

Arbeitsbericht NAB 22-26

**Ergänzung Schwachbebennetz
in der Nordschweiz: Installation
Bohrlochseismometer Bülach-1-1**

Mai 2022

T. Spillmann, M. Schoenball, R. Tanner &
T. Diehl

Arbeitsbericht NAB 22-26

Ergänzung Schwachbebennetz in der Nordschweiz: Installation Bohrlochseismometer Bülach-1-1

Mai 2022

T. Spillmann¹, M. Schoenball¹, R. Tanner² &
T. Diehl²

¹Nagra

²Schweizerischer Erdbebendienst

STICHWÖRTER

BUL1-1, Seismologie, Bohrlochseismometer,
empirische Transferfunktion

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
Postfach 280
5430 Wettingen
Telefon 056 437 11 11
www.nagra.ch

Nagra Arbeitsberichte stellen Ergebnisse aus laufenden Aktivitäten dar, welche nicht zwingend einem vollumfänglichen Review unterzogen wurden. Diese Berichtsreihe dient dem Zweck der zügigen Verteilung aktueller Fachinformationen.

“Copyright © 2022 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw.”

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	II
Figurenverzeichnis	II
Beilagenverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Systembeschreibung	3
2.1 Bohrung Bülach-1.....	3
2.2 Sensoren.....	6
3 Einbau.....	11
3.1 Installationskonzept.....	11
3.2 Ablauf.....	12
3.3 Messungen.....	15
3.4 Foto-Dokumentation.....	18
4 Betrieb.....	27
4.1 Seismische Messdaten	27
4.2 Bohrlochüberwachung.....	30
4.3 Sicherheitstechnische Überwachung und Messdaten	31

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Wichtigste Informationen der TBO BUL1-1	5
Tab. 2-2:	Ausbau der TBO BUL1-1	5
Tab. 2-3:	Koordinaten des Bohransatzes und der Seismometer	7
Tab. 2-4:	Wichtigste Kenndaten des ASIR ABBT Sensors	7
Tab. 3-1:	Messungen von Gewicht und Kontrolle der Temperatur und Sensor-Funktionalität während des Einfahrens	13

Figurenverzeichnis

Fig. 2-1:	Lage des Bohrplatzes BUL1	3
Fig. 2-2:	Geologisches Profil und Bohrlochbild der TBO BUL1-1	4
Fig. 2-3:	Zufahrt zum Bohrkeller BUL1-1 und Installationsschacht für Oberflächensensor	6
Fig. 2-4:	Teile des Seismometers ASIR ABBT	7
Fig. 2-5:	Antwortfunktion des ASIR ABBT Sensors mit einer Sensitivität von $2.47e+06$ Counts/m/s ² bei 5 Hz	8
Fig. 2-6:	Antwortfunktion des Kinematics EpiSensor ES-T mit einer Sensitivität von 407880 Counts/m/s ² bei 1 Hz	9
Fig. 3-1:	Well Head Flansch mit Kabeldurchführungen	11
Fig. 3-2:	Temperaturverlauf während des Sensoreinbaus 01.03.2022	15
Fig. 3-3:	Screenshot der Signale eines Stampfens im Bohrkellers	16
Fig. 3-4:	Vergleich der Spektrogramme mit und ohne laufenden Entfeuchter	17
Fig. 3-5:	3-Bein ist aufgestellt und horizontal abgespannt (3. Abspannleine folgte später), 8:27 Uhr	18
Fig. 3-6:	Sensor, Hole Lock und Sinker Bar sind verschraubt und Finnen sind mit dem Hole Lock ausgerichtet (oben rechts), 8:52 Uhr	18
Fig. 3-7:	Hole Lock ist per wasserlöslichen Pin gespannt, 10:10 Uhr	19
Fig. 3-8:	Einfahren des Seismometers über eine grosse Seilrolle, 10:29 Uhr	20
Fig. 3-9:	Das Einfahren des Seismometers wird per Kranwaage überwacht, 10:28 Uhr	21
Fig. 3-10:	Einfahren des Seismometers per angetriebener Kabelwinde, 10:51 Uhr	21
Fig. 3-11:	Seismometer ist auf Teufe. Markierung 939 m ist auf GOK, 11:35 Uhr	22
Fig. 3-12:	Mit Kabelklemme auf Bohrlochkopf abgefangenes Kabel, Warten auf das Auslösen des Hole Lock, 12:35 Uhr	22
Fig. 3-13:	Abspulen restliches Kabel auf dem Feld, 8:35 Uhr	23
Fig. 3-14:	Flansch mit durchgefädeltm Seismometerkabel vor dem Herablassen, 9:00 Uhr	23

Fig. 3-15:	Vorbereiten zum Absetzen des Flansches, 9:48 Uhr	24
Fig. 3-16:	Abfangen der beiden Kabel unterhalb des Flansches, 9:53 Uhr.....	25
Fig. 3-17:	Situation im Bohrkeller zum Abschluss der Arbeiten, 11:55 Uhr.....	26
Fig. 4-1:	Karte des M _L -0.3 Eglisau Bebens (Stern) mit umliegenden Stationen (Dreiecke)	28
Fig. 4-2:	Vergleich der Wellenformen der Bodengeschwindigkeit (Bandpass 5 – 30 Hz) für das Beben der Stärke -0.3 M _L am 19.03.2022, 02:26 UTC in Eglisau	29
Fig. 4-3:	Bodenunruhe als Wahrscheinlichkeits-Dichte-Funktionen des Leistungsdichtespektrums für Bodenbeschleunigung für Testmessungen im März/April 2022	30
Fig. 4-4:	Temperatur- und Druckdaten aus der Bohrlochüberwachung.....	30
Fig. 4-5:	Messdaten Gasüberwachung	31

Beilagenverzeichnis

Beilage A	ASIR ABBT Spezifikation
Beilage B	EpiSensor Force Balance Accelerometer Spezifikationen
Beilage C	Keller Drucksensor Kalibrations-Zertifikat
Beilage D	Metadaten CH.BULAC

1 Einleitung

Im Hinblick auf die seismische Gefährdungsanalyse für das Tiefenlager sollen Daten zur seismischen Bodenunruhe erhoben werden. Erdbebenbedingte Erschütterungen werden im Allgemeinen mit zunehmender Tiefe abgeschwächt, was zu einer tieferen seismischen Gefährdung im Untergrund führt. Dieser Effekt kann mit Hilfe einer empirischen Transfer-Funktion (ETF) quantifiziert werden, womit sich Oberflächenmessungen in die Tiefe transferieren lassen.

Die ETF kann anhand von Bohrlochmessungen bestimmt werden. Essenziell für dieses Vorgehen sind seismologische Messstationen an der Oberfläche und im Untergrund, zum Beispiel in einem Bohrloch. Exemplarisch soll dafür auf Messungen im Wirtgestein zurückgegriffen werden, und dafür ein Bohrlochseismometer auf Tiefe Opalinuston im fertiggestellten Bohrloch BUL1-1 installiert werden. Ziel war die Installation eines Breitbandsensors in ca. 950 m Tiefe. Der Oberflächensensor wurde in einem geeigneten Schacht ausserhalb des Bohrkellers installiert.

Für die Datensicherung wurden die beiden neuen seismischen Stationen in das Schwachbebennetz der Nagra (Plenkers 2014) und damit auch in das grössere Netzwerk des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED) integriert und ein automatischer Datentransfer sichergestellt.

Zusätzlich wurde angestrebt, im seismischen Sensor auch ein Temperatursensor zu integrieren. Dieser kann für die Bestimmung der ungestörten Gesteinstemperatur im Opalinuston genutzt werden und ergänzt die bisherigen Temperatur-Logs.

Freigabe

Das Programm für die Langzeitbeobachtung und die Freigabe der Beobachtungsphase wurden per 21. Juni 2021 beim ENSI beantragt und per Schreiben vom 1. Oktober 2021 bewilligt.

2 Systembeschreibung

Die Wahl für die Installation eines Seismometers im Bereich des Opalinustons fiel auf die 2020 fertiggestellte Bohrung BUL1-1. In den folgenden Abschnitten werden die relevanten Daten der Bohrung sowie der Instrumentierung zusammenfassend dargestellt.

2.1 Bohrung Bülach-1

Die wichtigsten Informationen zur TBO BUL1-1 sind in Tab. 2-1 und Tab. 2-2 zusammengefasst. Die Lage des Bohrplatzes BUL1 ist in Fig. Fig. 2-1 dargestellt. Das geologische Profil ist zusammen mit dem Bohrlochbild in Fig. 2-2 dargestellt. Der Opalinuston, das Wirtgestein für ein geologisches Tiefenlager, wurde in einer Tiefe von 891.70 m bis 995.85 m erbohrt (Jordan et al. 2021).

Aufgrund von Instabilität in der Bohrphase musste das Bohrloch auf einer Tiefe von 1'043.0 m bis 918.70 m zementiert werden. Ein Sidetrack mit Kickoff-Punkt bei 995.85 m wurde gebohrt. Der Sidetrack wurde BUL1-1B genannt und bis 1'370.19 m abgeteuft. Im vorliegenden Bericht wird generell nur der Name BUL1-1 für das gesamte Bohrloch verwendet.

Nach Abschluss der Logging-Arbeiten und des Messprogramms wurde die Bohrung bis in den Casing-Shoe der 9⁵/₈" (ID 224 mm) Verrohrung zurückzementiert. Der Casing-Shoe befindet sich bei 1'205 m Teufe, der Zementkopf wurde bei 1'184 m angetroffen (Fig. 2-2). Abschliessend wurde die Bohrspülung durch Wasser mit Inhibitor ersetzt (Ammen & Palten 2021).

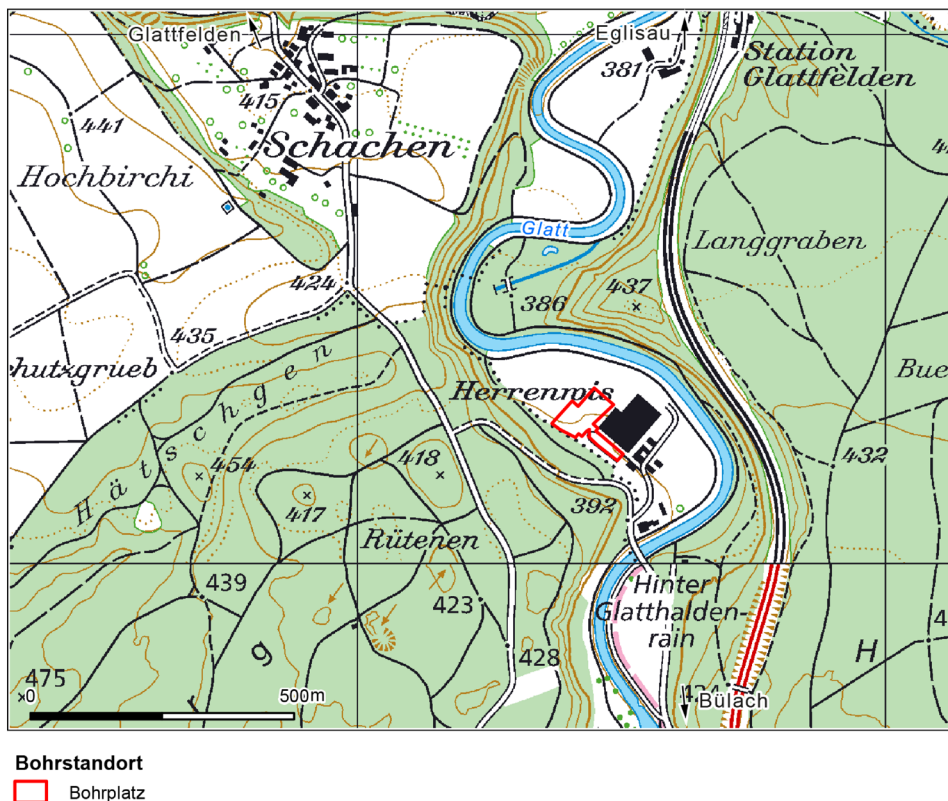


Fig. 2-1: Lage des Bohrplatzes BUL1

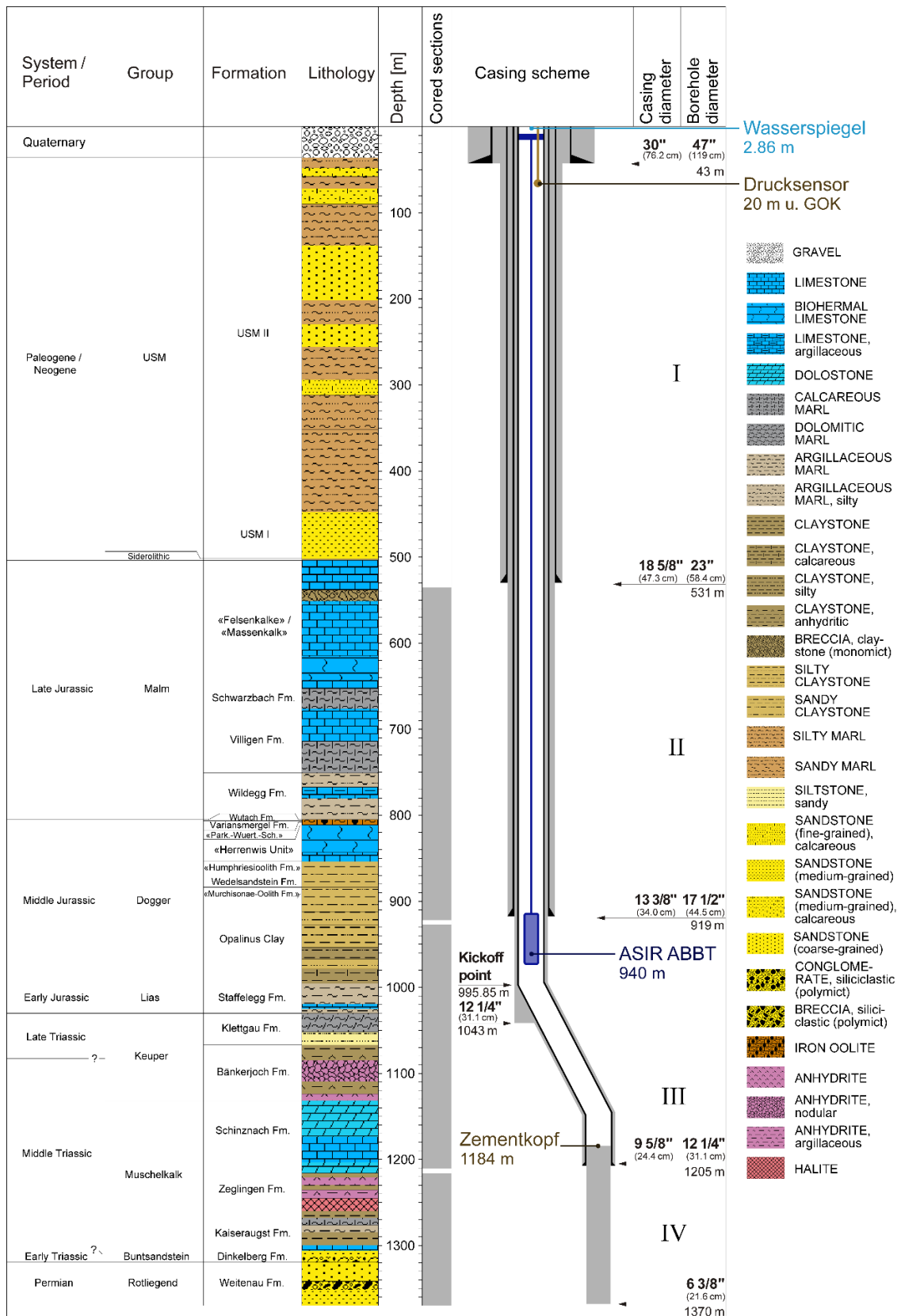


Fig. 2-2: Geologisches Profil und Bohrlochbild der TBO BUL1-1
 Modifiziert aus Ammen & Palten (2021)

Tab. 2-1: Wichtigste Informationen der TBO BUL1-1

Koordinaten (LV 95, X/Y) (LV 03, X/Y)	2'681'446.03 / 1'266'298.47 266'298.50 / 266'298.50
Kanton / Gemeinde	Zürich / Bülach
Standortgebiet	Nördlich Lägern (NL)
Oberkante Bohrkeller, Höhe über Meer	389.62 m ü.M.
Bohrfirma	Daldrup & Söhne AG
Bohrbeginn - Bohrende	15.04. – 27.11.2019
Bohrlochtiefe gebohrt	1'370.19 m MD
Bohrlochtiefe nach Rückzementation	1'184 m MD

Tab. 2-2: Ausbau der TBO BUL1-1
Nach Ammen & Palten (2021)

Von	Bis	Durchmesser		Sektion	Spezifikation
		Aussen	Innen		
0 m	43 m	30"	29.173"	0 – Conductor	Construction steel (S 355)
0 m	530.5 m	18 ⁵ / ₈ "	17.655"	1 – Surface casing	K-55, 96.5 lbs/ft, Big Omega
0 m	918.7 m	13 ³ / ₈ "	12.415"	2 – Intermediate casing	J-55, 68 lbs/ft, Buttress thread connection (BTC)
0 m	1'205 m	9 ⁵ / ₈ "	8.835"	3 – Intermediate casing	J-55, 40 lbs/ft, BTC
1'184 m	1'370 m	-	-	4 – Open hole	Zement

Bohrplatz und Bohrkeller

Der Bohrplatz wurde nach Abschluss der TBO Bohrarbeiten rückgebaut und mit einem Zufahrtsweg zugänglich gemacht (Fig. 2-3). Der Bohrkeller ist bodeneben ausgeführt und mit einem Schachtdeckel über dem Bohrloch sowie einem Zugangstor verschlossen. Ein sicherer Zugang in den Bohrkeller ist per Stahltreppe gewährleistet.



Fig. 2-3: Zufahrt zum Bohrkeller BUL1-1 und Installationsschacht für Oberflächensensor

2.2 Sensoren

Instrumentierung

- Für die Installation wurde ein Bohrloch-Accelerometer ABBT der Firma Advanced Seismic Instrumentation & Research ausgewählt (Beilage A). Es besteht aus einem Instrumententeil mit einem drei-Komponenten-Silicon-Audio-203-60-optischen Accelerometer und einem PT100-Temperatursensor. Die wichtigsten Kenndaten der Sensoren sind in Tab. 2-4 zusammengefasst. Die Verankerung im Bohrloch findet über einen mechanischen Hole Lock statt (Mitte von Fig. 2-4). Für den Einbau wird der Hole Lock mit einem wasserlöslichen Pin blockiert. Nach der Auslösung blockiert der Hole Lock nach unten, erlaubt aber den Wiederausbau des Sensors. Zuunterst ist eine Schwerstange ("sinker bar") montiert (Fig. 2-4).
- Die Sensorkoordinaten sind in Tab. 2-3 gegeben.
- Als Oberflächensensor kommt ein EpiSensor Force Balance Accelerometer (ES-T, Beilage B) zum Einsatz. Die Installation erfolgte in einem Schacht in der Zufahrt zum Bohrkeller (Fig. 2-3).
- Zur Drucküberwachung der Bohrung wurde ein Drucksensor Keller PA-27XW 3 bar installiert (Beilage C).
- Schrank mit Datenakquisition: Nanometrics CTR4-6S Centaur Digital Recorder, 24-bit, 8 GB interner Speicher, Raspberry Pi, Kommunikationszubehör
- Eine GPS-Antenne liefert dem Centaur die exakte Zeitsynchronisation.
- Die Datenübertragung erfolgt per GSM an den SED.

Tab. 2-3: Koordinaten des Bohransatzes und der Seismometer

MD: measured depth
TVD: true vertical depth

	Teufe m MD u. Terrain	TVD m u. Terrain	Ost m (LV03)	Nord m (LV03)	Höhe m ü. M.
BUL1-1	0.00	0.00	681'444.91	266'298.50	389.62
Top well head	1.89	1.89	681'444.91	266'298.50	387.73
Bohrloch- Seismometer	940.00	939.99	681'443.74	266'298.65	-550.37
EpiSensor	-	-	681'433.7	266'286.5	389.1

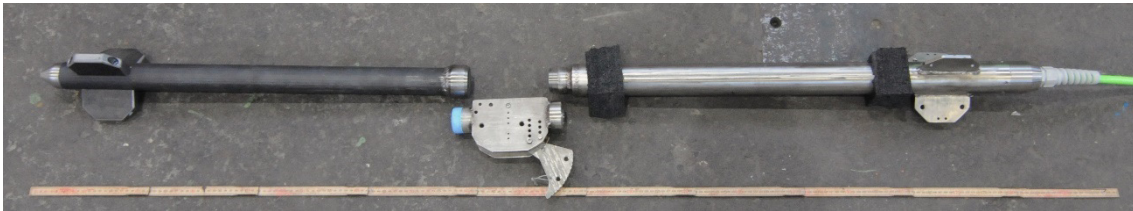


Fig. 2-4: Teile des Seismometers ASIR ABBT

Von links nach rechts: Schwerstange, Hole Lock, Instrumententeil mit Kabel. Doppelmeter unten als Grössenvergleich

Tab. 2-4: Wichtigste Kenndaten des ASIR ABBT Sensors

Kenngrösse	Beschreibung
+/- 1 dB Bereich	0.02 – 225 Hz
Dynamikumfang	172 dB
Betriebstemperatur	-35 – 85 °C
Neigungstoleranz	15°
Max. Tiefe	1'500 m
Äusserer Durchmesser	61 mm
Gewicht	8 kg
Zugfestigkeit Kabel	400 kg

Antwortfunktion

Die Antwortfunktionen für den ASIR Bohrlochsensor und den Episensor sind in Fig. 2-5 und Fig. 2-6 dargestellt. Beide Sensoren haben eine breitbandige Antwortfunktion und decken den Übertragungsbereich von 0.01 mHz – 100 Hz ab, der notwendig ist, um die gewünschten Analysen zur empirischen Transferfunktion zu erlauben. Die Antwortfunktion des Bohrlochsenors ist durch die Abtastrate von 500 Hz bzw. einer Nyquist-Frequenz von 250 Hz begrenzt. Der flache Bereich der Antwortfunktion des eigentlichen Sensors geht über 250 Hz hinaus. Im Kontext des seismischen Monitorings ist jedoch eine Erhöhung der Abtastrate über 500 Hz nicht gewinnbringend, und es wurde darauf verzichtet.

Detaillierte Angaben zu den Sensorspezifikationen sind in Beilagen A (ASIR Bohrlochsensor) und B (Episensor) zu finden.

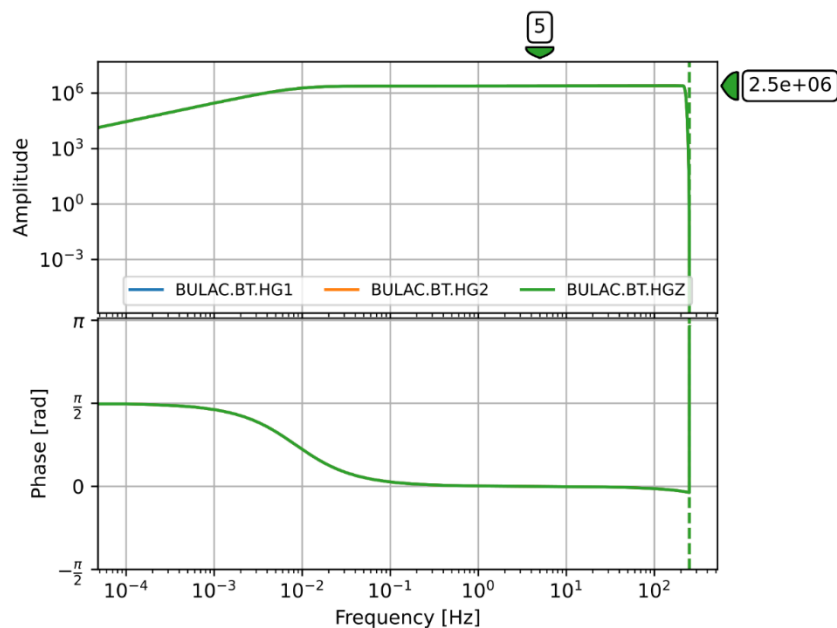


Fig. 2-5: Antwortfunktion des ASIR ABBT Sensors mit einer Sensitivität von 2.47×10^6 Counts/ m/s^2 bei 5 Hz

Alle drei Komponenten haben die gleiche Antwortfunktion, sodass die horizontalen Komponenten HG1 (blau) und HG2 (orange) durch die Z-Komponente verdeckt werden.

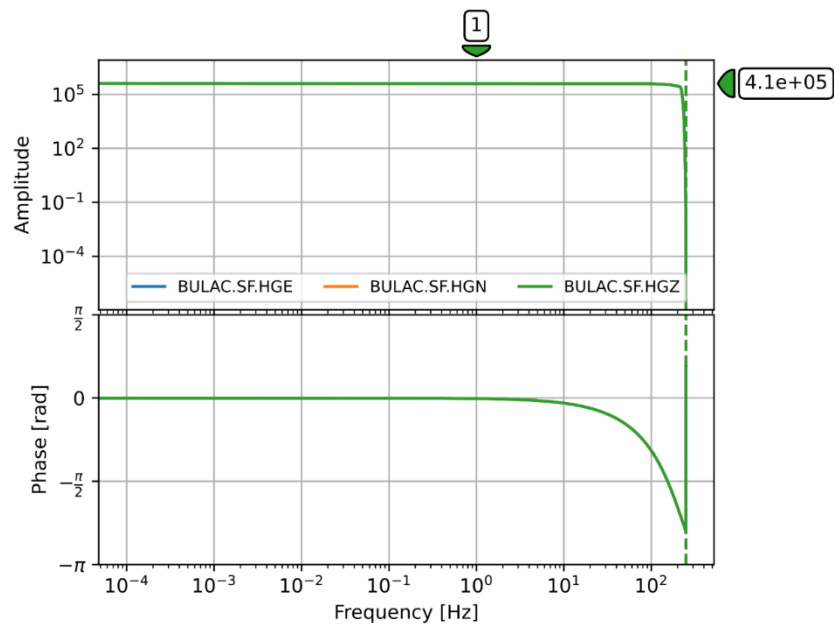


Fig. 2-6: Antwortfunktion des Kinometrics EpiSensor ES-T mit einer Sensitivität von $407880 \text{ Counts/m/s}^2$ bei 1 Hz

Alle drei Komponenten haben die gleiche Antwortfunktion, sodass die horizontalen Komponenten HG1 (blau) und HG2 (orange) durch die Z-Komponente verdeckt werden.

3 Einbau

3.1 Installationskonzept

Das Instrumentenkabel des Bohrlochensors wurde auf einen Kabelzugwagen gespult, mit dem der Sensor ins Bohrloch eingefahren wurde. Nach Verankerung des Sensors wurde das Kabel durch vorbereitete Durchführungen im Flansch des Well Head gefädelt und mit Kabelklemmen abgefangen (Fig. 3-1). Der Wasserdrucksensor wurde analog eingebaut.

Die Kabeldurchführungen wurden mit Kugelhahnen versehen. Im Fall von unvorhergesehenen und sicherheitsrelevanten Druckänderungen im Bohrloch könnten die Sensorkabel gekappt werden, und das Bohrloch mit den Kugelhahnen verschlossen werden.

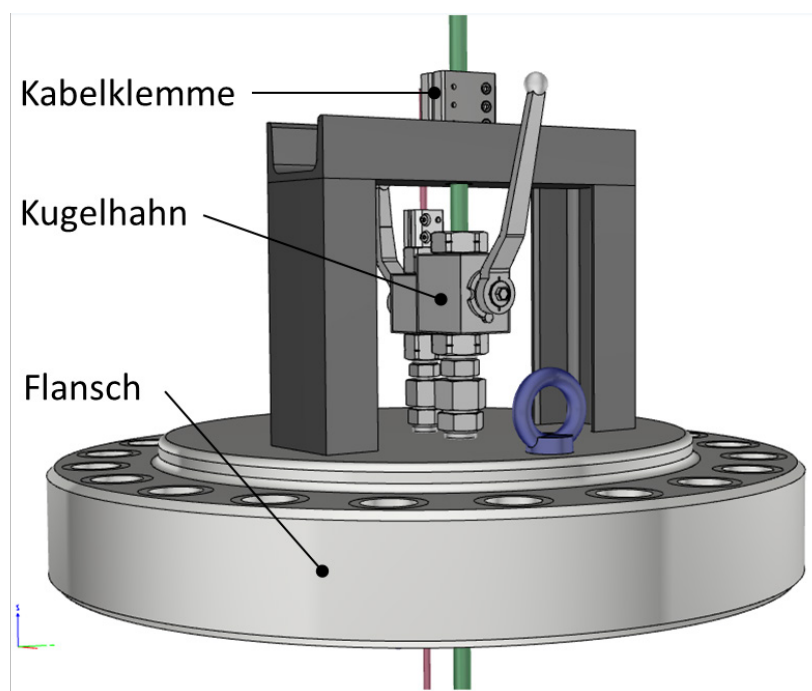


Fig. 3-1: Well Head Flansch mit Kabeldurchführungen

3.2 Ablauf

Der Einbau des Seismometers wurde während zwei Vormittagen am 1. und 2. März 2022 durchgeführt. Beteiligt waren der stellvertretende Projektleiter sowie zwei Personen der Nagra, zwei Personen von Solexperts AG, ein Techniker des SED sowie ein Techniker der MFS-Tech GmbH. Nachts wurde die Baustelle durch einen Sicherheitsdienst bewacht.

Dienstag, 01.03.2022

- 7:00 Ankunft
- 7:10 Öffnen Flansch, Aufstellen des 3-Bein
- 7:20 Flansch wurde per Hebezeug hochgezogen und auf eine Palette verladen.
- 7:30 Wasserspiegelmessung mit Lichtlot. Wasserstand bei 4.72 m unter Oberkante des unteren Flansches
- 8:00 3-Bein neu ausrichten für die Installation des Sensors mit grosser Seilrolle und Kranwaage
- 8:45 Verschrauben von Seismometer, Hole Lock und Schwerstange
- 9:00 Testen des Hole Lock im Well Head. Durchmesser ist dort mit 24.5 cm zu gross zum erfolgreichen Klemmen. Erneuter Versuch in ca. 3 m Tiefe war dann erfolgreich. Hole lock bietet einen stabilen Halt und lässt sich auch problemlos wieder im entspannten Zustand (vgl. Ausbau des Seismometers) hochziehen. Es waren keine signifikanten Zugkräfte nötig.
- 10:00 Einbau des wasserlöslichen Pins und Spannen des Hole Lock
- 10:10 Beginn Einfahren des Sensors
- Gewicht Sensor an Seilrolle 28 kg in Luft, bzw. 22 kg in Wasser
 - Gewichte laut Kranwaage mit 2 kg Auflösung
 - Kraftvektor an Kranwaage zeigt schräg vom Bohrloch weg, bedingt durch den Zug vom Kabelwagen.
 - Gewichte daher etwas höher als prognostiziert
 - Funktionieren des Sensors wurde jeweils durch kräftiges Stampfen oder einem leichten Zug am Kabel verifiziert.
- Zwischen 900 und 910 m versagte die Kabelbremse kurzfristig. Das unkontrollierte Fallen des Kabels konnte nach ca. 5 m gestoppt werden.
- 11:50 Abfangen des Kabels mit vorbereiteten Kabelklemmen auf dem Flansch. Schrauben wurden mit Drehmomentschlüssel auf 10 Nm festgezogen.
- 12:00 Wasserspiegel nun bei ca. 1.0 m unter Flansch
- 12:20 Aufräumen des Bohrplatzes, Absperrung wurde um das Bodentor angebracht.
- Nach-
mittag: Lieferung des überarbeiteten Flansches durch Solexperts und Abladen am Bohrplatz
- 18:00 –
7:00 Bewachung durch Sicherheitsdienst

Tab. 3-1: Messungen von Gewicht und Kontrolle der Temperatur und Sensor-Funktionalität während des Einfahrens

Zeit	Teufe [m]	Gewicht [kg]	Temperatur [°C]	Sensor
10:10	5	22	-	-
10:20	100	30	Ok	Ok
10:30	200	36	-	-
10:34	300	44	Ok	Ok
10:46	400	52	Ok	Ok
10:56	500	56	Ok	Ok
11:02	600	66	Ok	Ok
11:10	700	74	Ok	Ok
11:17	800	80	Ok	Ok
11:23	900	88	Ok	Ok
11:36	939	92	Ok	Ok

Mittwoch, 02.03.2022

- 7:00 Ankunft Nagra
- 8:00 Ankunft restliches Team
- 8:00 Die Wellenformen sehen besser aus als am Vortag. Klare Antwort auf Stampfen im Bohrkeller.
- 8:05 Besprechung mit Team zu weiterem Vorgehen Messung
Wasserspiegel per Lichtlot; nun 0.97 m unter Oberkante unterer Flansch
- 8:10
- Kabel wird per Winde angezogen.
 - Abfangklemme wird gelöst.
 - Gewicht zunächst bei 70 kg (eine Relativmessung, nicht vergleichbar zum Gewicht vom Vortag)
 - Während des Absenkens um 3 m ist das Gewicht kontinuierlich bis auf 6 kg abgesunken. Klares Signal, dass der Hole Lock erfolgreich ausgelöst hat und das Gewicht des Kabels von der Verrohrung aufgenommen wird.
- 8:20 Erneutes Abfangen des Kabels per Klemme und Stahlplatten
- 8:25 Temperaturmessung auf Teufe: 49 °C
- 8:35 Abspulen des verbleibenden Kabels (ca. 180 m)
- 8:45 Aufnehmen des Flansches und Fädeln des Kabels durch Flansch, Sperrhähne und Abfangbock

- 9:05
- Herablassen des Flansches und Anbringen der Halteösen sowie Stahlseile zum Abfangen von unten
 - Fädeln des Kabels des Drucksensors
 - Finalisieren von Flansch mit seinen Armaturen
 - Drucksensor wird auf 20 m unterhalb der Abfangklemme gehängt. Die 20-m-Kabelstrecke ist mit einer schwarzen Tape-Fahne markiert.
 - Der Drucksensor zeigt auf Teufe einen Druck von 1.835 bar an.
 - Aus dem Druck P und dem gemessenen Wasserspiegel $WS1 = 0.97$ m ergibt sich somit ein Korrekturwert $dx = 20 \text{ m} - WS1 - 10 \times P = 2.20$ m. Die Korrekturformel für den Wasserspiegel WS aus der Druckmessung lautet: $WS = 20 \text{ m} - dx - 10 \times P$ [m unter Flansch].
- 10:00 Aufspulen des verbleibenden Kabels auf Bobine im Bohrkeller. Es wurden ca. 15 m loses Kabelende zum Verlegen im Bohrkeller oder sonstiges ausserhalb der Bobine gelassen.
- 10:30 Abbau des 3-Bein, verschliessen des Bohrloch-Deckels, Aufräumen
- 11:00 Verschiedene Signaltests zur Verifikation der Funktionstüchtigkeit von Episensor und ASIR Sensor per Hammerschlag etc. Signifikante Signallaufzeit zwischen beiden Sensoren bestätigen die Tiefe
- 11:45 Versuch zur Bestimmung des Einflusses des Luftentfeuchters, installiert im Bohrkeller auf das Signal. Der Entfeuchter wurde ca. 10:46:00 UTC – 10:47:30 UTC laufen gelassen. Danach ca. 1 Minute Ruhe. Auf dem Live-Bildschirm ist kein Unterschied ersichtlich. Die nachträgliche Spektrogramm-Auswertung (nächster Abschnitt) zeigt ein klares Rauschen im ASIR-Sensor zwischen 120 – 170 Hz sowie im Episensor bei 50 Hz bei eingeschaltetem Luftentfeuchter.
- 11:50 Verlassen des Bohrkellers, Luftentfeuchter wurde auf Stufe niedrig eingeschaltet gelassen.
- 12:00 Verschliessen des Bohrplatzes

3.3 Messungen

Der Temperaturverlauf im ASIR Seismometer wurde aufgezeichnet, wenn das Sensorkabel zu Funktionstests mit dem Centaur verbunden wurde. Fig. 3-2 zeigt die Temperaturzunahme während des Sensoreinbaus. Auf Teufe stellt sich eine Temperatur von ca. 48 °C ein.

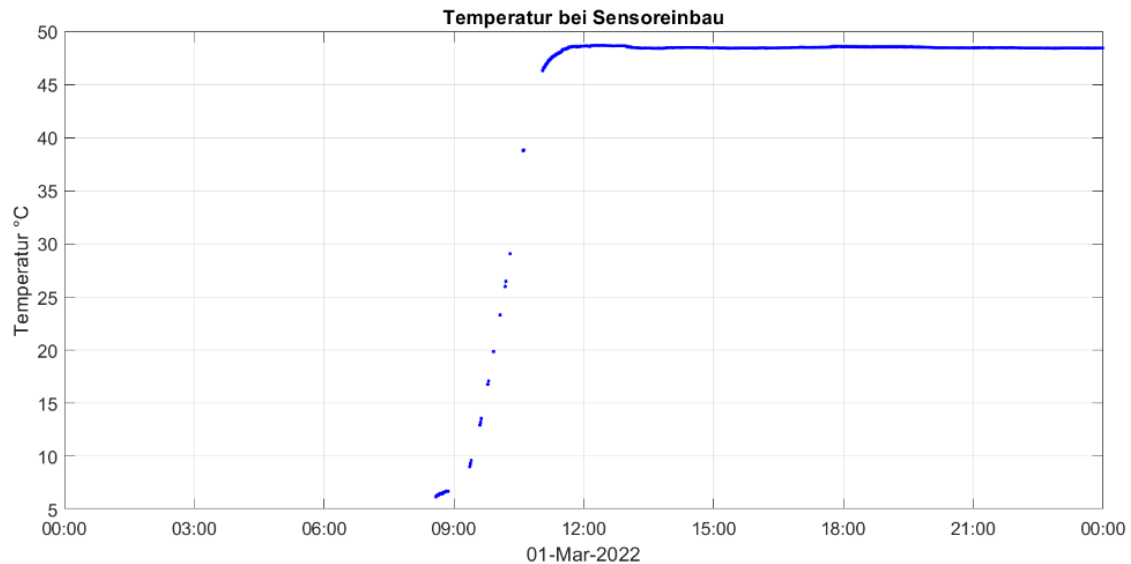


Fig. 3-2: Temperaturverlauf während des Sensoreinbaus 01.03.2022

Nach Einbau wurden Messungen zur Bestätigung der korrekten Installation des Seismometers durchgeführt (Fig. 3-3). Weiterhin wurde auch der Einfluss des im Bohrkeller installierten Luftentfeuchters auf die Datenqualität untersucht. Dazu wurde in einer ruhigen Phase der Luftentfeuchter für ca. 1 Minute angestellt und anschliessend eine weitere Ruhephase beobachtet (Fig. 3-4). Auf den Aufzeichnungen des Oberflächensensors (Station HRW.SF) zeigt sich bei eingeschaltetem Luftentfeuchter lediglich ein Störsignal bei 50 Hz. Zeitverzögert um etwa 1 Sekunde und im Frequenzbereich 110 – 170 Hz sieht man jedoch das Rauschen im Bohrlochsensor. Im unteren Frequenzbereich und insbesondere auch bei 50 Hz sind keine Unterschiede feststellbar. Es wurde daher entschieden, soweit es möglich ist, auf das Laufen eines Luftentfeuchters zu verzichten.

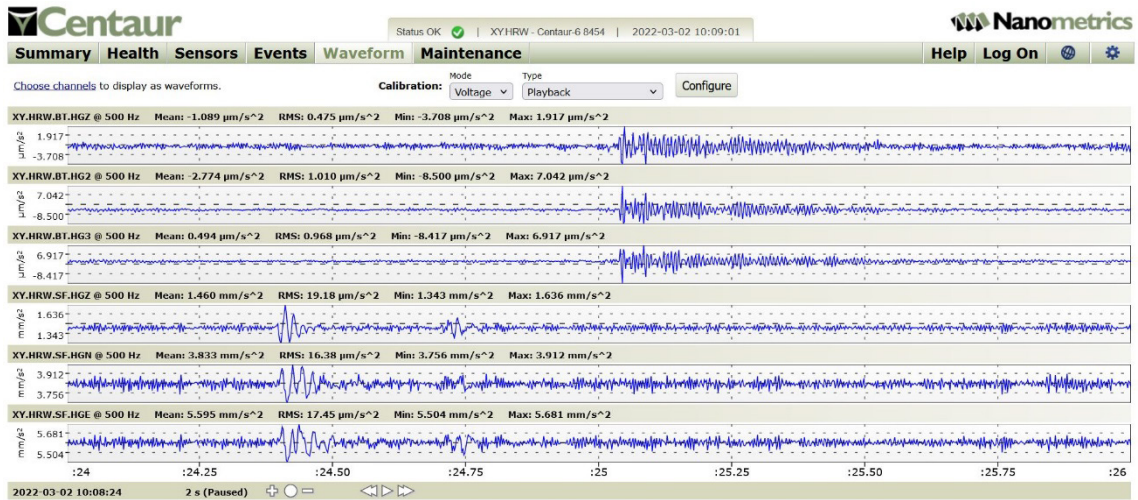


Fig. 3-3: Screenshot der Signale eines Stampfens im Bohrkellers
 Obere drei Zeitreihen sind vom ASIR Sensor auf 940 m, die unteren drei Zeitreihen vom Epissensor in der Zufahrt zum Bohrkeller.

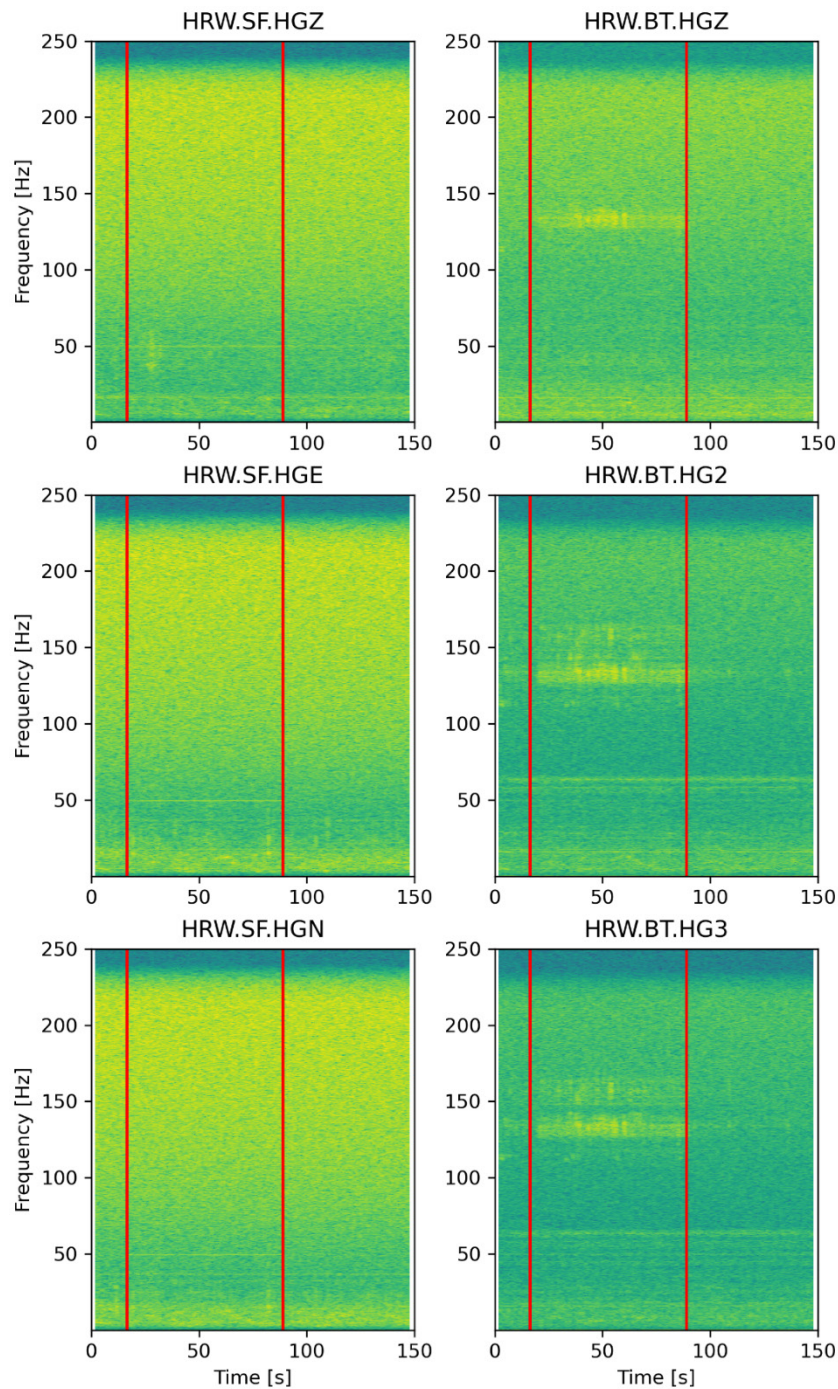


Fig. 3-4: Vergleich der Spektrogramme mit und ohne laufenden Entfeuchter

In den Wellenformen des Episensor (HRW.SF) ist ein deutliches 50-Hz-Störgeräusch bei eingeschaltetem Entfeuchter (ca. 17 – 89 s) zu sehen. Der ASIR-Sensor (HRW.BT) zeigt im gleichen Zeitintervall ein deutliches Rauschen zwischen 120 und 170 Hz. Die zeitliche Verzögerung von ca. 1 s ist aufgrund der Wellenlaufzeit zum Sensor auf 940 m Tiefe.

3.4 Foto-Dokumentation

01.03.2022



Fig. 3-5: 3-Bein ist aufgestellt und horizontal abgespannt (3. Abspannleine folgte später), 8:27 Uhr

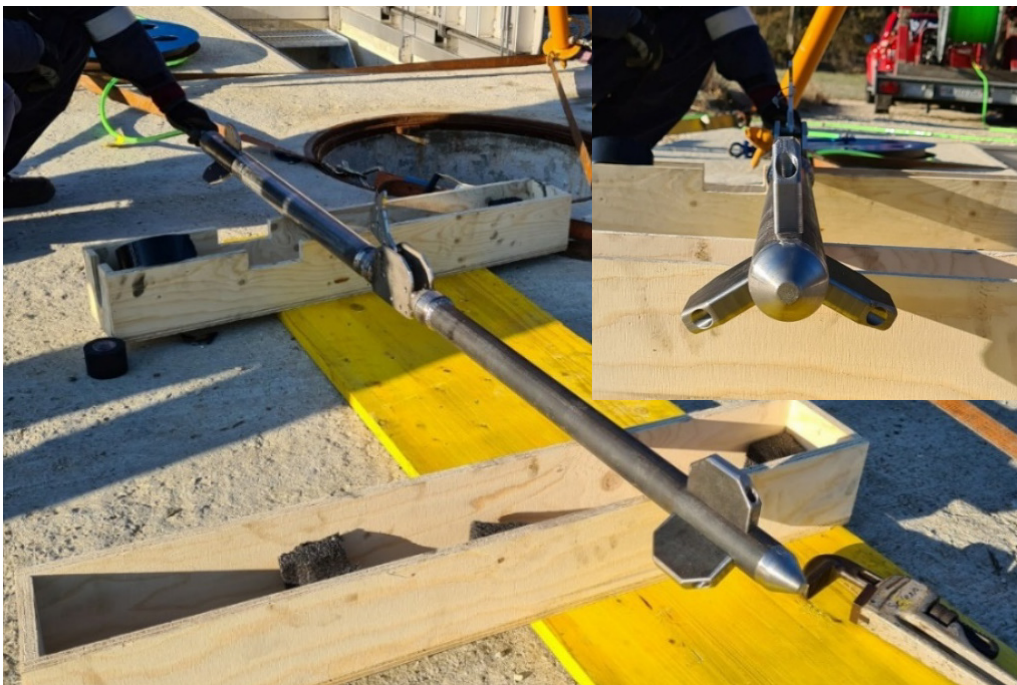


Fig. 3-6: Sensor, Hole Lock und Sinker Bar sind verschraubt und Finnen sind mit dem Hole Lock ausgerichtet (oben rechts), 8:52 Uhr



Fig. 3-7: Hole Lock ist per wasserlöslichen Pin gespannt, 10:10 Uhr



Fig. 3-8: Einfahren des Seismometers über eine grosse Seilrolle, 10:29 Uhr



Fig. 3-9: Das Einfahren des Seismometers wird per Kranwaage überwacht, 10:28 Uhr



Fig. 3-10: Einfahren des Seismometers per angetriebener Kabelwinde, 10:51 Uhr



Fig. 3-11: Seismometer ist auf Teufe. Markierung 939 m ist auf GOK, 11:35 Uhr

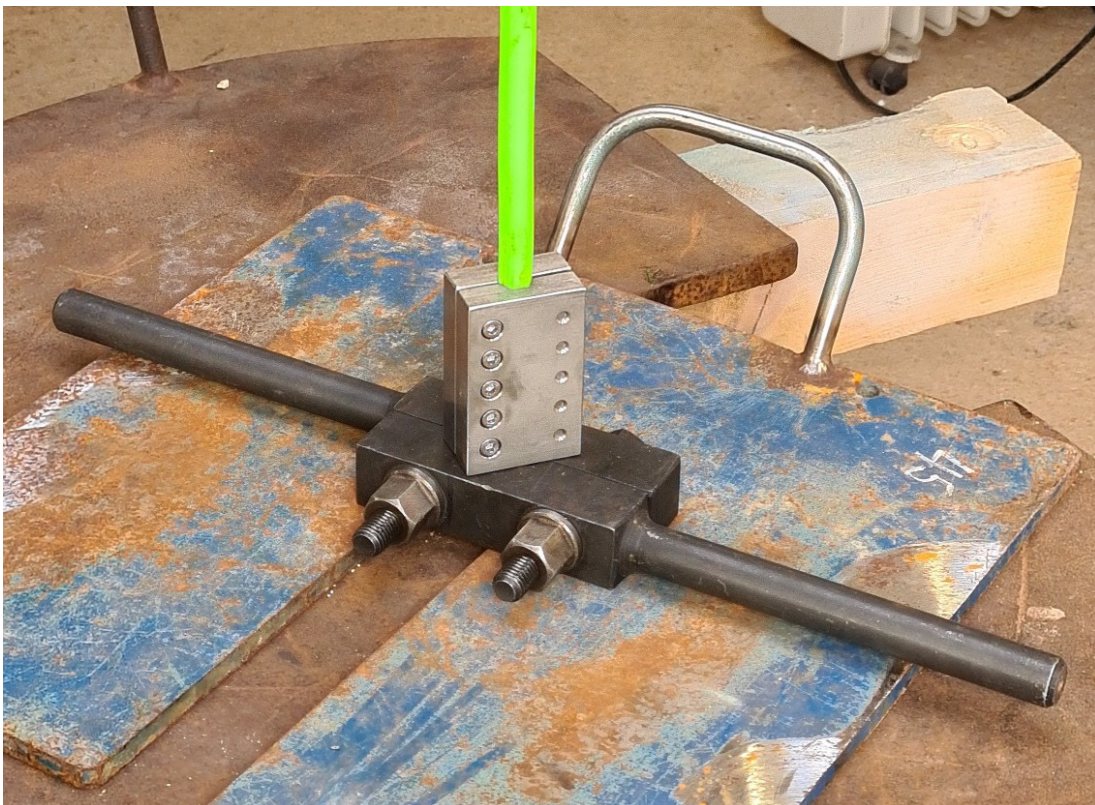


Fig. 3-12: Mit Kabelklemme auf Bohrlochkopf abgefangenes Kabel, Warten auf das Auslösen des Hole Lock, 12:35 Uhr

02.03.2022



Fig. 3-13: Abspulen restliches Kabel auf dem Feld, 8:35 Uhr



Fig. 3-14: Flansch mit durchgefädeltm Seismometerkabel vor dem Herablassen, 9:00 Uhr

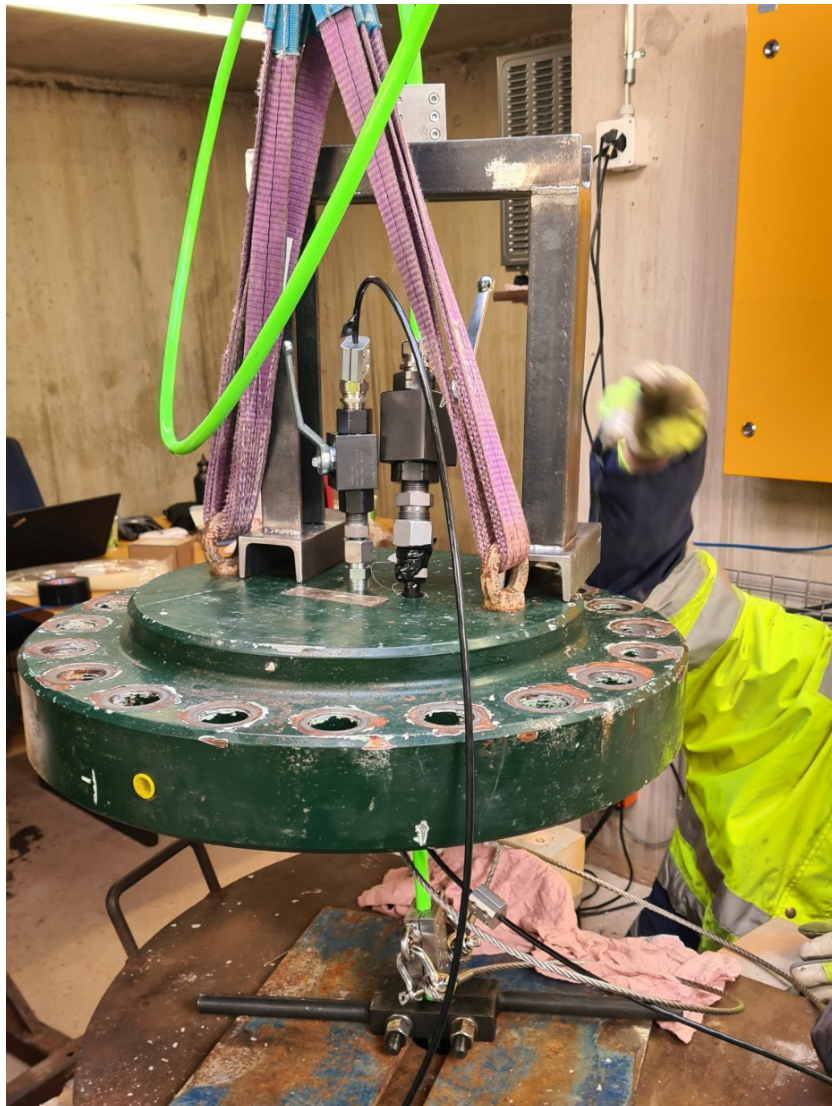


Fig. 3-15: Vorbereiten zum Absetzen des Flansches, 9:48 Uhr



Fig. 3-16: Abfangen der beiden Kabel unterhalb des Flansches, 9:53 Uhr



Fig. 3-17: Situation im Bohrkeller zum Abschluss der Arbeiten, 11:55 Uhr

Der gelbe und orange Kasten beherbergen die Elektronik zur Datenerfassung. Die beiden kleinen orangen Kästchen darunter sind die CO₂ und H₂S Sensoren.

4 Betrieb

4.1 Seismische Messdaten

Die seismische Station, bestehend aus dem Oberflächen- und dem Bohrlochsensor, nahm am 07.03.2022 die routinemässige Datenaufzeichnung auf. Die Station wurde dem nationalen Seismometer-Netzwerk hinzugefügt und wird mit dem Stationscode CH.BULAC geführt. Die Lokationscodes sind CH.BULAC.SF für den Episor an der Oberfläche sowie CH.BULAC.BT für den Bohrlochsensor. Die Stationsdaten und Metadaten werden durch den SED verwaltet und werden gemäss den FDSN Web Services Standards (seismologische Datenübermittlungs-Standards, <https://www.fdsn.org/webservices>) zur Verfügung gestellt. Ausserdem werden diese auch durch andere seismologische Datenzentren gespiegelt. Somit ist eine langfristige Verfügbarkeit der Daten gewährleistet.

Die Orientierung der zwei Horizontalkomponenten H1 und H2 des Bohrlochsenors erfolgte nach der Installation mittels Vergleich mit den Horizontalkomponenten nahegelegener Oberflächen-sensoren. Die resultierenden Azimute für CH.BULAC betragen 149° (H1) und 239° (H2). Ebenfalls durch die Analyse teleseismischer Daten wurde erkannt, dass die Phase der Vertikal-komponente 180° gedreht ist. Die finale Orientierung der Sensorkomponenten wurde in den Metadaten des seismologischen Datenarchivs erfasst (Beilage D), die Messdaten werden unverändert archiviert.

Die Horizontalkomponenten des Episor wurden nach Nord-Süd respektive West-Ost ausgerichtet.

Die aktuellen Metadaten zur Station CH.BULAC sind in Beilage D enthalten.

Eine erste Einschätzung der Datenqualität liefert uns das $M_L -0.3$ Beben, das am 19.03.2022 02:26 UTC, in der Nähe von Eglisau detektiert wurde (Fig. 4-1). In Fig. 4-2 sind die Wellenformen der beiden Sensoren der Station BULAC mit der Station FLACH verglichen. Zu beachten ist die etwa doppelte Epizentraldistanz der Station BULAC gegenüber FLACH. Es zeigt sich eine sehr hohe Signalqualität mit grossem Signal-Rausch-Abstand. Darüber hinaus wurde die Bodenunruhe für einen Zeitraum von einem Monat im März/April 2022 quantifiziert (Fig. 4-3). Es bestätigt sich, dass die Bohrlochstation eine äusserst geringe Bodenunruhe aufweist.

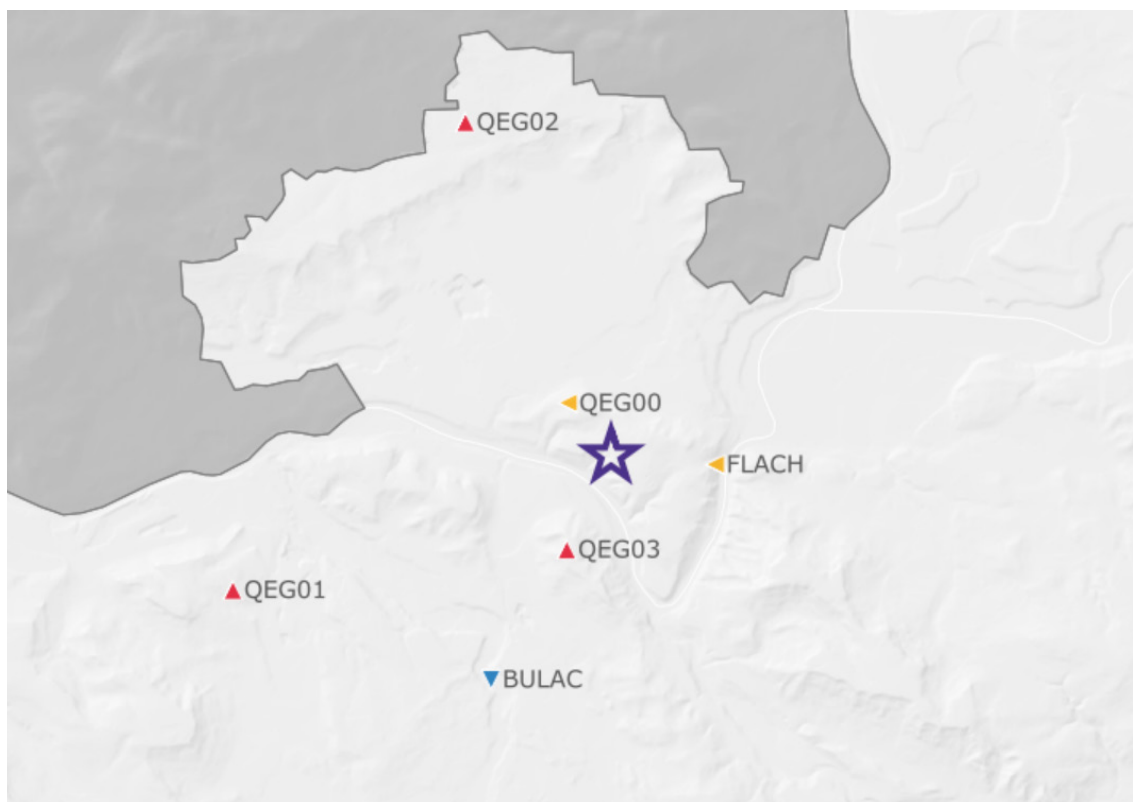


Fig. 4-1: Karte des $M_L -0.3$ Eglisau Bebens (Stern) mit umliegenden Stationen (Dreiecke)

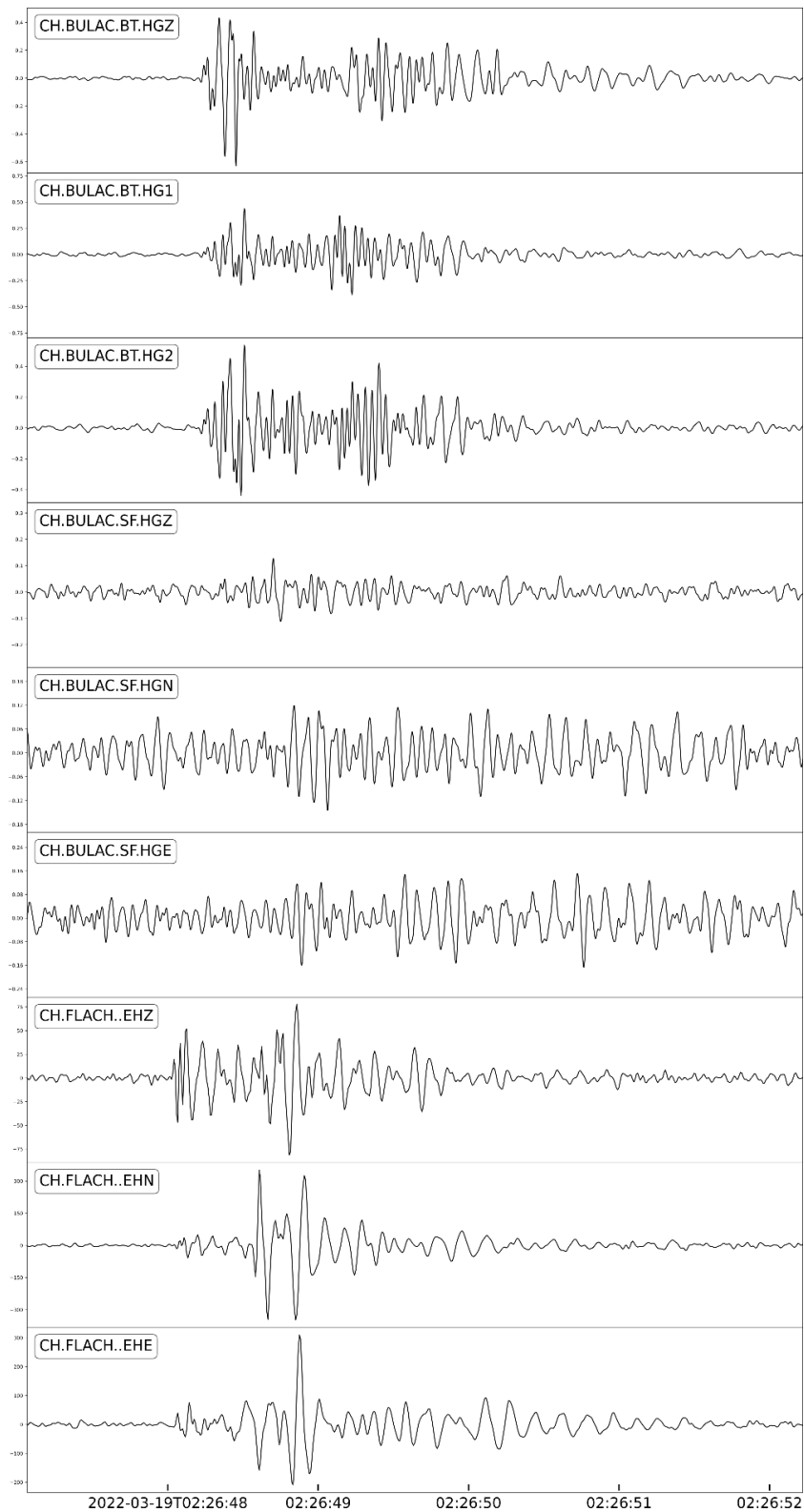


Fig. 4-2: Vergleich der Wellenformen der Bodengeschwindigkeit (Bandpass 5 – 30 Hz) für das Beben der Stärke $-0.3 M_L$ am 19.03.2022, 02:26 UTC in Eglisau

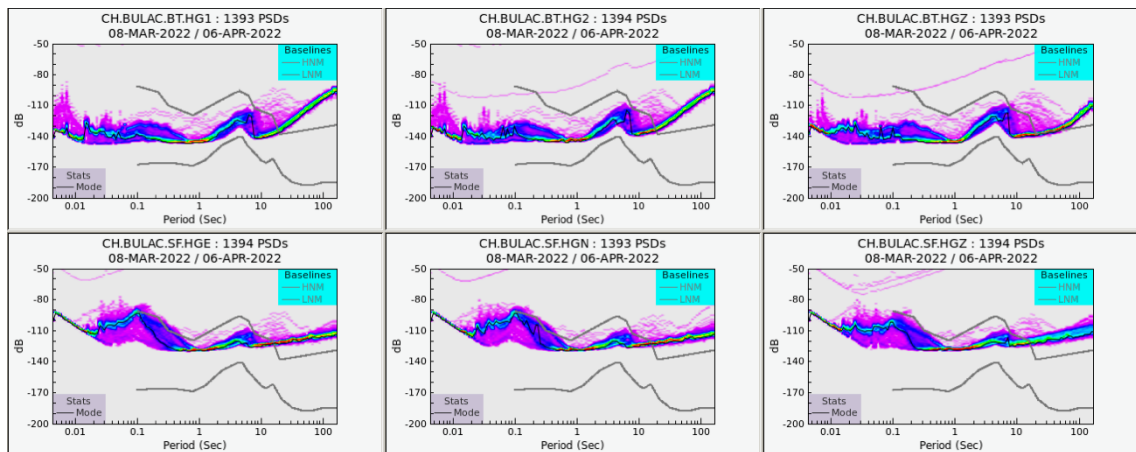


Fig. 4-3: Bodenerne als Wahrscheinlichkeits-Dichte-Funktionen des Leistungsdichte-spektrums für Bodenbeschleunigung für Testmessungen im März/April 2022

Oben, v.l.n.r.: Bohrlochsensor H1 Komponente, H2 Komponente, Vertikalkomponente. Untere Reihe, v.l.n.r.: Episensor E-W Komponente, N-S Komponente, Vertikalkomponente. Die Bodenerne und ihre Variabilität (Tagesgang) sind im Bohrloch deutlich geringer als an der Oberfläche.

4.2 Bohrlochüberwachung

Die kontinuierliche Bohrlochüberwachung misst Änderungen der Sensortemperatur auf 940 m Installationstiefe und den Wasserdruck im Bohrloch (Fig. 4-4). Die Sensortemperatur von rund 47.9 °C passt gut zur Temperaturmessung von 47.0 °C auf 949.04 m MD, gemessen am 20.03.2021 (Garrard et al. 2021) mittels Wireline Logging.

Der Wasserdruck wird auf 20 m Tiefe unterhalb des Flansch Well Head gemessen und in Tiefe Wasserspiegel konvertiert. Fig. 4-4 zeigt ein langsames Absinken des Wasserspiegels von gegenwärtig ca. 1.1 m unter dem Flansch mit einer Rate von rund 2 cm/Monat.

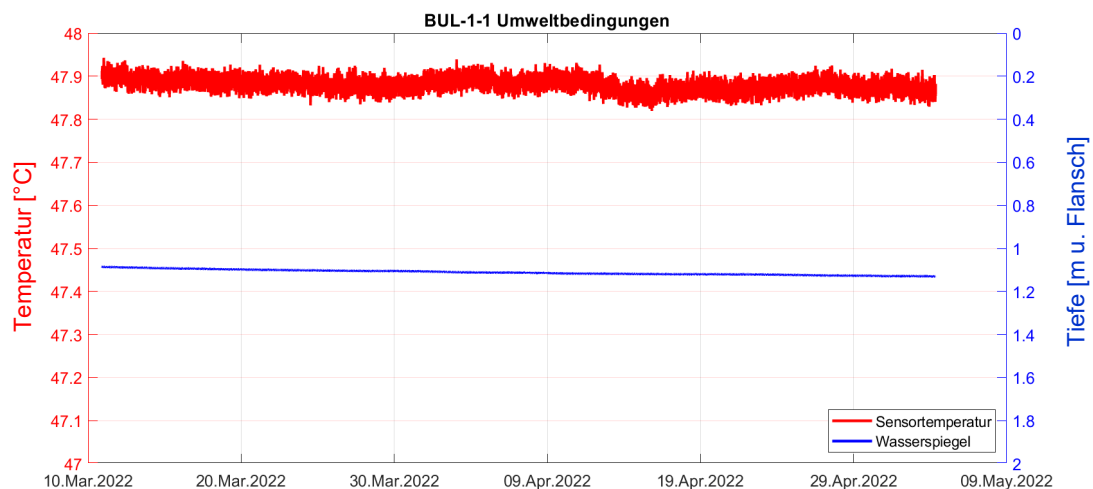


Fig. 4-4: Temperatur- und Druckdaten aus der Bohrlochüberwachung

4.3 Sicherheitstechnische Überwachung und Messdaten

Zur Überwachung des Bohrung wurde ein Drucksensor zur Detektion von Wasserspiegelschwankungen eingebaut sowie zwei Gassensoren im Bohrkeller, die die Konzentrationen an CO₂ und H₂S ständig überwachen. Diese Sensoren werden alle 15 s abgetastet und die Daten zusammen mit den Seismometer-Daten kontinuierlich an den SED gesandt. Bei Überschreitung festgelegter Grenzwerte löst der Überwachungsserver Alarm-E-mails an das zuständige Projektteam aus.

Der Grenzwert für Änderung des Wasserdrucks wurde auf 10 kPa (0.1 bar) festgelegt (entsprechend einer Absenkung der Wassersäule von rund 1 m im Bohrloch). Fehlalarme durch Luftdruckschwankungen (+/- 3 kPa) werden so vermieden.

Die Schwankungen des Gasgehalts im geschlossenen Bohrkeller nach der Installation sind in Fig. 4-5 dargestellt. Der CO₂-Gehalt liegt etwas über dem natürlich vorhandenen Gehalt von rund 400 ppm. H₂S wurde keines (0 ppm) festgestellt.

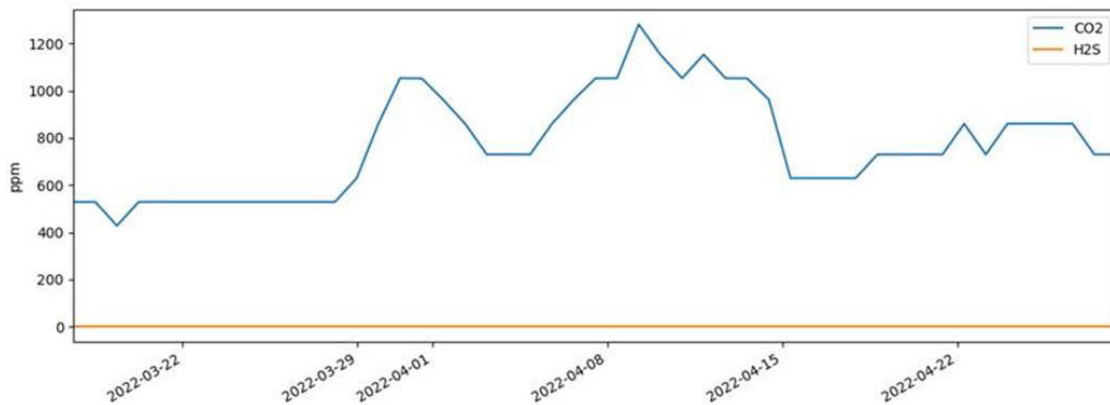


Fig. 4-5: Messdaten Gasüberwachung

Ein kurzfristiger Gaszutritt würde von den Gassensoren im Bohrkeller festgestellt. Die Alarmschwellen für Gaszutritt wurden unter Berücksichtigung der von der SUVA definierten Grenzwerte am Arbeitsplatz festgelegt (Suva 2021). Die Grenzwerte sind 5 ppm H₂S sowie 5'000 ppm CO₂. Als Alarmschwellen wurde jeweils die Hälfte der Grenzwerte definiert, also 2.5 ppm H₂S sowie 2500 ppm CO₂.

Auch mit dieser Überwachung ist ein Zugang in den Bohrkeller nur für instruiertes Personal und generell nur mit einem unabhängigen, portablem Gasmessgerät mit Warnfunktion erlaubt.

5 Literaturverzeichnis

Ammen, M. & Palten, P.-J. (2021): TBO Bülach-1-1: Data Report Dossier I Drilling. Nagra Arbeitsbericht NAB 20-08 I.

Garrard, R., Gonus, J., Desroches, J. & Bailey, E. (2021): TBO Bülach-1-1: Data Report Dossier VI Wireline Logging and Microhydraulic Fracturing. Nagra Arbeitsbericht NAB 20-08 VI.

Jordan, P., Naef, H., Schürch, P., Schwarz, M., Ibele, T., Felber, R. & Gysi, M. (2021): TBO Bülach-1-1: Data Report Dossier III Lithostratigraphy. Nagra Arbeitsbericht. NAB 20-08 III.

Plenkers, K. (2014): Das neue Schwachbebennetz in der Nordschweiz: Standortsuche, Standortauswahl, realisierte Stationen. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-56.

Suva (2021): Grenzwerte am Arbeitsplatz. Luzern (1903.d). Online verfügbar unter www.suva.ch/1903.d.

Beilage A

ASIR ABBT Spezifikation

BOREHOLE OPTICAL INTERFEROMETER 40 s to 400 Hz SONDES

Greater Sensitivity – Better Bandwidth

ASIR has integrated for borehole installation triaxial SiA optical-interference sensors with RefTek Wrangler recording systems and optional triaxial coil-spring geophones to create scientific-grade BROADBAND and FULLBAND borehole sondes. They provide unparalleled characteristics and performance for resource and scientific discovery. These 3- and 6-channel sondes deliver superior signal-to-noise ratio and broadband response in a rugged, easy-to-deploy borehole slimhole sonde. They can be deployed using slimhole drilling as small as BQ 76 mm ID. These sondes have been deployed around the world in a wide variety of seismic applications. Available in various 3 ch SiA outputs – High Sensitivity (HS), High Dynamic Range (HD), and Velocity (VE) (see 1st [Spec Sheet](#)) plus option for triaxial seismometer (see 2nd Spec Sheet for 4.5 Hz sensor).

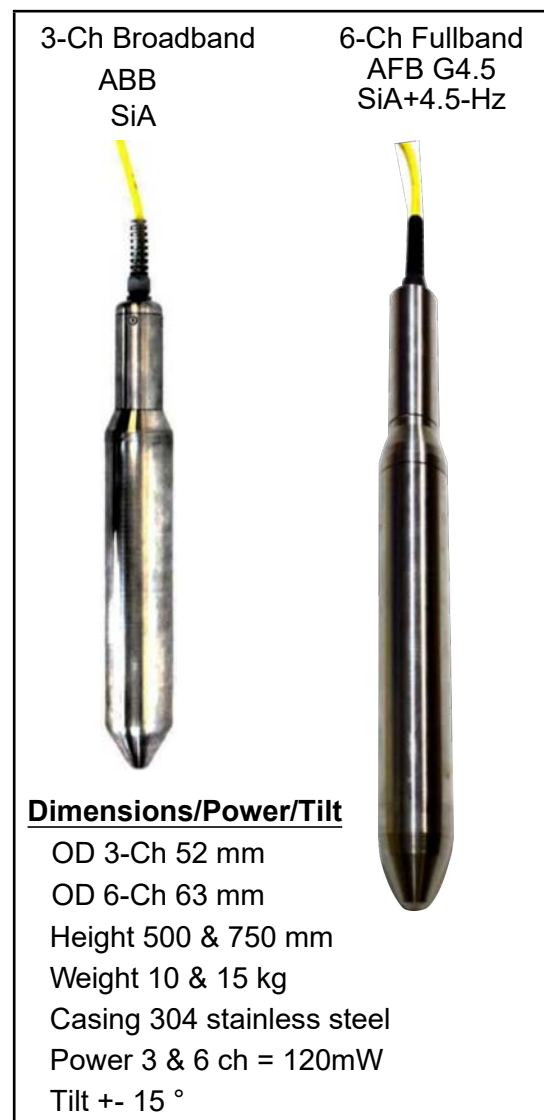
Performance Attributes (for technical specifications see next page):

- Choice of HS, HD, VE, all with broadband response
- High shock tolerance
- Wide bandwidth and high dynamic range
- Covers weak and strong motion applications
- Low cross-axis sensitivity
- Low power design
- Large tilt tolerance
- High clip levels and low distortion levels
- Customizable packaging/configuration
- Small, lightweight, rugged form factor
- High linearity across full seismic bandwidth
- High vector fidelity

With the largest dynamic range available among borehole seismic sondes, ASIR Fullband sondes eliminate the need for multiple sensors to maximize the signal capture in terms of seismic amplitude and band-width. Your needs can be addressed with a single ABB or AFB sonde, be it High Sensitivity, High Dynamic Range, or Velocity outputs of data.

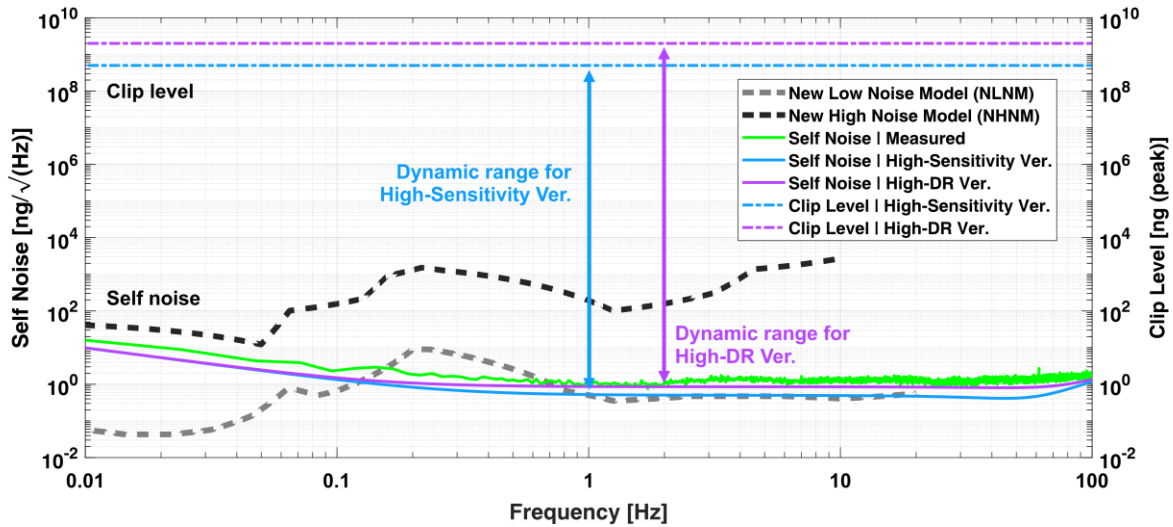
A standard passive coil-spring geophone can be included for special needs and the long-term dependability.

Seismic Low Noise Model Passband 40 s to 400 Hz





LOW-NOISE OPTICAL SEISMIC SENSOR
GREATER PRECISION. BETTER DECISIONS.



SENSOR PERFORMANCE	203-60 High Sensitivity	203-15 High Dynamic Range	213-40 Velocity
Passband	0.005 – 1500Hz	0.004 – 800Hz	0.025 – 90Hz
Noise	0.5ng/√Hz [@ 10Hz]	0.8ng/√Hz [@ 10Hz]	0.5ng/√Hz [@ 10Hz]
	0.8ng/√Hz [@ 1Hz]	1ng/√Hz [@ 1Hz]	0.8ng/√Hz [@ 1Hz]
	3ng/√Hz [@ 0.1Hz]	3ng/√Hz [@ 0.1Hz]	3ng/√Hz [@ 0.1Hz]
	10ng/√Hz [@ 0.01Hz]	10ng/√Hz [@ 0.01Hz]	10ng/√Hz [@ 0.01Hz]
Clip Level	±0.5g peak	±2.0g peak	±40mm/s
Dynamic Range (@1Hz over 1Hz BW)	172dB	183dB	154dB
Sensitivity (custom settings available)	60V/g	15V/g	750V/m/s
Max V _{out}	60V pk-pk		
Spurious Resonance	> 600Hz		
Tilt Tolerance	±15°		
Distortion	< 0.03% @12Hz and 0.7in/s pk-pk		
POWER			
Power	150mW for 3 axis (as low as 80mW with reduced clip level)		
Supply Voltage	6-25V DC		
HANDLING			
Transport	No mass lock required for transport		
Shock Tolerance	> 1500g (0.5ms ½ sine)		
Operating Temperature	-35°C to 75°C (polar-rated sensors available)		
GENERAL			
Dimensions	Posthole package: 3.25" Diameter × 4.7" Length (83mm D × 120mm L) Vault package: 4.5" L × 4.5" W × 2.7" H (115mm L × 115mm W × 68mm H)		
Configuration	3-axis (single axis available)		
Sensing Method	Force balance with interferometric transducer		
Mass Centering	Automatic		

Advanced Seismic Instrumentation & Research

ABBT

MidLine Broadband optical borehole accelerometer with RTD Temperature Probe

The **ABBT** is our standard ABB Broadband 3-component accelerometer sonde plus a **built-in high temperature probe**. It can be installed in 76 mm boreholes with tilts of up to 15°.



Features

- > Rugged optical sensors w/ high shock tolerance
- > active sensors with low power consumption
- > high tilt tolerance of up to 15°
- > for permanent or temporary installations

Sensor Parameters

6 dB Passband	0.005 (200 s) - 1500 Hz
<u>±1</u> dB flat response	50 sec. - 225 Hz
Dynamic Range	172 dB
Clip level	± 0.5 g
Depth range	0 - 1500 m
Distortion	< 0.03 %
Max V out	60V pk-pk
Shock tolerance Supply	> 1500 g
Voltage (Min) Power	11 V DC
	140 mW for 3 components
Operating temperature	-35 to +85°C
Sensitivity	60 V/g
Sensor type	3-C optical interferometer
Tilt tolerance	15°

Sonde Dimensions

Height	890 mm
Outer diameter	61 mm
Weight	8 kg

Cable

Delivered standard with 4 twisted shielded pairs, 400 kg Kevlar core, non-armored. Can be supplied with cable to meet customer specified requirements and length.

Advanced Seismic Instrumentation & Research

Built-in push-in RTD Temperature Probe with connecting cable



Temperature Probe Features

Model	902150/10
Operating Temperature	-50 to +180°C see ABB spec
Measurement Insert	1xPt 100 in 3 wire circuit
Tolerance Class	Class B (standard)
Protection Tube Diameter	5.2 mm
Insertion Length (EL)	50 mm (not for D<6mm)
Connecting Cable end	Ferrules (standard)
Connecting Cable length AL	2500 mm
Extra Code	000 (without extra code)

JUMO dTRANS T06 multifunction four-wire transmitter

The transmitter acquires the temperature through an RTD temperature probe or a thermocouple (double thermocouple). The transmitter can also acquire standard signals such as current 0 to 20 mA or voltage 0 to 10 V. Additionally, resistance / potentiometer with two-wire/three-wire/four-wire circuit can be acquired. The output signal is galvanically isolated from the measurement input and voltage supply. The new JUMO dTRANS T06 multifunction four-wire transmitter is suitable for challenging applications in plant engineering. The compact mounting rail case with a design width of 22.5 mm and coded plug-in terminals allows for quick control cabinet installation and safe replacement during calibration or maintenance work.

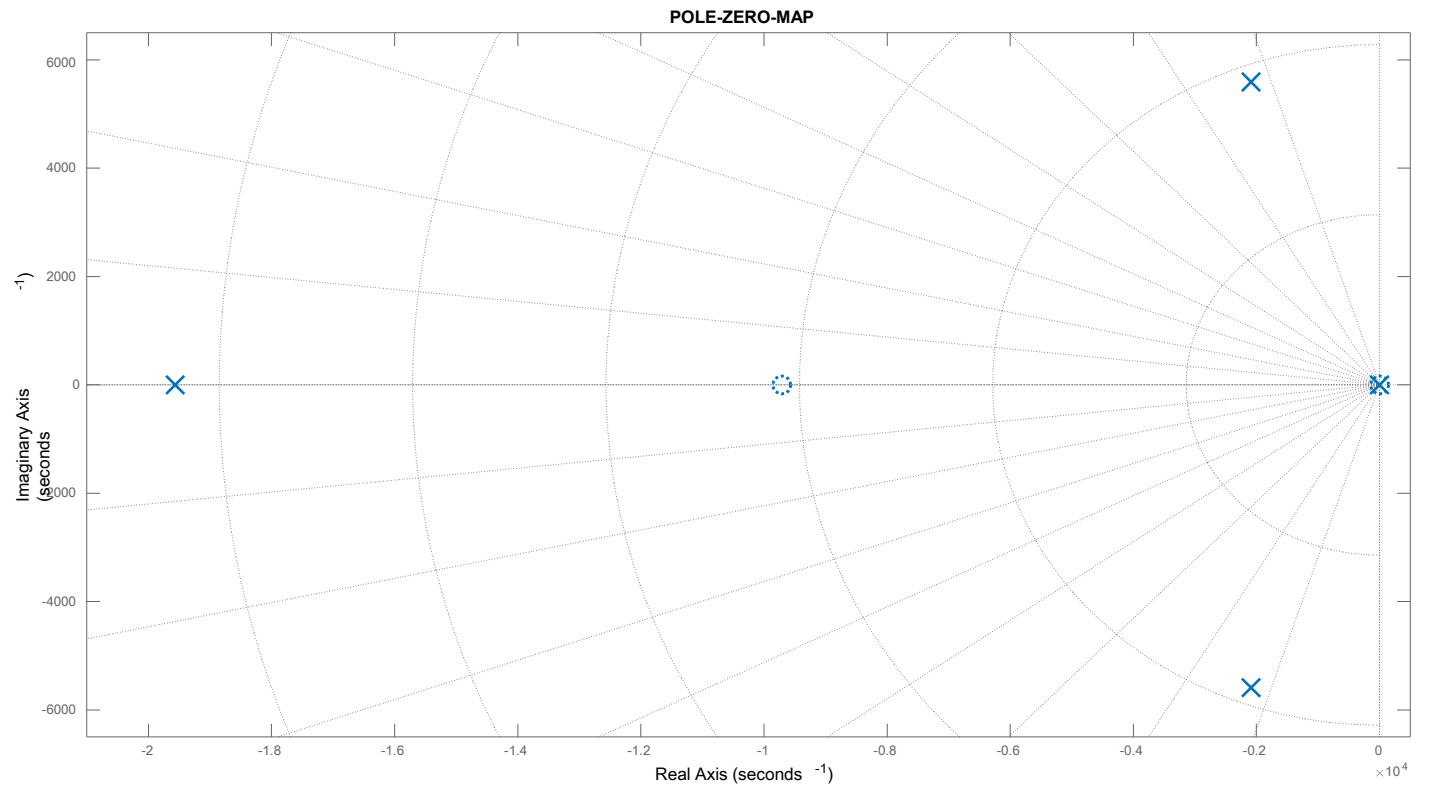
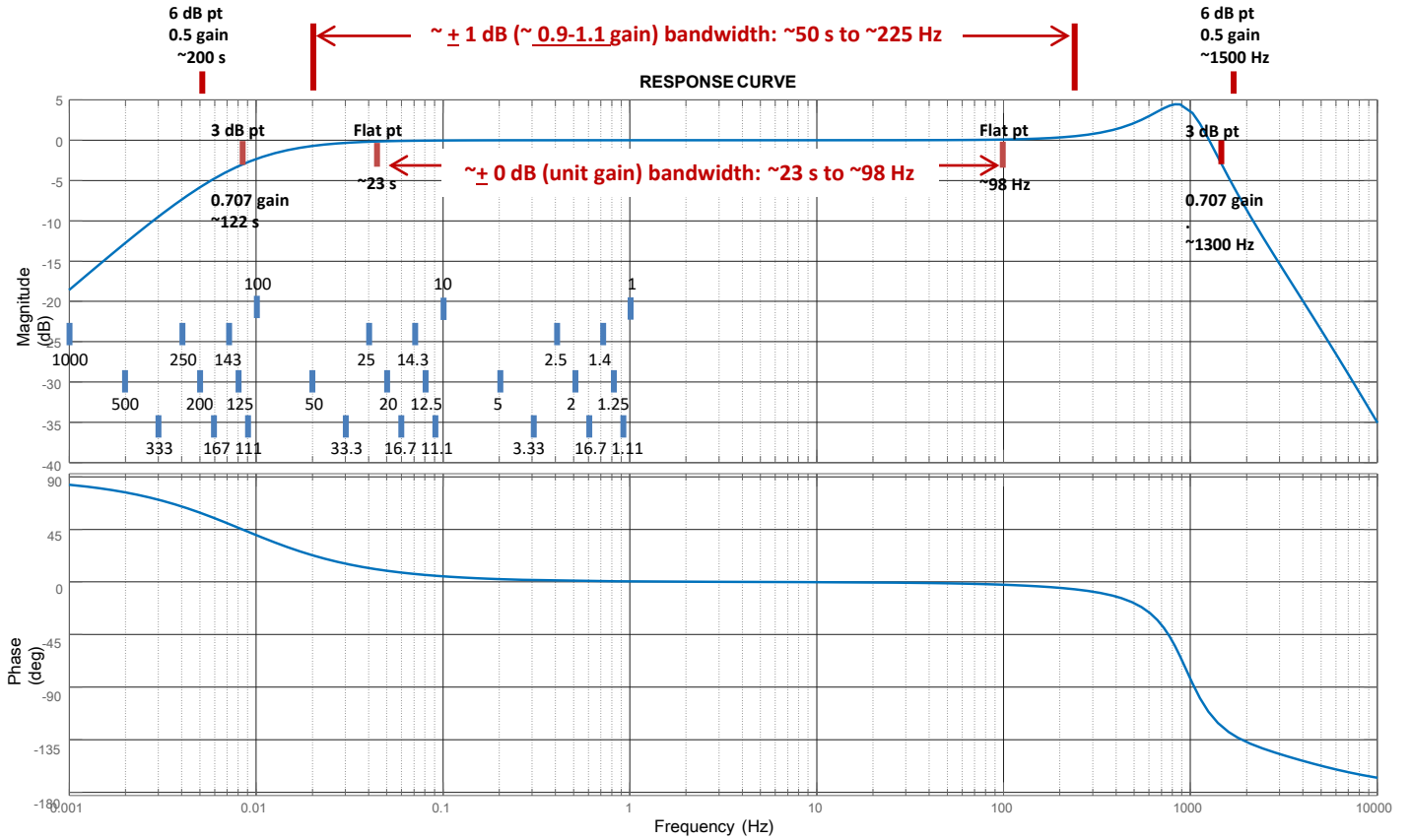


JUMO dTRANS T06 Transmitter Features

2/3-wire circuit Measurement range	-100 to +200°C (+/- 0.2K)
	-200 to +850°C (+/- 0.4K)
Sensor Line Resistor:	max. 50 Ω per line
D/A Converter Resolution:	> 15 bit
Analog Output Voltage	0 to 10 VDC (configurable)
Voltage Supply	24 VDC; 110 to 240 VAC
Power Consumption	max. 3 W
Operating/storage temp. range	≤85% relative humidity



AFB4.5 - SiA Response



AFB4.5 - Poles & Zeros

	AFB4.5		AFB4.5	
	REAL	IMAG	REAL	IMAG
TYPE	GEOPHONE		SiA	
A0 (norm.factor)	1.000E+00		7.178E+07	
COMPLEX ZEROS	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
	0.000E+00	0.000E+00	9.712E+03	0.000E+00
COMPLEX POLES	-1.640E+01	2.303E+01	-2.089E+03	5.591E+03
	-1.640E+01	-2.303E+01	-2.089E+03	-5.591E+03
			-5.299E-02	0.000E+00
			-1.957E+04	0.000E+00

Beilage B

EpiSensor Force Balance Accelerometer Spezifikationen



EPISENSOR

ES-T

EPISENSOR

Force Balance Accelerometer

The EpiSensor ES-T: A Flexible, Versatile Value

Kinematics announces its latest line of earthquake sensors – EpiSensor force balance accelerometers. Model FBA ES-T is a triaxial surface package useful for many types of earthquake recording applications. The unit consists of three EpiSensor force balance accelerometer modules mounted orthogonally in one small convenient package. With fullscale recording ranges of ± 0.25 to $\pm 4g$ (user selectable) the EpiSensor provides on-scale recording of earthquake motions even at nearfault locations and in a wide variety of structure types.

The significantly improved bandwidth of DC to 200 Hz allows engineers and scientists to study motions at higher frequencies while maintaining the very important DC response that allows simple field calibration and reduces post-processing confusion.

Output circuitry is also significantly enhanced. Several types of outputs can be field-selected by the user: $\pm 2.5V$ single-ended output for use with traditional Kinematics earthquake recording instruments: $\pm 10V$ single-ended or $\pm 20V$ differential output for use with Kinematics digital recorders and other 24-bit digital recorders currently on the market.

EpiSensor force balance accelerometers are also available in uniaxial (the FBA ES-U) and borehole (the FBA ES-SB shallow and FBA ES-DH deep) packages.



FEATURES

- Low noise
- Extended bandwidth - DC to 200Hz
- User-selectable full-scale range
- Calibration coil (standard)
- Single-end or differential output (user selectable)
- Double-stage transient protection





EPISENSOR

ES-T



SPECIFICATIONS

Dynamic range:	155 dB+
Bandwidth:	DC to 200Hz
Calibration coil:	Standard
Full-scale range:	User selectable at $\pm 0.25g$, $\pm 0.5g$, $\pm 1g$, $\pm 2g$ or $\pm 4g$
Outputs:	User selectable at: $\pm 2.5V$ single-ended $\pm 10V$ single-ended $\pm 5V$ differential $\pm 20V$ differential
Zero adjust:	Three user-friendly access holes for simple, safe, efficient adjustment
Linearity:	$< 1000 \mu g/g^2$
Hysteresis:	$< 0.1\%$ of full scale
Cross-axis sensitivity:	$< 1\%$ (including misalignment)
Zero point thermal drift:	$< 500 \mu g/^{\circ}C$ (1g sensor)
ESD, RF, EMI protection:	Double stage transient protection with gas arrester elements
Power consumption:	12mA from +/- 12V (Standard Amp) 35mA from +/- 12V (Low Noise Amp) Single supply option available
Physical size:	13.3 cm diameter (cylinder), 6.2 cm high
Mounting:	Single bolt mounting, three adjustable leveling feet and bubble level
Connection:	Single military-style metal connector
Operating Temperature:	-20° to $70^{\circ}C$ (0° to $160^{\circ}F$)
Housing:	Watertight enclosure

Specifications subject to change without notice.

Beilage C

Keller Drucksensor Kalibrations-Zertifikat




Calibration certificate

Prüfprotokoll / Fiche de calibration

Product no. 222735.0031

Produktnummer / No. de produit



Type Typ / Type	PA-27XW / 3bar / 81863.6			
Serial no. Seriennummer / No. de serie	1241615			
Measurement range (FS) Messbereich / Etendue de mesure	0	...	3	bar
Comp. temp. range Komp. Temp. Bereich / Gamme de temp. comp.	-10	...	80	°C
Power supply Speisung / Alimentation	10	...	30	V

Connector
Anschluss / Connecteur

Kabel-cable-Dig

WH : GND
GN : RS 485A

GY : n.c
YE : RS 485B

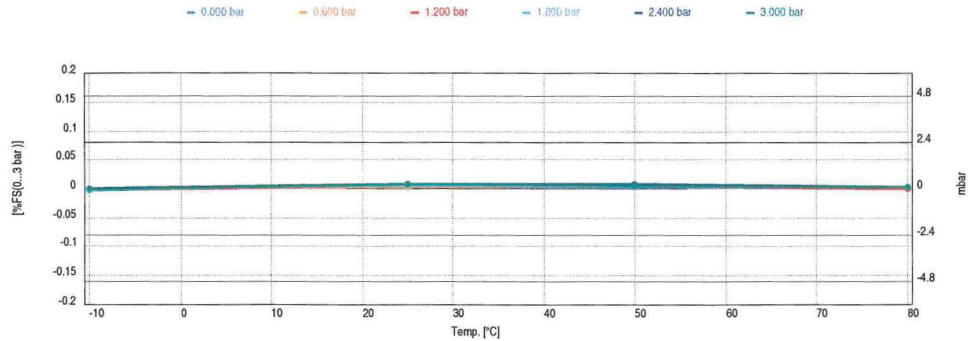
BN : -Vcc

Remark

Bemerkung / Remarque

Deviation measurement range

Abweichung Messbereich (digital) / Deviation étendue de mesure



Tolerance (digital) ±0.2%FS
Tolérance / tolérance digital

Test passed OK
Test i.O. / test réussi

Working standard PM02561, PM03679
Arbeitsnormal / étalon de travail

Linearity error (bfs) -0.001 %FS @ 25 °C
Linearitätsfehler / Erreur de linearité

Accuracy (TEB) -0.002 ... 0.009 %FS @ -10 ... 80 °C
Totales Fehlerband / Erreur total

Test person / Date ayi 03.11.2021
PrüferIn / Contrôlé par

Measuring and testequipment is traceable to national standards
according to <https://download.keller-druck.com/api/download/cc/KnsdusReun3d5nVtV2R/en/2019-01.pdf>

KELLER AG is certified according to ISO 9001
www.keller-druck.com

Beilage D

Metadaten CH.BULAC

CH : BULAC (2022-03-07 - 2599-12-31)

Network CH
Station BULAC
Site Name Bülach, ZH
Start 2022-03-07T07:37:00 (066)
End 2599-12-31T23:59:59 (365)
Data Center SED
Latitude 47.54236
Longitude 8.52044
Elevation (m) 389.6

Instruments

2022-03-07T07:37:00 (066) - 2599-12-31T23:59:59 (365)	
Location Code	Instruments / Channels
<u>BT</u>	ABBT HG1 500.0Hz SED HG2 500.0Hz SED HGZ 500.0Hz SED
<u>SF</u>	EpiSensor ES-T HGE 500.0Hz SED HGN 500.0Hz SED HGZ 500.0Hz SED

CH : BULAC : BT : HG1 (2022-03-07 - 2599-12-31)

Network CH
Station BULAC
Location BT
Channel HG1
Instrument ABBT
Start 2022-03-07T07:37:00 (066)
End 2599-12-31T23:59:59 (365)
Data Center SED
Latitude 47.54236
Longitude 8.52044
Elevation (m) 389.6
Depth (m) 940.0 (Local depth or overburden)
Azimuth 149.0 (SEED convention: Clockwise from north, Z=0, reversed=0)
Dip 0.0 (SEED convention: From horizontal, Z=-90, reversed=90)
Sample Rate (Hz) 500.0
Units M/S**2
Sensitivity 2468263.0 @ 5.0 Hz (SEED Stage 0)

CH : BULAC : BT : HG2 (2022-03-07 - 2599-12-31)

Network CH
Station BULAC
Location BT
Channel HG2
Instrument ABBT
Start 2022-03-07T07:37:00 (066)
End 2599-12-31T23:59:59 (365)
Data Center SED
Latitude 47.54236
Longitude 8.52044
Elevation (m) 389.6
Depth (m) 940.0 (Local depth or overburden)
Azimuth 239.0 (SEED convention: Clockwise from north, Z=0, reversed=0)
Dip 0.0 (SEED convention: From horizontal, Z=-90, reversed=90)
Sample Rate (Hz) 500.0
Units M/S**2
Sensitivity 2468263.0 @ 5.0 Hz (SEED Stage 0)

CH : BULAC : BT : HGZ (2022-03-07 - 2599-12-31)

Network CH
Station BULAC
Location BT
Channel HGZ
Instrument ABBT
Start 2022-03-07T07:37:00 (066)
End 2599-12-31T23:59:59 (365)
Data Center SED
Latitude 47.54236
Longitude 8.52044
Elevation (m) 389.6
Depth (m) 940.0 (Local depth or overburden)
Azimuth 0.0 (SEED convention: Clockwise from north, Z=0, reversed=0)
Dip 90.0 (SEED convention: From horizontal, Z=-90, reversed=90)
Sample Rate (Hz) 500.0
Units M/S**2
Sensitivity 2468263.0 @ 5.0 Hz (SEED Stage 0)

CH : BULAC : SF : HGE (2022-03-07 - 2599-12-31)

Network CH
Station BULAC
Location SF
Channel HGE
Instrument EpiSensor ES-T
Start 2022-03-07T07:37:00 (066)
End 2599-12-31T23:59:59 (365)
Data Center SED
Latitude 47.54225
Longitude 8.5203
Elevation (m) 389.6
Depth (m) 0.5 (Local depth or overburden)
Azimuth 90.0 (SEED convention: Clockwise from north, Z=0, reversed=0)
Dip 0.0 (SEED convention: From horizontal, Z=-90, reversed=90)
Sample Rate (Hz) 500.0
Units M/S**2
Sensitivity 407880.0 @ 1.0 Hz (SEED Stage 0)

CH : BULAC : SF : HGN (2022-03-07 - 2599-12-31)

Network CH
Station BULAC
Location SF
Channel HGN
Instrument EpiSensor ES-T
Start 2022-03-07T07:37:00 (066)
End 2599-12-31T23:59:59 (365)
Data Center SED
Latitude 47.54225
Longitude 8.5203
Elevation (m) 389.6
Depth (m) 0.5 (Local depth or overburden)
Azimuth 0.0 (SEED convention: Clockwise from north, Z=0, reversed=0)
Dip 0.0 (SEED convention: From horizontal, Z=-90, reversed=90)
Sample Rate (Hz) 500.0
Units M/S**2
Sensitivity 407880.0 @ 1.0 Hz (SEED Stage 0)

CH : BULAC : SF : HGZ (2022-03-07 - 2599-12-31)

Network CH
Station BULAC
Location SF
Channel HGZ
Instrument EpiSensor ES-T
Start 2022-03-07T07:37:00 (066)
End 2599-12-31T23:59:59 (365)
Data Center SED
Latitude 47.54225
Longitude 8.5203
Elevation (m) 389.6
Depth (m) 0.5 (Local depth or overburden)
Azimuth 0.0 (SEED convention: Clockwise from north, Z=0, reversed=0)
Dip -90.0 (SEED convention: From horizontal, Z=-90, reversed=90)
Sample Rate (Hz) 500.0
Units M/S**2
Sensitivity 407880.0 @ 1.0 Hz (SEED Stage 0)