



Kalksteinbergbau „Am Pfaffenberg“ Vorhersagbarkeit der Sprengerschütterungen

Einleitung:

In einer, an die BH Bruck a. d. Leitha gerichteten Anzeige zur Anpassung der Sprengparameter im Rahmenbetriebsplan für den Kalksteinbergbau „Am Pfaffenberg“, 28. April 2020, wurde von der Betriebsleitung über Messungen und eine daraus abgeleitete Prognose der Erschütterungen berichtet. Die damals gewonnenen Erkenntnisse bilden bis heute den Rahmen für die Dimensionierung der Sprengschemata, insbesondere der Lademengen. Seit Anfang 2022 wurden im Umfeld des Steinbruchs drei sogenannte MacroSeismic Sensoren (MSS) installiert, welche kontinuierlich seismische Daten über die Sprengerschütterungen liefern (<https://www.macroseismicensor.at/>). Erschütterungsmessungen mit einem der ÖNORM_S_9020 entsprechenden Gerät werden regelmäßig vom Steinbruchbetrieb vorgenommen und deren Ergebnisse auf der Homepage (https://www.rohrdorfer.at/3330_DE) veröffentlicht.

Im vorliegenden Bericht analysieren wir, welche Informationen aus der kombinierten Auswertung der Daten der vier Messstationen über die Erschütterungen im gesamten Umfeld des Kalksteinbergbaus „Am Pfaffenberg“ gewonnen werden können. Wir präsentieren eine, auf den Grundlagen der Seismologie und empirischen Zusammenhängen basierende Methode zur Modellierung der Sprengerschütterungen. Abschließend stellen wir die aktuellen Messdaten den Prognosen mit der hier vorgestellten Methode und mit der, in der Anzeige vom 28. April 2020 verwendeten Formel gegenüber.

Stationsnetz und Daten:

Angaben zum Stationsnetz finden sich in Tabelle 1. Die MacroSeismic Sensoren (MSS) werden grundsätzlich an tragenden Mauern (Station DABU), wenn möglich im Keller montiert (Stationen HAHN und HAMG). Die Messungen im Steinbruchgelände (HOLL) werden von der Betriebsleitung regelmäßig vorgenommen. Die Aufstellung erfolgt temporär anlässlich der Sprengungen. Das verwendete Messgerät „Instantel Micromate“ entspricht den nach ÖNORM_S_9020 geforderten Spezifikationen. Inwieweit die Daten der MSS der ÖNORM_S_9020, bzw. den Daten des Instantel Messgerätes entsprechen, analysieren wir im Bericht 2023-06-20a „Seismische Daten von Gewinnungssprengungen - Instantel und MacroSeismic Sensor“.

Der vorliegende Beitrag gründet auf den spreng-technischen und seismischen Daten von 18 im Kalksteinbergbau „Am Pfaffenberg“ im Zeitraum von 2023-03-03 bis 2023-05-23 abgetanen Sprengungen. Sämtliche, in diesem Beitrag verwendeten Daten finden sich in Tabelle 2.

Tabelle 1: Angaben zum Stationsnetz

Name	Länge [°]	Breite [°]	Messgerät	Montage bzw. Aufstellung
DABU	16.9076	48.1332	MSS	Bad Deutsch-Altenburg, Volksschule fixiert an tragender Mauer, 1. Stock
HAHN	16.9100	48.1344	MSS	Bad Deutsch-Altenburg, Villa Hahn, fixiert an tragender Mauer, Keller
HOLL	16.9136	48.1353	Instantel MicroMate	Steinbruchgelände, freie Oberfläche temporär auf Betonplatte aufgestellt
HAMG	16.9239	48.1377	MSS	Pfaffenbergsiedlung, Hubertusgasse 14, fixiert an tragender Mauer, Keller

Tabelle 2: Datensatz zu den Sprengungen von 2023-03-03 bis 2023-05-23; SPRIlat und SPRIlong ...Koordinaten der Sprengungen; Lmax ...maximale Lademenge / Zündstufe; VR2_dabu, VR2_hahn, VR2_hamg ...resultierende, horizontale Schwinggeschwindigkeit berechnet aus den Daten der MSS an den Stationen DABU, HAHN und HAMG in [mm/s]; VR3_holl ...resultierende Schwinggeschwindigkeit aus den drei Komponenten des Instantel_Gerätes [mm/s].

Datum	SPRIlat [°]	SPRIlong [°]	Lmax [kg]	VR2_dabu	VR2_hahn	VR3_holl	VR2_hamg
2023-03-03	48,1323	16,9217	86,3	0,156	0,135	0,542	0,787
2023-03-13	48,1324	16,9219	41,2	0,098	0,070	0,383	0,718
2023-03-15	48,1303	16,9251	43,9	0,199	0,144	0,322	1,267
2023-03-22	48,1303	16,9253	51,2	0,117	0,090	0,301	0,484
2023-03-24	48,1324	16,9216	95,0	0,137	0,119	0,753	1,017
2023-03-29	48,1305	16,9254	49,5	0,198	0,108	0,262	0,749
2023-04-04	48,1325	16,9216	119,5	0,178	0,256	1,764	1,036
2023-04-11	48,1329	16,9215	110,0	0,212	0,171	0,882	1,116
2023-04-13	48,1324	16,9239	62,5	0,218	0,205	0,575	0,890
2023-04-19	48,1321	16,9242	48,7	0,124	0,134	0,457	1,069
2023-04-21	48,1326	16,9174	113,5	1,147	0,782	3,172	0,638
2023-04-25	48,1320	16,9243	68,6	0,247	0,140	0,455	1,037
2023-04-27	48,1316	16,9242	64,9	0,154	0,094	0,306	0,636
2023-04-28	48,1303	16,9253	36,3	0,182	0,106	0,319	1,174
2023-05-10	48,1342	16,9216	27,0	0,054	0,069	0,432	0,541
2023-05-11	48,1350	16,9195	25,2	0,215	0,131	0,452	0,449
2023-05-16	48,1343	16,9220	38,5	0,275	0,273	0,549	2,526
2023-05-23	48,1343	16,9220	35,6	0,081	0,092	0,322	0,904

Abbildung 1 zeigt einen Lageplan der Messstationen und der analysierten Sprengungen.

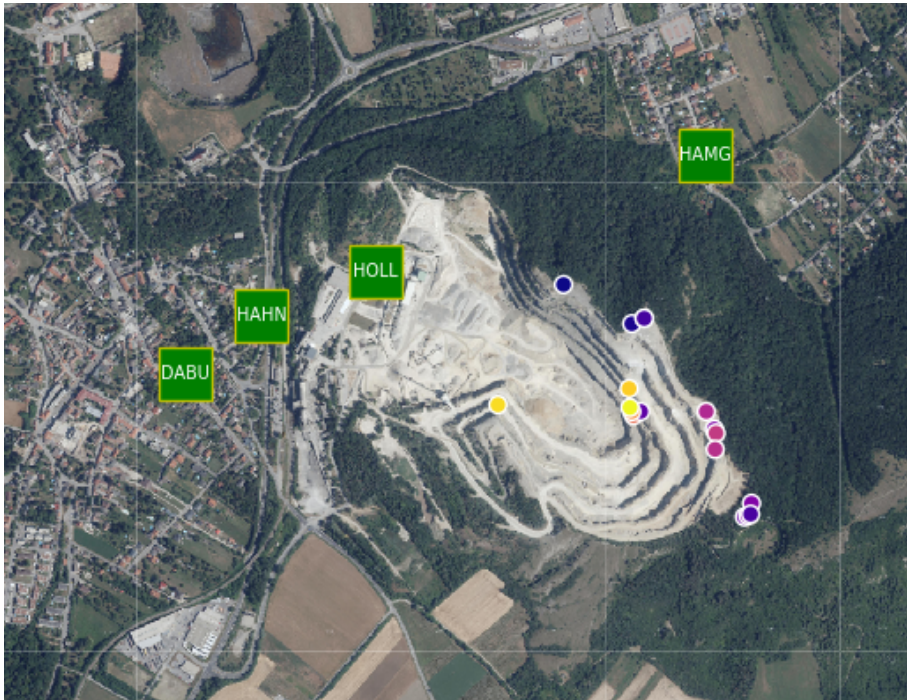


Abb. 1: Lageplan der Messstationen DABU, HAHN, HOLL, HAMG und der analysierten Sprengungen; die maximale Lademenge / Zündstufe reicht von 25 – 120 kg und ist durch einen Farbcode von blau – gelb gekennzeichnet.

Modellierung von Sprengerschütterungen

Die Grundlage für die Modellierung und damit auch Prognose von Erschütterungen, verursacht von seismischen Wellen ausgehend von einem Quellpunkt bildet ein Zusammenhang zwischen der an einem Ort gemessenen Bodenbewegung (in unserem Fall der resultierenden Schwinggeschwindigkeit VR [mm/s]) und der in der Entfernung D [m] gelegenen Quelle mit der Quellstärke Q_0 . Ein einfacher, isotroper und häufig in der Geophysik angewandter Zusammenhang ist Gl (1).

$$VR = Q_0 * D^{\text{exp}} \quad (1)$$

Wir treffen die Konvention, dass die Entfernung D als Zahlenwert in Meter eingegeben wird. Q_0 hat dann die gleiche Einheit wie VR (z.B. mm/s). Die in der Seismologie übliche Angabe der Magnitude entspricht $\text{LOG}_{10}(Q_0)$ plus einer Konstanten. Der Exponent exp ist für Raumwellen in einem ideal elastischen Medium $\text{exp} = -1$. Für Oberflächenwellen wird $\text{exp} = -1.66$ eingesetzt und auch bei der Berechnung der Magnitude von Lokalbeben verwendet der Österreichische Erdbebendienst diesen Wert. Mit $\text{exp} = -1.6$ liegt den Formeln (D.1) bis (D.8) in der ÖNORM_S_9020 ein sehr ähnlicher Wert zugrunde. Obwohl für einen lokalen Datensatz $\text{exp} = -1.6$ nicht unbedingt der optimale Wert sein muss, verwenden wir diesen im weiteren.

Wenn VR und D für die betrachteten Sprengungen an den einzelnen Stationen vorliegt, können wir für jede Sprengung und jede Station mittels Gl. (1) einen Wert der Quellstärke ermitteln. Das geometrische Mittel dieser, den einzelnen Stationen zugeordneten Quellstärken einer bestimmten Sprengung entspricht der bestmöglichen Schätzung von Q0.

Da Q0 natürlich immer erst nach der Sprengung berechnet werden kann, benötigen wir einen Zusammenhang von Q0 mit einer Größe, die schon vor der Sprengung bekannt ist. Weltweit wird für diese Größe Lmax, die maximale Lademenge pro Zündstufe verwendet.

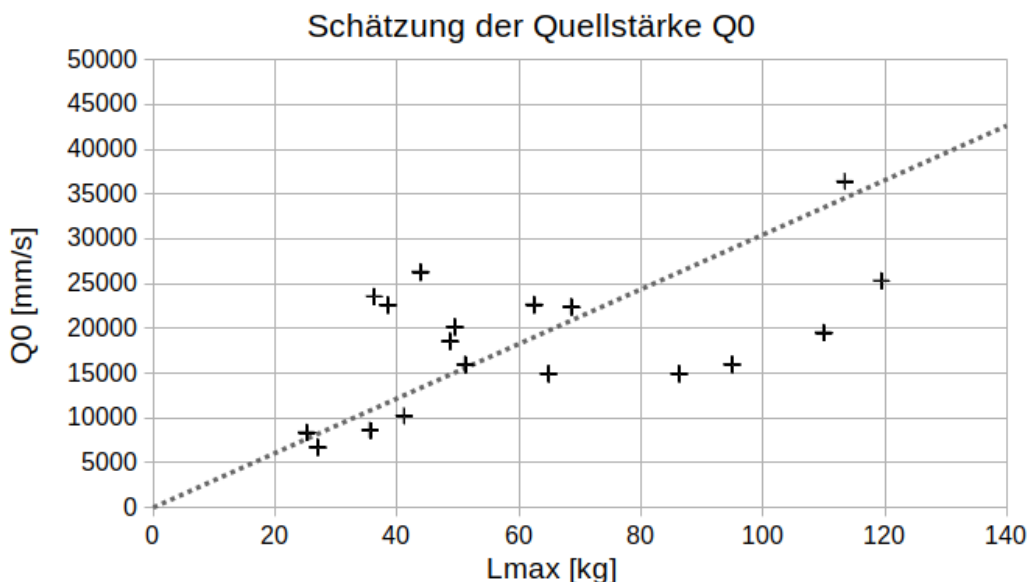


Abb. 2:

Zusammenhang von Q0 mit Lmax (maximale Lademenge / Zündstufe) für den betrachteten Datensatz; die Steigung der Geraden $Q0 = 304.6 * Lmax$ entspricht dem geometrischen Mittel von $Q0/Lmax$ der 18 einzelnen Werte.

In die Gleichungen (D.1) bis (D.8) der ÖNORM_S_9020 geht die maximale Lademenge pro Zündstufe Lmax linear ein. Wir beschreiben daher die Quellstärke Q0 durch einen linearen Zusammenhang mit Lmax. Für die Modellierung und Prognose der resultierenden Schwinggeschwindigkeiten VR gelangen wir daher für den vorliegenden Datensatz zu der folgenden Gleichung:

$$VR = 304.6 * Lmax * D^{-1.6} \quad (2)$$

Aus Gleichung (2) folgt VR in mm/s, wenn Lmax in kg und D in m eingegeben werden. Im Bericht 2023-03-20a „Seismische Daten von Gewinnungssprengungen - InstanTel und MacroSeismic Sensor“ wird gezeigt, dass die systematische Differenz zwischen VR2 (aus den Horizontal-komponenten eines MSS ermittelte, resultierende Schwinggeschwindigkeit) und VR3 (resultierende Schwinggeschwindigkeit aus allen drei Komponenten eines der ÖNORM_S_9020 entsprechenden Gerätes, hier InstanTel MicroMate) durch Multiplikation von VR2 mit dem Faktor 1.15 in sehr guter Näherung ausgeglichen werden kann. Im weiteren verwenden wir die korrigierten Werte. Für die Konstante C = 304.6 in Gl(2) wäre nach den Gleichungen (D.2) und (D.6) in der ÖNORM_S_9020 bei homogenen geologischen Verhältnissen am Messort C = 237.5, bei inhomogenen Verhältnissen C = 450 einzugeben.

Prognose

Abbildung 3 zeigt das Verhältnis von VR_Messung zu VR_Prognose, berechnet mit Gl. (2) und den Daten aus Tabelle 2, getrennt für die Stationen DABU, HAHN, HOLL und HAMG. Klar erkennbar weichen diese Verhältnisse für die einzelnen Stationen systematisch von 1 ab. Die Faktoren betragen:

DABU: 0.89, HAHN: 0.57, HOLL: 1.18, HAMG: 1.68.

Diese Faktoren spiegeln möglicherweise einen räumlichen Trend wider, der einer Zunahme der Empfindlichkeit gegenüber seismischen Wellen von Bad Deutsch-Altenburg (Stationen DABU und HAHN) über den Bereich des Steinbruchs hin (HOLL) bis zur Pfaffenberg Siedlung (HAMG) entspricht. Eine anisotrope, räumliche Abstrahlcharakteristik der Sprengungerschütterungen könnte auch eine Rolle spielen.

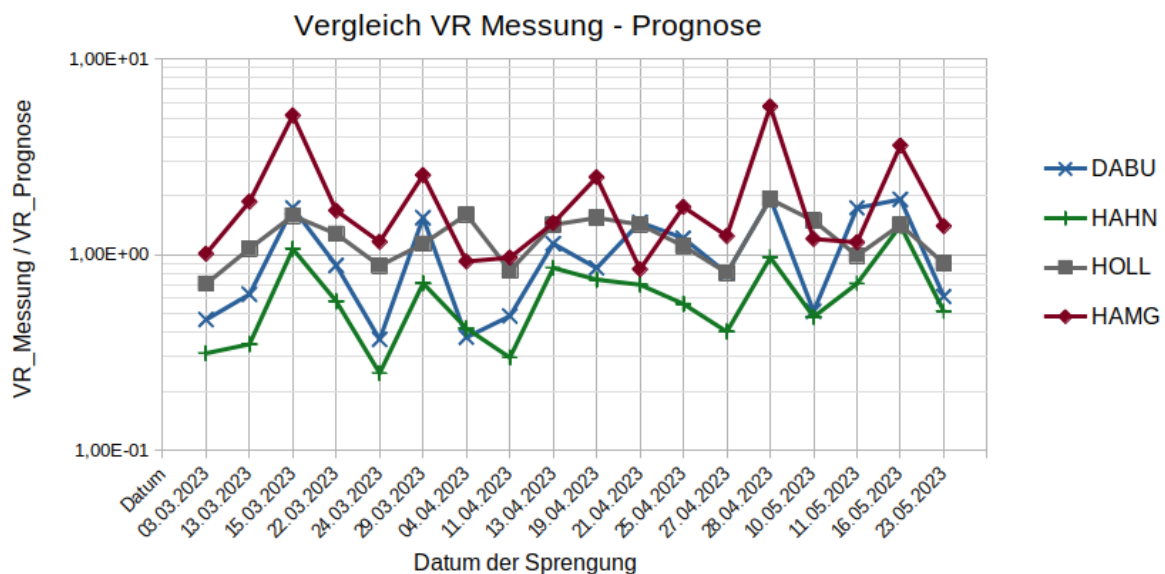


Abbildung 3: Verhältnis von VR_Messung zu VR_Prognose, jeweils für die Messstationen DABU, HAHN, HOLL und HAMG

Die Pfaffenberg Siedlung erscheint hinsichtlich Sprengerschütterungen als der sensibelste Bereich. Diesem Umstand wurde offensichtlich bereits bei den, in der Einleitung angesprochenen Messungen im Jahre 2020 Rechnung getragen und die lokale Konstante ($k = 214$) in der Prognoseformel nach Lüdelling & Hinzen bestimmt. In Abbildung 4 stellen wir für die Station HAMG den Messwert für VR den Prognosewerten entsprechend Gl. (2) und nach Lüdelling&Hinzen mit $k = 214$ gegenüber.

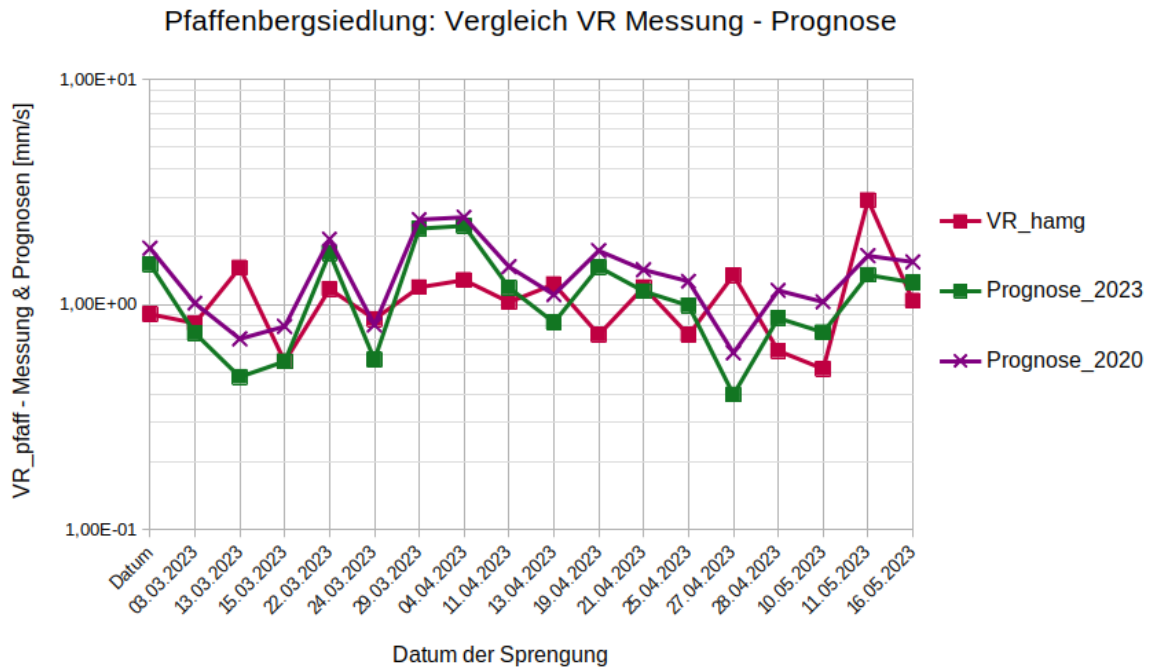


Abbildung 4: Gemessene und mit Faktor 1.15 korrigierte VR an Station HAMG (VR_hamg), prognostizierte VR nach Gl.(2) (Prognose_2023) und Lüdeling&Hinzen (Prognose_2020).

Die geometrischen Mittel von VR_hamg und der Prognose_2023 nach Gl.(2) sind identisch, die Prognose_2020 liegt durchschnittlich um 28% über VR_hamg. Wir halten diese Abweichung für sehr gering, besonders in Anbetracht der unterschiedlichen Messstellen und der im Jahr 2020 durchschnittlich doppelt so hohen Lademengen wie 2023. Vereinzelt liegt VR_hamg etwa um den Faktor 2 über den Prognosen (z.B. Sprengung 11.05.2023). Dies könnte an einer Überlagerung zweier Zündstufen, die nicht exakt der geplanten Zündverzögerung folgen, liegen.

ANMERKUNG: Bei Annäherung an die Pfaffenberg Siedlung auf 200 m und $L_{max} = 37.5\text{kg}$ (Anzeige 2020) folgt aus Gl.(2) und dem Faktor 1.68 für die MSS-Station HAMG: $VR = 3.99\text{ mm/s}$.

Danksagung:

Die Autoren bedanken sich bei der Betriebsleitung des Kalksteinbergbaus „Am Pfaffenberg“ für die Bereitstellung wesentlicher Daten zu den Sprengungen (Lage, Höhe, L_{max}) und den Partnern des MacroSeismic Sensor Projekts an den Stationen BADU (Volksschule Bad Deutsch-Altenburg), HAHN (Villa Hahn, Bad Deutsch-Altenburg) und HAMG (Hubertusgasse 14, Hainburg a.d. Donau) für die Unterstützung bei Aufbau und Wartung der MacroSeismic Sensoren in ihrem Gebäude. Der Betrieb des gesamten MacroSeismic Sensor Netzes wird von GeoSphere Austria, der BauMit GmbH und der Stadtgemeinde Hainburg an der Donau finanziell unterstützt.

Email Erstautor:

Ewald.Brueckl@geo.tuwien.ac.at