



Öffentlich bestellter und vereidigter
Sachverständiger für Erschütterungen
in Bauwesen und Sprengtechnik
Dr.-Ing. Ulf Lichte, IHK München

Sachverständigen- und Ingenieurbüro
Dr. Ulf und Peter Lichte GbR
Käthe-Bauer-Weg 11
80686 München

Telefon: 089 / 71669344
Telefax: 089 / 71669152
Email: info@Lichte.de
Internet: www.Lichte.de

Gutachten

**zur Entwicklung der Erschütterungseinwirkungen auf
die Ortslage Zaunröden im Zusammenhang mit
der planmäßigen Annäherung der Sprengstellen im
Kalksteintagebau Deuna an die südliche Abbaugrenze**

Objekt:

Deuna 2015

Auftraggeber:

Deuna-Zement GmbH

Gutachten auf der Grundlage von Erschütterungsmessungen, Unterlagen und Erfahrungen

Bauvorhaben: Erschütterungsmessungen beim Sprengen

Objekt: Deuna 2015

Auftrags/Kunden-Nr: D117_1 / K394

Auftraggeber: Deuna-Zement GmbH
Industriestraße 7
37355 Deuna

Messung: 02.06. bis 25.08.2015

Ort und Datum: Leipzig, den 29. März 2016

.....
Sachbearbeiter
Stephan Ruff

.....
Dr. Peter Lichte



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabe	3
2	Unterlagen	3
3	Situation und Veranlassung	3
4	Erschütterungsmessungen 2015	4
4.1	Sprengparameter	4
4.2	Messorte und Messpunkte	5
4.3	Messgerätetechnik	5
4.4	Messergebnisse	5
5	Erschütterungsmessungen in Regie des Sprengstofflieferanten	8
5.1	Sprengparameter	8
5.2	Messorte und Messpunkte	9
5.3	Messgerätetechnik	10
5.4	Messergebnisse	10
6	Erschütterungsmessungen 1996, 1998 und 2011	10
6.1	Sprengparameter	10
6.2	Messorte und Messpunkte	11
6.3	Messgerätetechnik	11
6.4	Messergebnisse	12
7	Auswertung	12
7.1	Vorbemerkung	12
7.2	Veränderung des Erschütterungsfaktors im Laufe der Zeit	13
7.3	Abhängigkeit der Größe der Erschütterungen von unterschiedlichen Randbedingungen der Sprengungen	14
8	Abstands-Mengen-Tabellen	18

Anlagen 1 und 1a



1 Aufgabe

Durchführung von Schwingungsmessungen an drei exponierten Messpunkten in Dünwald OT Zauröden zum Erstellen einer aktualisierten Erschütterungsprognose einschließlich einer angepassten Abstands-Mengen-Tabelle unter Berücksichtigung der Optimierung der Sprenganlage.

2 Unterlagen

- U(1) Vertrag vom 24.02.2015
- U(2) Deuna, Prognosegutachten, Lichte vom 30.10.1998
- U(3) Deuna, Prognosegutachten, Lichte vom 24.10.2011
- U(4) Sprengparameter und Erschütterungsmessergebnisse, Fa. Orica, 2003 bis 2015
- R(1) DIN 4150: „Erschütterungen im Bauwesen“
 - Teil 1 „Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Fassung 2001-06
 - Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“, Fassung 1999-06
 - Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“, Fassung 1999-02
- R(2) DIN 45669: „Messung von Schwingungsimmissionen“
 - Teil 1 „Schwingungsmesser; Anforderungen und Prüfungen“, Fassung 2010-09
 - Teil 2 „Messverfahren“; Fassung

3 Situation und Veranlassung

Der Abbau zur Kalksteingewinnung im Tagebau Deuna erfolgt mit etwa gleich bleibenden Parametern durch Bohren und Sprengen auf zwei Sohlen. In Folge des planmäßigen Abbaus in Richtung Süden, wird sich die Entfernung der Sprengstellen zu den nächstgelegenen Gebäuden der Ortslage Zauröden auf ca. 350 m annähern.

Zur Ermittlung der Erschütterungswirkungen im Zusammenhang mit der Annäherung an den Dünwalder Ortsteil Zauröden wurden die Untersuchungen U(2) und U(3) erarbeitet. In ihnen sind Lademengen-Abstands-Beziehungen enthalten, die sicherstellen sollen, dass in Zauröden die Anhaltswerte der DIN 4150 nicht überschritten werden. Im Prognosegutachten vom 30.10.1998 U(2) wurde zudem empfohlen, die Aussagen bei fortschreitender Annäherung der Sprengstellen an die Ortslage Zauröden durch Erschütterungsmessungen zu überprüfen. Im Messbericht vom 24.10.2011 U(3) wurden nach Auswertung der Erschütterungsmessungen die in U(2) erarbeiteten Lademengen-Abstands-Beziehungen angepasst. Durch die Auswertung der Ergebnisse der planmäßigen und weiterer, zwischenzeitlich durchgeführter Erschütterungsmessungen soll erneut geklärt werden, in wie weit die in U(2) und U(3) enthaltenden Lademengen-Abstands-Beziehungen den gegenwärtigen Anforderungen genügen.



Diese Vorgehensweise erfolgte unter dem Aspekt der Wahrung des guten nachbarlichen Miteinanders des Steinbruchbetreibers mit den Einwohnern des Dünwalder Ortsteils Zaunröden. Die Situation und die Lage der Messpunkte sind in den Anlagen 1 und 1a dargestellt.

4 Erschütterungsmessungen 2015

4.1 Sprengparameter

Zur Optimierung der Sprenganlage unter dem Aspekt der Erschütterungseinwirkungen auf die Ortslage Zaunröden wurde in einer Vorbesprechung im Januar 2015 zwischen dem Steinbruchbetreiber, dem Sprengbetrieb und dem Sachverständigenbüro ein Programm mit dem Ziel, erschütterungsrelevante Parameter zu variieren und deren Einfluss auf die Größe der Erschütterungseinwirkungen zu ermitteln, vorgeschlagen und die Realisierung abgestimmt.

Die Sprengparameter wurden seitens des Sprengstofflieferanten festgelegt, und es waren eine Variation der Zündverfahren nichtelektrisch und elektronisch und verschiedene Auswurfrichtungen vorgesehen. Die Sprengparameter sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1 Sprengungen 2015 - Sprengparameter

Sprengung Nr.	Datum	Uhrzeit	Sprengort	Zündverfahren	Bohrlochanzahl	Gesamtlademenge	Lademenge pro m ³	Lademenge pro Zst.	
					St	kg	g	kg	
22	02.06.15	11:07	Süd 1	Elektronisch	33	4290	320	130,6	
23	09.06.15	10:38	Süd 3	Elektronisch	32	4230	330	132,6	
26	18.06.15	10:51	Nord 2	Elektronisch	34	4415	320	129,8	
27	23.06.15	10:26	Nord 1	Elektronisch	24	2885	300	120,1	
29	25.06.15	10:13	West 1	Elektronisch	24	2825	290	118,8	
30	30.06.15	10:43	West 2	Elektronisch	28	3390	318	121,1	
31	02.07.15	10:58	West 5	Elektronisch	33	4030	300	122,1	
32	08.07.15	10:30	Süd 3	Elektronisch	24	3060	310	129,2	
33	09.07.15	10:36	Süd 2	Elektronisch	27	3245	300	120,5	
34	14.07.15	10:38	Süd 1	Elektronisch	24	2960	300	123,1	
35	16.07.15	11:21	West 4		30	3500	330		
36	23.07.15	10:55	West 3	Elektrisch	28	3475	320	248,2	
37	30.07.15	11:08	Süd 5	Elektrisch	30	3875	320	258,4	
38	04.08.15	14:33	Süd 4	Elektronisch	26	3315	318	127,5	
39	11.08.15	11:17	bitte durch Herrn Stengel ergänzen						
40	25.08.15	10:43	bitte durch Herrn Stengel ergänzen						



4.2 Messorte und Messpunkte

Die Schwingungsmessungen in der Ortslage Zauröden wurden an drei repräsentativen Messpunkten (MP A, MP B, MP C,) durchgeführt, welche durch den Sachverständigen festgelegt wurden.

Diese Messpunkte MP A bis MP C wurden entsprechend den Forderungen der DIN 4150-3 zur Beurteilung der Einwirkung der auftretenden Erschütterungen auf die Gebäude in deren Fundamentbereich platziert. Die Messpunkte sind im Lageplan in Anlage 1 eingetragen und in Tabelle 2 näher beschrieben.

Die Klärung der Zugänglichkeiten zu den Messorten sowie die Bereitstellung und Installation der Gerätetechnik für den Messpunkt B erfolgte vertragsgemäß durch den Auftraggeber. Da die Einrichtung des Messpunktes MP B erst am 23.07.2015 vorgenommen werden konnte, wurde die Standzeit aller drei Messpunkte bis zum 24.08.2015 verlängert.

Tabelle 2 Messorte und Messpunkte

Messpunkt und Komp.	Messort	Standort	Messzeitraum	Ankoppelung
A xyz	Zauröden, Leichenhalle	Wirtschaftsraum	02.06.-25.08.15	3-Pkt-Rundfuß
B xyz	Kirche	Vorbereitungsraum	23.07.-25.08.15	3-Pkt-Rundfuß
C xyz	Zauröden, Bürgerhaus Hauptstraße 32	Erdgeschoss, Hausanschlußschrank	02.06.-25.08.15	3-Pkt-Rundfuß

x-Komponente: horizontal in Richtung Nord-Süd
y-Komponente: horizontal, senkrecht zu x
z-Komponente: vertikal

4.3 Messgerätetechnik

Die Messungen erfolgten mit Messgeräten vom Typ Syscom MR 2000. Die Apparaturen entsprechen den Anforderungen DIN 45669-1 und liefern schwingungsgeschwindigkeitsproportionale Signale mit einer Bandbegrenzung von 1 - 315 Hz.

4.4 Messergebnisse

Die im Zusammenhang mit den ausgewerteten Sprengungen gemessenen Schwinggeschwindigkeiten und die jeweiligen Frequenzen an den Messpunkten A bis C sind in den Tabellen 3 bis 5 zusammengestellt.



Tabelle 3 Messergebnisse 06 -08/2015 MP A

Datum	Uhrzeit	Messpunkt	vx	vy	vz	Fx	Fy	Fz
			mm/s	mm/s	mm/s	Hz	Hz	Hz
02.06.2015	11:07:00	MP A	1,45	1,37	1,76	30,1	35,9	36,3
09.06.2015	10:38:00	MP A	1,72	2,26	2,02	32,8	35,9	36,3
11.06.2015	11:45:00	MP A	0,20	0,20	0,17	keine Frequenzwerte, da die Messwerte unterhalb des Schwellwertes lagen		
18.06.2015	10:51:00	MP A	0,40	0,28	0,51	9,9	13,9	10,9
23.06.2015	10:26:00	MP A	0,37	0,52	0,54	14,9	8,5	11,9
24.06.2015	10:40:00	MP A	0,21	0,17	0,07	keine Frequenzwerte, da die Messwerte unterhalb des Schwellwertes lagen		
25.06.2015	10:13:00	MP A	0,25	0,46	0,33			
30.06.2015	10:43:00	MP A	0,34	0,58	0,38	25,9	43,4	41,9
02.07.2015	10:58:00	MP A	1,10	1,16	0,98	30,5	12,9	8,2
08.07.2015	10:30:00	MP A	2,53	1,38	2,54	35,9	36,7	35,9
09.07.2015	10:36:00	MP A	1,78	1,45	2,77	35,5	35,9	35,9
14.07.2015	10:38:00	MP A	1,74	1,57	1,95	34,8	35,5	34,4
16.07.2015	11:21:00	MP A	0,90	1,37	1,08	7,8	18	18,8
23.07.2015	10:55:00	MP A	0,97	0,90	1,00	20,7	24,2	7,8
30.07.2015	11:08:00	MP A	3,03	2,17	3,19	15,6	7,8	17,6
04.08.2015	14:33:00	MP A	1,81	1,71	1,57	35,5	35,9	35,5
11.08.2015	11:17:42	MP A	2,76	3,09	3,5	36	35	36
25.08.2015	10:43:39	MP A	1,72	1,05	1,67	10	35	7

Tabelle 4 Messergebnisse 23.07- bis 25.08.2015 MP B

Datum	Uhrzeit	Messpunkt	vx	vy	vz	Fx	Fy	Fz	
			mm/s	mm/s	mm/s	Hz	Hz	Hz	
02.06.2015	11:07:00	Keine Messwerte – Gerät wurde erst am 23.07.2015 aufgestellt							
09.06.2015	10:38:00								
11.06.2015	11:45:00								
18.06.2015	10:51:00								
23.06.2015	10:26:00								
24.06.2015	10:40:00								
25.06.2015	10:13:00								
30.06.2015	10:43:00								
02.07.2015	10:58:00								
08.07.2015	10:30:00								
09.07.2015	10:36:00								
14.07.2015	10:38:00								
16.07.2015	11:21:00								
23.07.2015	10:55:00		MP B	0,37	0,54	0,54	12,5	16,7	25,5
30.07.2015	11:08:00		MP B	1,21	1,49	1,44	12,5	16,8	26,6
04.08.2015	14:33:00	MP B	0,66	1,28	0,73	10,1	36,1	28,4	
11.08.2015	11:17:42	MP B	1,05	1,44	1,05	11,8	36,3	28,1	
25.08.2015	10:43:39	MP B	0,65	0,73	0,87	11,7	11,3	11,3	



Tabelle 5 Messergebnisse 06 -08/2015 MP C

Datum	Uhrzeit	Messpunkt	vx	vy	vz	Fx	Fy	Fz
			mm/s	mm/s	mm/s	Hz	Hz	Hz
02.06.2015	11:07:00	MP C	1,13	1,12	0,87	37,1	13	36,3
09.06.2015	10:38:00	MP C	1,42	1,05	1,70	35,5	16,8	36,3
11.06.2015	11:45:00	MP C	0,16	0,16	0,11	keine Frequenzwerte, da die Messwerte unterhalb des Schwellwertes lagen		
18.06.2015	10:51:00	MP C	0,22	0,17	0,39			
23.06.2015	10:26:00	MP C	0,24	0,30	0,37			
24.06.2015	10:40:00	MP C	0,12	0,15	0,11			
25.06.2015	10:13:00	MP C	0,27	0,20	0,26			
30.06.2015	10:43:00	MP C	0,20	0,22	0,26			
02.07.2015	10:58:00	MP C	0,61	0,66	0,38	16,1	22,9	14,8
08.07.2015	10:30:00	MP C	0,64	0,80	1,04	12,1	9,8	31,6
09.07.2015	10:36:00	MP C	0,67	0,72	1,14	10,5	8,2	35,2
14.07.2015	10:38:00	MP C	0,67	0,88	0,70	37,3	8,3	36,5
16.07.2015	11:21:00	MP C	0,92	0,96	0,46	19,2	18,7	11,4
23.07.2015	10:55:00	MP C	0,52	0,56	0,54	18,5	26,3	16,6
30.07.2015	11:08:00	MP C	2,39	1,76	2,84	13,7	9,4	34
04.08.2015	14:33:00	MP C	0,85	0,77	0,94	16	9,4	9,4
11.08.2015	11:17:42	MP C	0,92	1,06	1,22	14	13	35
25.08.2015	10:43:39	MP C	0,85	0,60	0,73	10	10	11



5 Erschütterungsmessungen in Regie des Sprengstofflieferanten

5.1 Sprengparameter

Durch den ausführenden Sprengbetrieb, die Orica Germany GmbH - Region Nord/Ost wurden dem Sachverständigen außerdem weitere Messergebnisse aus dem Zeitraum 2003 bis 2013 zur Verfügung gestellt. Die entsprechenden Erschütterungsmessungen erfolgten im Rahmen der Eigenüberwachung durch den Sprengbetrieb. Da diese Sprengungen sehr gut die praktische Sprengarbeit im Steinbruch widerspiegeln, wurden sie mit zur Auswertung herangezogen.

Die Sprengparameter sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6 Ausgewertete Sprengungen der Fa. orica

Sprengung Nr.	Datum	Uhrzeit	Sprengort	Zündverfahren	Bohrloch-	Gesamtla-	Lademenge	Lademenge
					anzahl	demenge	pro cbm	pro Zst
					St	kg	g	kg
04/2003	25.09.03	10:50	Abschnitt 1- Ost	KZZ 25 ms	39	4590	0,28	235
01/2005	31.05.05	10:15	Nord - Ost		34	3958	0,29	334
01/2006	09.11.06	10:45			38	4492	0,30	236
01/2007	14.03.07		1. Spr. nach Westen		30	3540	0,28	236
02/2007	28.09.07		2. Sohle Westfeld 4		40	5376	0,25	268
03/2007	16.11.07		2. Sohle Westfeld 1		23	3492	0,29	304
01/2008	07.11.08		2. Sohle		35	4760	0,33	328
2008	13.11.08		Feld 4		29	5628	0,32	336
01/2009	14.10.09	12:49	1. Spr. redundant		23	5326	0,30	232
2010	23.04.10	10:28	ergänzen					
2012	22.11.12	10:40	ergänzen					
2013	28.11.13		2. S 426,5 m 90° zu Zaunr.	nicht-elekt-risch	43	8386	0,27	195



5.2 Messorte und Messpunkte

Die Messpunkte wurden an den zum jeweiligen Zeitpunkt relevanten Stellen der Umgebung eingerichtet und spiegeln diese wider. Die Messpunkte sind im Lageplan in Anlage 1 eingetragen und in Tabelle 7 näher beschrieben.

Tabelle 7 Messorte und Messpunkte

Messpunkt und Komp.	Messort	Standort	Messzeitraum
	Straße Am Dün/Leuchte	gepflasterter Fußweg	16.11.2007
	Zaunröden	Kirche	13.11.2008
	Zaunröden	Kirche	28.09.2007
	Zaunröden	Kirche	07.11.2008
TÜV	Zaunröden	Kirchstr. 4_2.OG	23.04.2010
TÜV	Zaunröden	Kirchstr. 4_KE	23.04.2010
	Zaunröden	Kirchstr., Ecke Hauptstraße	28.11.2013
	Zaunröden	Kirchstr.6	28.11.2013
	Keula Th.-Münzer-Str. 5b	Kellerfußboden	25.09.2003
	Keula, Th.-Münzer-Str.	Bitumenfahrbahn	31.05.2005
	Zaunröden Ton ?	Trafo 213 Fundament	09.11.2006
A xyz	Zaunröden Schützenplatz,	ehem. Trafohaus Fußboden	14.03.2007
B xyz			14.10.2009
C xyz			22.11.2012

x-Komponente: horizontal in Richtung Nord-Süd; y-Komponente; horizontal, senkrecht zu x; z-Komponente: vertikal



5.3 Messgerätetechnik

Die Messungen erfolgten mit Messgeräten vom Typ ZEB/SM 3C, ZEB/SM 3 DO+ und ecm. Die Apparaturen entsprechen den Anforderungen DIN 45669-1 und liefern schwinggeschwindigkeitsproportionale Signale.

5.4 Messergebnisse

Die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten und Frequenzen sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8 Messergebnisse orica und TÜV

Datum	Uhrzeit	Messstelle	vx	vy	vz	Fx	Fy	Fz
			mm/s	mm/s	mm/s	Hz	Hz	Hz
25.09.2003	10:50:00	Th.-Münzer-Str.	0,45	0,80	0,48	9	10	6
31.05.2005	10:15:00	Th.-Münzer-Str.	0,30	0,32	0,21	11	13	6
09.11.2006	10:45:00	Trafo 213	0,45	0,30	0,21	4	6	10
14.03.2007		Trafo, Zaunröden	1,70	2,00	1,00	28	15	8
28.09.2007		Kirche	1,10	0,80	0,80	19	8	22
16.11.2007		Am Dün, Deuna	0,80	0,70	0,50	3	4	1
07.11.2008		Kirche	2,00	1,10	1,00	20	18	3
13.11.2008		Kirche	0,10	0,10	0,10	8	142	1
14.10.2009	12:49:00	Bx,y,z	0,60	0,90	0,50	16	14	13
23.04.2010	10:28:00	Kirchstr. 4 KE	1,43	0,77	1,41	23	6	4
23.04.2010	10:28:00	Kirchstr. 4 2.OG	6,73	3,38	5,04	15	35	42
22.11.2012	10:40:00	Cx,y,z	1,10	1,20	1,00	8	17	11
28.11.2013		Kirchstr.6	2,10	1,60	1,50	21	31	14
28.11.2013		Kirchstr., Ecke Hauptstraße	1,10	2,80	1,20	24	21	19

6 Erschütterungsmessungen 1996, 1998 und 2011

6.1 Sprengparameter

1998 und 2011 erfolgten im Zusammenhang mit der Erarbeitung und Ergänzung der Abstands-Mengen-Tabelle für den Tagebau Deuna Erschütterungsmessungen, die im vorliegenden Gutachten zum Vergleich herangezogen werden. Die Sprengparameter sind in Tabelle 9 zusammengestellt.



Tabelle 9 Sprengungen bis 2011

Sprengung Nr.	Datum	Uhrzeit	Sprengort	Zündverfahren	Bohrlochanzahl	Gesamtlademenge	Lademenge pro cbm	Lademenge pro Zst.
					St	kg	g	kg
1	7.10.96	11:07	West 1	KZZ 20 ms	37	6932	310	562
2	16.10.96	10:38	Feld 2	KZZ 20 ms	36	6600	315	549
3	18.10.96	11:45	Feld 3	KZZ 20 ms	45	7366	285	655
4	20.10.98	10:51	Nord 2	Elektronisch	34	4415	320	130
5	05.10.11		s. Anlage M1	KZZ 25 ms	28	4525	323	162

6.2 Messorte und Messpunkte

Die Messpunkte wurden in Zauröden verteilt angeordnet, so dass aus den Messergebnissen das Schwingungsverhalten unterschiedlicher Bereiche des Ortes ermittelt werden konnte.

Die Anordnung der Messpunkte erfolgte entsprechend den Forderungen der DIN 4150-3 zur Beurteilung der Einwirkung der auftretenden Sprengerschütterungen auf die Gebäude in deren Fundamentbereich. Die Messpunkte sind im Lageplan in Anlage 1 eingetragen und in Tabelle 10 näher beschrieben.

Tabelle 10 Messorte und Messpunkte

Messpunkt und Komp.	Messobjekt	Messort	Standort	Untergrund
Ax,y,z	Zauröden	Hauptstraße 7	Platte vor Gebäudeaußenwand	Beton
	Zauröden	Hauptstraße 8	Platte vor Gebäudeaußenwand	Beton
Bx,y,z	Zauröden	ehem. Hydrophorstatio	Eingangsschwelle	Beton
	Zauröden	ehem. Hydrophorstatio	Streifenfundament	Beton
Cx,y,z	Zauröden	Kirche	Eingangsschwelle	Naturstein
Dx,y,z	Zauröden	Kirchstraße 6	Platte vor Gebäudeaußenwand	Beton
	Tagebau	Sohle	Nord 2 200 m von Sprengstelle	Kalkstein
	Tagebau	Sohle	Nord 2 350 m von Sprengstelle	Kalkstein

x-Komponente: horizontal in Richtung zur Sprengstelle
y-Komponente: horizontal, senkrecht zu x
z-Komponente: vertikal

6.3 Messgerätetechnik

Die Messungen erfolgten mit Messgeräten unterschiedlicher Typen. Die Apparaturen entsprechen den Anforderungen DIN 45669-1 und liefern schwinggeschwindigkeitsproportionale Signale.



6.4 Messergebnisse

Die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten und Frequenzen sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11 Messergebnisse 1996, 1998 und 2011

Datum	Uhrzeit	Messstelle	vx	vy	vz	Fx	Fy	Fz
			mm/s	mm/s	mm/s	Hz	Hz	Hz
05.10.2011	10:43	Hauptstraße 7	2,35	1,70	1,00	22,0	22,0	4,5
05.10.2011	10:43	Hydrophorstation	3,36	3,38	2,08	4,8	5,0	8,0
05.10.2011	10:43	Kirche	1,90	2,25	1,58	19,0	21,0	5,0
05.10.2011	10:43	Kirchstraße 6	2,11	1,90	1,31	18,0	18,0	7,5
07.10.1996	11:07	Kirchstraße 7	0,90	0,90	1,70	5,0	5,0	4,0
16.10.1996	10:38	Kirchstraße 7	1,10	0,80	0,80	7,0	9,0	6,0
18.10.1996	11:45	Kirchstraße 7	1,10	1,20	1,20	7,0	7,0	5,0
20.10.1998	10:51	ehem.	3,90	3,10	2,00	33,0	23,0	30,0
20.10.1998	10:51	Hydrophorstation	4,35	3,08	2,21	21,5	21,5	7,0
20.10.1998	10:51	Tagebau 200 m	23,10	14,80	16,00	18,0	19,0	29,0
20.10.1998	10:51	Tagebau 350 m	9,74	4,05	2,96	23,0	16,0	25,0
20.10.1998	10:51	Kirche	0,95		0,72	20,0		4,0
20.10.1998	10:51	Hauptstraße 8	1,06	1,10	0,72	13,8	6,8	3,8

7 Auswertung

7.1 Vorbemerkung

Die Auswertung der Messergebnisse und der Vergleich der Messungen 2015 mit den früheren Messungen erfolgt mit der auch bei den bisherigen Gutachten verwendeten Regressionsfunktion (1), indem aus den Angaben der Lademenge je Zeitstufe L und des Abstandes zwischen Messstelle und Sprengstelle R eine theoretisch (statistisch) zu erwartende Schwinggeschwindigkeit v_T errechnet wird. Das Verhältnis der gemessenen zu dieser theoretisch erwarteten Schwinggeschwindigkeit ist der Erschütterungsfaktor k. Er beschreibt die Größe der Erschütterung an einem Messpunkt oder z.B. die Intensität einer Sprengung und wird in den folgenden Ausführungen verwendet.

$$v_T = 16 \cdot \frac{\sqrt{0,01 \cdot L}}{(0,01 \cdot R)^{1,4786+0,1314 \cdot \lg(0,01 \cdot R)}} \quad (1)$$

$$v_{\text{mittel}} = k \cdot v_T \quad (2)$$

$$k = \frac{v_{\text{gemessen}}}{v_T} \quad (3)$$

$$v_{\text{min}} = v_{\text{mittel}} / s_v < v_{\text{erw}} < v_{\text{mittel}} \cdot s_v = v_{\text{max}} \quad (4)$$



v_T	theoretische erwartete Schwinggeschwindigkeit in mm/s
$v_{\max, \min}$	maximale, minimale erwartete Schwinggeschwindigkeit in mm/s
v_{erw}	Erwartungsbereich der Schwinggeschwindigkeit
L	Lademenge je Zeitstufe in kg
R	Abstand zur Sprengstelle in m
v_{mittel}	mittlere Schwinggeschwindigkeit in mm/s
k_i	Faktoren zur Berücksichtigung besonderer Verhältnisse aus U(5) oder aus Messergebnissen nach Formel (3)
s_v	Sicherheitsfaktor, aus U(5)

Zur Vereinheitlichung wurden bei der Auswertung neue Messpunktbezeichnungen eingeführt, die aus Tabelle 12 entnommen werden können und auf den Anlagen 1 und 1a dargestellt sind. In dieser Systematik befinden sich die MP A bis MP H in der Ortslage Zauröden, MP J und K in Keula, MP O und MP P im Tagebau, MP Q bis MP T zwischen der Ortslage Zauröden und dem Tagebau und MP U in Deuna. Die Lage der Messpunkte MP M und MP N ist aus den Unterlagen nicht ersichtlich.

Tabelle 12 Messpunkte

Messpunkt neu	Messpunkt alt	Ort	Standort	Messzeit
MP A	C	Zauröden	Kirchstraße 7	1996
MP B		Zauröden	Kirchstraße 4	2010
MP C	Dx,y,z	Zauröden	Kirchstraße 6	2011
MP D		Zauröden	Kirche	2008
MP E		Zauröden	Kirchstr., Ecke Hauptstraße	2013
MP F	C xyz	Zauröden	Hauptstraße 32	2015
MP G	Ax,y,z	Zauröden	Hauptstraße 7	2011
MP H	A	Zauröden	Hauptstraße 8	1998
MP J		Keula	Th.-Münzer-Str. 5b	2003
MP K		Keula	Th.-Münzer-Str. Bitumenfahrbahn	2005
MP M	Bx,y,z		Unbekannt	2009
MP N	Cx,y,z		Unbekannt	2012
MP O	F	Tagebau	bei 200 m	1998
MP P	G	Tagebau	bei 350 m	1998
MP Q	Bx,y,z	Zauröden	ehem. Hydrophorstation	2011
MP R		Zauröden Ton ?	Trafo 213 Fundament	2006
MP S		Zauröden	Schützenplatz, ehem. Trafohaus Fußboden	2007
MP T	A xyz	Zauröden	Leichenhalle	2015
MP U		Deuna	Am Dün	2007

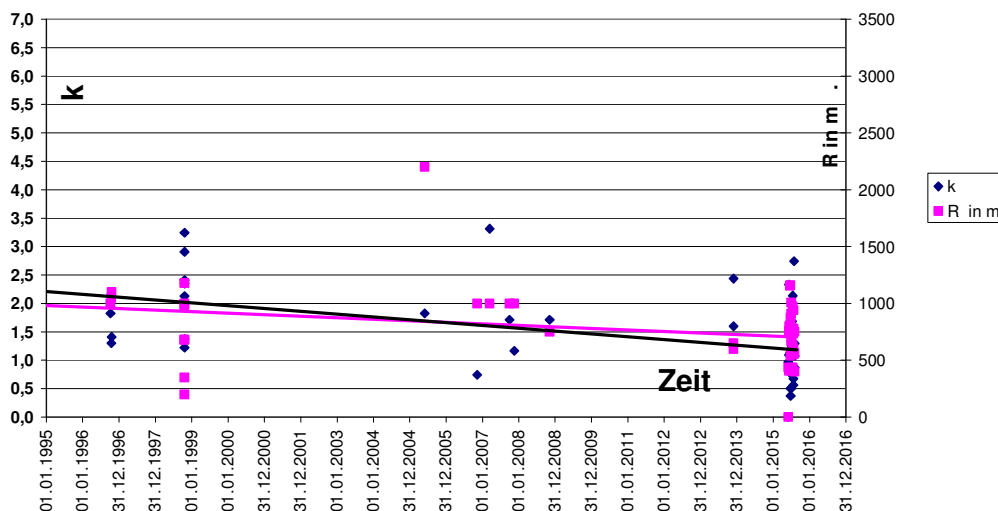
7.2 Veränderung des Erschütterungsfaktors im Laufe der Zeit

In der ersten Phase wurden die jeweils mittleren Erschütterungsfaktoren über der Zeitachse des Überwachungszeitraumes von 1996 bis 2015 in Abbildung 1 grafisch dargestellt.



Es zeigt sich eine große Streuung der k-Werte aber gleichzeitig auch eine tendenzielle Verringerung des Erschütterungsfaktors, d.h. eine Verringerung der Erschütterungsimmissionen. Diese Aussagen beziehen sich jeweils auf die Mittelwerte der Erschütterungen und können auf allgemeine Verbesserungen der Sprengparameter und z.B. eine günstige Auswurfriechung zurückgeführt werden.

Abbildung 1 Veränderung der Erschütterungsfaktoren k abhängig von der Zeit



7.3 Abhängigkeit der Größe der Erschütterungen von unterschiedlichen Randbedingungen der Sprengungen

In der Versuchsreihe 2015 wurden die Sprengparameter hinsichtlich der Auswurfriechung untersucht. Die zugehörigen Messergebnisse sind in Tabelle 13.1 enthalten. Es ergaben sich die in Tabelle 14 zusammengestellten mittleren und maximalen Erschütterungsfaktoren k. Dabei sind die Werte der Tabelle 14 jeweils durch eine unterschiedliche Anzahl von Einzelwerten belegt. Sie werden aber bei der Mittelung jeweils als statistisch gleichwertig betrachtet. Außerdem wurde auf Grund der unterschiedlichen Datenbasis eine Streuung nicht berechnet und es wurde ein Sicherheitsfaktor $s_v = 1,6$ in den Vergleichen berücksichtigt.

In der Versuchsreihe 2015 wurden unterschiedliche Auswurfriechungen und Zündverfahren an den drei Messpunkten D, F und T untersucht. Die zugehörigen Messergebnisse sind in Tabelle 13.1 enthalten:

- der Vergleich der mittleren k-Werte der Spalte 12 zeigt für
 - MP D (Kirche) $k_{\text{Mittel}} = 0,80$
 - MP F (Hauptstraße 32) $k_{\text{Mittel}} = 1,27$
 - MP T (Friedhof) $k_{\text{Mittel}} = 0,93$

Der Messpunkt MP F schwingt am stärksten, während der Messpunkt MP D in der Kirche die geringsten Schwingungen zeigt.

- Der Vergleich der mittleren k-Werte der Spalte 11 zeigt für Sprengungen an der Südwand $k_{\text{Mittel}} = 0,96$; 1,73 und 1,11 um 30 % bis 70 % größere



Werte als die Sprengungen an der West- und Nordwand mit $k_{\text{Mittel}} = 0,56$; 1,12; 0,93; 0,83 und 0,83.

Wenn die Auswurfriechung entgegengesetzt zur Ortslage weist treten deutlich größere Erschütterungen auf als in den anderen Richtungen.

Die Tabelle 14 enthält im Einzelnen folgende Daten:

Spalten 1 bis 3 den Messpunkt und seinen Standort,
Spalten 6 bis 15 die Mittelwerte und Maximalwerte der Erschütterungsfaktoren k (meist farbig) zugeordnet zu unterschiedlichen Randbedingungen
Spalten 4 und 5 enthalten die zusammenfassende Mittelung über alle k -Werte.

Die Tabelle 13.2 enthält die bekannten Werte der Messungen vor 2015 und die Ergebnisse der Versuchsreihe 2015 entsprechend der Aufgabenstellung. Die Erschütterungsfaktoren weisen zwar die üblichen Streuungen auf, sind aber sonst über die Jahre recht gleichmäßig gewesen. Die folgenden Abschnitte enthalten Textauszüge, die bisherigen Abstands-Mengen-Tabellen (AMT) und den Vergleich mit den Messungen 2015.



Tabelle 13.1 Messwerte Versuchsreihe 2015 mit Messungen in Zaunröden

Sprengung	Datum	Messpunkt	Sprengort	Zündverfahren	Lademenge pro Zst kg	V _{max} mm/s	R m	V _T mm/s	k	k _{Mittel pro Messpunkt + Sprengort}	k _{Mittel pro Messpunkt}
27	23.06.2015	MPD	Nord 1	Elektronisch	120,1		977	0,45		-	0,80
26	18.06.2015	MPD	Nord 2	Elektronisch	129,8		971	0,47			
22	02.06.2015	MPD	Süd 1	Elektronisch	130,6		611	1,05		0,96	
34	14.07.2015	MPD	Süd 1	Elektronisch	123,1		611	1,01			
33	09.07.2015	MPD	Süd 2	Elektronisch	120,5		591	1,06			
23	09.06.2015	MPD	Süd 3	Elektronisch	132,6		574	1,17			
32	08.07.2015	MPD	Süd 3	Elektronisch	129,2		574	1,15			
38	04.08.2015	MPD	Süd 4	Elektronisch	127,5	1,28	562	1,19	1,08		
37	30.07.2015	MPD	Süd 5	Elektronisch	258,4	1,49	554	1,73	0,86		
29	25.06.2015	MPD	West 1	Elektronisch	118,8		714	0,76		0,56	
30	30.06.2015	MPD	West 2	Elektronisch	121,1		745	0,72			
36	23.07.2015	MPD	West 3	Elektronisch	248,2	0,54	776	0,96	0,56		
35	16.07.2015	MPD	West 4		120,0		807	0,62			
31	02.07.2015	MPD	West 5	Elektronisch	122,1		839	0,59			
31	02.07.2015	MPD	West 5	Elektronisch	122,1		839	0,59			
39	11.08.2015	MPD				1,44	0	R?			
40	25.08.2015	MPD				0,87	0	R?			
27	23.06.2015	MPF	Nord 1	Elektronisch	120,1	0,37	1160	0,33	1,11	1,12	1,27
26	18.06.2015	MPF	Nord 2	Elektronisch	129,8	0,39	1157	0,35	1,12		
22	02.06.2015	MPF	Süd 1	Elektronisch	130,6	1,13	780	0,69		1,73	
34	14.07.2015	MPF	Süd 1	Elektronisch	123,1	0,88	780	0,67	1,31		
33	09.07.2015	MPF	Süd 2	Elektronisch	120,5	1,14	788	0,68	1,68		
23	09.06.2015	MPF	Süd 3	Elektronisch	132,6	1,70	759	0,73	2,33		
32	08.07.2015	MPF	Süd 3	Elektronisch	129,2	1,04	759	0,72	1,45		
38	04.08.2015	MPF	Süd 4	Elektronisch	127,5	0,94	753	0,72	1,30		
37	30.07.2015	MPF	Süd 5	Elektronisch	258,4	2,84	750	1,04	2,74		
29	25.06.2015	MPF	West 1	Elektronisch	118,8	0,27	875	0,54	0,50		
30	30.06.2015	MPF	West 2	Elektronisch	121,1	0,26	908	0,51	0,51		
36	23.07.2015	MPF	West 3	Elektronisch	248,2	0,56	941	0,69	0,81		
35	16.07.2015	MPF	West 4		120,0	0,96	974	0,45	2,14		
31	02.07.2015	MPF	West 5	Elektronisch	122,1	0,66	1007	0,43	1,54		
39	11.08.2015	MPF				1,22	0	R?			
40	25.08.2015	MPF				0,85	0	R?			
27	23.06.2015	MPT	Nord 1	Elektronisch	120,1	0,54	809	0,62	0,88	0,83	0,93
26	18.06.2015	MPT	Nord 2	Elektronisch	129,8	0,51	805	0,65	0,78		
22	02.06.2015	MPT	Süd 1	Elektronisch	130,6	1,76	437	1,83	0,97		
34	14.07.2015	MPT	Süd 1	Elektronisch	123,1	1,95	437	1,77	1,10		
33	09.07.2015	MPT	Süd 2	Elektronisch	120,5	2,77	419	1,88	1,48		
23	09.06.2015	MPT	Süd 3	Elektronisch	132,6	2,26	407	2,07	1,09		
32	08.07.2015	MPT	Süd 3	Elektronisch	129,2	2,54	407	2,04	1,25		
38	04.08.2015	MPT	Süd 4	Elektronisch	127,5	1,81	401	2,08	0,87		
37	30.07.2015	MPT	Süd 5	Elektronisch	258,4	3,19	401	2,96	1,08		
29	25.06.2015	MPT	West 1	Elektronisch	118,8	0,46	540	1,23	0,38		
30	30.06.2015	MPT	West 2	Elektronisch	121,1	0,58	570	1,13	0,52		
36	23.07.2015	MPT	West 3	Elektronisch	248,2	1,00	602	1,48	0,68		
35	16.07.2015	MPT	West 4		120,0	1,37	633	0,94	1,46		
31	02.07.2015	MPT	West 5	Elektronisch	122,1	1,16	665	0,87	1,33		

Tabelle 13.2 Messwerte Messungen vor 2015 mit Messungen in Zaunröden

Sprengung	Datum	Messpunkt	Sprengort	Zündverfahren	Lademenge pro Zst kg	max v mm/s	R m	v _T mm/s	k	k _{Mittel}
2	05.10.1996	MPA			562	1,70	1000	0,93	1,83	1,50
3	16.10.1996	MPA			549	1,10	1050	0,85	1,30	
4	18.10.1996	MPA			655	1,20	1100	0,85	1,41	
	23.04.2010	MPB				1,43	600	L?		1,22
	20.10.1998	MPB			309	0,89	970	0,73	1,22	
	23.04.2010	MPB				1,43		R?		
	28.11.2013	MPC			195	2,10	600	1,32	1,60	1,75
	05.10.2011	MPC			162	2,17	620	1,13	1,92	
	20.10.1998	MPD			309	0,95	1000	0,69	1,38	1,75
	05.10.2011	MPD			162	2,25	680	0,97	2,32	
02/2007	28.09.2007	MPD			268	1,10	1000	0,64	1,71	
01/2008	07.11.2008	MPD			328	2,00	750	1,17	1,71	
2008	13.11.2008	MPD			336	0,10		R?		
	28.11.2013	MPE			195	2,80	650	1,15	2,44	2,44
1	20.10.1998	MPH			309	1,10	1180	0,52	2,13	2,13



Tabelle 14 Mittlere und maximale Erschütterungsfaktoren aus Tabelle 13 und ergänzt um die Werte der Messpunkte MP Q bis MP T

Messpunkt neu	Ort	Standort	Alle Messwerte		alle Versuche 2015		Versuche 2015 nach Süden		Versuche 2015 nach Norden und Westen		Messungen von Orica		Messungen 96, 98 und 11	
			Mittel	max	Mittel	max	Mittel	max	Mittel	max	Mittel	max	Mittel	max
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MP A	Zaunröden	Kirchstraße 7	1,50	1,83									1,50	1,83
MP B	Zaunröden	Kirchstr. 4_	1,22	1,22									1,22	1,22
MP C	Zaunröden	Kirchstraße 6	1,75	1,92									1,75	1,92
MP D	Zaunröden	Kirche	1,18	2,32	0,80	1,08	0,96	1,08	0,56	0,56			1,75	2,32
MP E	Zaunröden	Kirchstr., Ecke Hauptstraße	2,44	2,44							2,44	2,44		
MP F	Zaunröden	Hauptstraße 32	1,27	2,74	1,27	2,74	1,73	2,74	1,02	2,14				
MP G	Zaunröden	Hauptstraße 7												
MP H	Zaunröden	Hauptstraße 8											2,13	2,13
Messpunkte A bis H repräsentativ für Zaunröden			1,51	2,74	1,01	2,74	1,29	2,74	0,76	2,14	2,44	2,44	1,64	2,32
MP Q	Zaunröden	ehem. Hydrophorstation	3,25	3,25									3,25	3,25
MP R	Zaunröden Ton ?	Trafo 213 Fundament	1,58	3,31							1,58	3,31		
MP S	Zaunröden	Schützenplatz, ehem. Trafohaus Fußboden												
MP T	Zaunröden	Leichenhalle	0,93	1,48	0,93	1,48	1,11	1,48	0,79	1,46				
Messpunkte Q bis T repräsentativ für den Bereich zwischen Zaunröden und dem Tagebau			1,21	3,31	0,93	1,48	1,11	1,48	0,79	1,46	1,58	3,31	3,25	3,25



8 Abstands-Mengen-Tabellen

Ein Ziel der Untersuchungen war es, zu überprüfen, ob die bisherigen Abstands-Mengen-Beziehungen den Anforderungen noch heute genügen. Folgende Textpassagen und Abstands-Mengen-Tabellen wurden aus früheren Gutachten übernommen und den Ergebnissen aus 2015 gegenübergestellt.

Gutachten von 1998:

„Die aus den Messergebnissen errechneten Erschütterungsfaktoren k liegen zwischen **$k = 1,2$ und $k = 3,1$** , wobei alle Messergebnisse als gleichwertig betrachtet wurden.

Mit Werten von $k_{\text{mittel}} = 1,5$ für die Fundamentmesspunkte und $k_{\text{mittel}} = 2,6$ für die Freifeldmesspunkte zeigt sich die bekannte Tatsache, daß die Erschütterungen beim Übergang in das Gebäude gemindert werden, wenn die Anregungsfrequenz höher ist als die Gebäudeeigenfrequenz. **Für die Prognose der Gebäudeerschütterungen wird daher von $k = 1,5$ ausgegangen.** Die errechneten Sicherheitsfaktoren $s_v = 1,3$ bis $1,5$ stimmen näherungsweise mit dem in U(5) angeführten Wert **$s_v = 1,6$ überein, der für die Begrenzung der Fundamenterschütterungen gewählt wird.**

Tabelle 14 Sicherheitsabstände beim Sprengen

Lademenge je Zeitstufe kg	rechnerischer Sicherheitsabstand			empfohlener Sicherheits- abstand m
	zu gewerblich ge- nutzten Gebäuden m	zu Wohngebäuden m	zur Einhaltung von $A_0=5$ m	
1	2	3	4	5
50	123	300	318	-
80	143	347	367	350
120	164	393	416	400
160	180	429	454	485
200	193	459	485	560
240	205	485	513	625
280	215	508	537	685
320	225	529	559	740
400	241	565	597	850
580	271	631	667	1045



Messbericht und Gutachten von 2011

Die Erschütterungsfaktoren in der Ortslage wiesen im Normalfall Werte von $k = 1,35$ bis $k = 2,03$ im Extremfall $k = 0,9$ bis $k = 2,03$ auf. Bei der Erschütterungsprognose zur Ermittlung der jeweils zulässigen Lademengen wurde von einem Erschütterungsfaktor $k = 1,5$ und einem Sicherheitsfaktor $s_v = 1,6$ ausgegangen. Die Berechnung berücksichtigt somit Werte ab $1,5/1,6 = \mathbf{0,94} < \mathbf{k} < \mathbf{2,4} = 1,5 \cdot 1,6$, wie sie nach den durchgeführten Kontrollmessungen auftreten können

Es wird empfohlen, die folgende Tabelle 15 für die Anlage der Sprengungen zu verwenden und die Sprengungen in den Zeiten von 7:00 bis 13:00 Uhr und von 15:00 bis 19:00 Uhr durchzuführen.

Bis zu einer

- Annäherung bis 550 m wäre damit eine Lademenge von ca. 320 kg je Zeitstufe, d.h. 2 Bohrlöcher je Zeitstufe möglich,
- Annäherung bis 450 m wäre damit eine Lademenge von ca. 160 kg je Zeitstufe, d.h. 1 Bohrloch je Zeitstufe möglich und
- unter 450 m bis 350 m Annäherung wäre eine Lademenge von 80 kg je Zeitstufe, d.h. eine Teilung der Ladesäule oder ein verändertes Bohrraster erforderlich

Tabelle 15 Empfohlene Abstands-Mengen-Tabelle für Wohngebäude in Zaunröden

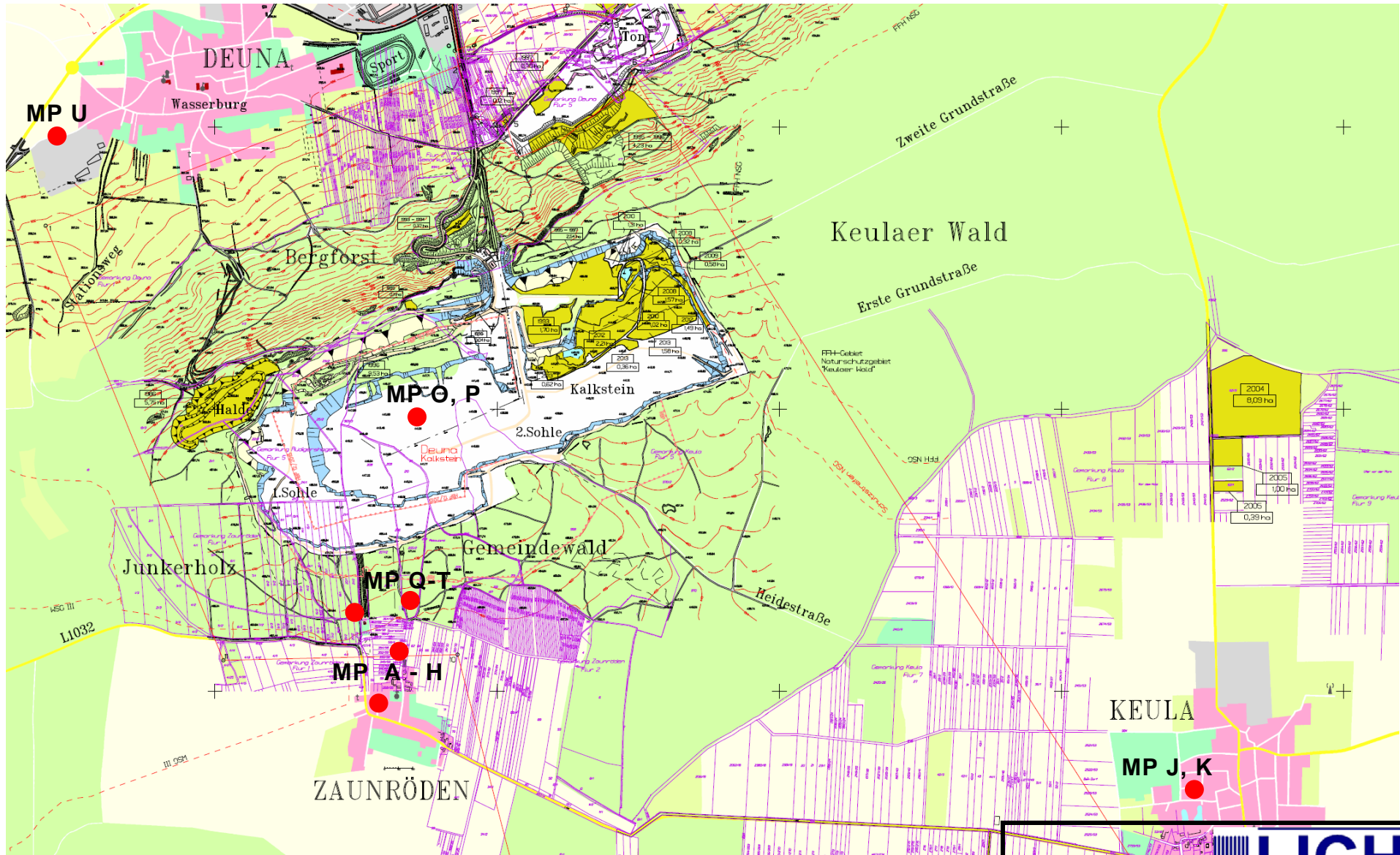
R	L	v_{\max} -Fundament	v_{\max} -Obergeschoss	$KB_{F_{\max}}$
M	kg	mm/s	mm/s	
350	80	4,93	12,01	6,41
450	160	4,62	11,26	6,01
550	320	4,68	11,41	6,09

Untersuchungsbericht von 2015

Die Messungen in Zaunröden ergaben Erschütterungsfaktoren für die Sprengungen mit der Auswurfriechung entgegengesetzt vom Ortsteil Zaunröden von $0,86 < k < 2,74$ mit einem Mittelwert von $k = 1,23$. Bei den anderen Auswurfriechungen lagen die Erschütterungsfaktoren im Bereich $0,38 < k < 2,14$ mit einem Mittelwert von $k = 0,82$.

Die Bereiche der k-Werte wiesen mit Abweichungen bei allen Messungen die gleiche Größenordnung zwischen $k_{\min} < 1$ und $k_{\max} \approx 3$ auf. Die mittleren Erschütterungsfaktoren waren bei den gegenüber den früheren Messungen umfangreicheren Untersuchungen 2015 kleiner. Diese Aussage gilt auch für die ungünstige Anordnung der Sprengriechung entgegengesetzt zur Ortslage.





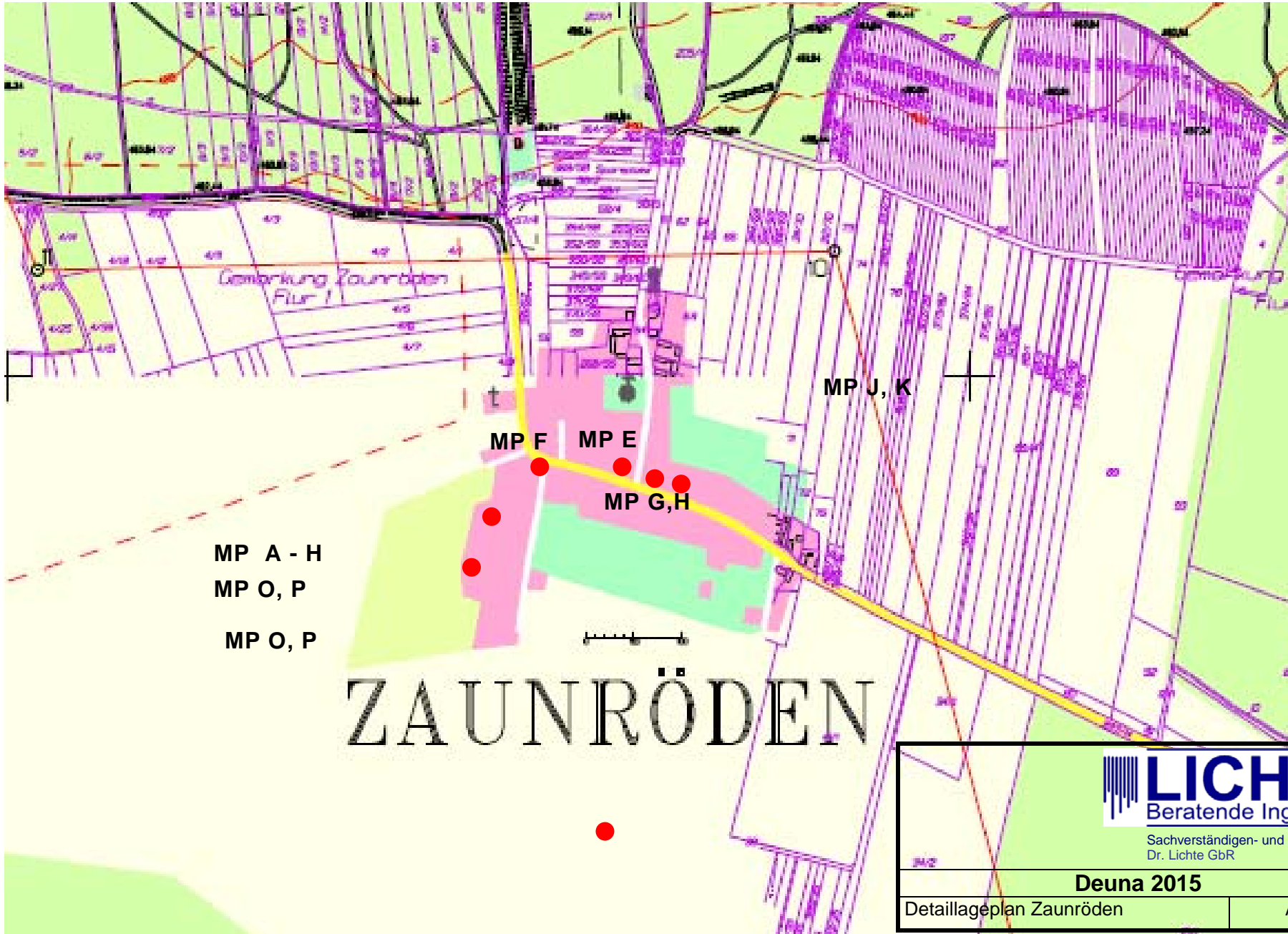
LICHTÉ
Beratende Ingenieure

Sachverständigen- und Ingenieurbüro
Dr. Lichte GbR

Deuna 2015

Übersichtslageplan

Anlage 1



MP A - H
 MP O, P
 MP O, P

ZAUNRÖDEN

LICHTÉ
 Beratende Ingenieure

Sachverständigen- und Ingenieurbüro
 Dr. Lichte GbR

Deuna 2015

Detaillageplan Zaunröden

Anlage 1a