellbereiches und damit gleichzeitig eine deutliche Senkung des Frequenzgehaltes der abgestrahlten seismischen Wellen hervorrufen.

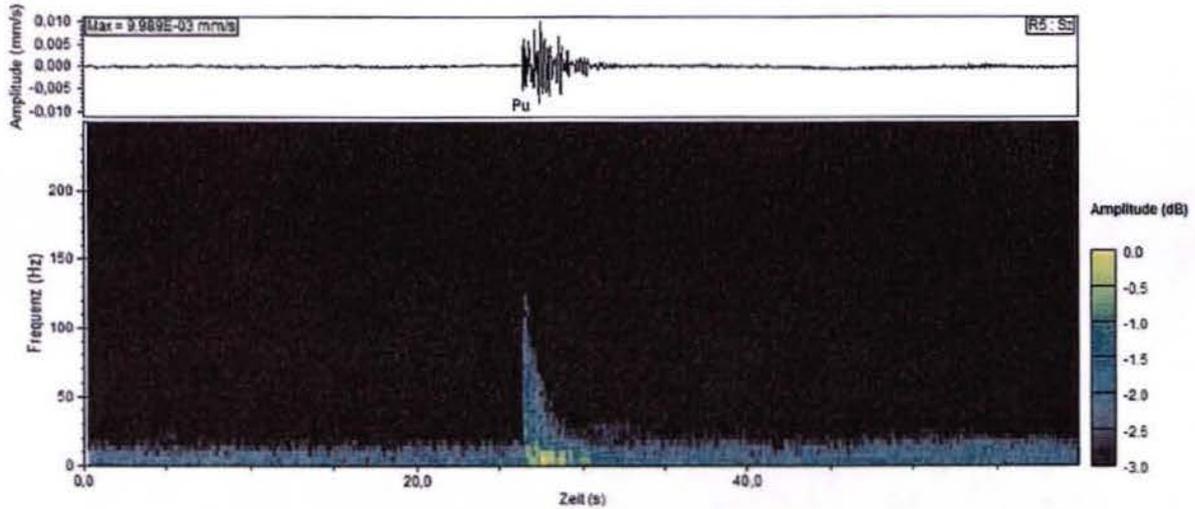


Abbildung 19: Frequenz-Zeit-Darstellung, Sprengung am 29.10.2016, Oberflächenstation R5

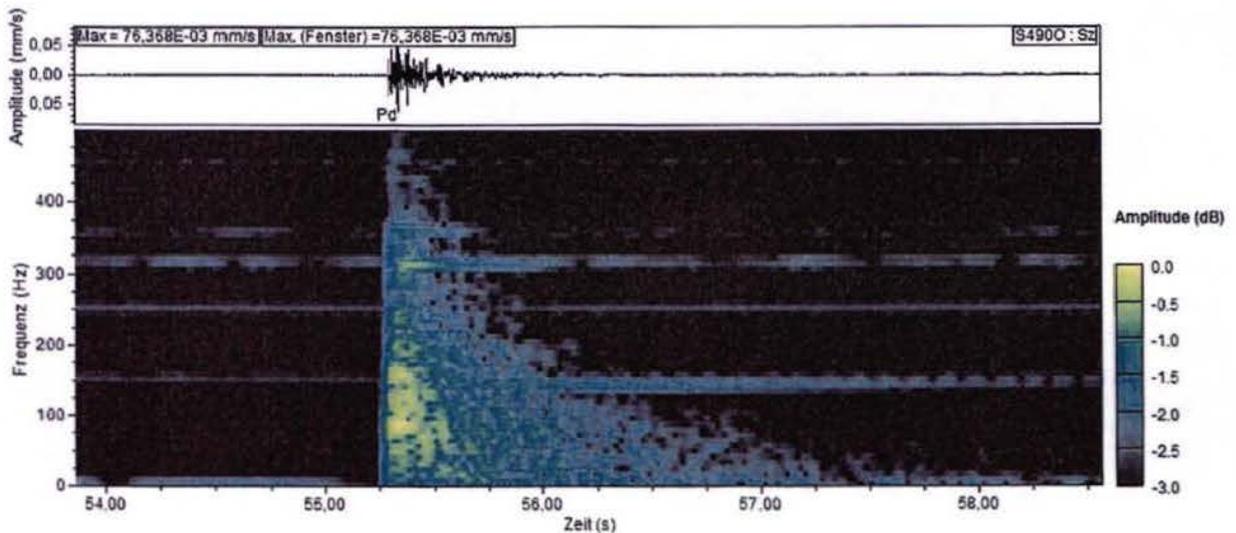
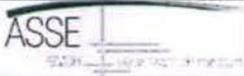


Abbildung 20: Frequenz-Zeit-Darstellung, Sprengung am 29.10.2016, Untertagestation S4900

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testspregungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 26
---	-----------

#### 4.1 Lokalisierung der Sprengorte

Um zu überprüfen, ob das homogene Geschwindigkeitsmodell, das von der Standortüberwachung der Asse-GmbH verwendet wird, auch zur Ortung seismischer Ereignisse geeignet ist, die außerhalb des Grubengebäudes auftreten, wurden die Sprengungen mit Hilfe der erfassten Seismogramme lokalisiert. Im Idealfall, d. h. wenn die seismischen Geschwindigkeiten richtig gewählt wurden, sollten Sprengorte und Sprengzeiten korrekt reproduziert werden können.

Die Lokalisierungen aller Probesprengungen sind in Abbildung 21 dargestellt, hierbei wurde insbesondere auf die Daten der Untertagemessstationen der Asse-GmbH zurückgegriffen. Die Probesprengungen konnten alle im Bereich der Bohrung Remlingen 15 lokalisiert werden, lediglich die Hypozentren der beiden Sprengungen in der Flachbohrung liegen richtigerweise etwas entfernt.

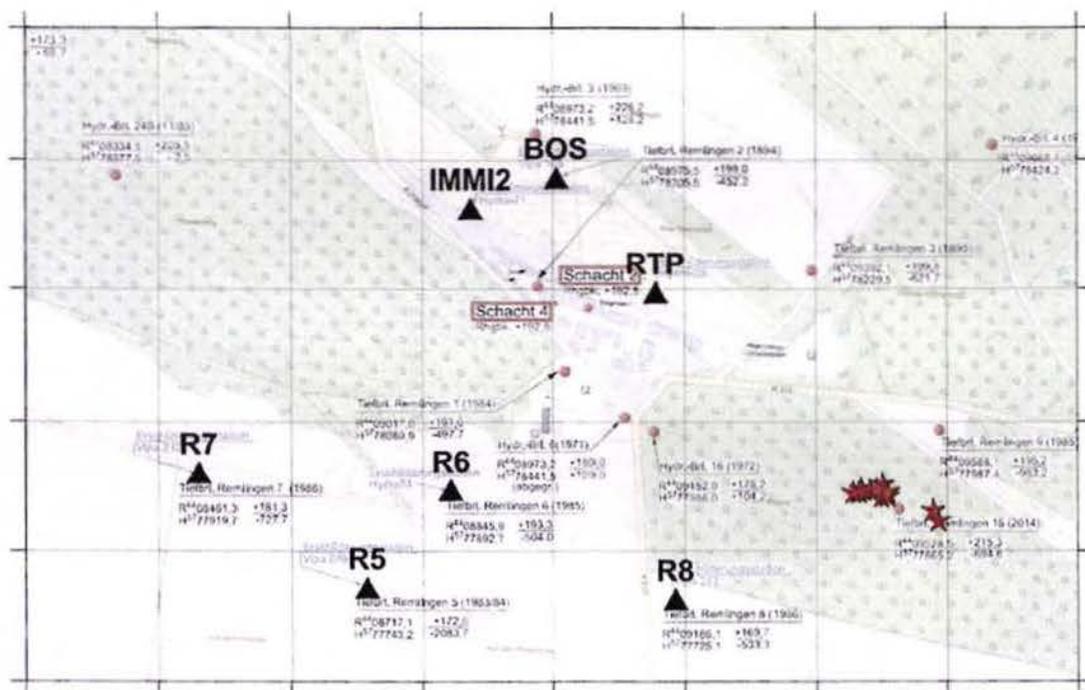


Abbildung 21: Lokalisierungen der Probesprengungen in der Flachbohrung /Remlingen 15

Zur Lokalisierung der Probesprengungen wurde ein homogenes Geschwindigkeitsmodell mit einer P-Wellengeschwindigkeit von  $v_p = 4500$  m/s und einer S-Wellengeschwindigkeit  $v_s = 2600$  m/s verwendet. Die Auswertung der Phaseneinsätze der Sprengungen im Laufzeit-Entfernungs-Diagramm zeigt, dass diese Werte eine realistische Annahme für die seismischen Wellengeschwindigkeiten im Salz darstellen (Abbildung 22: Laufzeit-Entfernungs-Diagramm der gepickten Phaseneinsätze mit P-Wellengeschwindigkeit = 4500 m/s, S-Wellengeschwindigkeit 2600 m/s für die Untertagemessstationen der Asse-GmbH).

Wenn zur Lokalisierung seismischer Ereignisse auch Oberflächenstationen verwendet werden sollen, muss ein entsprechend komplexeres Geschwindigkeitsmodell herangezogen werden, das auch die Deckgebirgsschichten realistisch berücksichtigt.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15

Blatt: 27

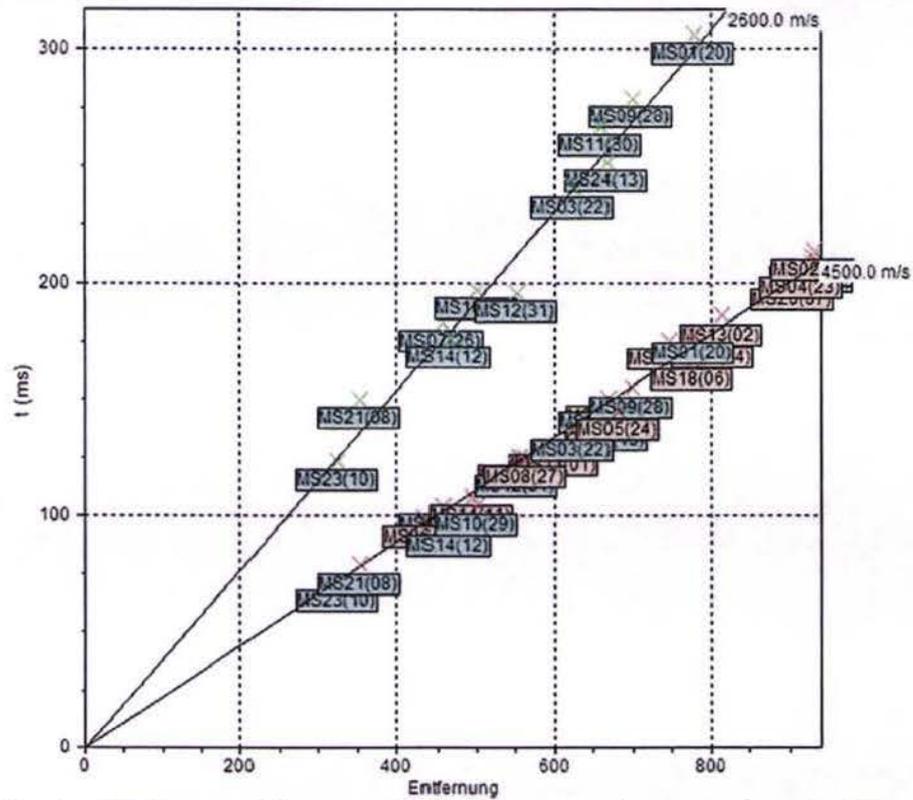


Abbildung 22: Laufzeit-Entfernungs-Diagramm für die Untertagestationen der Asse-GmbH

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	



Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 28
--	-----------

#### 4.2 Auswirkungen auf die Tagesoberfläche

Die Auswirkungen der Probesprengungen auf die Oberfläche können anhand der aufgezeichneten Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit an den Oberflächenmessstationen ermittelt werden. Die Auswertung wurde für die Sprengung in der Flachbohrung am 29.10.2016 mit einer Ladungsmenge von 3 kg durchgeführt. Diese war mit einer Magnitude von  $M = 0,3$  und einer aufgezeichneten Schwinggeschwindigkeit von  $v_{max} = 0,197$  mm/s (Messstation R8) die stärkste der 11 durchgeführten Probesprengungen. Die Isoleisten der Bodenschwinggeschwindigkeit sind in Abbildung 23 dargestellt. Der Anhaltswert für normale Wohngebäude nach DIN 4150-3 wird im gesamten Messgebiet deutlich unterschritten.

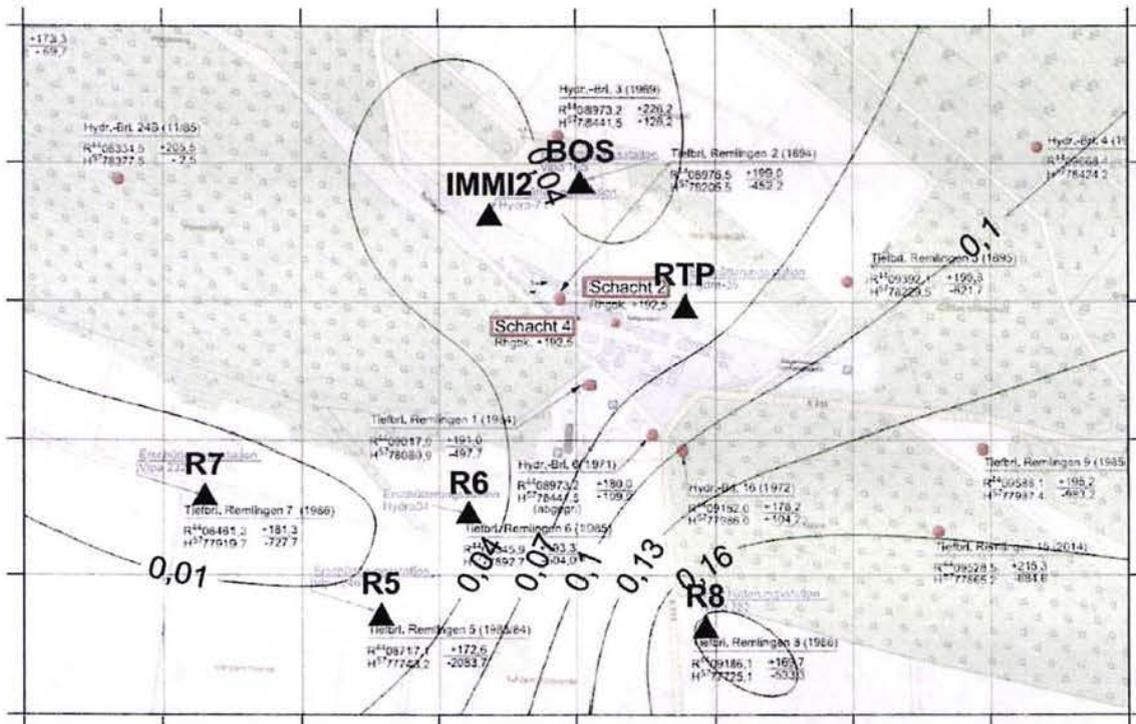


Abbildung 23: Isoleisten der Bodenschwinggeschwindigkeit in mm/s, Sprengung Flachbohrung

Tabelle 15 zeigt eine Übersicht zu den Registrierungen der 11 Probesprengungen an allen Oberflächen- und Untertagestationen. Angegeben sind dabei die Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit an jeder Messstation sowie die aus den Messwerten abgeleitete Ereignismagnitude.



Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	

Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15	Blatt: 30
--	-----------

## 5 Amplitudenabnahme und Dämpfung

Die Durchführung der Probesprengung in der Bohrung Remlingen 15 diente neben der Aufzeichnung von Maximalwerten der Schwinggeschwindigkeit und der Möglichkeit zur Kalibrierung numerischer Modelle zur Ermittlung von Amplitudenabnahmebeziehungen bzw. Dämpfungswerten. Seismische Wellen werden generell durch mehrere Faktoren gedämpft. In erster Linie wird die Welle über die Ausbreitungsdistanz abgeschwächt, da sich die Wellenenergie auf eine ständig wachsende dreidimensionale Wellenfront verteilt. Hinzu kommt die intrinsische Dämpfung, also der ständigen Austausch kinetischer und potentieller Energie, der einen Energieverlust durch Reibung und Wärmeerzeugung zwischen Partikeln und Mineralen erzeugt. Die Größe, die die intrinsische Dämpfung beschreibt, wird in der Seismologie als Qualitätsfaktor Q bezeichnet. Zuletzt ist die Dämpfung durch Streueffekte zu nennen. Diese wird hauptsächlich von Materialübergängen und -eigenschaften bestimmt, die zu Streuungen, Reflektionen und Dispersionseffekten führen.

Die genannten Faktoren bestimmen maßgeblich, wie groß die Amplituden seismischer Wellen sind, die auf das Grubengebäude einwirken. Eine Abschätzung der Größe der Schwinggeschwindigkeiten am Ort der Einwirkung erfolgt üblicherweise über empirische Beziehungen (z.B. nach DIN 4150-1):

$$v_R = k * L^b * R^{-m}$$

mit L als der Lademenge in kg, R der Entfernung in m und k, b, und m als Exponenten, die aus der Messung ermittelt werden müssen. K und b sind Parameter, die aus den Messungen bestimmt wurden (siehe Abbildung 26). In der Regel sind diese Faktoren unbekannt und müssen für jeden Messort einzeln bestimmt werden. Des Weiteren gehen als Unsicherheiten das Sprengbild, die Wahl der Zündzeitstufen und andere Parameter in die Abschätzung ein. Damit kann mit diesen empirischen Beziehungen nur die Größenordnung der zu erwartenden Erschütterung geliefert werden. Diese Unsicherheiten verdeutlichen, wie bereits dargestellt, die Notwendigkeit der Durchführung von Testmessungen vor Ort. Neben der Ermittlung der standortspezifischen Faktoren für empirische Beziehungen können mit den aufgezeichneten Messwerten auch numerische Modelle kalibriert werden.

### 5.1 Amplitudenabnahme

In Abbildung 24 ist die Amplitudenabnahmefunktion basierend auf den Aufzeichnungen der Untertagestationen für alle Sprengungen getrennt nach Lademenge in einem logarithmischen Entfernungs-Maximalamplitude-Diagramm dargestellt (in blau ergänzend die Aufnahmen der Probesprengungen aus der Flachbohrung). Die ermittelte Regressionsfunktion ist für alle drei Lademengen ähnlich und nimmt mit einem Exponent von  $m = -2$  über die Entfernung ab. In Abbildung 25 ist die Darstellung ergänzt durch die Daten der Übertagestationen (in blau ebenfalls die Sprengung aus der Flachbohrung). Hier beträgt der Abnahmeexponent  $m = -3,3$ , d.h. die Dämpfung der Deckgebirgsschichten führt zu einer stärkeren Amplitudenabnahme.

Die ermittelten Beziehungen zwischen Lademenge einer Sprengung und der aufgezeichneten Maximalamplitude für den Standort der Bohrung Remlingen 15 und der Messung im Grubengebäude und an der Oberfläche einschließlich der abgeleiteten Exponenten sind in Abbildung 26 dargestellt (Links: Untertage- und Oberflächenstationen. Rechts: Nur Untertagestationen), Für beide Fälle ist jeweils die ermittelte Abnahmebeziehung angegeben.

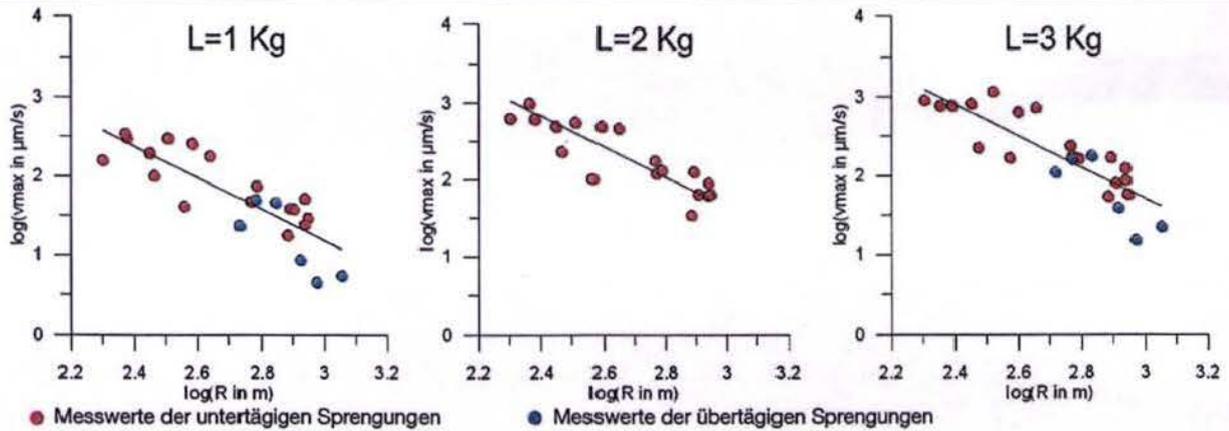


Abbildung 24: Amplitudenabnahme als Funktion der Entfernung, Untertagestationen

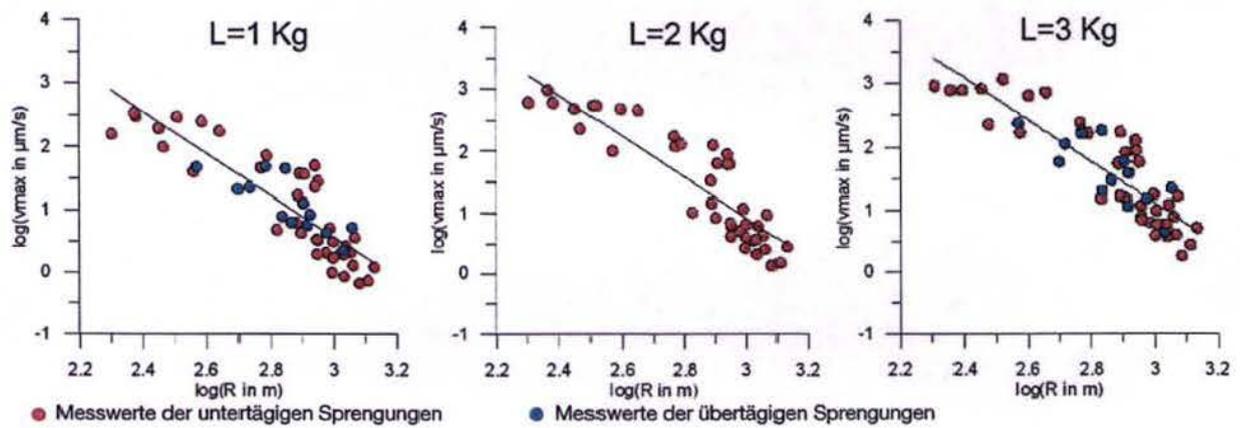
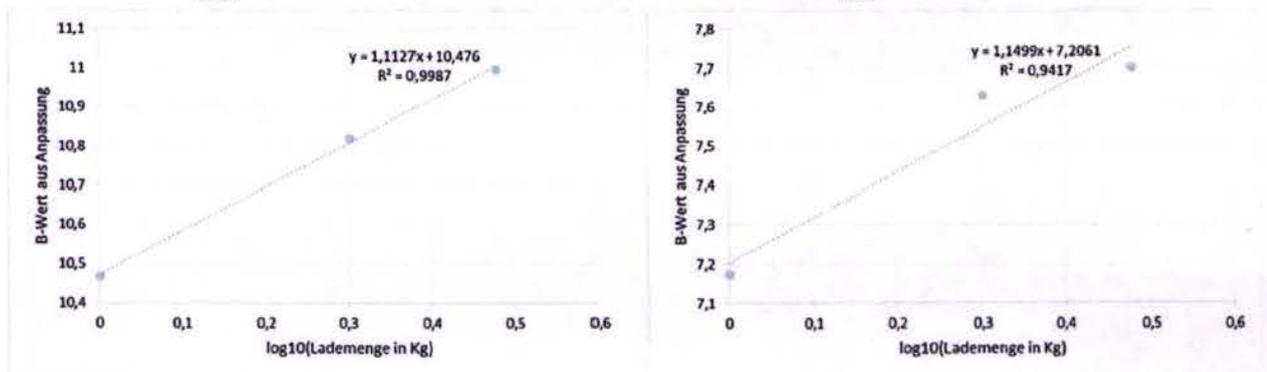


Abbildung 25: Amplitudenabnahme als Funktion der Entfernung, UT/Oberflächenstationen

$$v_{\max} = 10^{10,5} \cdot L^{1,1} \cdot R^{-3,3}$$

$$v_{\max} = 10^{7,2} \cdot L^{1,1} \cdot R^{-2}$$



Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	
Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15							Blatt: 32

## 5.2 Dämpfung

Die Ausbreitung seismischer Wellen im Erdkörper erfolgt dispersiv, das bedeutet, dass die Phasengeschwindigkeit und damit auch die Dämpfung von der Frequenz der sich ausbreitenden Wellen abhängen. Eine Abschätzung der intrinsischen Dämpfung  $Q$  muss daher in unterschiedlichen Frequenzbändern vorgenommen werden.

Dazu werden zunächst die Wellenformen aller Aufzeichnungen der Untertagestationen von Sprengungen mit gleicher Lademenge in einem bestimmten Terzband um eine Zentralfrequenz gefiltert. Anschließend werden die Maximalwerte der Resultierenden der Schwinggeschwindigkeit gegen die Distanz Station - Quelle aufgetragen. Durch einen Fit der vorgegebenen Funktion

$$y = A - r - B \cdot 10^r$$

mit  $r = \log_{10}(\text{Distanz})$  und  $y = \log_{10}(y_{\text{res\_max}})$ , des Maximalwertes der Resultierenden, können die Werte  $A$  und  $B$  ermittelt werden.

Die Dämpfung kann nun abgeschätzt werden über

$$Q = \frac{\pi \cdot f_{\text{zentral}} \cdot \log_{10}(e)}{B \cdot v_{\text{phase}}}$$

mit  $f_{\text{zentral}}$  als Zentralfrequenz,  $e$  Euler'schen Zahl und  $v_{\text{phase}}$  als die Phasengeschwindigkeit (siehe z. B. Keiiti Aki / Paul G. Richards, Quantative Seismology, Second Edition [1]). Der erhaltene Wert für die intrinsische Dämpfung  $Q$  ist somit direkt abhängig von der gewählten Zentralfrequenz und der Phasengeschwindigkeit der betrachteten seismischen Wellen. Als Phasengeschwindigkeiten wurden die in Abschnitt 4.1 genutzten seismischen Wellengeschwindigkeiten im Salz von  $v_p = 4500 \text{ m/s}$  und  $v_s = 2600 \text{ m/s}$  verwendet.

Die Abschätzung der Dämpfungswerte ist beispielhaft für 1 kg Ladungsmenge von 1 kg bei einer Zentralfrequenz von 200 Hz in Abbildung 27 dargestellt, für eine Lademenge von 2 kg in Abbildung 28 und für eine Lademenge von 3 kg in Abbildung 29. Eine Übersicht der ermittelten Werte ist in Tabelle 16 gegeben.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01

Messwerterfassung und -auswertung der Testspregungen in der Tagesbohrung Remlingen 15

Blatt: 33

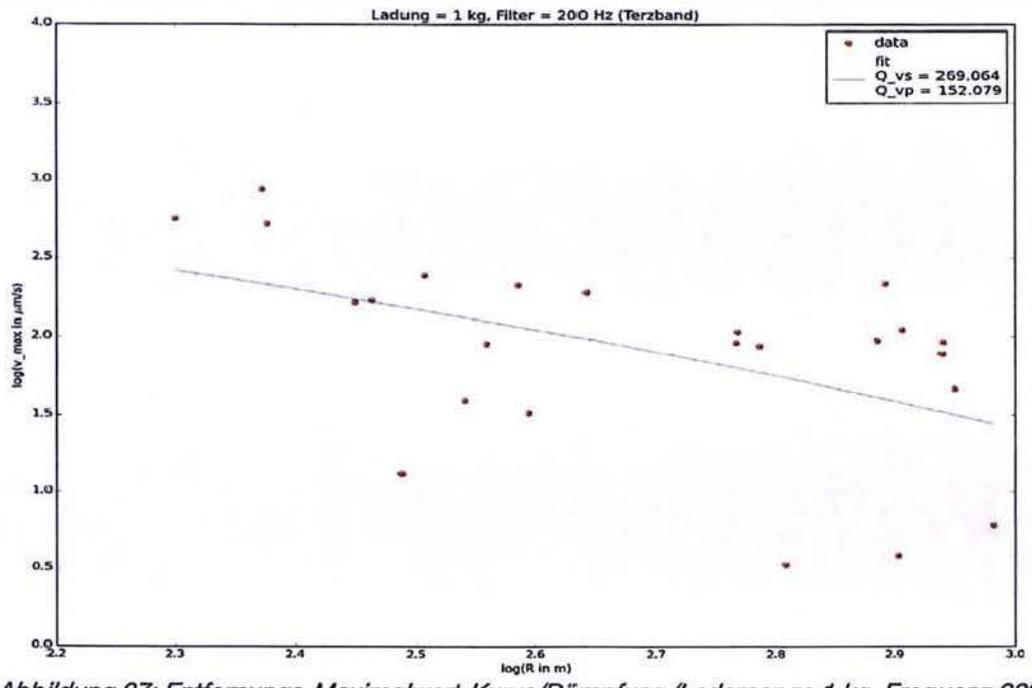


Abbildung 27: Entfernungs-Maximalwert-Kurve/Dämpfung (Lademenge 1 kg, Frequenz 200 Hz)

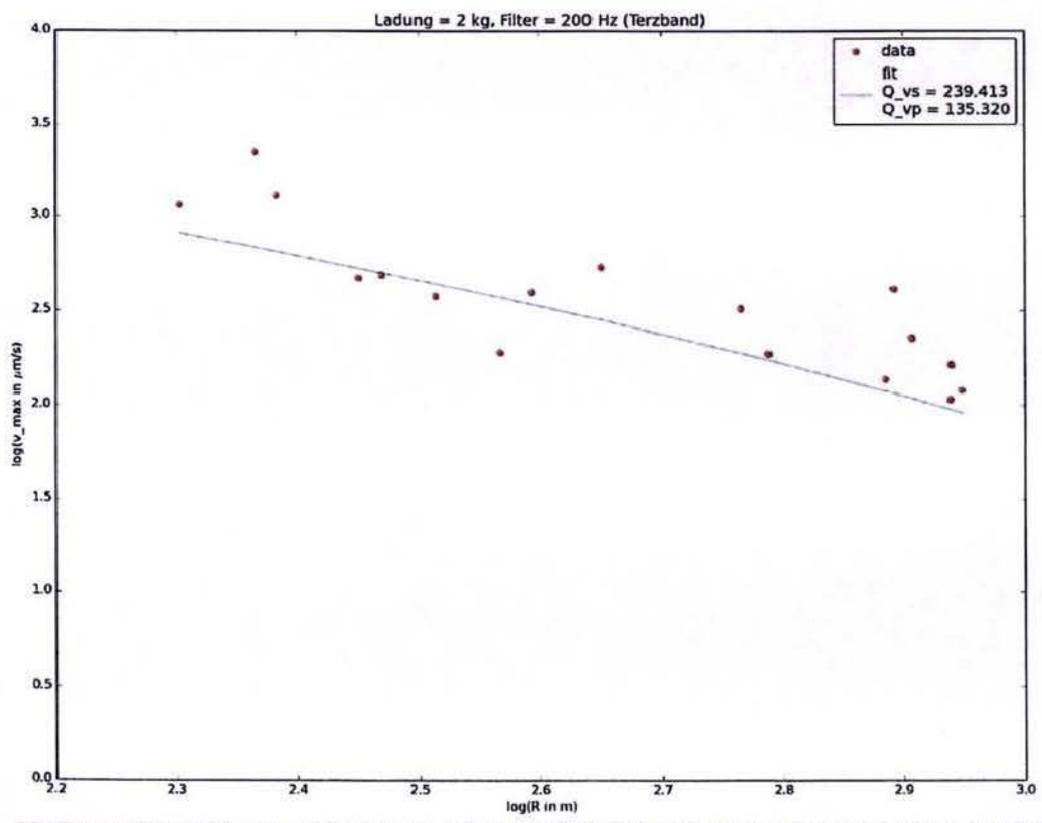


Abbildung 28: Entfernungs-Maximalwert-Kurve/Dämpfung (Lademenge 2 kg, Frequenz 200 Hz)

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01

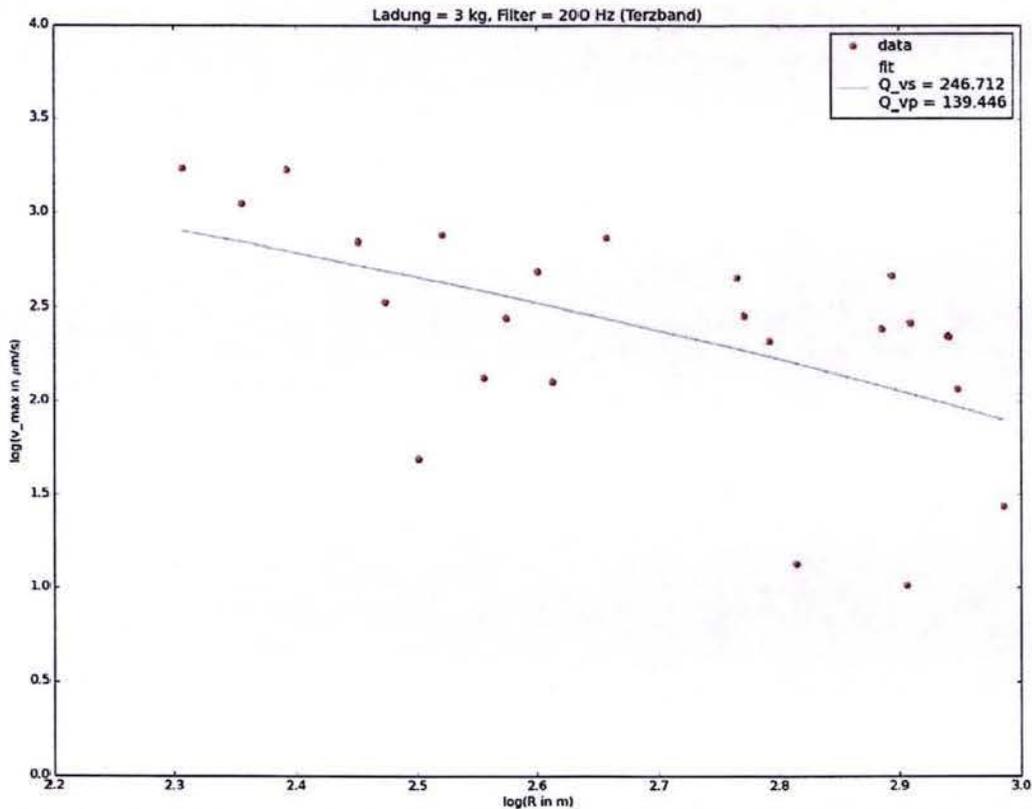


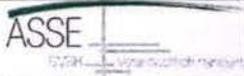
Abbildung 29: Entfernung-Maximalwert-Kurve/Dämpfung (Lademenge 3 kg, Frequenz 200 Hz)

Tabelle 16: Dämpfungswerte abhängig von Ladungsmenge und Zentralfrequenz.

Lademenge [kg]	Zentralfrequenz [Hz]	Q <sub>vp</sub>	Q <sub>vs</sub>
1	20	12,5	7,1
1	50	41,7	23,6
1	100	56,5	31,9
1	150	102,9	58,1
1	200	269,1	152,1
2	20	11,4	6,4
2	50	34,1	19,3
2	100	55,0	31,1
2	150	86,9	49,1
2	200	239,4	135,3
3	20	17,3	9,8
3	50	34,1	19,3
3	100	55,3	31,3
3	150	91,8	51,9
3	200	246,7	139,5

### 5.3 Hinweise zur Sprengarbeit

Aus den in Kapitel 5 ermittelten Zusammenhängen zwischen Lademenge, Amplitudenabnahme und entfernungsabhängiger Dämpfung lassen sich für typische Sprengschemata beim Teufen quantitative Hinweise ableiten, die zur Festlegung des jeweiligen teufenabhängigen Sprengschemas genutzt werden können.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	
Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15							Blatt: 35

Die Auswahl des Sprengstoffs (hochbrisanter seismischer Sprengstoff) und die gute Bettung der in der flüssigkeitsgefüllten Tiefbohrung positionierten Sprengladungen bei den Probesprengungen stellen zugleich implizite Sicherheitsreserven gegenüber den in konventionellen Sprengvortrieben im Teufbetrieb eingesetzten Sprengstoffen dar.

Wir gehen davon aus, dass eine mengenabhängige Skalierung der Ergebnisse der Probesprengungen für typische Ladungsmengen, wie sie bei einzelnen Sprengstufen verwendet werden, möglich ist. Auf ergänzende Möglichkeiten (e.g. Verwendung von Sprengschnur zur profilgenauen Bildung einer Schachtwandung, geneigte, keilförmige Einbrüche usw.) wird hingewiesen. Dies ist je nach zu teufendem Gestein Stand der Technik. Hier sollte die ausführende Firma ein Vorschlagsrecht haben, das durch einen anerkannten Sprengsachverständigen zu verifizieren ist.

Ein ergänzendes Erschütterungsmonitoring ist vorzusehen. Die Auswahlkriterien für die unter- und übertägige Messkonfiguration bei den Probesprengungen können dabei sinngemäß übertragen werden. Das Ergebnis dieses Monitoring fließt dann zeitnah in die nächsten Teufabschläge ein.

Das eigentliche Sprengschema (Zündstufen, Lademengen der Bohrlochkränze usw.) ist i.S. der Ausgabenstellung des Hauptgutachtens oder dieses Berichts nicht relevant, weil davon auszugehen ist, dass lediglich die gebettete Lademenge der einzelnen Sprengstufen (insbesondere der Zündstufe 0) für die Bewertung der Sprengerschütterungen des Grubengebäudes und an den Zutrittsstellen von Lauge aus dem Deckgebirge wirksam ist. Dies ist bereits im Rahmen des Konzeptpapiers für das Gutachten den Genehmigungsbehörden dargestellt worden.

Mögliche Überlagerungseffekte von Zündstufen werden im Hauptgutachten ergänzend bewertet, sie sind aber in ihren Auswirkungen zu vernachlässigen und können durch die frei programmierbare Wahl der Zündabstände ausgeschlossen werden. Sinngemäß geschieht dies in großen Tunnelvortrieben unter sensiblen Objekten.

## 6 Zusammenfassung

Die Asse-GmbH plant, ca. 300 m südöstlich des bestehenden Grubengebäudes einen neuen Tagesschacht Asse 5 zu errichten, der wesentliche Infrastrukturaufgaben für die geplante Rückholung des untertage verbrachten radioaktiven Inventars übernehmen soll. Die Teufarbeiten sollen im Sprengvortrieb durchgeführt werden, soweit dies aus Sicherheitsgründen vertretbar ist.

Zur Abschätzung der Erschütterungsauswirkung bei Sprengarbeiten wurde ein experimentelles Verfahren mittels Probesprengungen gewählt. Die Probesprengungen fanden im Zuge der Verfüllung der Tagesbohrung Remlingen 15 in der Tagesbohrung selbst und zusätzlich in einer nahegelegenen vertikalen Flachbohrung (SprBrl. Reml.15-01) statt. Dabei wurden in 3 ausgewählten Teufenbereichen je drei Sprengungen mit unterschiedlichen Lademengen eines hochbrisanten seismischen Sprengstoffs im Abstand von etwa 10 – 25 m durchgeführt. Die seismische Überwachung erfolgte an insgesamt 6 Messorten im Grubengebäude und an 6 Messorten an der Oberfläche mit Messgeräten, die nach DIN 45669 kalibriert sind.

Die Probesprengungen konnten alle im Bereich der Emissionsorte lokalisiert werden, teils unter zusätzlicher Verwendung des Monitoringnetzwerkes der Asse-GmbH. Auffällig ist der stark unterschiedliche Frequenzgehalt an Oberflächen- und Untertagesstationen, wobei die sehr hohen Frequenzen, die an den Untertagesstationen registriert wurden, für die Bewertung der Einwirkung auf das Grubengebäude zu vernachlässigen sind.

Um zu überprüfen, ob das von der Standortüberwachung der Asse-GmbH verwendete homogene Geschwindigkeitsmodell auch zur Ortung seismischer Ereignisse geeignet ist, die außerhalb des Grubengebäudes auftreten, wurden die Sprengungen mit Hilfe der erfassten Seismogramme lokalisiert. Der Vergleich der georteten mit den tatsächlichen Sprengorten in der Bohrung

Projekt NNA	PSP-Element NNNNNNNNN	Thema NNAANN	Aufgabe AA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	
9A	55210000	SMÜ	MU	BW	0001	01	
Messwerterfassung und -auswertung der Testsprengungen in der Tagesbohrung Remlingen 15							Blatt: 36



Remlingen 15 zeigte nur geringe Abweichungen. Das von der Standortüberwachung der Asse-GmbH zur Ortung verwendete Modell beschreibt die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Wellen im Salz daher zutreffend.

Die Auswirkungen der Probesprengungen auf die Oberfläche wurden anhand der aufgezeichneten Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit an den Oberflächenmessstationen ermittelt. Die Auswertung wurde für die Sprengung mit der maximalen Ladungsmenge (3 kg) in der Flachbohrung durchgeführt. Die Interpolation der Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit (Isoseisten) zeigen, dass der Anhaltswert für normale Wohngebäude nach DIN 4150-3 im gesamten Messgebiet deutlich (mehr als 10fach) unterschritten ist, insbesondere auch für Objekte, in denen nicht direkt gemessen wurde. Für die Probesprengungen wurde ein hochbrisanter seismischer Sprengstoff verwendet, dessen primäres Ziel die Abstrahlung seismischer Wellen ist. Beim Teufenbetrieb wird im Unterschied dazu ein Sprengstoff verwendet werden, der vornehmlich das Gestein löst und damit bei gleicher Lademenge geringere Erschütterungen hervorrufen wird. Daher ist zu erwarten, dass auch bei deutlicher (z.B. 10-facher) Erhöhung der Lademenge keine schadensrelevante Auswirkung des Sprengvortriebs auf die Oberfläche stattfinden wird.

Die Durchführung der Probesprengung in der Bohrung Remlingen 15 diente - neben der Aufzeichnung von Maximalwerten der Schwinggeschwindigkeit - der Möglichkeit zur exakten Kalibrierung numerischer Modelle zur Ermittlung von Amplitudenabnahmebeziehungen bzw. Dämpfungswerten, da die Abschätzung über empirische Beziehungen oftmals nur mit einer großen Unsicherheit durchgeführt werden kann und dann größere pauschale Sicherheitszuschläge erfordern würde.

Die Abnahmebeziehungen der seismischen Wellen im Messgebiet wurden über Entfernung-Maximalwert-Kurven ermittelt. Dabei wurde eine relativ hohe Dämpfung der seismischen Raumwellen im Salz festgestellt, die durch die Deckgebirgsschichten zusätzlich verstärkt wird. Damit konnten standortspezifische Dämpfungswerte seismischer Wellen ermittelt werden, die eine Abschätzung der Einwirkung dieser Erschütterungen auf das Grubengebäude in Abhängigkeit von der Entfernung ermöglichen. Diese Dämpfungswerte werden zur Kalibrierung der numerischen Modellierung der Sprengungen im Teufbetrieb herangezogen. Sie fließen ein in die berechneten Geschwindigkeits-Zeit-Verläufe an der Modellübergangsfläche in den Betrachtungsraum (Grubengebäude und potentielle Laugenzutrittsbereiche) für die kleinskalige Spannungsmodellierung im Gesamtmodell der Schachanlage Asse II als wesentlicher Bestandteil des Hauptgutachtens (Arbeitspaket geomecon GmbH).

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Keiiti Aki / Paul G. Richards, Quantative Seismology, Second Edition  
Univ Science Books, 22. September 2002  
ISBN-10: 1891389637, ISBN-13: 978-1891389634