

STEFAN MERTL
EWALD BRÜCKL
PETER CARNIEL



Bericht 202303-01

MSS JAHRESBERICHT 2022

MERTL RESEARCH GMBH





Unterstützt von:



Copyright ©2023 Stefan Mertl¹, Ewald Brückl², Peter Carniel³

¹ Mertl Research GmbH

² TU-Wien

³ privat

VERÖFFENTLICHT VON MERTL RESEARCH GMBH
KIENMAYERGASSE 22, 1140 WIEN, FB-NR.: 378631 K

<http://www.mertl-research.at>

Version 1 veröffentlicht am 2023-03-29.

Inhaltsverzeichnis

TEIL I EREIGNISSE UND DATENAUSWERTUNG

<i>Einleitung</i>	7
<i>Ereignisse 2022</i>	9
<i>Datenauswertung</i>	25

TEIL II AKTIVITÄTEN

<i>Homepage Erweiterung</i>	39
<i>Fertigstellung der MSS-2</i>	43
<i>Veröffentlichung</i>	45
<i>Literaturverzeichnis</i>	47

Teil I

Ereignisse und Datenauswertung

Einleitung

Dieser Bericht stellt einen Überblick über die im Jahr 2022 mit dem Macro seismic-Sensor (MSS) Netzwerk registrierten seismischen Ereignisse sowie die für die Auswertung verwendeten Methoden dar. Des Weiteren werden Aktivitäten, die mit Bezug zum MSS Netzwerk stattfanden kurz beschrieben.

Das MSS Netzwerk ist ein gemeinschaftliches seismisches Netzwerk und kann vor allem durch die Unterstützung zahlreicher Personen und Institutionen auf einen erfolgreichen Betrieb seit 2018 zurückblicken. Wir möchten allen danken, die sich tatkräftig am Betrieb und an den Aktivitäten rund um das MSS Netzwerk beteiligen und beteiligt haben.

Ein besonderes Dankeschön geht an die Personen, die uns die Infrastruktur der einzelnen MSS Stationen zu Verfügung stellen und an Karl Filz, Martin Krieger und Gerald Stickler von der HTL Wiener Neustadt für die tolle Kooperation im Rahmen des Lehrbetriebs; an Walter Rafeiner-Magor vom TGM Wien für die engagierte Durchführung von Projektarbeiten; an Rita Meurers von Geosphere Austria für die Unterstützung bei der Auswertung der Erdbebenmeldung; an Roland Hochwartner und Stefan Zöhling von der Baumit GmbH für die Kooperation im Rahmen der Untersuchung der Sprengereignisse im Steinbruch Dürnbach; an die Landesregierung Niederösterreich und die Landeswarnzentrale Niederösterreich für die Unterstützung beim Ausbau des MSS Netzwerks auf die aktuelle Größe im Jahr 2019.

Des Weiteren danken wir auch unseren finanziellen Unterstützer*innen im Jahr 2022: Geosphere Austria, Baumit GmbH und Stadtgemeinde Hainburg. Durch diese Unterstützung wird ein erfolgreicher und langfristiger Betrieb erleichtert.

Ereignisse 2022

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Ereignisse, die mit dem MSS Netzwerk im Jahr 2022 registriert und einer bestimmten Ereignisklasse zugewiesen wurden. Es werden drei Ereignisklassen beschrieben: Erdbeben, Sprengungen Steinbruch Dürnbach und Sprengungen Steinbruch Pfaffenberg. Bei den Erdbeben werden jene Erdbeben beschrieben, deren Epizentren sich innerhalb des Messbereichs des MSS Netzwerks befanden und deren PGV groß genug war, um von Menschen wahrgenommen werden zu können⁴.

Erdbeben

Im Jahr 2022 wurden 16 potentiell fühlbare Erdbeben innerhalb des Bereichs des MSS Netzwerks registriert. Abbildung 1 zeigt die automatisch berechneten Epizentren der Ereignisse sowie die MSS-Magnitude (MSS_M) der Ereignisse. In Abbildung 3 und 2 sind die berechneten Magnituden der Ereignisse im Vergleich mit den von Geosphere Austria bestimmten Magnituden dargestellt. Der für die MSS Magnituden dargestellte Streubereich entspricht dem Interquartilabstand der Stationsmagnituden⁵. Die in den beiden Abbildungen dargestellte Magnitude wurde mit dem automatisch berechneten Epizentrum sowie der Berechnungsmethode mit Noise- und Ausreißer Maskierung bestimmt.

In Tabelle 1 sind die Kenngrößen der Ereignisse aufgelistet. Kontourplots der interpolierten PGV Werte der einzelnen Erdbeben, die gemessenen PGV Werte an den Stationen sowie die Epizentren der Ereignisse sind in den Abbildungen 4 bis 17 kartographisch abgebildet. In jeder Abbildung werden zwei Epizentren dargestellt, das automatisch, mit den MSS Daten berechnete (schwarzer Stern) und das von Geosphere Austria bestimmte (graues Kreuz).

⁴ Die Fühlbarkeitschwelle ist derzeit bei einem PGV Wert von 0.1 mm/s festgelegt.

⁵ Details zur Berechnung der Magnitude sowie der Streuung der berechneten Magnituden sind in Abschnitt [Magnitude](#) zu finden.

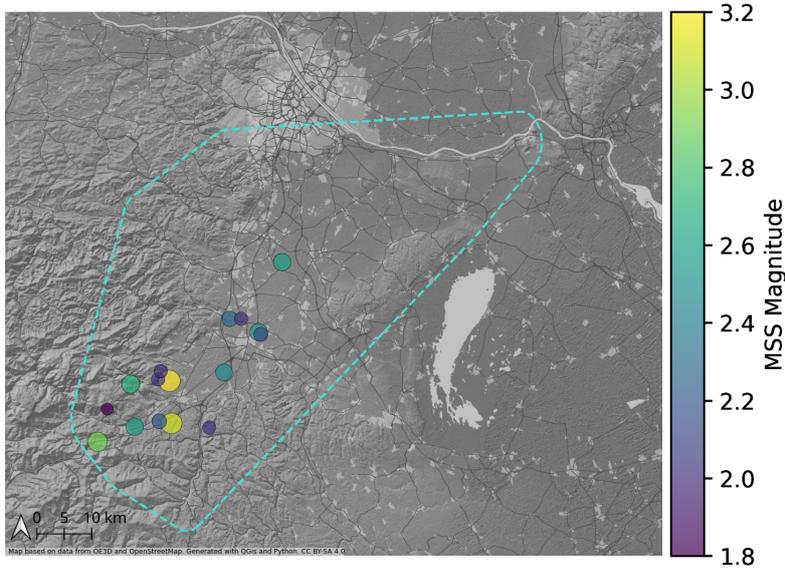


Abbildung 1: Automatisch berechnete Epizentren und MSS Magnituden der Erdbeben.

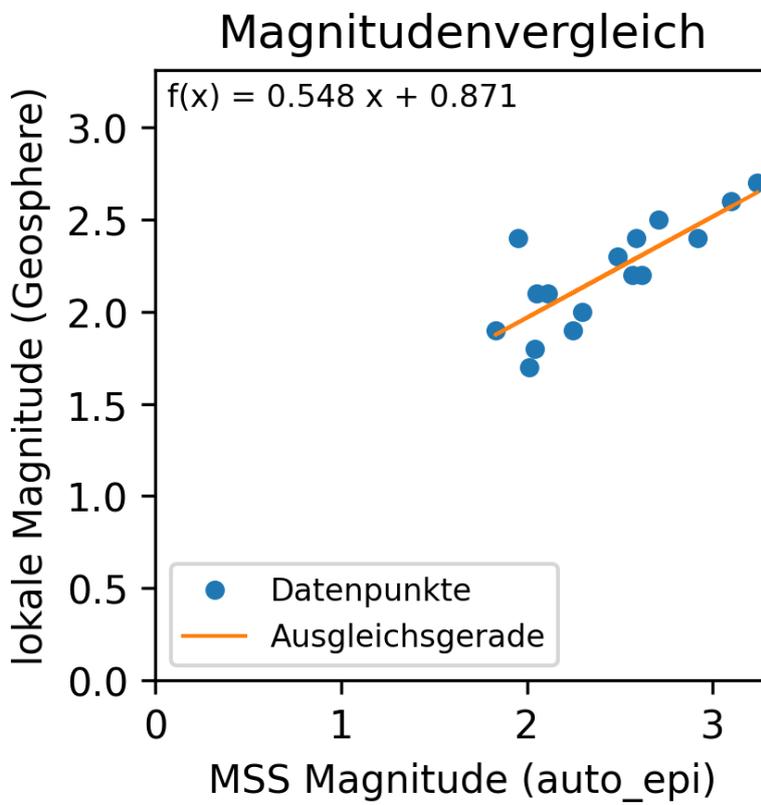


Abbildung 2: Vergleich der MSS Magnitude mit den lokalen Magnituden der Geosphere Austria. Die Ausgleichsgerade wurde mit der Least-Square Methode berechnet.

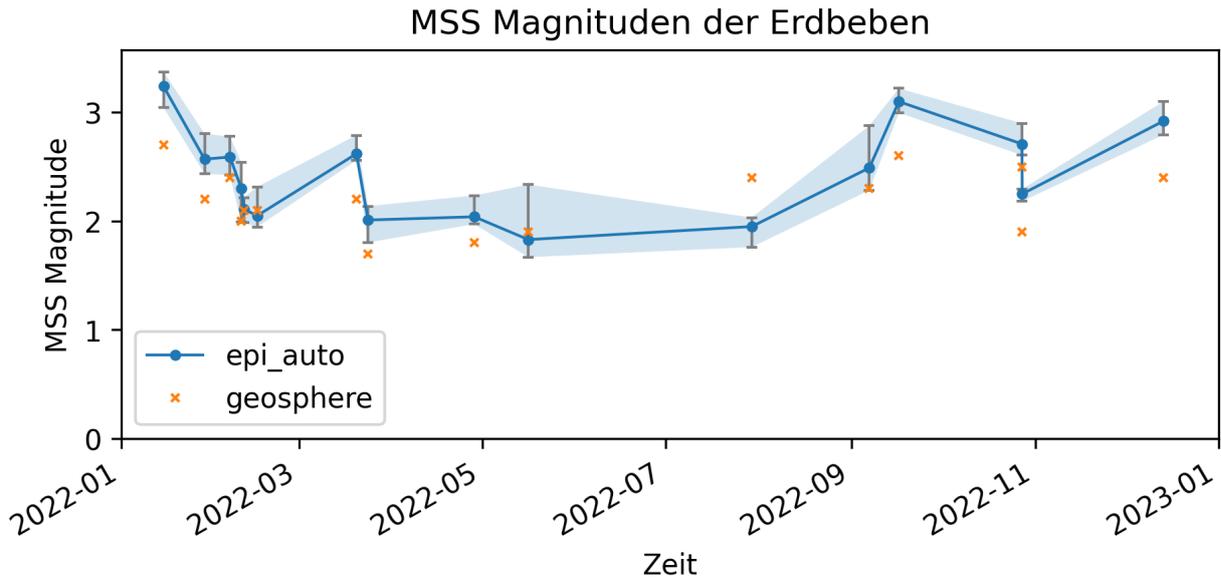


Abbildung 3: MSS Magnitude (epi-auto) der Erdbeben mit Schwankungsbreite und die von Geosphere Austria bestimmten Magnituden (geosphere). Die Schwankungsbreite ist der Interquartilsabstand der Stationsmagnituden.

public ID	Zeit (UTC)	Länge	Breite	PGV	MSS_M	MI
mss_dsrt_2022-01-14T230309500000	2022-01-14 23:03:09	16.053	47.753	0.87	3.2	2.7
mss_dsrt_2022-01-28T144912500000	2022-01-28 14:49:12	15.967	47.678	1.29	2.6	2.2
mss_dsrt_2022-02-06T012522500000	2022-02-06 01:25:22	16.272	47.832	0.27	2.6	2.4
mss_dsrt_2022-02-09T202955500000	2022-02-09 20:29:55	16.202	47.855	0.13	2.3	2.0
mss_dsrt_2022-02-10T172301500000	2022-02-10 17:23:01	16.277	47.828	0.15	2.1	2.1
mss_dsrt_2022-02-15T024814500000	2022-02-15 02:48:14	16.230	47.854	0.16	2.0	2.1
mss_dsrt_2022-03-20T031654500000	2022-03-20 03:16:54	16.332	47.947	0.28	2.6	2.2
mss_dsrt_2022-03-24T001645500000	2022-03-24 00:16:45	16.025	47.756	0.10	2.0	1.7
mss_dsrt_2022-04-28T084805500000	2022-04-28 08:48:05	16.148	47.675	0.07	2.0	1.8
mss_dsrt_2022-05-16T081320500000	2022-05-16 08:13:20	15.901	47.708	0.13	1.8	1.9
mss_dsrt_2022-07-29T162935500000	2022-07-29 16:29:35	16.032	47.770	0.10	2.0	2.4
mss_dsrt_2022-09-06T192036500000	2022-09-06 19:20:36	16.186	47.766	0.19	2.5	2.3
mss_dsrt_2022-09-16T151736500000	2022-09-16 15:17:36	16.057	47.683	0.32	3.1	2.6
mss_dsrt_2022-10-27T142013500000	2022-10-27 14:20:13	15.959	47.749	0.31	2.7	2.5
mss_dsrt_2022-10-27T161840500000	2022-10-27 16:18:40	16.027	47.687	0.06	2.2	1.9
mss_dsrt_2022-12-13T145750500000	2022-12-13 14:57:50	15.876	47.654	0.79	2.9	2.4

Tabelle 1: Die mit dem MSS Netzwerk detektierten potentiell fühlbaren Erdbeben mit der automatisch berechneten MSS Magnitude (MSS_M) und der lokalen Magnitude MI der Geosphere Austria. Die PGV Werte sind in mm/s angegeben.

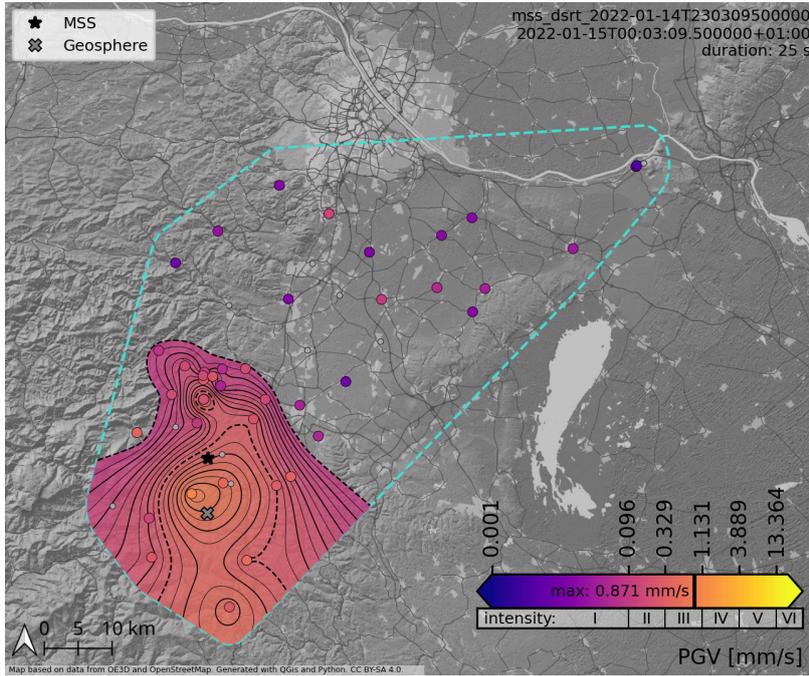


Abbildung 4: mss_dsrt_2022-01-14T230309500000

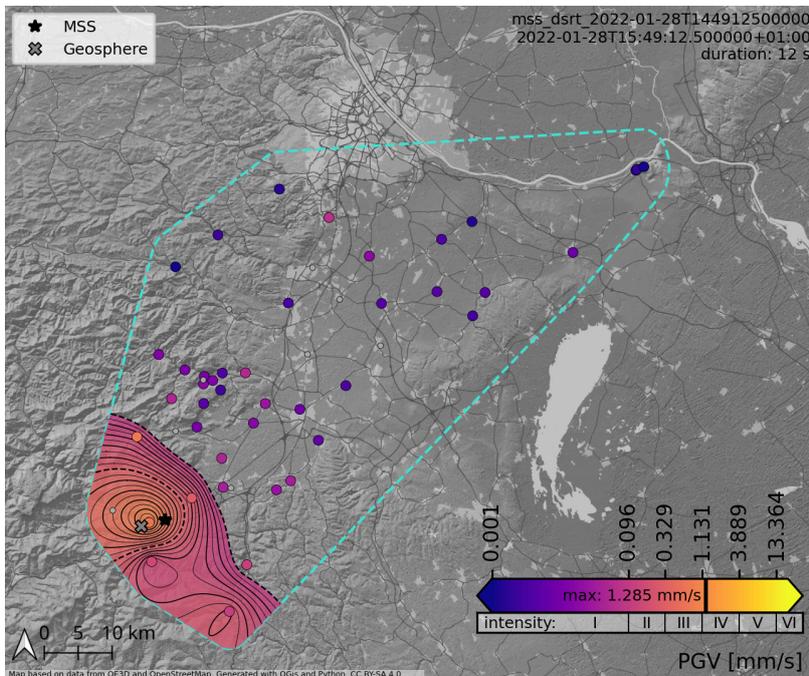


Abbildung 5: mss_dsrt_2022-01-28T144912500000

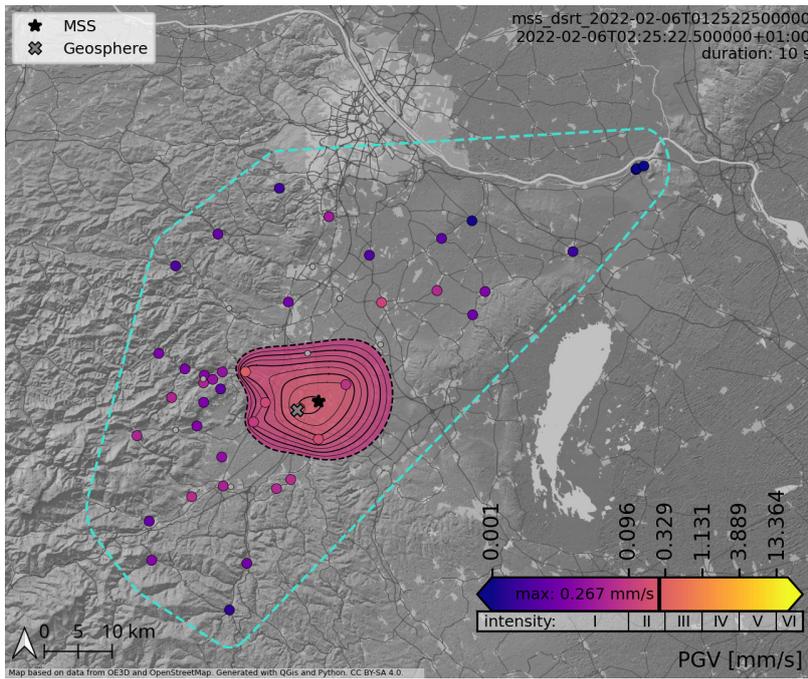


Abbildung 6: mss_dsrt_2022-02-06T012522500000

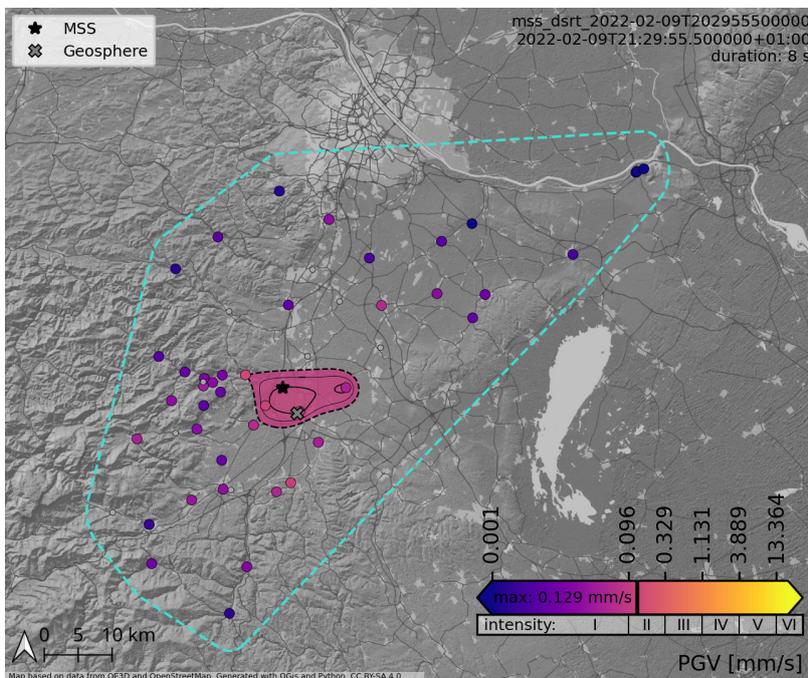


Abbildung 7: mss_dsrt_2022-02-09T202955500000

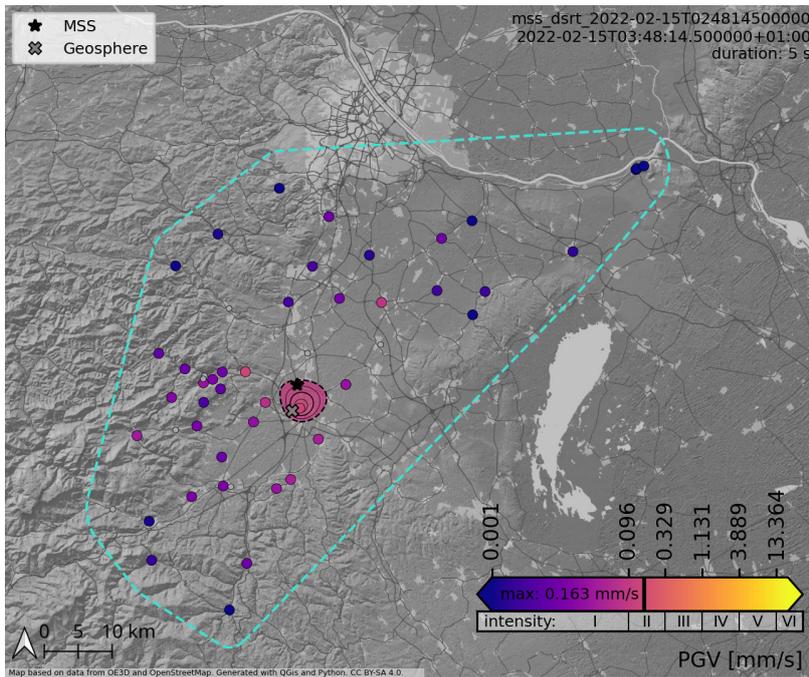


Abbildung 8: mss_dsrt_2022-02-15T024814500000

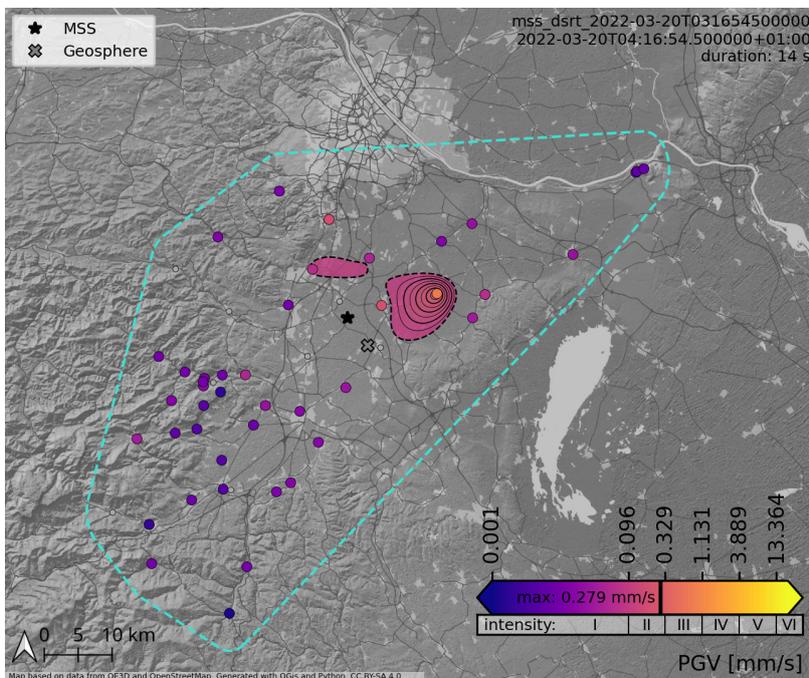


Abbildung 9: mss_dsrt_2022-03-20T031654500000

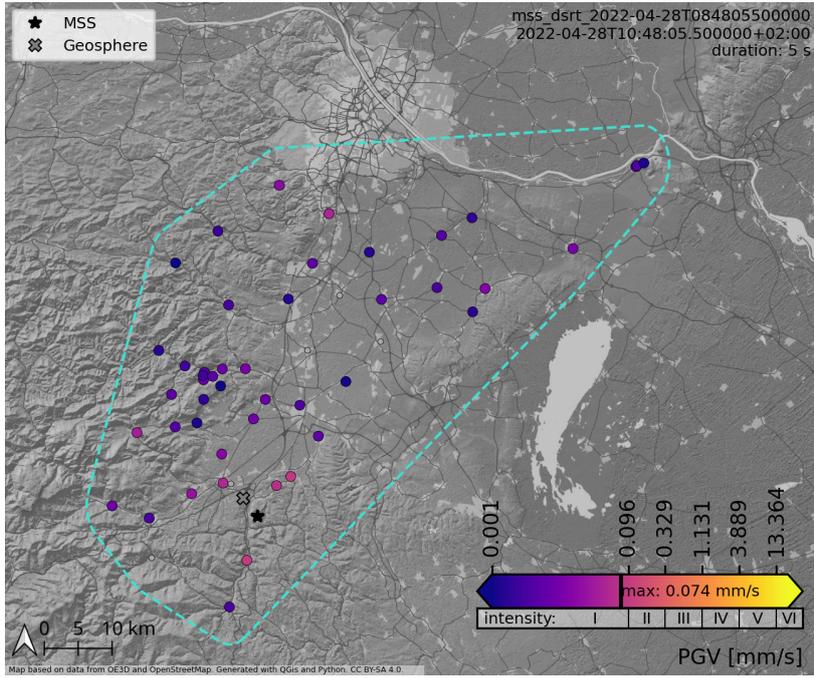


Abbildung 10: mss_dsrt_2022-04-28T084805500000

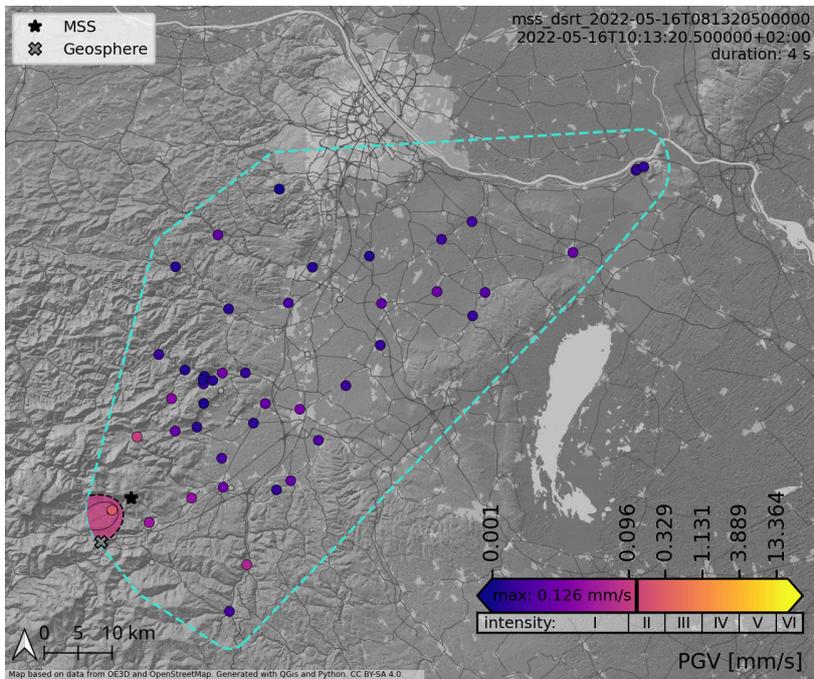


Abbildung 11: mss_dsrt_2022-05-16T081320500000

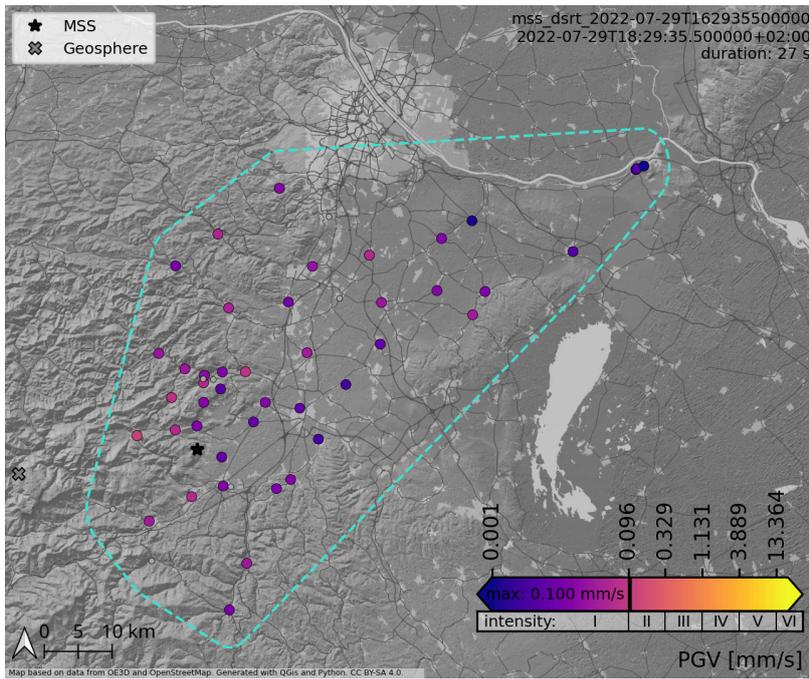


Abbildung 12: mss_dsrt_2022-07-29T162935500000

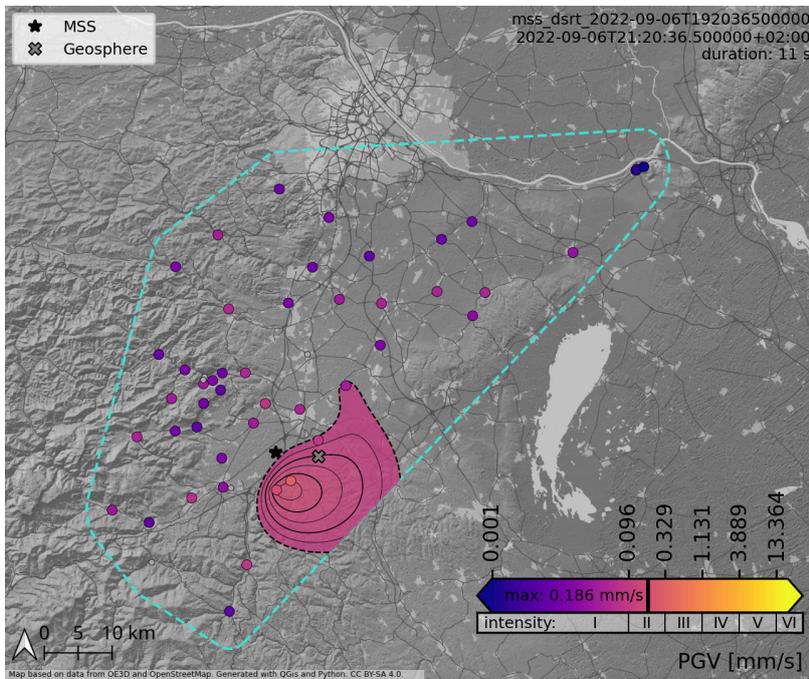


Abbildung 13: mss_dsrt_2022-09-06T192036500000

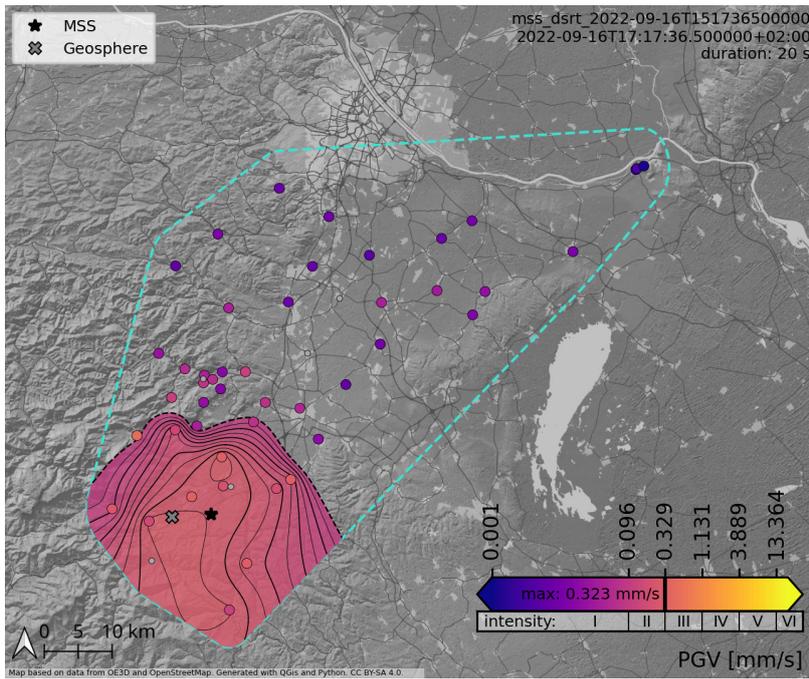


Abbildung 14: mss_dsrt_2022-09-16T151736500000

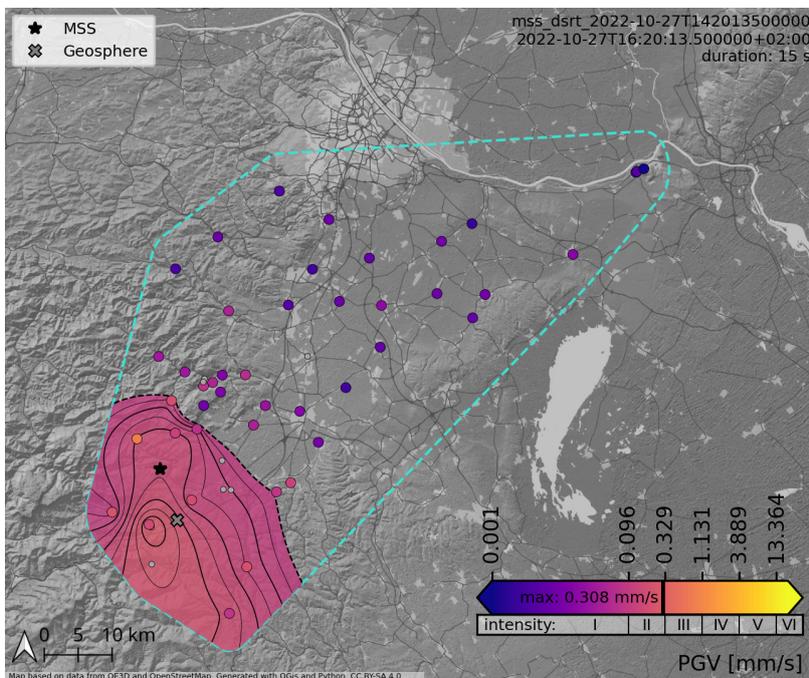


Abbildung 15: mss_dsrt_2022-10-27T142013500000

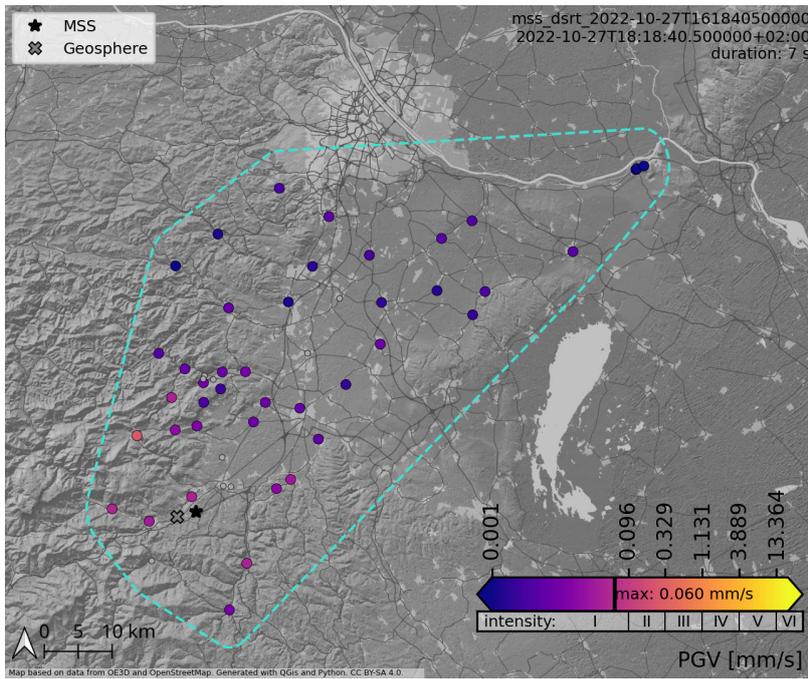


Abbildung 16: mss_dsrt_2022-10-27T161840500000

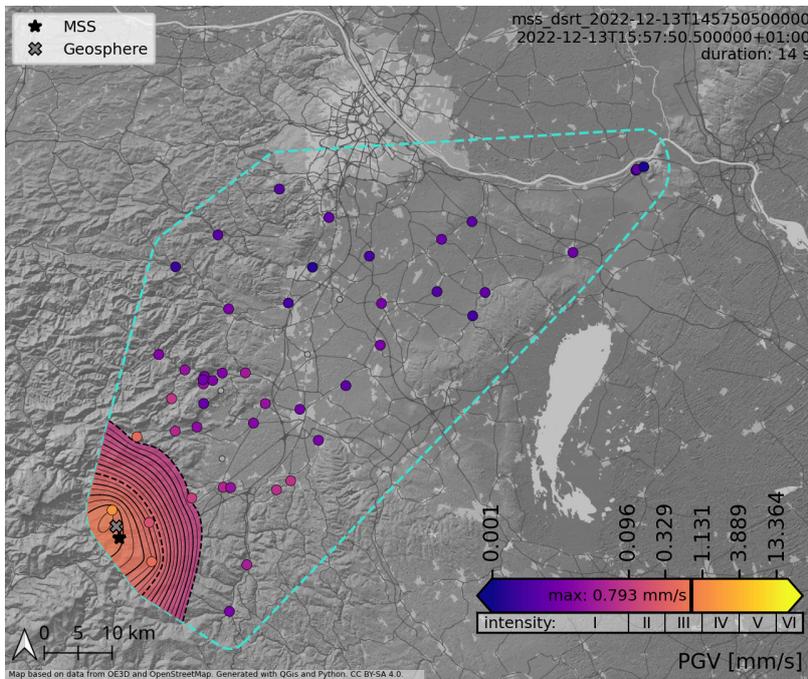


Abbildung 17: mss_dsrt_2022-12-13T145750500000

Sprengungen Steinbruch Dürnbach

Im Jahr 2022 wurden mit dem MSS Netzwerk 76 Sprengungen des Steinbruchs Dürnbach registriert (siehe Tabelle 2). Die an sechs im Nahbereich des Steinbruchs Dürnbach liegenden Stationen gemessenen PGV Werte sind in Abbildung 18 dargestellt. Abbildung 19 zeigt die automatisch berechneten MSS Magnituden der Sprengungen mit dem Interquartilabstand der Stationsmagnituden als Streubereich⁶.

Die MSS Magnituden wurden mit den automatisch bestimmten Epizentren der Sprengungen berechnet. Die Verteilung dieser Epizentren ist in Abbildung 20 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Lage der Epizentren sich recht gut im Bereich des Steinbruchs akkumuliert.

Die Zuordnung der mit dem MSS Netzwerk detektierten Ereignisse zu den in Tabelle 2 angegebenen internen Sprengnummern der Baunit GmbH erfolgte über eine Korrelation der Startzeit der Ereignisse und den von der Baunit GmbH übermittelten Zeitpunkten der Sprengungen. Bei Ereignissen mit keiner zugeordneten Sprengnummer konnte keine eindeutige zeitliche Zuordnung zu einer Sprengung hergestellt werden.

Die in Tabelle 2 angegebenen Koordinaten entsprechen dem automatisch bestimmten Epizentrum. Von der Baunit GmbH werden auch die tatsächlichen, mit GPS eingemessenen Sprengorte bereitgestellt. Die beiden angegebenen MSS Magnituden wurden jeweils für das automatisch bestimmte Epizentrum (*auto*) sowie für die von Baunit bereitgestellten, mit GPS eingemessene tatsächliche Sprengkoordinaten (*gps*) berechnet.

⁶ Details zur Berechnung der Magnitude sowie der Streuung der berechneten Magnituden sind in Abschnitt [Magnitude](#) zu finden.

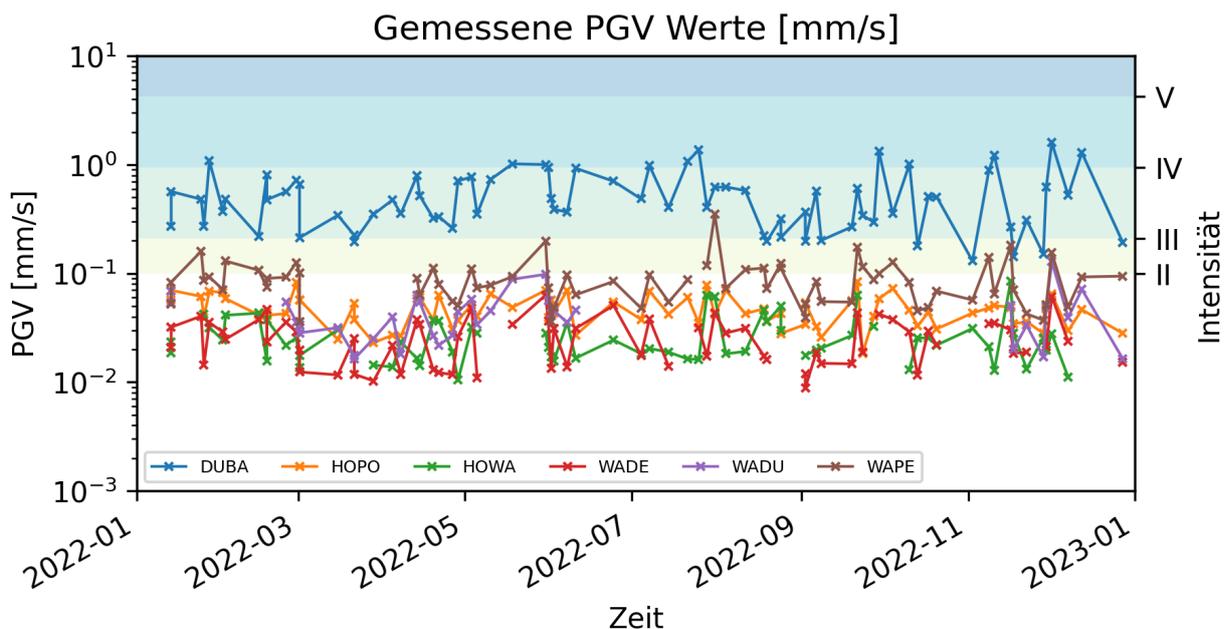


Abbildung 18: Gemessene PGV Werte an Stationen des MSS Netzwerks in der Nähe des Steinbruchs Dürnbach. .

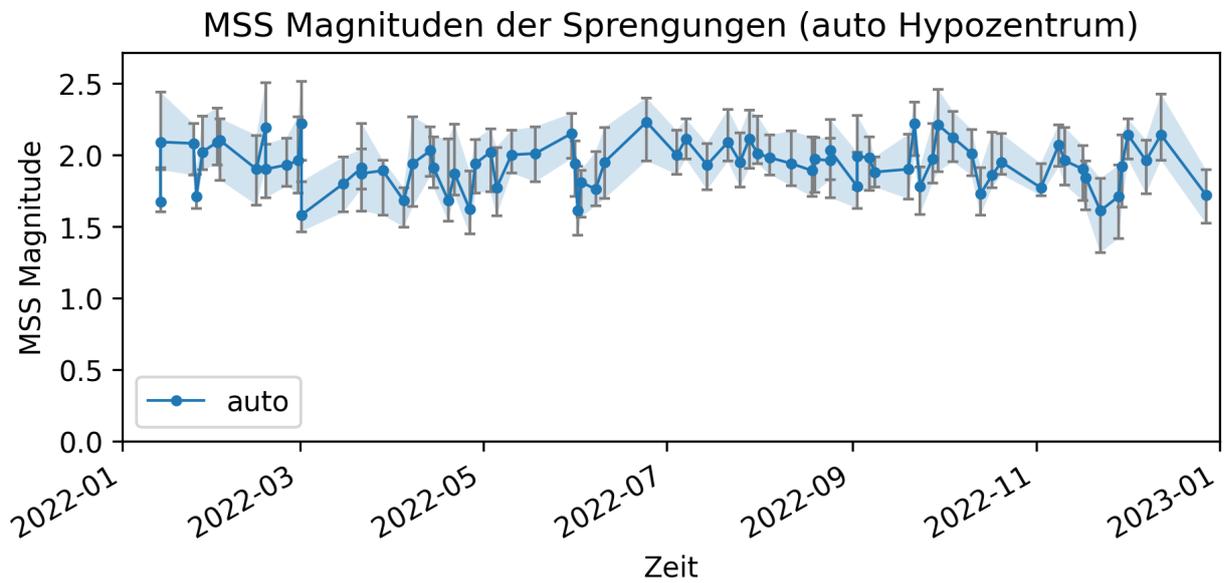


Abbildung 19: MSS Magnitude der Sprengungen im Steinbruch Dürrbach mit Schwankungsbreite. Es ist die MSS Magnitude mit dem automatisch berechneten Epizentrum angegeben. Die Schwankungsbreite ist der Interquartilsabstand der Stationsmagnituden.

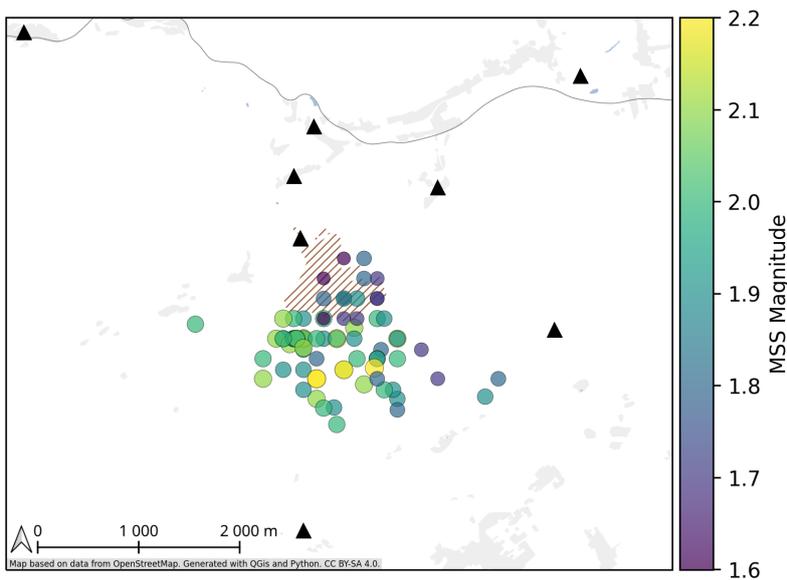


Abbildung 20: Automatisch berechnete Epizentren der Sprengungen im Steinbruch Dürrbach.

Zeit (UTC)	Sprengnummer	Länge	Breite	PGV	auto	gps
2022-01-13 14:15:33	SPR_2022_001	16.051	47.852	0.19	1.7	1.6
2022-01-13 14:19:05	SPR_2022_002	16.054	47.846	0.39	2.1	1.8
2022-01-24 13:44:57	SPR_2022_004	16.053	47.851	0.33	2.1	2.0
2022-01-25 13:45:25	SPR_2022_005	16.053	47.852	0.19	1.7	1.7
2022-01-27 13:39:24	SPR_2022_006	16.045	47.850	0.75	2.0	1.9
2022-02-01 12:44:20	SPR_2022_007	16.048	47.845	0.26	2.1	1.8
2022-02-02 12:23:02	SPR_2022_008	16.051	47.847	0.33	2.1	1.9
2022-02-14 12:48:20	SPR_2022_009	16.053	47.850	0.15	1.9	1.7
2022-02-17 13:55:36	SPR_2022_010	16.050	47.850	0.56	2.2	1.8
2022-02-17 14:02:38	SPR_2022_011	16.058	47.844	0.33	1.9	1.8
2022-02-24 13:02:36	SPR_2022_012	16.046	47.849	0.39	1.9	1.8
2022-02-28 09:19:56	SPR_2022_014	16.049	47.852	0.50	2.0	1.9
2022-03-01 12:13:42	SPR_2022_015	16.048	47.846	0.45	2.2	1.8
2022-03-01 12:23:19	SPR_2022_016	16.049	47.852	0.15	1.6	1.5
2022-03-15 12:22:27	SPR_2022_017	16.056	47.849	0.24	1.8	1.7
2022-03-21 13:16:29	SPR_2022_020	16.050	47.844	0.15	1.9	1.7
2022-03-21 13:18:35		16.070	47.845	0.14	1.9	
2022-03-28 13:58:43	SPR_2022_022	16.046	47.850	0.24	1.9	1.4
2022-04-04 13:48:50	SPR_2022_025	16.062	47.849	0.33	1.7	1.7
2022-04-07 13:43:42	SPR_2022_026	16.058	47.845	0.24	1.9	1.8
2022-04-13 11:07:20	SPR_2022_028	16.043	47.850	0.55	2.0	1.9
2022-04-14 11:16:57	SPR_2022_029	16.049	47.850	0.36	1.9	1.8
2022-04-19 09:52:24	SPR_2022_030	16.056	47.855	0.22	1.7	1.8
2022-04-21 11:26:58	SPR_2022_031	16.046	47.847	0.23	1.9	1.7
2022-04-26 11:51:35	SPR_2022_032	16.051	47.854	0.18	1.6	1.6
2022-04-28 10:58:13		16.043	47.850	0.49	1.9	
2022-05-03 10:58:43	SPR_2022_035	16.046	47.850	0.53	2.0	1.9
2022-05-05 11:02:08		16.054	47.857	0.24	1.8	
2022-05-10 09:22:01	SPR_2022_036	16.048	47.844	0.51	2.0	1.8
2022-05-18 08:26:58		16.041	47.848	0.70	2.0	
2022-05-30 11:34:51	SPR_2022_040	16.046	47.850	0.69	2.2	2.0
2022-05-31 11:29:33	SPR_2022_041	16.046	47.852	0.65	1.9	1.8
2022-06-01 11:02:53	SPR_2022_042	16.049	47.855	0.34	1.6	1.6
2022-06-02 12:22:50	SPR_2022_043	16.049	47.854	0.27	1.8	1.6
2022-06-07 09:48:34	SPR_2022_044	16.054	47.855	0.25	1.8	1.8
2022-06-10 09:55:46	SPR_2022_045	16.046	47.850	0.64	2.0	1.6
2022-06-24 08:17:18	SPR_2022_047	16.048	47.846	0.49	2.2	2.0
2022-07-04 09:24:36	SPR_2022_050	16.032	47.851	0.33	2.0	1.9
2022-07-07 10:49:50	SPR_2022_051	16.042	47.850	0.68	2.1	1.9
2022-07-14 11:47:02	SPR_2022_054	16.043	47.847	0.28	1.9	1.7
2022-07-21 11:15:15	SPR_2022_055	16.044	47.850	0.74	2.1	1.9
2022-07-25 11:10:25	SPR_2022_056	16.045	47.852	0.94	2.0	1.8
2022-07-28 11:43:00	SPR_2022_057	16.058	47.850	0.28	2.1	1.9
2022-07-31 07:19:51		16.056	47.852	0.43	2.0	
2022-08-04 09:33:43	SPR_2022_059	16.045	47.850	0.43	2.0	1.9
2022-08-11 11:47:02	SPR_2022_060	16.045	47.850	0.40	1.9	1.9
2022-08-18 09:13:16	SPR_2022_061	16.058	47.850	0.15	1.9	1.7

Fortsetzung auf nächster Seite...

... Fortsetzung

Zeit (UTC)	Sprengnummer	Länge	Breite	PGV	auto	gps
2022-08-19 09:14:07	SPR_2022_062	16.057	47.845	0.14	2.0	1.6
2022-08-24 11:57:35	SPR_2022_063	16.056	47.848	0.22	2.0	1.9
2022-08-24 12:09:21	SPR_2022_064	16.058	47.848	0.15	2.0	1.7
2022-09-02 09:30:57	SPR_2022_068	16.048	47.848	0.25	1.8	1.6
2022-09-02 09:47:31	SPR_2022_067	16.050	47.842	0.14	2.0	1.6
2022-09-06 09:37:22		16.048	47.850	0.39	2.0	
2022-09-08 06:50:23	SPR_2022_071	16.056	47.848	0.14	1.9	1.4
2022-09-19 12:11:35	SPR_2022_073	16.046	47.845	0.19	1.9	1.7
2022-09-21 11:56:42	SPR_2022_074	16.051	47.847	0.42	2.2	2.1
2022-09-23 08:37:41	SPR_2022_075	16.072	47.846	0.24	1.8	1.8
2022-09-27 11:32:36	SPR_2022_076	16.053	47.848	0.20	2.0	1.8
2022-09-29 08:06:48	SPR_2022_077	16.055	47.847	0.92	2.2	1.8
2022-10-04 09:22:31	SPR_2022_078	16.041	47.846	0.24	2.1	1.8
2022-10-10 11:46:06	SPR_2022_080	16.045	47.850	0.70	2.0	1.8
2022-10-13 12:22:01	SPR_2022_081	16.056	47.854	0.12	1.7	1.6
2022-10-17 09:33:12	SPR_2022_082	16.053	47.854	0.35	1.9	1.8
2022-10-20 11:09:00	SPR_2022_083	16.050	47.850	0.35	2.0	1.8
2022-11-02 13:04:40	SPR_2022_086	16.056	47.846	0.11	1.8	1.5
2022-11-08 12:38:06	SPR_2022_088	16.045	47.850	0.61	2.1	2.0
2022-11-10 12:21:03	SPR_2022_090	16.045	47.850	0.84	2.0	1.7
2022-11-16 12:43:04	SPR_2022_092	16.057	47.852	0.23	1.9	1.8
2022-11-17 12:12:43	SPR_2022_093	16.058	47.843	0.10	1.8	1.5
2022-11-22 08:55:59	SPR_2022_094	16.051	47.857	0.21	1.6	1.6
2022-11-28 10:44:33	SPR_2022_095	16.056	47.854	0.10	1.7	1.5
2022-11-29 12:11:19	SPR_2022_096	16.051	47.854	0.43	1.9	1.9
2022-12-01 13:05:56	SPR_2022_097	16.043	47.852	1.10	2.1	2.0
2022-12-07 12:56:23		16.043	47.850	0.36	2.0	
2022-12-12 12:45:50	SPR_2022_100	16.046	47.849	0.89	2.1	1.8
2022-12-27 12:20:14	SPR_2022_102	16.064	47.846	0.13	1.7	1.6

Tabelle 2: Die mit dem MSS Netzwerk detektierten Sprengungen im Steinbruch Dürnbach. Die Koordinaten des automatisch bestimmten Epizentrums sind angegeben. Die beiden MSS Magnituden auto und gps wurden jeweils für das automatisch bestimmte Epizentrum sowie für die von Baumit bereitgestellten, mit GPS eingemessene tatsächliche Sprengkoordinaten berechnet. Die PGV Werte sind in mm/s angegeben.

Sprengungen Steinbruch Pfaffenberg

Im Jahr 2022 wurden 63 Ereignisse registriert die den Sprengarbeiten im Steinbruch Pfaffenberg zugeordnet wurden. Die an den 3 Stationen im Nahbereich des Steinbruchs Pfaffenberg registrierten PGV Werte sind in Abbildung 21 dargestellt.

Magnituden aus automatisierten Lokalisierungen ergeben eine gute Schätzung. Da jedoch bislang keine durchgehende Kontrolle durch Magnituden, berechnet mit Koordinaten der Sprengungen möglich war, wird auf die Darstellung der Magnituden im vorliegenden Bericht verzichtet.

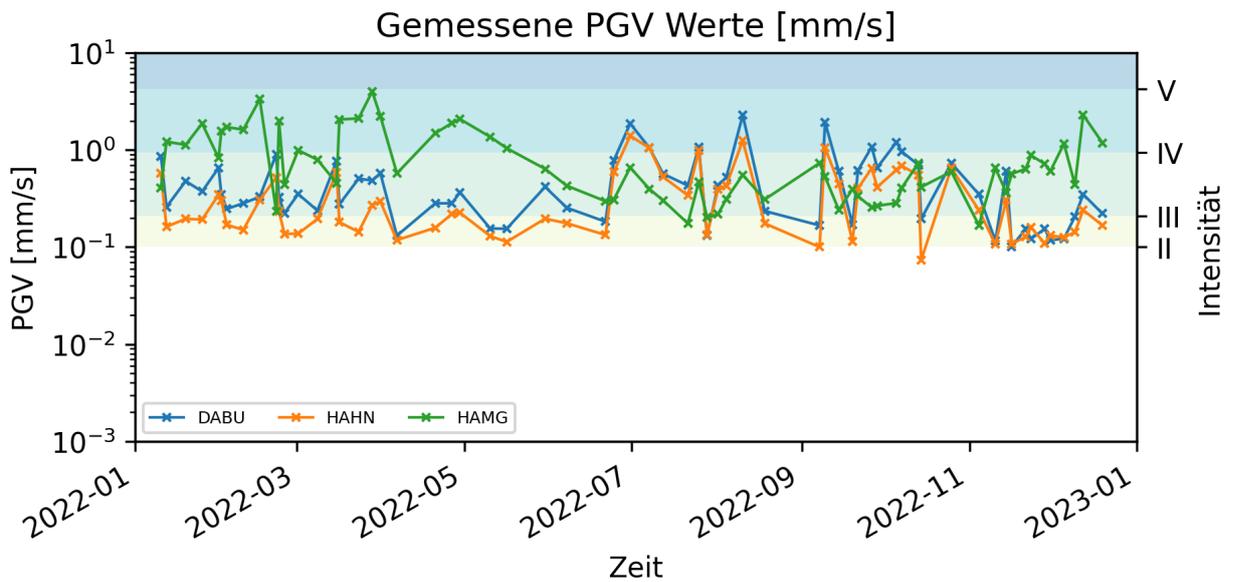


Abbildung 21: Gemessene PGV Werte an Stationen des MSS Netzwerks in der Nähe des Steinbruchs Pfaffenberg.

Datenauswertung

Die wichtigsten Abschnitte der Datenauswertung sind die Bestimmung der PGV Werte der Stationen, die Detektion von seismischen Ereignissen, die Zuordnung von Intensitäten zu den PGV Werten, die Klassifikation von Ereignissen, die Lokalisierung der Epizentren von Ereignissen innerhalb des MSS Netzwerks und die Bestimmung der MSS Magnitude. Die Datenauswertung kann in zwei unterschiedliche Bereiche unterteilt werden: eine vollständig automatisiert Auswertung und eine durch Personen durchgeführte, bzw. kontrollierte Auswertung. Die Ergebnisse der automatisierten Auswertung werden auf der MSS Homepage veröffentlicht. Die von Personen kontrollierte Auswertung wird normalerweise mit einer zeitlichen Verzögerung (z.B. im Rahmen der Erstellung des Jahresberichts) und unter Betrachtung des kompletten Datensatzes des MSS Netzwerks durchgeführt. Im Zuge dieser Auswertung werden neue Methoden getestet und bestehende weiterentwickelt, um sie in weiterer Folge in die automatisierte Auswertung einzubinden. Im vorliegenden Jahresbericht werden hauptsächlich Ergebnisse der kontrollierten Datenauswertung präsentiert.

Dadurch kann es unter Umständen zu unterschiedlichen Werten, zum Beispiel bei der Magnitude oder den Epizentren, kommen, die aus unterschiedlichen Berechnungsmethoden resultieren. In den folgenden Abschnitten wird auf diese Unterschiede durch die Darstellung der Ergebnisse unterschiedlicher Berechnungsmethoden eingegangen. Die auf der MSS Homepage dargestellten Daten werden mit der Bezeichnung *online* beschrieben.

Klassifikation

Ein wichtiger Schritt bei der automatisierten Auswertung ist die Einteilung der detektierten Ereignisse in Klassen. Basierend auf diesen Klassen werden unterschiedliche Abläufe zur weiteren Auswertung der Daten durchgeführt. Die Klassifikation ist regelbasiert und erfolgt anhand der gemessenen PGV Werte sowie dem räumlichen und zeitlichen Zusammenhang der getriggerten Stationen eines Ereignisses. Die Ereignisse werden in die folgenden Klassen eingeteilt⁷:

- Erdbeben innerhalb des Netzwerks,
- Erdbeben außerhalb des Netzwerks,

⁷ Kann ein Ereignis keiner Klasse zugewiesen werden, so wird es auf der Homepage mit *undefiniert* markiert.

- Sprengungen im Steinbruch Dürnbach,
- Sprengungen im Steinbruch Pfaffenberg,
- Störsignale.

Für Ereignisse, die als Erdbeben innerhalb des Netzwerks oder Sprengungen des Steinbruchs Dürnbach klassifiziert werden, wird das Epizentrum und die Magnitude berechnet.

Lokalisierung

Für die automatisierte Lokalisierung wurde die Apollonius Kreis Methode⁸ in die automatisierte Datenauswertung integriert. Bei dieser Methode wird basierend auf dem PGV Verhältnis von zwei Stationen eine räumliche Kugel erzeugt. Die Oberfläche der Kugel stellt alle möglichen Positionen des Hypozentrums des Ereignisses dar. Diese Kugel wird für mehrere Stationspaare berechnet. Am Schnittpunkt der Kugeln liegt das Hypozentrum des Ereignisses. Um die Anzahl der Kreise zu limitieren, werden nur die Stationen mit der stärksten PGV verwendet. Es werden jeweils die Kugeln der ausgewählten Stationen mit allen anderen Stationen berechnet.

Das Schneiden aller Kugeln in genau einem Schnittpunkt wird nur im Fall fehlerfreier Daten und der genauen Kenntnis der Amplitudenabnahme erreicht. Unter Verwendung fehlerbehafteter Messdaten und Amplitudenabnahme-Modelle schneiden sich die Kugeln nicht alle an einem Punkt, sondern es wird eine Vielzahl an Schnittpunkten erzeugt (siehe Abbildung 22). Um die bestmögliche Lösung dieser Schnittpunkte zu finden werden die Kugeloberflächen in ein Cell-Hit Grid übertragen und mittels Grid-Search die beste Lösung für das Hypozentrum bestimmt (siehe Abbildung 23). Für die Ereignisse wird nur das Epizentrum angegeben. Eine ausreichend genaue Bestimmung der Herdtiefe ist mit den aktuell verwendeten Methoden nicht möglich.

Für die Auswahl der für die Berechnung verwendeten Stationen wird zusätzlich eine Maskierung von Ausreißern und Stationen unterhalb des allgemeinen Rauschpegels des Netzwerks durchgeführt. Abbildung 24 zeigt diese Auswahl für eine Sprengung im Steinbruch Dürnbach als Beispielergebnis. Die blauen Plus-Markierungen stellen die obere Grenze für die jeweilige Epizentraldistanz dar. Alle Stationen mit einem PGV Wert, der größer als diese Schwelle sind werden als Ausreisser eingestuft. Als unterer Grenzwert wird zur Zeit der PGV Wert von $1e-6$ mm/s als allgemeiner Rauschpegel des MSS Netzwerks verwendet.

Die Bestimmung des oberen Grenzwerts erfolgt mit einer relativ großzügigen Toleranz, um eine irrtümliche Eliminierung von Stationen mit gültigem Signalinhalt zu vermeiden. Dadurch werden bei schwachen Ereignissen auch weiter entfernte Stationen berücksichtigt, die kein Signal des Ereignisses mehr beinhalten. In Abbildung 24 sieht man, dass die PGV Werte von Stationen mit einer Epizentraldistanz größer als ca. 12000 m nicht mehr dem Amplitu-

⁸ Brückl 2019, "Graphical Location of Seismic Sources Based on Amplitude Ratios"

denabnahmegesetz folgen. An einer verbesserten Maskierung wird gearbeitet. Eine Variante ist bereits bei der Magnitudenberechnung im Einsatz⁹ und soll in weiterer Folge auch für die Lokalisierung verwendet werden. Allerdings stellt sich bei der Maskierung für die Lokalisierung noch das Problem, dass ein Epizentrum für die Berechnung der oberen Grenzwerte notwendig ist, dieses nur abgeschätzt werden kann und somit ein größerer Toleranzbereich nicht zu vermeiden ist.

⁹ Siehe Abschnitt [Magnitude](#).

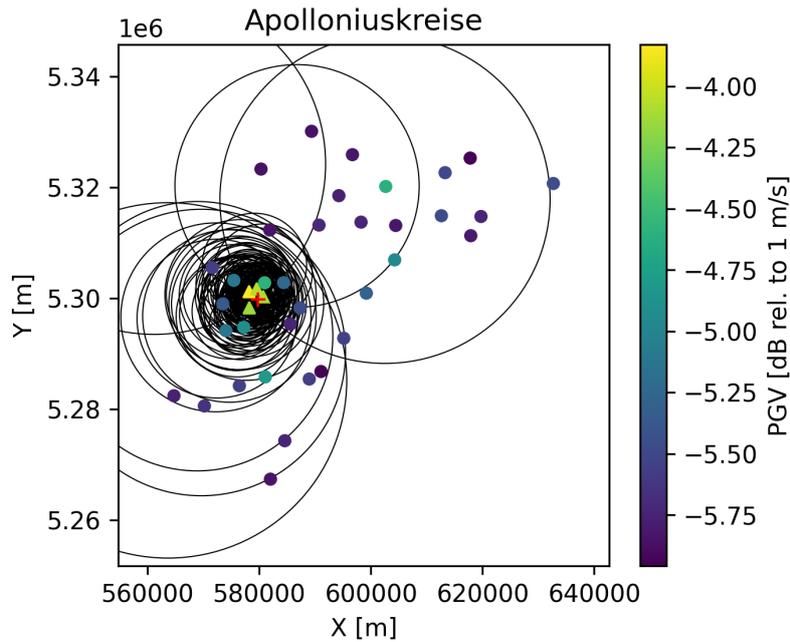


Abbildung 22: Apollonius Kreise der Lokalisierung einer Sprengung im Steinbruch Dürnbach. Die dreieckigen Marker stellen die ausgewählten Stationen, für deren jeweilige Stationspaare die Apollonius Kreise berechnet werden dar.

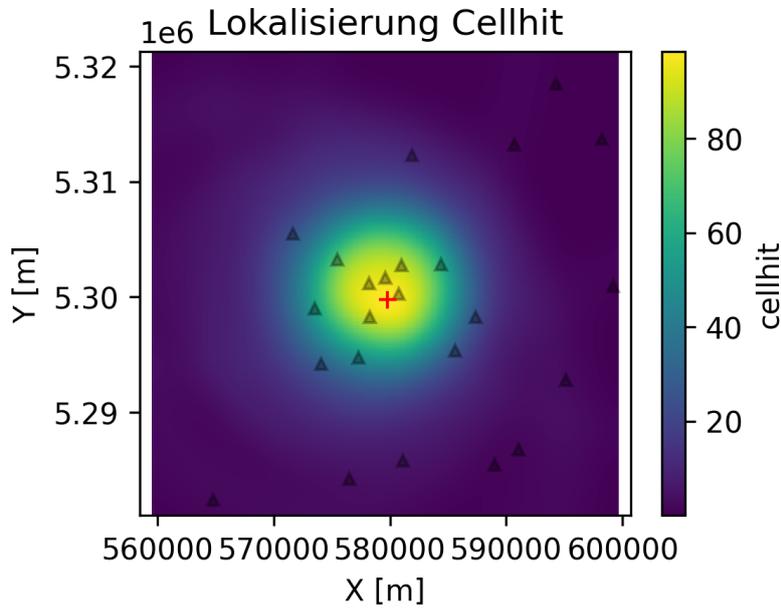


Abbildung 23: Horizontaler Schnitt des Suchgrids auf der z-Ebene der besten Lösung. Das rote Kreuz markiert die optimale Lösung des Hypozentrums.

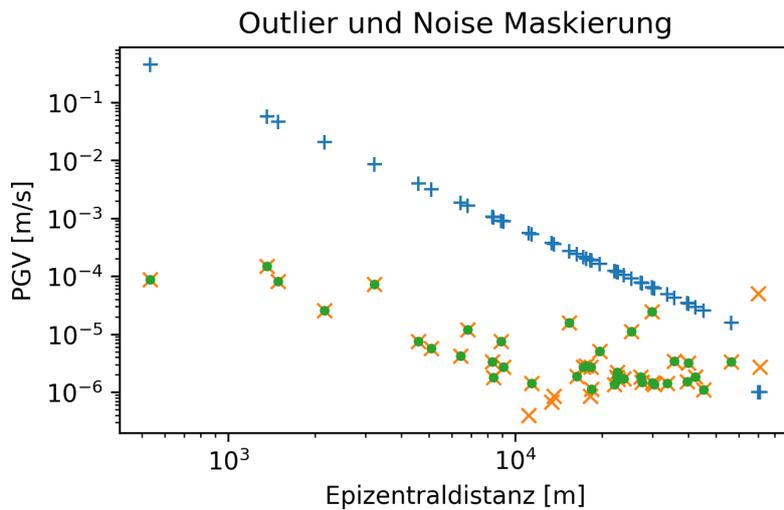


Abbildung 24: Outlier und Noise Maskierung für Lokalisierung. Die blauen Plus-Marker zeigen den Threshold Wert für die jeweilige Epizentraldistanz. Die orangen Kreuz-Marker sind die gemessenen PGV Werte und die grünen Punkte markieren die gültigen PGV Werte, die für die Magnitudenberechnung verwendet werden. Die PGV-Werte mit einer Epizentraldistanz größer ca. 12000 m folgen nicht mehr der PGV-Distanz Beziehung und sollten nicht für die Berechnung verwendet werden. An einer Anpassung der Maskierung zur besseren Berücksichtigung dieser PGV Werte wird gearbeitet.

Magnitude

Die Berechnung der MSS-Magnitude (MSS_M) erfolgt mit der folgenden Formel:

$$\text{MSS}_M = \log_{10}(\text{PGV}) - n * \log_{10}(D) + C$$

,mit der Peak-Ground-Velocity PGV in [m/s], dem Exponenten der PGV-Distanz Funktion n^{10} , der Epizentraldistanz D in [m] und der Konstanten C .

¹⁰ Siehe Tabelle 3 für die verwendeten Werte für n .

Für die Konstante C gilt:

$$C = \log_{10}(1e9) + n * \log_{10}(111195) = 9 + n * 5.046$$

. Die Konstante C stellt eine Verbindung zwischen der MSS Magnitude und der lokalen Magnitude, wie sie von der Geosphere Austria berechnet wird her. Die Magnitudenformel für die lokale Magnitude der Geosphere Austria lautet

$$Ml = \log_{10}(A_{max}) + 1.66 * \log_{10}(d) - 0.304$$

, mit der maximalen Amplitude der Geschwindigkeit A_{max} in [nm/s] und der Hypozentraldistanz d in [Grad].

Bei der Berechnung der MSS Magnitude des fortlaufend wachsenden Ereigniskatalogs des MSS Netzwerks zeigte sich, dass die Auswahl des Exponenten n der PGV-Distanz Abnahme nicht trivial ist und unter anderem auch von der Art des Ereignisses (Erdbeben oder Sprengung), bzw. deren Herdtiefe bzw. Lage im geologischen Gefüge, abhängig ist. Diese unterschiedlichen PGV-Distanz Abnahmebeziehungen werden zur Zeit untersucht. Die hier angegebenen Werte stellen eine Momentaufnahme der laufenden Auswertung der Daten dar.

Die Exponenten, die für die unterschiedlichen Magnitudenberechnungen für diesen Bericht bzw. die Darstellung auf der MSS Homepage verwendet wurden sind in Tabelle 3 angegeben.

Bezeichnung	Exponent n		Beschreibung
	Erdbeben	Sprengung	
online	-2.2	-2.2	Magnitude, die auf der MSS Homepage angegeben wird mit automatisch berechnetem Epizentrum und allen Stationen.
epi_auto	-2.2	-1.6	Magnitude mit dem automatisch berechneten Epizentrum und Outlier Maskierung.
epi_geosphere	-2.2		Magnitude mit dem von Geosphere Austria bestimmten Epizentrum und Outlier Maskierung.
epi_gps		-1.6	Magnitude mit dem automatisch berechneten Epizentrum und Outlier Maskierung.

Bei der mit der *online* Methode berechneten Magnitude werden alle Stationen des MSS Netzwerks verwendet. Bei den Magnituden der Methoden *epi_auto* und *epi_geosphere* werden die mit der

Tabelle 3: Verwendete Methoden und Exponenten der PGV-Distanz Beziehung für die Magnitudenberechnung und die beiden Ereignisklassen Erdbeben und Sprengung.

Ausreißer- und Noisemaskierung bestimmten Stationen verwendet. Ein Vergleich der mit den unterschiedlichen Methoden berechneten MSS Magnituden sowie der von Geosphere Austria berechneten lokalen Magnitude ist in Abbildungen 25 für Erdbeben und Abbildung 26 für Sprengungen des Steinbruchs Dürnbach dargestellt. Daraus zeigt sich, dass die relativen Unterschiede innerhalb der einzelnen Methode bei den Erdbeben weitgehend gleich bleibt. Bei den Sprengungen verändern sich auch die relativen Unterschiede bei der Verwendung der tatsächlichen Koordinaten der Sprengungen. Die mittlere Abweichung zwischen den Magnituden der beiden Berechnungsmethoden bei Sprengungen beträgt 0.2 mit einer Standardabweichung von 0.1.

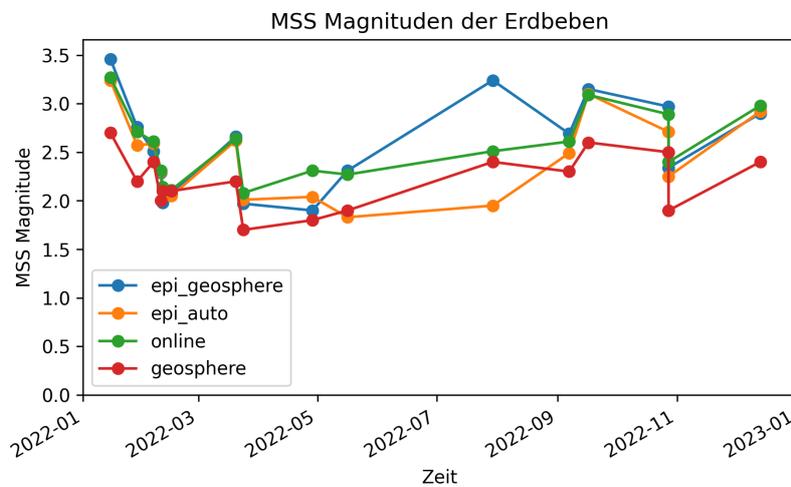


Abbildung 25: Vergleich der mit unterschiedlichen Methoden bestimmten Magnituden. epi_geosphere: MSS Magnitude mit Geosphere Austria Epizentrum; epi_auto: MSS Magnitude mit automatisch berechnetem Epizentrum; online: MSS Magnitude wie sie aktuell für das Online Interface berechnet wird; geosphere: von Geosphere Austria bestimmte lokale Magnitude.

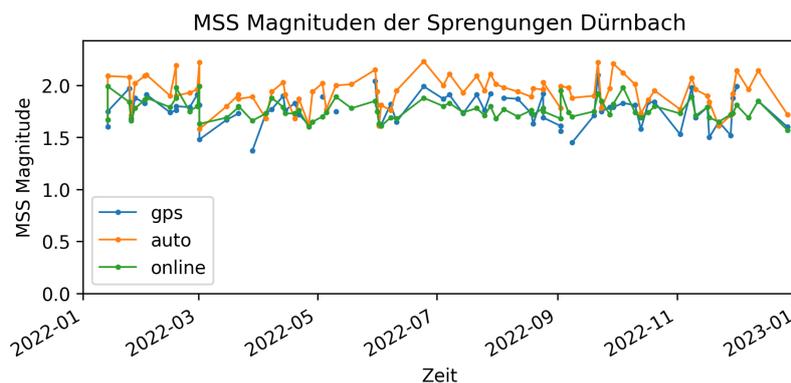


Abbildung 26: Vergleich der mit unterschiedlichen Methoden bestimmten Magnituden der Sprengungen Dürnbach. gps: MSS Magnitude mit den exakten Sprengkoordinaten; auto: MSS Magnitude mit automatisch berechnetem Epizentrum; online: MSS Magnitude wie sie aktuell für das Online Interface berechnet wird; geosphere: von Geosphere Austria bestimmte lokale Magnitude.

Ausreißer Maskierung

Bei der Berechnung der Magnitude ist es sinnvoll nur die Stationen in die Berechnung mit einzubeziehen, die auch einen Signalinhalt aufweisen. Besonders bei schwachen Ereignissen hat ansonsten das allgemeine Rauschen von weit entfernten einen unverhältnismäßig

starken Einfluß auf die Magnitude.

Für die Maskierung wird aus den PGV Werten der Stationen mit den geringsten Epizentraldistanzen und der PGV-Distanz Beziehung ein oberer Grenzwert berechnet. Alle Stationen mit PGV Werten über diesem Grenzwert werden als Ausreißer angesehen. Den unteren Grenzwert bildet der allgemeine Rauschpegel des MSS Netzwerks, der aktuell mit $1e-6$ mm/s festgelegt ist.

Je nach verwendetem Epizentrum (z.B. automatisch berechnetes oder von Geosphere Austria bestimmtes) ergeben sich unterschiedliche Epizentraldistanzen und dadurch auch unterschiedliche Maskierungen. Für die Maskierung zur Berechnung der Magnitude wird, im Gegensatz zur Maskierung bei der Lokalisierung¹¹, ein berechnetes Epizentrum verwendet. Die Abbildungen 27 und 28 zeigen die Maskierung anhand eines Beispielerignisses der Klasse Erdbeben einerseits für das automatisch bestimmte (*auto Epi*), andererseits für das von Geosphere Austria bestimmte Epizentrum (*geosphere Epi*). Für die automatisierte Auswertung wird immer das automatisch bestimmte, aus den MSS Daten berechnete Epizentrum verwendet. Die Magnitude basierend auf dem von Geosphere Austria bestimmten Epizentrum wird zu Kontrollzwecken in unregelmäßigen Abständen manuell berechnet.

¹¹ Bei der Maskierung, die für den Lokalisierungsalgorithmus verwendet wird, wird aus den Stationen mit den stärksten PGV Werten ein ungefähres Epizentrum abgeschätzt und für die Berechnung der oberen Grenzwertkurve verwendet.

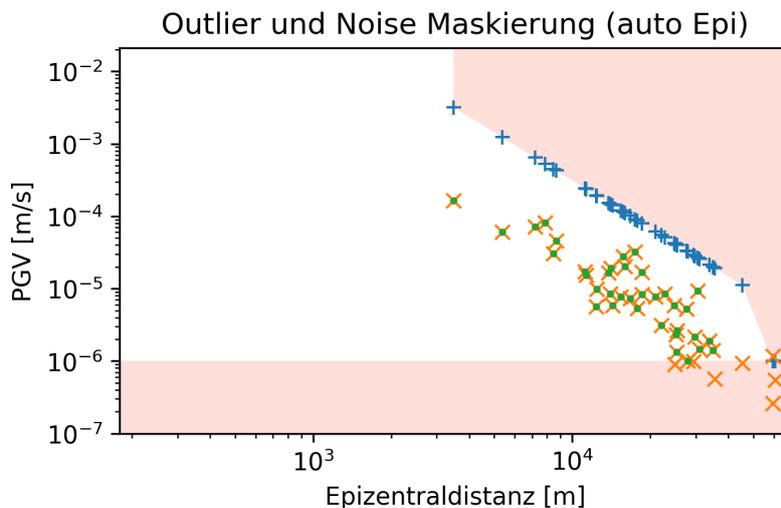


Abbildung 27: Berechnung der Outlier und Noise Maskierung unter Verwendung der Amplitudenabnahme Beziehung und dem automatisch berechneten Epizentrum. PGV Werte, die im roten Bereich liegen werden nicht in die Magnitudenberechnung miteinbezogen. Die blauen Plus-Marker zeigen den Threshold Wert für die jeweilige Epizentraldistanz. Die orangefarbene Kreuz-Marker sind die gemessenen PGV Werte und die grünen Punkte markieren die gültigen PGV Werte, die für die Magnitudenberechnung verwendet werden.

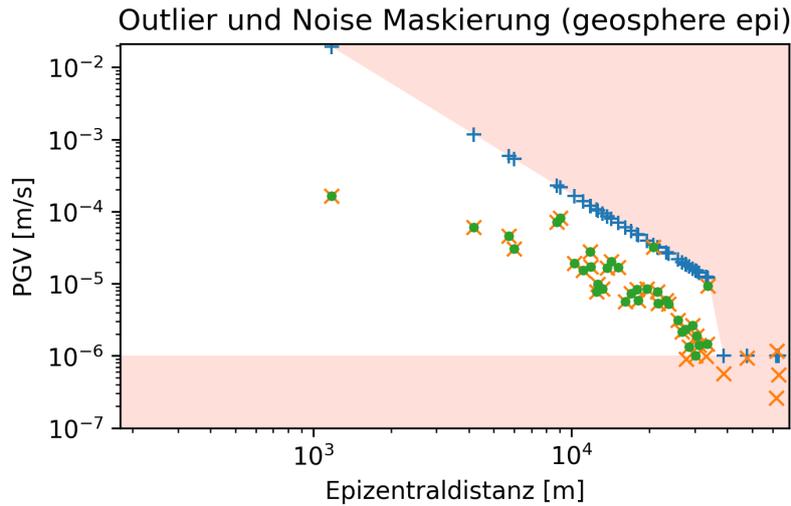


Abbildung 28: Berechnung der Outlier und Noise Maskierung unter Verwendung der Amplitudenabnahme Beziehung und dem von Geosphere Austria bestimmten Epizentrum. PGV Werte, die im roten Bereich liegen werden nicht in die Magnitudenberechnung miteinbezogen. Die blauen Plus-Marker zeigen den Threshold Wert für die jeweilige Epizentraldistanz. Die orangen Kreuz-Marker sind die gemessenen PGV Werte und die grünen Punkte markieren die gültigen PGV Werte, die für die Magnitudenberechnung verwendet werden.

Stations- und Netzwerkmagnitude

Die für ein Ereignis angegebene Magnitude entspricht der Netzwerkmagnitude. Zur Berechnung der Netzwerkmagnitude werden zunächst für alle der für die Berechnung verwendeten Stationen die Stationsmagnituden entsprechend der Magnitudenformel berechnet. Die Netzwerkmagnitude ergibt sich aus der Mittelung der Stationsmagnituden. Die Abbildungen 29 und 30 zeigen die Streuung der Stationsmagnituden sowie einige statistische Parameter für ein Beispiereignis¹². Als Netzwerkmagnitude wird der Median der Stationsmagnituden verwendet. Der Boxplot der Stationsmagnituden aller im Jahr 2022 detektierten Erdbeben ist in Abbildung 31 dargestellt.

¹² Als Beispiel wird das Erdbeben mit der public ID `mss_dsrt_2022-02-15T02:48:14500000` das 2022-02-15T02:48:14 (UTC) stattfand verwendet.

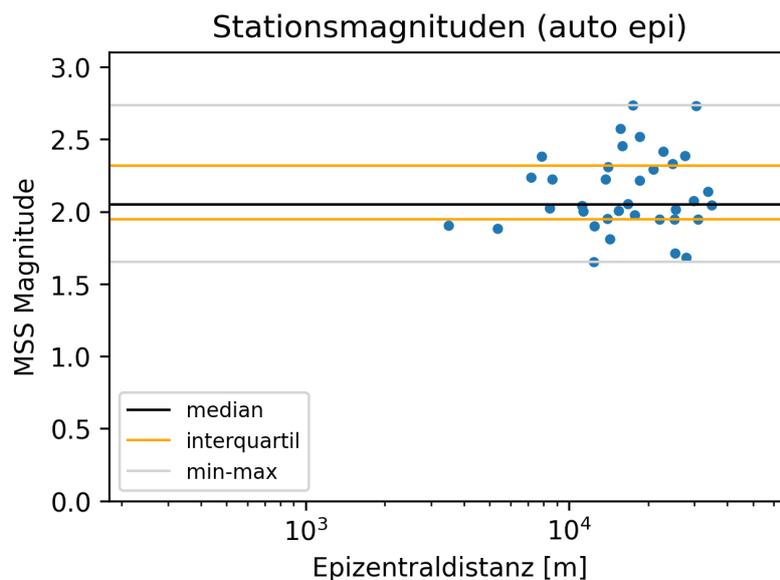


Abbildung 29: Stationsmagnituden für das automatisch bestimmte Epizentrum des Erdbebens um 2022-02-15T02:48:14. Die horizontalen Linien zeigen den Median (schwarz), den Interquartilabstand (orange) und die minimalen und maximalen Werte (grau).

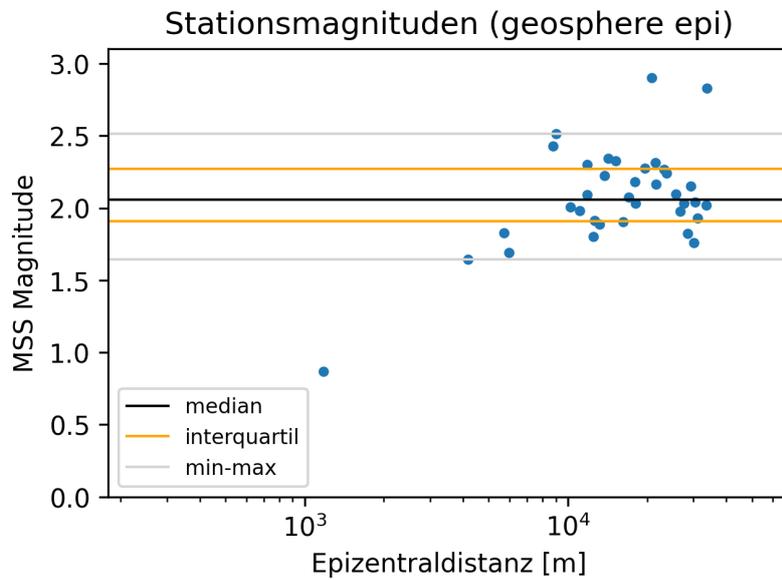


Abbildung 30: Stationsmagnituden für das von Geosphere Austria bestimmte Epizentrum des Erdbebens um 2022-02-15T02:48:14. Die horizontalen Linien zeigen den Median (schwarz), den Interquartilbereich (orange) und die minimalen und maximalen Werte (grau).

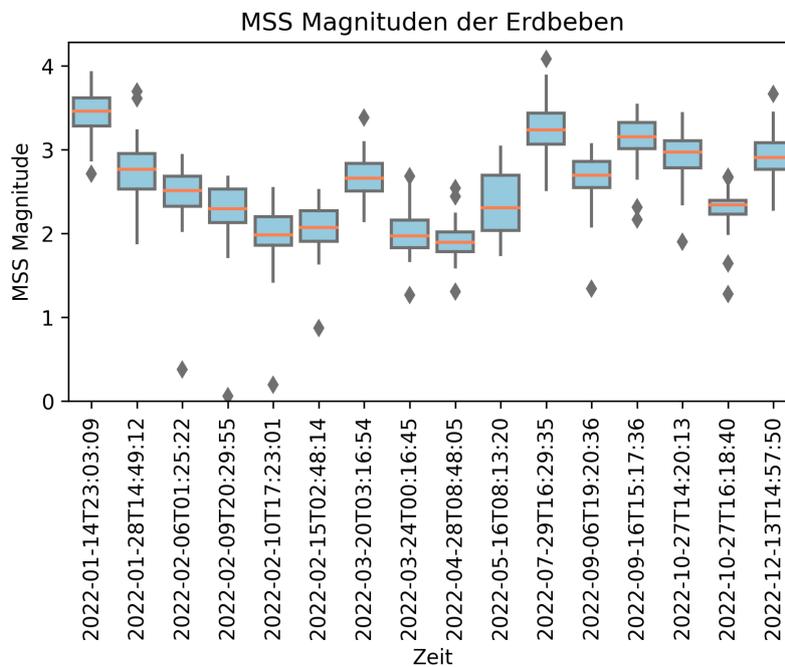


Abbildung 31: Boxplot der Stationsmagnituden der detektierten Erdbeben. Median (orange Linie), Interquartilabstand (Boxen), min-max Werte (vertikale Linien) und Ausreißer (Rauten).

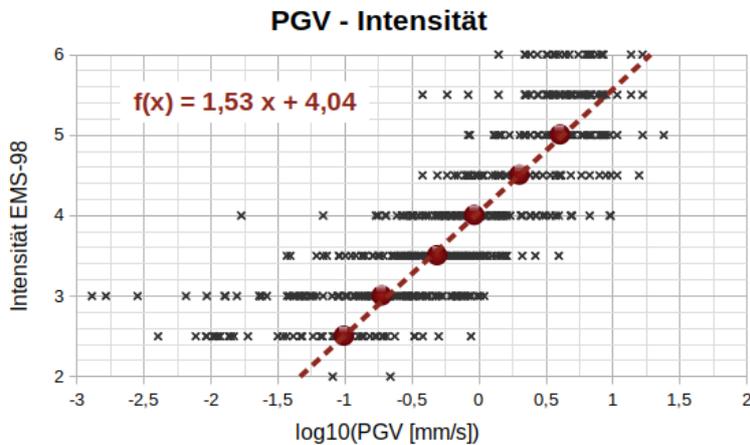
PGV - Intensität

Die Bestimmung der PGV-Intensitätsbeziehung erfolgt unter Verwendung der von Geosphere Austria bereitgestellten Wahrnehmungsmeldungen für die Erdbeben im MSS Gebiet und folgt bereits veröffentlichten Methoden^{13,14}.

Die einzelnen Meldungen werden bei der Auswertung zu einem einzigen Intensitätswert für die nächstliegende Gemeinde, einem sogenannten makroseismischen Datenpunkt, zusammengefasst und auf die Koordinaten des Gemeindeamts bezogen. Es werden PGV-Intensitäts Paare erstellt, wenn zu einem makroseismischen Datenpunkt im Umkreis von 5 km eine PGV-Messung einer MSS-Station eines zeitlich korrelierende Ereignisses vorliegt.

Im Jahr 2022 sind im und nahe dem MSS Gebiet Wahrnehmungsmeldungen für 14 Erdbeben eingegangen. Dadurch ergaben sich zusätzlich zu den bereits bestehenden 647 Paaren¹⁵ 156 weitere. Unter Verwendung dieser zusätzlichen Datenpunkte ergibt sich die in Abbildung 32 dargestellte PGV-Intensitätsbeziehung. Die Ausgleichsgerade folgt dem Median der PGV Werte für die Intensitätsklassen kleiner V.

Die Bestimmung der Wahrnehmbarkeitsschwelle ist in Abbildung 33 illustriert. Die Schwelle wird zwischen den beiden Klassen, bei denen der Übergang von mehr positiven Meldungen im Vergleich zu keinen Meldungen stattfindet, angesetzt¹⁶.



¹³ Brückl et al. 2021b, "Seismological Data Acquisition and Analysis within the Scope of Citizen Science"

¹⁴ Brückl et al. 2021a, "Das Macroseismic Sensor Projekt"

¹⁵ Brückl et al. 2021a, "Das Macroseismic Sensor Projekt"

¹⁶ Brückl et al. 2021a, "Das Macroseismic Sensor Projekt"

Abbildung 32: Beziehung zwischen PGV und Intensität.

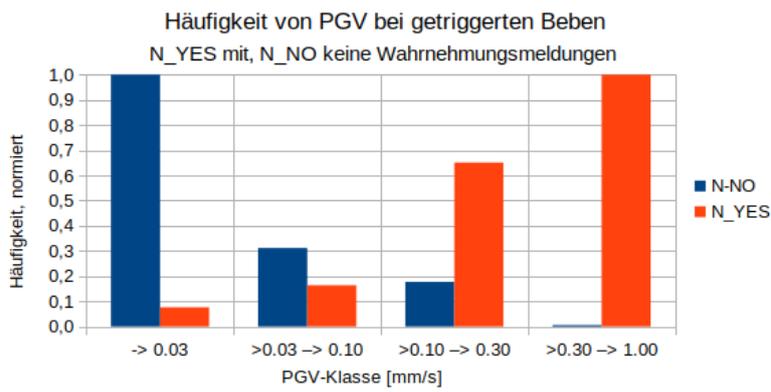


Abbildung 33: Festlegung der Wahrnehmbarkeitsschwelle (Intensität II) über die Häufigkeit von Erdbeben mit Wahrnehmungsmeldung (N-YES) und dem Ausbleiben von Meldungen (N-NO) in PGV-Klassen

Teil II
Aktivitäten

Homepage Erweiterung

Im Jahr 2022 wurde, unter anderem im Rahmen eines durch die Baunit GmbH finanzierten Projekts, die Funktionalität der MSS Homepage¹⁷ stark erweitert. Über die Archivansicht ist nun der komplette Ereigniskatalog des MSS Netzwerks verfügbar¹⁸. Des Weiteren wurde eine automatisierte Klassifikation, Lokalisierung und Magnitudenberechnung implementiert. Die Ereignisse können nach den unterschiedlichen Ereignisklassen gefiltert werden¹⁹. Die Darstellung der Archivansicht wurde um Diagrammansichten erweitert, in denen z.B. die Magnituden und PGV Werte der Ereignisse dargestellt werden. Für die Detailansicht einer Sprengung des Steinbruchs Dürnbach wurde die Darstellung entsprechend den Wünschen der Baunit GmbH angepasst. Es werden zum Beispiel nur ausgewählte Stationen in der PGV Diagrammansicht dargestellt und die Messdaten eines zusätzlichen Messgerätes (Station DUBAM) werden angezeigt²⁰.

¹⁷ <https://www.macroseismicsensor.at>

¹⁸ Siehe Abbildung 34.

¹⁹ Siehe Abbildung 35.

²⁰ Siehe Abbildung 36

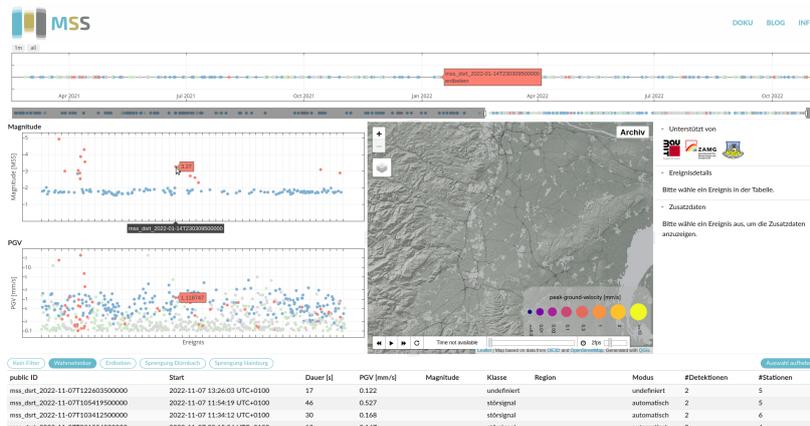


Abbildung 34: Homepage Screenshot Archiv Überblick.

Neuauswertung der Archivdaten

Seismische Daten des MSS Netzwerks sind seit dem 7. August 2018 vorhanden. Die Software des MSS Netzwerks wurde laufend weiterentwickelt. Dadurch ergaben sich unterschiedliche Auswerte- und Archivierungsmethoden. Seit 1. April 2022 läuft die Auswertung des MSS Netzwerks auf dem Niveau, das für die Darstellung der detektierten Ereignisse im aktuellen MSS online Interface notwendig ist.

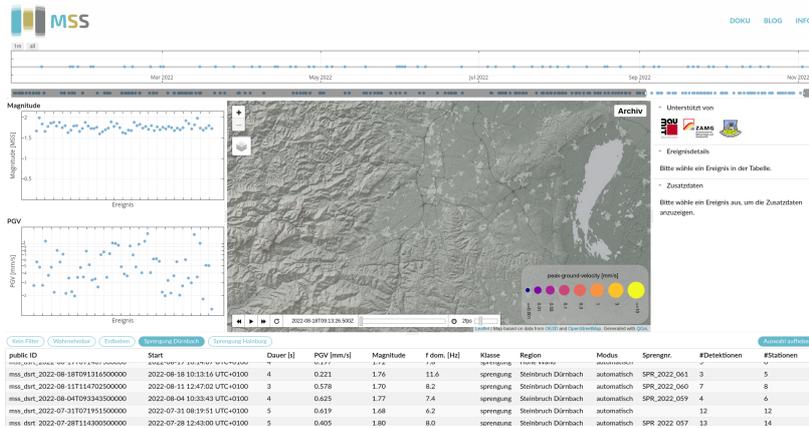


Abbildung 35: Homepage Screenshot Sprengungen Dürnbach.

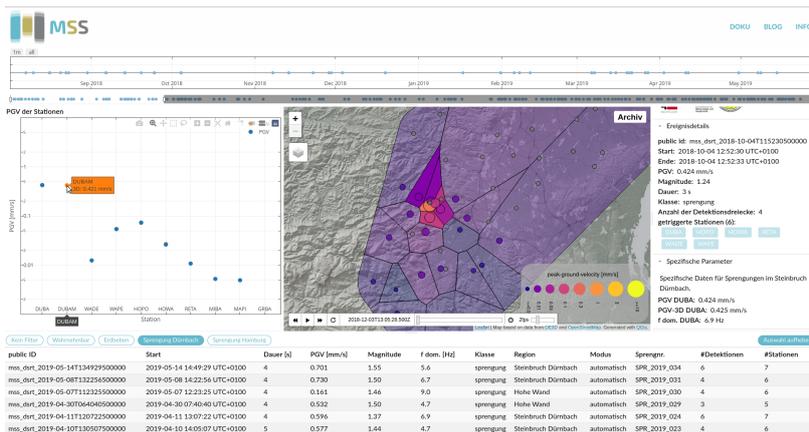


Abbildung 36: Homepage Screenshot Detailansicht einer Sprengung.

Für den Zeitraum vor dem 1. April 2022 wurden die Sprengungen des Steinbruchs Dürnbach neu ausgewertet und in den MSS Katalog integriert. Von der Baunit GmbH wurden die Zeitpunkte der durchgeführten Sprengungen zu Verfügung gestellt. Für die Zeiträume, in denen die einzelnen Sprengungen stattfanden, wurden die Daten vom 7. August 2018 bis 1. April 2022 vollständig neu mit der aktuellen MSS Auswertesoftware verarbeitet und in die Datenbank des MSS Online Interface übertragen.

Für den Zeitraum ab 1. April 2022 waren die seismischen Ereignisse bereits in der Datenbank vorhanden. Diese Ereignisse wurden neu klassifiziert und die Zusatzdaten (z.B. Epizentrum, spezifische Sprengdaten) neu berechnet. Insgesamt wurden 3522 Ereignisse neu ausgewertet.

Fertigstellung der MSS-2

Im Jahr 2022 wurde von Schüler*innen der HTL Wiener Neustadt im Rahmen des Lehrbetriebs 7 Stück MSS-2 gefertigt. Unter der Leitung von Karl Filz und Martin Krieger wurden die elektronischen Platinen sowie alle notwendigen Gehäuseteile erzeugt. Aufgrund von Lieferproblemen des für den MSS benötigten RaspberryPi konnten die Geräte von der HTL Wiener Neustadt nicht vollständig fertiggestellt werden. Die von der HTL Wiener Neustadt gefertigten MSS-2 Geräte sind eine weiterentwickelte Version des ursprünglichen MSS, bei der das Gehäuse und die Elektronik im Hinblick auf Wartungs- und Anwenderfreundlichkeit optimiert wurde. Diese Weiterentwicklung des MSS erfolgte im Rahmen des Projekts *MSS Outreach* der Netidee²¹.

Da die RaspberryPi Model 3 auch Anfang 2023 noch immer nicht verfügbar waren, wurde das Betriebssystem und die Software des MSS angepasst, damit sie mit aktuell verfügbaren RaspberryPi (z.B. RaspberryPi Model 4) kompatibel ist. Dadurch können die MSS-2 im Laufe des Jahres 2023 fertiggestellt werden. Abbildung 37 zeigt ein Foto eines bereits einsatzbereiten MSS-2.

²¹ <https://www.netidee.at/mss-outreach>



Abbildung 37: MSS-2. Der transparente Deckel ermöglicht die Sicht auf vier LEDs, die den Status des MSS anzeigen. Als Gehäuse wird ein industriell gefertigtes, leicht verfügbares Produkt verwendet. Der Stromstecker ist ein robuster, verriegelbarer Steckverbinder. Das Ethernetkabel hat eine Zugentlastung.

Veröffentlichung

Daten des MSS Netzwerks wurden von Ewald Brückl, Roland Hochwartner und Stefan Zöhling für die Publikation des Artikels "Der seismische Herdmechanismus von Gewinnssprengungen"²² in der Zeitschrift *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* verwendet.

²² [Open Access Link](#) zum Artikel.

Brückl, E., Hochwartner, R. & Zöhling, S. Der seismische Herdmechanismus von Gewinnungssprengungen. *Berg Huettenmaenn Monatsh* 167, 260–271 (2022).

Zusammenfassung des Artikels

Seit 2018 werden die seismischen Signale der Gewinnungssprengungen im Steinbruch Dürnbach/Hohe Wand/Niederösterreich mit Stationen des Macroseismic Sensor Netzwerkes beobachtet und aus den Messdaten Magnituden als Maß für die Quellstärken der jeweiligen Sprengungen bestimmt. Gleichzeitig werden spreng-technisch relevante Parameter in einer Datenbank mitgeführt. Der vorliegenden Untersuchung liegen die Daten aus den Jahren 2019, 2020 und 2021 zugrunde. Die Mittelwerte der Magnituden für die drei, im Abbau verwendeten Sprengschemata beschreiben die beobachteten Quellstärken geringfügig besser als der lineare Zusammenhang von Magnitude und dem Logarithmus der maximalen Lademenge pro Zündstufe (L_{max}). Im Abbauggebiet wurden auch drei seismische Sprengungen zum ausschließlichen Zweck der Erzeugung seismischer Wellen abgetan. Die Magnituden der seismischen Sprengungen lagen lediglich im Bereich der Gewinnungssprengungen mit gleicher L_{max} und nicht, wie erwartet, deutlich darüber. Die offensichtliche Bedeutung des Sprengschemas und die letztgenannte Beobachtung veranlasste uns zu einem Überdenken des seismischen Herdmechanismus von Gewinnungssprengungen.

Einzelkraft und Kräftepaar stellen die beiden in der Seismologie etablierten Herdmechanismen dar. Beispiele für Einzelkraft als Quelle bilden Fallgewichte, Vibratoren oder Bergstürze. Kräftepaare sind bei seismischen Sprengungen, unterirdischen Nuklearexplosionen oder Erdbeben wirksam. Wir veranschaulichen den in der Theorie gesicherten Sachverhalt, dass der Betrag der Kräfte beim Herdmechanismus „Kräftepaar“ wesentlich höher sein muss als bei einer Einzelkraft mit gleicher Quellstärke. Für den Herdmechanismus einer Gewinnungssprengung gelangen wir zu folgendem

Modell: Unmittelbar nach der Detonation des Sprengstoffs wirkt eine Gewinnungssprengung als seismische Sprengung mit dem Herdmechanismus „Kräftepaar“. Mit dem Erreichen der Zugfestigkeit des Gebirges und der Abtrennung der zu gewinnenden Gesteinsmasse wechselt der Herdmechanismus von Kräftepaar auf Einzelkraft. Dabei erhöht sich die seismische Quellstärke der Gewinnungssprengung bei annähernd gleichbleibenden Kräften etwa um den Faktor 102. Der Rückstoß, den das abgesprengte und stark beschleunigte Gebirge nach dem Prinzip „ $actio + reactio = 0$ “ auf die Bruchwand ausübt, wirkt nun als seismische Quelle im Sinne einer Einzelkraft. Die Wirksamkeit des Herdmechanismus „Einzelkraft“ im Vergleich zu Kräftepaar macht verständlich, dass die zur ausschließlichen Erzeugung seismischer Wellen konzipierten seismischen Sprengungen keine höheren seismischen Quellstärken liefern als die Gewinnungssprengungen. Über die Modellierung der Wurf- und Ablagerungsphase des Hauwerks gelangen wir zu repräsentativen Werten der in der Beschleunigungsphase erlangten Geschwindigkeiten v_1 für die drei Sprengschemata. Wir zeigen, dass der Impuls, den die abgesprengte Gesteinsmasse in dieser kurzen Beschleunigungsphase gewinnt, der seismischen Quellstärke der Gewinnungssprengung entspricht und die Magnitude bestimmt. Der Impuls folgt aus dem Produkt von Abschlagsmasse pro Zündstufe mit der Geschwindigkeit v_1 und stellt eine beobachtbare Größe dar.

Literaturverzeichnis

Ewald Brückl. Graphical Location of Seismic Sources Based on Amplitude Ratios. *Seismological Research Letters*, 90(2A):784–789, March 2019. ISSN 0895-0695, 1938-2057. DOI: 10.1785/0220180216.

Ewald Brückl, Peter Carniel, Stefan Mertl, and Rita Meurers. Das Macroseismic Sensor Projekt. *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation*, 109(3):114–130, 2021a. URL <https://www.ovg.at/de/vgi/ausgabe/1301/>.

Ewald Brückl, Peter Carniel, Stefan Mertl, and Rita Meurers. Seismological Data Acquisition and Analysis within the Scope of Citizen Science. In *Earthquakes [Working Title]*. IntechOpen, January 2021b. DOI: 10.5772/intechopen.95273. URL <https://www.intechopen.com/online-first/seismological-data-acquisition-and-analysis-within-the-scope-of-citizen-science>.