



ARBEITSBERICHT NAB 23-35

Datenbericht Langzeitbeobachtung
Benken, Marthalen-1-1, Bözberg-1-1,
Stadel-3-1
Dokumentation der Messdaten 2022

März 2024

D. Longridge, T. Vogt & A. Pechstein



ARBEITSBERICHT NAB 23-35

Datenbericht Langzeitbeobachtung
Benken, Marthalen-1-1, Bözberg-1-1,
Stadel-3-1
Dokumentation der Messdaten 2022

März 2024

D. Longridge¹, T. Vogt² & A. Pechstein²

¹Monitron AG Polymetra

²Nagra

STICHWÖRTER

Langzeitbeobachtung, LZB, Benken BEN, Marthalen MAR1-1,
Bözberg BOZ1-1, Stadel STA3-1, hydraulische Druckhöhen,
Temperaturprofil

**Nagra | Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver Abfälle**
Hardstrasse 73 | 5430 Wettingen | Schweiz
+41 56 437 11 11 | info@nagra.ch | 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.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	III
Figurenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Datenerhebung und Methodologie	3
2.1 Dokumentation der Feldaktivitäten	3
2.2 Berechnung der hydraulischen Druckhöhen.....	4
2.3 Messungen der Temperaturprofile.....	4
3 LZB Benken BEN	7
3.1 Status und Betrieb.....	7
3.2 Hydraulische Druckhöhen	9
3.2.1 Jahresganglinien	10
3.2.2 Stichtagsmessung.....	10
4 LZB Marthalen MAR1-1	15
4.1 Status und Betrieb.....	15
4.2 Hydraulische Druckhöhen	17
4.2.1 Jahresganglinien	17
4.2.2 Stichtagsmessung.....	19
4.3 Temperaturprofil.....	19
5 LZB Bözberg BOZ1-1	23
5.1 Status und Betrieb.....	23
5.2 Hydraulische Druckhöhen	25
5.2.1 Jahresganglinien	25
5.2.2 Stichtagsmessung.....	29
5.3 Temperaturprofil.....	29
6 LZB Stadel STA3-1.....	33
6.1 Status und Betrieb.....	33
6.2 Hydraulische Druckhöhen	33
6.2.1 Jahresganglinien	35
6.2.2 Stichtagsmessung.....	38
6.3 Temperaturprofil.....	38
7 Referenzen	41

Anhang A	Bohrung BEN – LZB-System	A-1
A.1	BEN Datenblatt 2022.....	A-2
A.2	BEN Logbuch 2022	A-3
A.3	BEN Jahresblätter 2022	A-9
Anhang B	Bohrung MAR1-1 – LZB-System.....	B-1
B.1	MAR1-1 Datenblatt 2022	B-2
B.2	MAR1-1 Logbuch 2022.....	B-3
B.3	MAR1-1 Jahresblätter 2022.....	B-5
Anhang C	Bohrung BOZ1-1 – LZB-System.....	C-1
C.1	BOZ1-1 Datenblatt 2022	C-2
C.2	BOZ1-1 Logbuch 2022.....	C-3
C.3	BOZ1-1 Jahresblätter 2022.....	C-4
Anhang D	Bohrung STA3-1 – LZB-System.....	D-1
D.1	STA3-1 Datenblatt 2022.....	D-2
D.2	STA3-1 Logbuch 2022	D-3
D.3	STA3-1 Jahresblätter 2022	D-4

Anmerkung: Nur in der digitalen Version dieses Berichtes sind die Anhänge A.3, B.3, C.3 und D.3 enthalten und unter dem Büroklammersymbol abgelegt.

Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1:	Unterbrüche der Datenerfassung des LZB-Systems BEN im Jahr 2022.....	9
Tab. 3-2:	LZB BEN: Messwerte der Stichtagsmessung vom 01.07.2022, 15:00 Uhr.....	12
Tab. 3-3:	LZB BEN: Messwerte der Stichtagsmessung vom 31.12.2022, 15:00 Uhr.....	12
Tab. 4-1:	Unterbrüche der Datenerfassung des LZB-Systems MAR1-1 im Jahr 2022.....	15
Tab. 4-2:	LZB MAR1-1: Messwerte der Stichtagsmessung vom 31.12.2022, 15:00 Uhr.....	19
Tab. 5-1:	Unterbrüche der Datenerfassung des LZB-Systems BOZ1-1 im Jahr 2022.....	23
Tab. 5-2:	LZB BOZ1-1: Messwerte der Stichtagsmessung vom 31.12.2022, 15:00 Uhr.....	29
Tab. 6-1:	Unterbrüche der Datenerfassung des LZB-Systems STA3-1 im Jahr 2022.....	33
Tab. 6-2:	LZB STA3-1: Messwerte der Stichtagsmessung vom 31.12.2022, 15:00 Uhr.....	38

Figurenverzeichnis

Fig. 3-1:	Bohrlochschemata der Sondierbohrung BEN mit lithostratigraphischem Profil, Bohrlochausbau und installiertem MPS zur LZB.....	8
Fig. 3-2:	LZB BEN: Ganglinien der hydraulischen Druckhöhen der Beobachtungszonen Z1 bis Z8 für das Jahr 2022	11
Fig. 3-3:	LZB BEN: Hydraulische Druckhöhen der Stichtagsmessungen vom 31.12.2022 15:00 in m. u. GOK und m. ü. M.....	13
Fig. 4-1:	Bohrlochschemata der Tiefbohrung MAR1-1 mit lithostratigraphischem Profil, Bohrlochausbau und installiertem MPS zur LZB.....	16
Fig. 4-2:	LZB MAR1-1: Jahresganglinien der hydraulischen Druckhöhen im Beobachtungszeitraum 2022 inklusive Druckschwankungen während Systeminstallation und Packer spannen.....	18
Fig. 4-3:	LZB MAR1-1: Ganglinien der hydraulischen Druckhöhen der Beobachtungszonen Z1 bis Z9 für das Jahr 2022	20
Fig. 4-4:	LZB MAR1-1: Hydraulische Druckhöhen der Stichtagsmessungen vom 31.12.2022 15:00 in m. u. GOK und m. ü. M.....	21
Fig. 4-5:	Temperaturprofil der Tiefbohrung MAR1-1 von 15.12.2022	22
Fig. 5-1:	Bohrlochschemata der Tiefbohrung BOZ1-1 mit lithostratigraphischem Profil, Bohrlochausbau und installiertem MPS zur LZB.....	24
Fig. 5-2:	LZB BOZ1-1: Jahresganglinien der hydraulischen Druckhöhen im Beobachtungszeitraum 2022 inklusive Druckschwankungen während Systeminstallation und Packer spannen.....	26
Fig. 5-3:	LZB BOZ1-1: Ganglinien der hydraulischen Druckhöhen der Beobachtungszonen Z1 bis Z9 für das Jahr 2022	27
Fig. 5-4:	LZB BOZ1-1: Hydraulische Druckhöhen der Stichtagsmessungen vom 31.12.2022 15:00 in m. u. GOK und m. ü. M.....	30
Fig. 5-5:	Temperaturprofil der Tiefbohrung BOZ1-1 von 16.12.2022.....	31
Fig. 6-1:	Bohrlochschemata der Tiefbohrung STA3-1 mit lithostratigraphischem Profil, Bohrlochausbau und installiertem MPS zur LZB.....	34
Fig. 6-2:	LZB STA3-1: Jahresganglinien der hydraulischen Druckhöhen im Beobachtungszeitraum 2022 inklusive Herrenwies Formation (Z8)	36
Fig. 6-3:	LZB STA3-1: Ganglinien der hydraulischen Druckhöhen der Beobachtungszonen Z1 bis Z9 für das Jahr 2022	37
Fig. 6-4:	LZB STA3-1: Hydraulische Druckhöhen der Stichtagsmessungen vom 31.12.2022 15:00 in m. u. GOK und m. ü. M.....	39
Fig. 6-5:	Temperaturprofil der Tiefbohrung BOZ1-1 von 16.12.2022.....	40

Abkürzungsverzeichnis

BEN	Sondierbohrung Benken
BOZ1-1	Tiefbohrung Bözberg-1-1
DAS	System zur Datenaufzeichnung (data aquisition system)
FS	Full scale
GOK	Geländeoberkante
LZB	Langzeitbeobachtung
MAR1-1	Tiefbohrung Marthalen-1-1
MPS	Multi-Packer-System
m.ü.M.	Meter über Meeresniveau
OK	Oberkante
OTDR	Optical time-domain reflectometry
STA3-1	Tiefbohrung Stadel-3-1

1 Einleitung und Zielsetzung

Im Jahr 2022 betrieb die Nagra Langzeitbeobachtungssysteme in folgenden Bohrungen:

- Benken (BEN), Installation des LZB-Systems (Baker-Hughes) mit 8 Beobachtungszonen im Jahr 2009 (Jäggi 2019)
- Marthalen-1-1 (MAR1-1), Installation des LZB-Systems (Solexperts AG) mit 9 Beobachtungszonen in Mai 2022 (Schoenball et al. 2023a)
- Bözberg-1-1 (BOZ1-1), Installation des LZB-Systems (Solexperts AG) mit 9 Beobachtungszonen in Juni 2022 (Schoenball et al. 2023b)
- Stadel-3-1 (STA3-1), Installation des LZB-Systems (Solexperts AG) mit 9 Beobachtungszonen in Juli 2022 (Schoenball et al. 2023c)

Neben der Messung der hydraulischen Druckhöhen in den Beobachtungszonen der genannten Bohrungen wurden in den Bohrungen MAR1-1, BOZ1-1 und STA3-1 jährliche Temperaturprofile mittels Glasfasermessung aufgenommen.

Alle erhobenen Langzeitmessdaten sind bei der Nagra archiviert.

Ziel dieses Berichtes ist es, den Betrieb und die Datenerhebung der von der Nagra im Jahr 2022 betriebenen Systeme zur Langzeitbeobachtung (LZB) zu dokumentieren. Kapitel 2 fasst die Methodologie der Datenerhebung kurz zusammen. Die anschliessenden Kapitel dokumentieren die Aktivitäten und den Betrieb der jeweiligen LZB-Systeme sowie die im Jahr 2022 erhobenen Daten ohne weiterführende Interpretation.

2 Datenerhebung und Methodologie

2.1 Dokumentation der Feldaktivitäten

In den zur Langzeitbeobachtung (LZB) ausgewählten Bohrungen wurden ausgewählte Intervalle zur Beobachtung der hydraulischen Druckhöhen messtechnisch ausgerüstet. Der vorliegende Bericht umfasst die Dokumentation der Aktivitäten an den jeweiligen LZB-Systemen und die Ergebnisse der Datenerhebung inklusive der Darstellung der gemessenen Daten. Generell werden neben der automatisierten Datenerfassung regelmässige Kontrollgänge an den Bohrkellern durchgeführt.

Die Messdaten werden täglich von den lokalen Datenerfassungen zur zentralen Datenbank Hydras 3, Version 4.0 transferiert. Die Datenbanksoftware verfügt über die Möglichkeit der automatischen Alarmierung bei Störungen der Datenerfassung, sowie bei Über- oder Unterschreitungen von definierten Sensorwerten. Dadurch wird eine Datenaufzeichnung ohne längere Ausfälle sichergestellt. Alle Messdaten (Rohdaten sowie die berechneten hydraulischen Druckhöhe) werden jährlich bei der Nagra langzeitarchiviert.

Zusätzlich zur zusammenfassenden Beschreibung der jeweiligen LZB-Systeme in den folgenden Kapiteln sind Detailangaben zu jeder Beobachtungszonen in Datenblättern dokumentiert. Diese Datenblätter sind in den Anhängen A.1 – D.1 zu den jeweiligen LZB-Systemen diesem Bericht beigelegt und beinhalten folgende Angaben:

- Tiefe der Beobachtungszonen (Intervalle)
- Packersitze
- Perforationen der Verrohrung und des Zements (= aufgeschossene Bohrlochabschnitte) bzw. offene Bohrlochabschnitte
- geologische Einordnung
- Sensortyp; Druckbereich und Seriennummern
- Abhängteufe der Sensoren im Standrohr
- Zeitraum der Datenaufzeichnung und Messfrequenz und Zeitbezug

Sämtliche Feldaktivitäten werden in Form laufend nachgeführter Aktivitätenlisten (Logbücher) dokumentiert und sind in den Anhängen A.2 – D.2 zu den jeweiligen LZB-Systemen enthalten. Diese Aktivitätenlisten umfassen Angabe zu:

- Kontrollgänge
- Defekte an der Messeinrichtung
- Installations- und Wartungsarbeiten bzw. Änderungen von Systemkomponenten (Packer nachspannen, Sensoren neu positionieren etc.)

Die Dokumentation der Messdaten erfolgt in Form von Jahresganglinien und Stichtagsmessungen. Weiterhin sind die Daten für jede Beobachtungszone in Form von Jahresblättern in den Anhängen A.3– D.3 zu den jeweiligen LZB-Systemen dokumentiert. Ein Jahresblatt enthält die statistischen Angaben Tagesmittelwert, Monatsmittelwert, Monatsmaximum und Monatsminimum in einer Tabelle sowie die graphische Darstellung der Tagesmittelwerte als Ganglinie. Diese Darstellungsart erlaubt die rasche Erkennung von Aufzeichnungslücken. Im unteren Teil des Jahresblatts sind tabellarisch und graphisch statistische Angaben des Betriebszeitraumes dargestellt.

2.2 Berechnung der hydraulischen Druckhöhen

Die hydraulischen Druckhöhen werden in diesem Bericht in Meter relativ zum Meeresspiegel angegeben. Da die Drucksensoren in den Standrohren (Standpipes, z. B. in Fig. 3-1) in unterschiedlichen Tiefen aufgehängt sind, muss der von den installierten Sensoren gemessene Absolutdruck (p in kPa) korrigiert und in Druckhöhe umgerechnet werden. Dabei wird der atmosphärische Druck (p_{atmo}) korrigiert, und mittels Schwerebeschleunigung ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) und Fluid-dichte ($\rho = 1'000 \text{ kg/m}^3$) die Höhe der die Sensormembran (Messpunkt) überlagernde Wassersäule (WS in m über dem Messpunkt) umgerechnet (Formel 1).

$$\frac{p - p_{atmo}}{g\rho} = WS \quad (\text{Formel 1})$$

Aus der Wassersäule WS, der bekannten Abhängtiefe des Sensors unter Oberkante des Standrohres und der Distanz zwischen Standrohrroberkante und Geländeoberkante, errechnet sich der Wasserspiegel (hydraulische Druckhöhe) in Meter über Meereshöhe (m ü. M.).

Bei der Messung und Umrechnung der Druckdaten treten mehrere Unsicherheiten auf, welche im Folgenden aufgelistet und diskutiert werden.

- Die subartesischen Messungen werden mit den Tauchsensoren vom Typ MTM/N10 (Hersteller STS) durchgeführt. Die installierten Sensoren haben einen Druckbereich von 0 – 6 bar bzw. 0 – 2 bar mit einer Genauigkeit von $\pm 0.1 \%$ des vollen Messbereichs (FS). Daraus ergibt sich für die hydraulische Druckhöhe der maximale Messfehler von $\pm 0.06 \text{ m}$ (6 bar Sensor) bzw. $\pm 0.02 \text{ m}$ (2 bar Sensor).
- Unsicherheiten der Einbautiefe der Sensoren ergeben sich bei der Messung der Kabellänge des Sensors (bevor Sensor und Kabel im Standrohr installiert werden) sowie bei der Installation des Sensors, falls das Kabel nicht perfekt gerade im Standrohr verläuft oder sich ggf. leicht dehnt. Die damit einhergehende Unsicherheit wird auf $\pm 0.5 \%$ der geplanten Installationstiefe des Sensors im Standrohr geschätzt.
- Die berechneten Werte der Wassersäule nutzen eine Fluid-dichte von $1'000 \text{ kg/m}^3$. Die Dichteverteilung im Bohrloch und in den Standrohren kann jedoch Schwankungen unterliegen. Die Unsicherheit der Fluid-dichte resultiert in einer angenommenen Unsicherheit bei den hydraulischen Druckhöhen von ± 0.02 bis 0.20 m , in Abhängigkeit von der Höhe der Wassersäule über dem Sensor.

2.3 Messungen der Temperaturprofile

In den LZB-Systemen der Bohrungen MAR1-1, BOZ1-1 und STA3-1 werden Temperaturprofile mittels Glasfaserkabel und "Distributed Temperature Sensing" (DTS) gemessen. In der Bohrung Benken ist kein Glasfaserkabel für DTS-Messungen installiert.

Entlang des Multi-Packer-Systems wurde in den entsprechenden Bohrungen ein Glasfaserkabel installiert, das als tiefenorientierter Temperatursensor dient. Die Temperaturprofile werden entlang der Multi-Mode-Fasern des Glasfaserkabels mittels «Distributed Temperature Sensing» (DTS) gemessen. Zusätzlich werden auch OTDR-(optical-time-domain-reflectometry-) Messungen durchgeführt, um Veränderungen in den optischen Eigenschaften der Fasern zu untersuchen.

Für die DTS-Messungen wird ein APSensing N4386B 12 km-Range Gerät benutzt in sogenannter «dual-ended» Konfiguration, da die beiden Multi-Mode-Fasern an der tiefsten Stelle zusammengepleisst sind. Die räumliche Auflösung beträgt 1.0 m und das räumliche Messintervall 0.5 m . Es werden sechs Messungen durchgeführt und jede Messung dauerte 600 s . Zur Kalibration wird

eine 2-Punkt-Methode benutzt. Dazu werden Sektionen des Glasfaserkabels in einer isolierten Box (bei Raumtemperatur) und in einem mobilen Wärmebad (60 °C) platziert und die Temperatur in den beiden Kalibrationsbädern mit DTS und PT1000-Sensoren gemessen. Die Genauigkeit der DTS-Messung nach Kalibration beträgt 0.17 K bei Raumtemperatur und 0.25 K bei 60 °C. Die Temperaturdaten werden prozessiert (beide Fasern sowie alle sechs Messungen werden gemittelt) und im resultierende Temperaturprofil dargestellt.

Die Messungen werden mit einem EXFO MAX-720C-Q1-EA-EI Gerät bei Wellenlängen 850 nm und 1'300 nm durchgeführt.

3 LZB Benken BEN

3.1 Status und Betrieb

Das vormals in der Sondierbohrung BEN installierte LZB-System von Westbay wurde 2009 durch ein LZB-System von Baker-Hughes mit 8 Beobachtungszonen ersetzt (Jäggi 2019). Fig. 3-1 zeigt das derzeitige Bohrlochschema der Sondierbohrung BEN mit lithostratigraphischem Profil, Bohrlochausbau und dem zur LZB installierten Multi-Packer-System (MPS). Appendix A.1 enthält das Datenblatt der Bohrung Benken (Stand: Dezember 2022) mit den Detailangaben zur jeder Beobachtungszone.

Das im Jahre 2009 eingebaute MPS funktionierte während des Berichtsjahres störungsfrei. Alle Drücke der sieben im Bohrloch installierten Packer schwankten geringfügig bedingt durch Temperaturschwankungen im Bohrkeller. Leckagen oder Defekte an den im Bohrkeller installierten Druckausgleichsgefässen traten nicht auf.

Tab. 3-1 fasst Datenausfälle im Jahr 2022 zusammen, z. B. aufgrund von defekten Drucksensoren oder Ausfällen des Systems zur Datenaufzeichnung (DAS). Die grünen Felder zeigen Zeiträume, über welche die Druckdaten in ausreichender Qualität erhoben werden konnten, rot markierte Felder verweisen auf Zeiträume mit Datenverlust der betroffenen Beobachtungszonen.

Die während des Berichtsjahres 2022 aufgetretenen Datenverluste, insbesondere im Januar, April, Mai und Juni resultierten aus Problemen am DAS. Der Grund waren vermutlich grössere Erdungs-Ausgleichsströme. Diese wurden mit Umstellung des Systems und der Installation von Isolatoren im DAS am 26.08.2022 behoben. Störungen der im April 2022 erhobenen Daten in Beobachtungszone Z8 (Muschelkalk) stehen damit vermutlich in Zusammenhang und wurden für die Datenerhebung deshalb nicht berücksichtigt.

Ein defekter Drucksensor der Beobachtungszone Z4 (Opalinuston) wurde am 07.04.2022 ersetzt. Wie schon bei früheren Ereignissen war der aufgetretene Defekt auf eine undichte Kabel-einbindung zurückzuführen. Die dadurch ins Innere des Drucksensors eingedrungene Feuchtigkeit verursachte einen Kurzschluss an der Elektronik des Sensors.

In der ehemals artesischen Beobachtungszone Z6 (Lias) schwankte der Wasserspiegel im Jahr 2022 um GOK. Bereits im November 2021 wurde die Beobachtung in Z6 auf subartesische Messungen mittels Tauchsensoren umgestellt (Hayer et al. 2022) und im Februar 2022 das Standrohr bis OK mit Wasser aufgefüllt. Der installierte Tauchsensoren zeigte jedoch im Jahresverlauf 2022 keine charakteristische hydraulische Antwort. Änderungen des Wasserstandes konnten mit dem installierten Tauchsensoren nicht aufgelöst werden. Die entsprechenden Daten wurden in 2022 aufgezeichnet, im Zuge der Qualitätskontrolle jedoch verworfen. Für die Beobachtungszone Z6 (Lias) existieren somit für das Jahr 2022 keine Daten der hydraulischen Druckhöhe.

Beobachtungszone Z7 (Keuper, Klettgau) ist ausschliesslich für die Messung artesischer Druckverhältnisse ausgelegt. Der während des Jahres 2022 vorherrschende sub-artesische Wasserspiegel war daher nicht messbar.

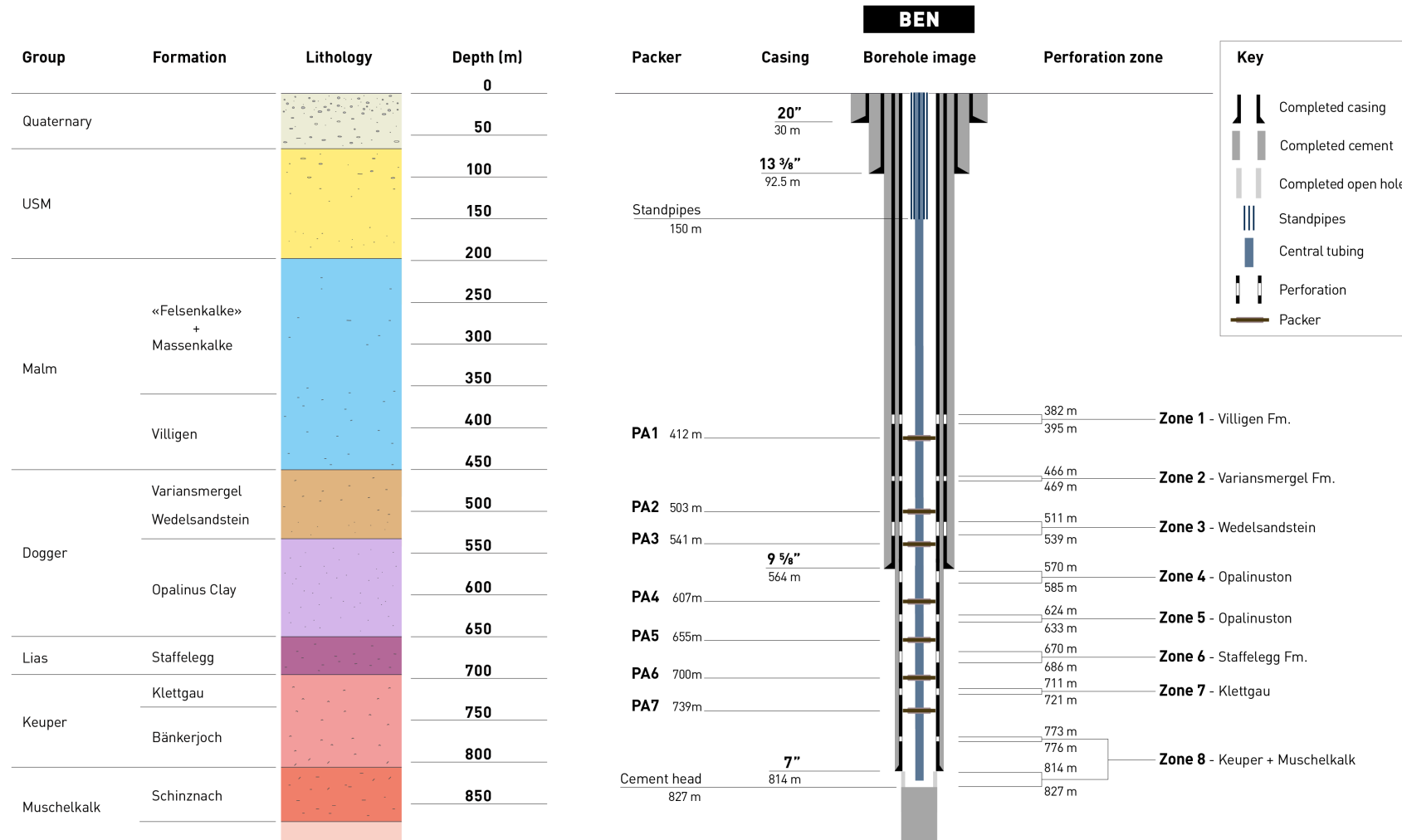


Fig. 3-1: Bohrlochschemata der Sondierbohrung BEN mit lithostratigraphischem Profil, Bohrlochausbau und installiertem MPS zur LZB

Tab. 3-1: Unterbrüche der Datenerfassung des LZB-Systems BEN im Jahr 2022

grün = funktionierende Datenerhebung, Daten vorhanden

rot = keine qualitätsgesicherten Daten vorhanden oder Datenverlust

- 1) In Beobachtungszone Z6 schwankte der Wasserspiegel um GOK. Änderungen des Wasserstandes konnten mit dem installierten Tauchsensoren nicht aufgelöst werden.
- 2) Beobachtungszone Z7 ist ausschliesslich für artesischen Messungen ausgelegt. Der sub-artesische Wasserspiegel war im Beobachtungszeitraum nicht messbar.

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6 ¹⁾	Z7 ²⁾	Z8	Bemerkung
01.01. – 18.01.	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	grün	
18.01. – 20.01.	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	Ausfall DAS
20.01. – 07.04.	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	grün	
07.04.	grün	grün	grün	rot	grün	rot	rot	grün	Drucksensor Z4 ersetzt
07.04. – 19.04.	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	grün	
19.04. – 27.04.	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	rot	Drucksensor Z8 gestört
27.04. – 09.05.	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	Ausfall DAS
09.05. – 16.06.	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	grün	
16.06. – 20.06.	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	Ausfall DAS
20.06. – 26.08.	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	grün	
26.08.	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	Installation Isolatoren DAS
27.08. – 31.12.	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	grün	

3.2 Hydraulische Druckhöhen

Die hydraulischen Druckhöhen werden in diesem Bericht in Meter über dem Meeresspiegel (m ü. M.) angegeben. Die Berechnung der Wasserspiegelhöhen (in m ü. M.) aus den aufgezeichneten Druckwerten (in kPa) ist in Kapitel 2.2 beschrieben. Für Benken wird dabei, historisch bedingt, die Fallbeschleunigung auf 10 m/s^2 gerundet und die Standrohroberkante mit der Geländeoberkante gleichgesetzt. Daraus ergeben sich im Vergleich zu Daten der anderen LZB-Systeme leicht erhöhte Unsicherheiten der berechneten Wasserspiegelhöhen. Um den existierenden Datensatz konsistent weiterzuführen wird die bisherige Berechnungsmethode auch in diesem Bericht beibehalten.

Aufgrund der Fehlerabschätzung und methodischen Unsicherheiten wird die Bandbreite der Unsicherheit mit ca. 3.5 % der gemessenen Wassersäule abgeschätzt. Für Benken variieren die Unsicherheiten für die Zonen zwischen -0.5 und +1.5 m.

Anhang A.3 fasst die hydraulischen Daten in Jahresblättern je Beobachtungszone zusammen.

3.2.1 Jahresganglinien

Die Jahresganglinien der hydraulischen Druckhöhen sind in Fig. 3-2 für die jeweiligen Beobachtungszonen dargestellt.

Für die Beobachtungszonen Z6 (Lias, Staffelegg Formation) und Z7 (Keuper, Klettgau-Formation) liegen, wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben, keine Daten für das Jahr 2022 vor. Die Jahresganglinien der Beobachtungszonen Z1, Z4 und Z8 zeigen zeitweise verstärktes Rauschen vermutlich aufgrund der oben beschriebenen Probleme der Erdungs-Ausgleichsströme.

In den subartesischen Beobachtungszonen Z1 (Malm), Z2 und Z3 («Brauner Dogger») sowie Z8 (Keuper/Muschelkalk) zeigen die hydraulischen Druckhöhen im Berichtsjahr sehr schwach schwankende Werte. In den Beobachtungszonen Z4 und Z5 (Opalinuston) sind über den Jahresverlauf konstant fallende Druckhöhen zu beobachten. Sprünge in der hydraulischen Druckhöhe dieser beiden Beobachtungszonen resultieren aus der Anpassung der Sensortiefen. D. h., beim Abhängen des Drucksensors verdrängt das eintauchende Sensorkabel das Wasser im Standrohr und führt zum sprunghaften Anstieg der Wassersäule. Das verdrängte Wasservolumen wird anschliessend von der Formation zeitverzögert aufgenommen.

3.2.2 Stichtagsmessung

Fig. 3-3, Tab. 3-2 und Tab. 3-3 zeigen die berechneten hydraulischen Druckhöhen in m ü. M. für die Stichtage 01.07.2022 und 31.12.2022 15:00 Uhr. Der Atmosphärendruck betrug zu diesem Zeitpunkt 97.4 bzw. 97.2 kPa.

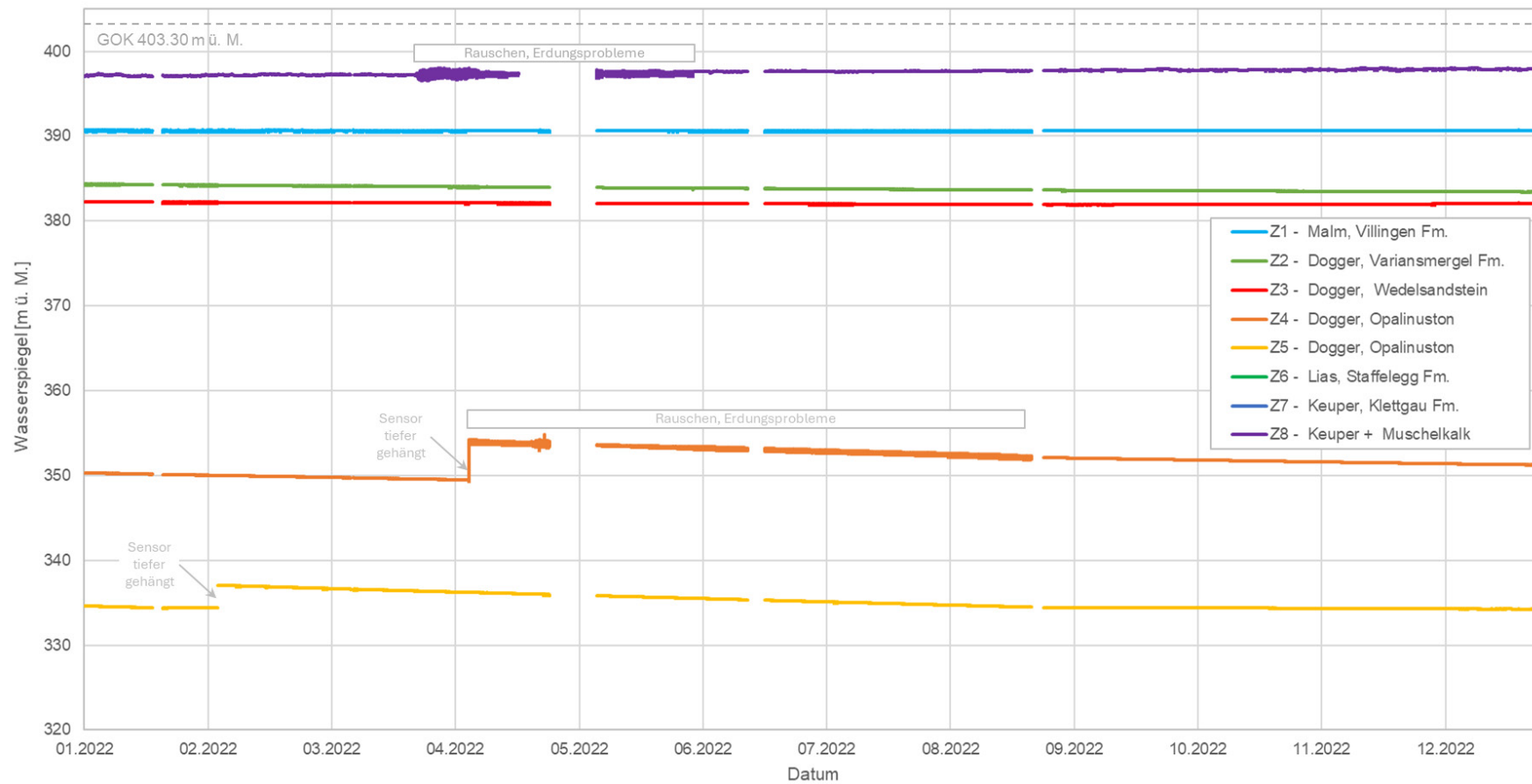


Fig. 3-2: LZB BEN: Ganglinien der hydraulische Druckhöhen der Beobachtungszonen Z1 bis Z8 für das Jahr 2022

Zone 6 (Lias, Staffelegg Fm.) lieferte aufgrund von Wasserstandsschwankungen um GOK in 2022 keine verlässlichen Daten.

Zone 7 (Keuper, Klettgau Fm.) ist aufgrund subartesischer Verhältnisse nicht messbar.

Tab. 3-2: LZB BEN: Messwerte der Stichtagsmessung vom 01.07.2022, 15:00 Uhr

¹ Zonen 6 und 7 lieferten keine verlässlichen Daten.

Zone Nr.	Drucksensor¹ [m unter OK Standrohr]	Sensormesswert am 01.07.2022 [kPa]	Wasserspiegel [m unter OK Standrohr]	Wasserspiegel [m ü. M.]
1	30	260.3	13.71	390.59
2	30	192.2	20.52	383.78
3	30	174.4	22.30	382.00
4	90	484.0	51.34	352.96
5	90	305.9	69.15	335.15
6 ¹	-	-	-	-
7 ¹	-	-	-	-
8	30	330.3	6.71	397.59

Tab. 3-3: LZB BEN: Messwerte der Stichtagsmessung vom 31.12.2022, 15:00 Uhr

¹ Zonen 6 und 7 lieferten keine verlässlichen Daten.

Zone Nr.	Drucksensor¹ [m unter OK Standrohr]	Sensormesswert am 31.12.2022 [kPa]	Wasserspiegel [m unter OK Standrohr]	Wasserspiegel [m ü. M.]
1	30	261.1	13.62	390.68
2	30	188.4	20.88	383.42
3	30	175.1	22.22	382.08
4	90	466.7	53.06	351.24
5	90	296.8	70.05	334.25
6 ¹	-	-	-	-
7 ¹	-	-	-	-
8	30	333.3	6.39	397.91

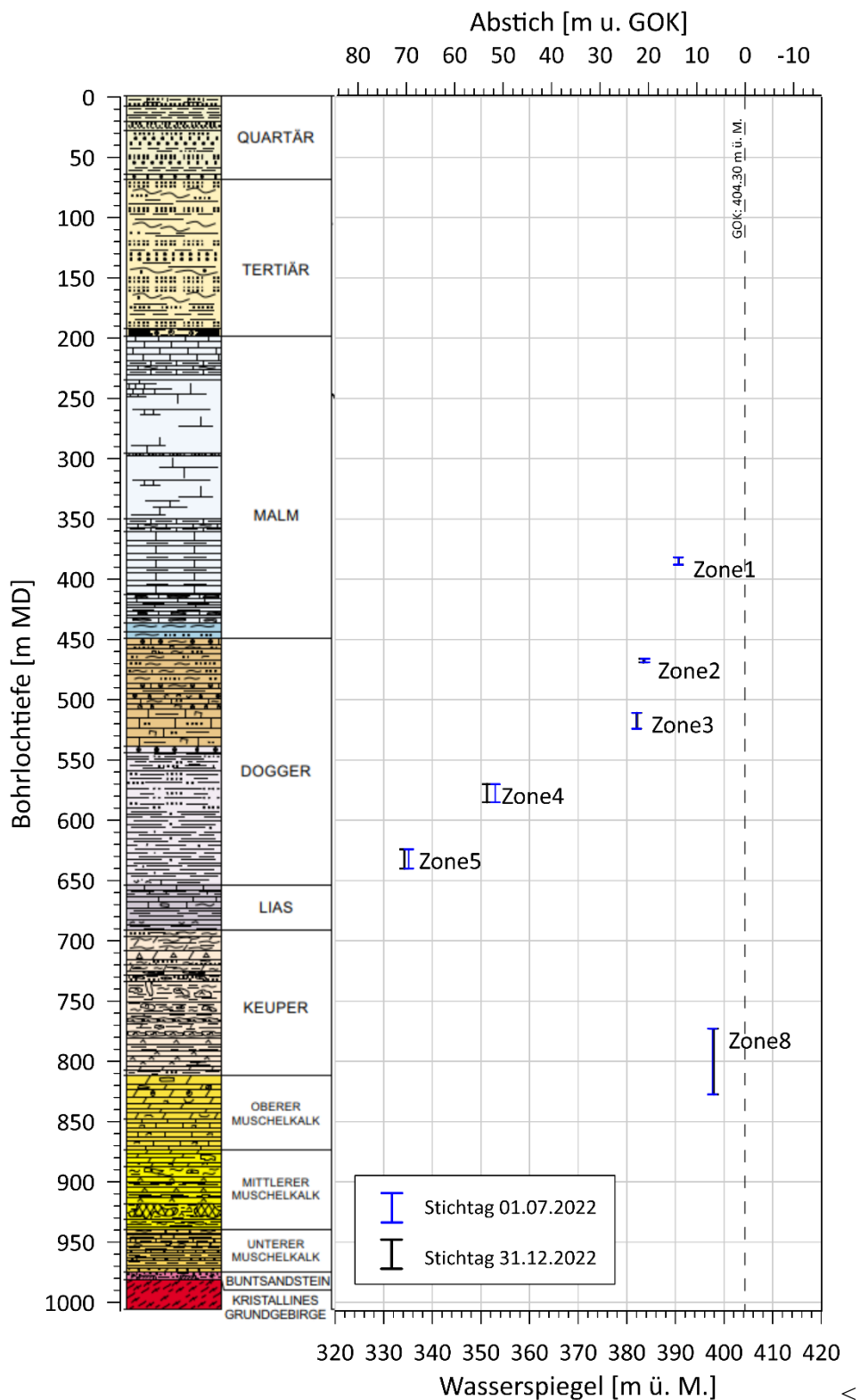


Fig. 3-3: LZB BEN: Hydraulische Druckhöhen der Stichtagsmessungen vom 31.12.2022 15:00 in m. u. GOK und m ü. M.

Die Länge der dargestellten Beobachtungszonen entspricht den Perforationslängen bzw. dem offenen Bohrlochabschnitt.

Für Zonen 6 und 7 liegen keine verlässlichen Daten der Stichtagsmessungen vor.

4.1 Status und Betrieb

[illegible]

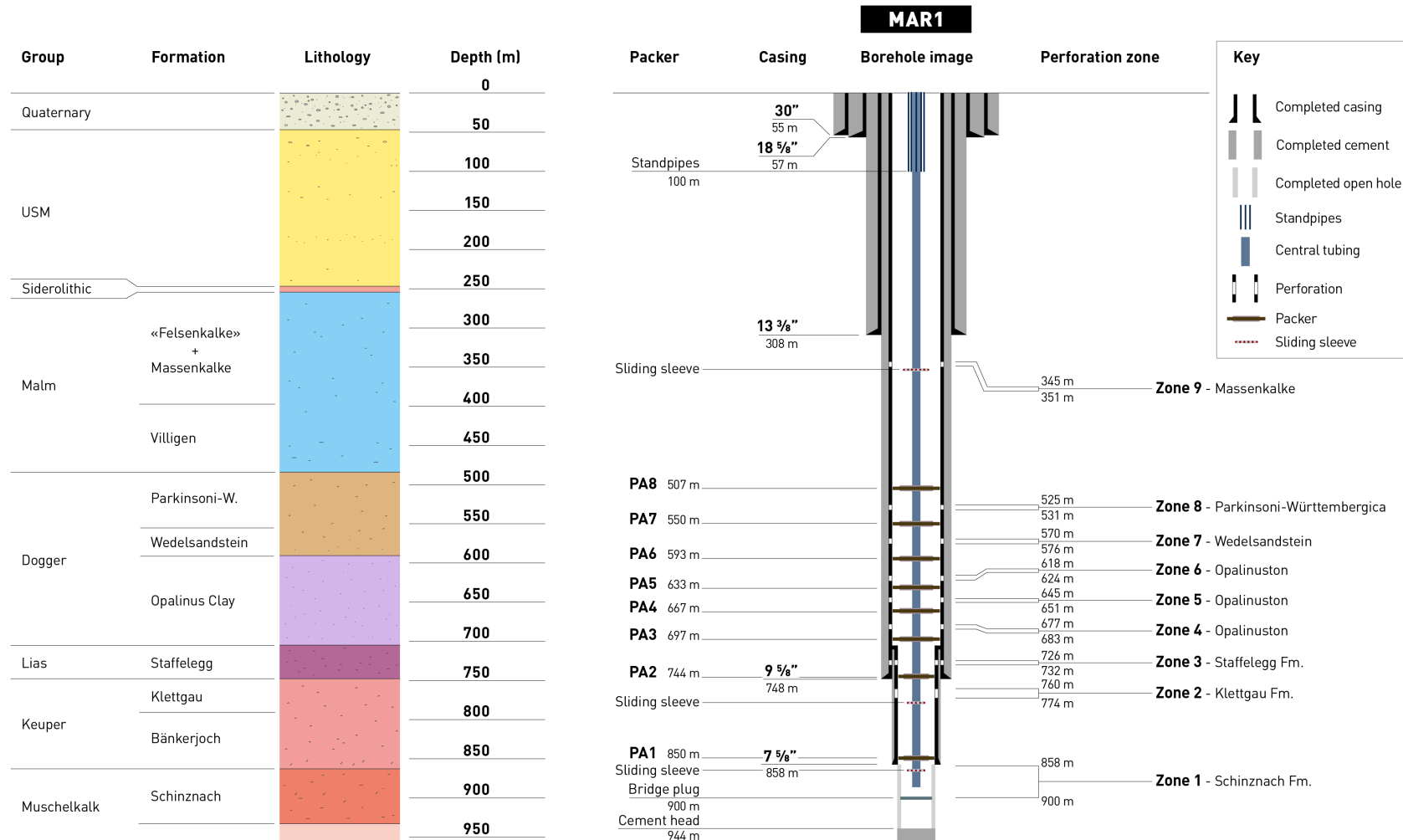


Fig. 4-1: Bohrlochschemata der Tiefbohrung MAR1-1 mit lithostratigraphischem Profil, Bohrlochausbau und installiertem MPS zur LZB

4.2 Hydraulische Druckhöhen

Die hydraulischen Druckhöhen werden in diesem Bericht in Meter über dem Meeresspiegel (m ü. M.) angegeben. Die Berechnung der Wasserspiegelhöhen (in m ü. M.) aus den aufgezeichneten Druckwerten (in kPa) ist in Kapitel 2.2 beschrieben.

Die Geländeoberkante der Bohrung Marthalen-1-1 liegt bei 399.48 m ü. M. Die Oberkanten der Standrohre liegen zwischen 1.12 und 1.17 m unter GOK.

Die Summe der in Kapitel 2.2 beschriebenen Unsicherheiten ergibt eine Unsicherheitsbandbreite der Messungen von ca. 1.6 % der gemessenen Wassersäule, zwischen -0.4 m und +0.6 m in Abhängigkeit der Abhängtiefe des Drucksensors und der Wassersäule über dem Sensor im Standrohr.

Anhang B.3 fasst die hydraulischen Daten in Jahresblättern je Beobachtungszone zusammen.

4.2.1 Jahresganglinien

Die Jahresganglinien der hydraulischen Druckhöhen (seit Beginn der Datenaufzeichnung am 25.05.2022) sind in Fig. 4-2 und Fig. 4-3 dargestellt. Fig. 4-2 deckt dabei die gesamte Bandbreite der beobachteten hydraulischen Druckhöhen ab, inklusive Druckspitzen und der Phase der Druck-erholung direkt nach der Installation des LZB-Systems und dem Spannen der Packer. Um die Druckentwicklung besser aufzulösen fokussiert Fig. 4-3 auf eine geringere Bandbreite der hydraulischen Druckhöhe.

Nach anfänglich starken Druckschwankungen im Zusammenhang mit der Installation des MPS Fig. 4-2, insbesondere in den Zonen Z2, Z6, Z7 und Z8, ist seit August 2022 ein kontinuierliches Absinken der hydraulischen Druckhöhe in den Beobachtungszonen zu beobachten. Die anfangs artesisch ausgeprägten Beobachtungszonen Z6, Z7 und Z8 fielen in den Monaten nach der Installation des Systems auf Drücke unter Geländeoberkante. Seit September 2022 sind alle Beobachtungszonen in MAR 1-1 durch sub-artesische hydraulische Verhältnisse gekennzeichnet.

Mit Ausnahme der Zonen Z1 (Muschelkalk) und Z9 (Malm) zeigen alle Beobachtungszonen eine anhaltend fallende Tendenz der hydraulischen Druckhöhe. Die Drücke in den regionalen Aquiferen (Malm und Muschelkalk) haben sich nach dem Einbau des MPS schnell stabilisiert und zeigen Ende 2022 stabile Druckhöhen sowie gezeitenbedingte tägliche Schwankungen. Eine weitere Ausnahme bildet Beobachtungzone Z6 (Opalinuston) welche eine schwankende hydraulische Druckhöhe mit kurzfristigen Druckanstiegen zeigt, und sich mit diesem Verhalten sowohl von den restlichen Beobachtungszonen als auch von den Beobachtungszonen im Opalinuston (Z4 und Z5) unterscheidet.

Am 01.12.2022 wurden in den geringdurchlässigen Beobachtungszonen Z4, Z5 und Z7 die Abhängtiefen der Tauchsensoren den fallenden Wasserspiegeln angepasst. Die entsprechenden Sprünge in der hydraulischen Druckhöhe (Fig. 4-3) resultieren aus der Volumenverdrängung von Wasser im Standrohr durch das Eintauchen von zusätzlichem Sensorkabel.

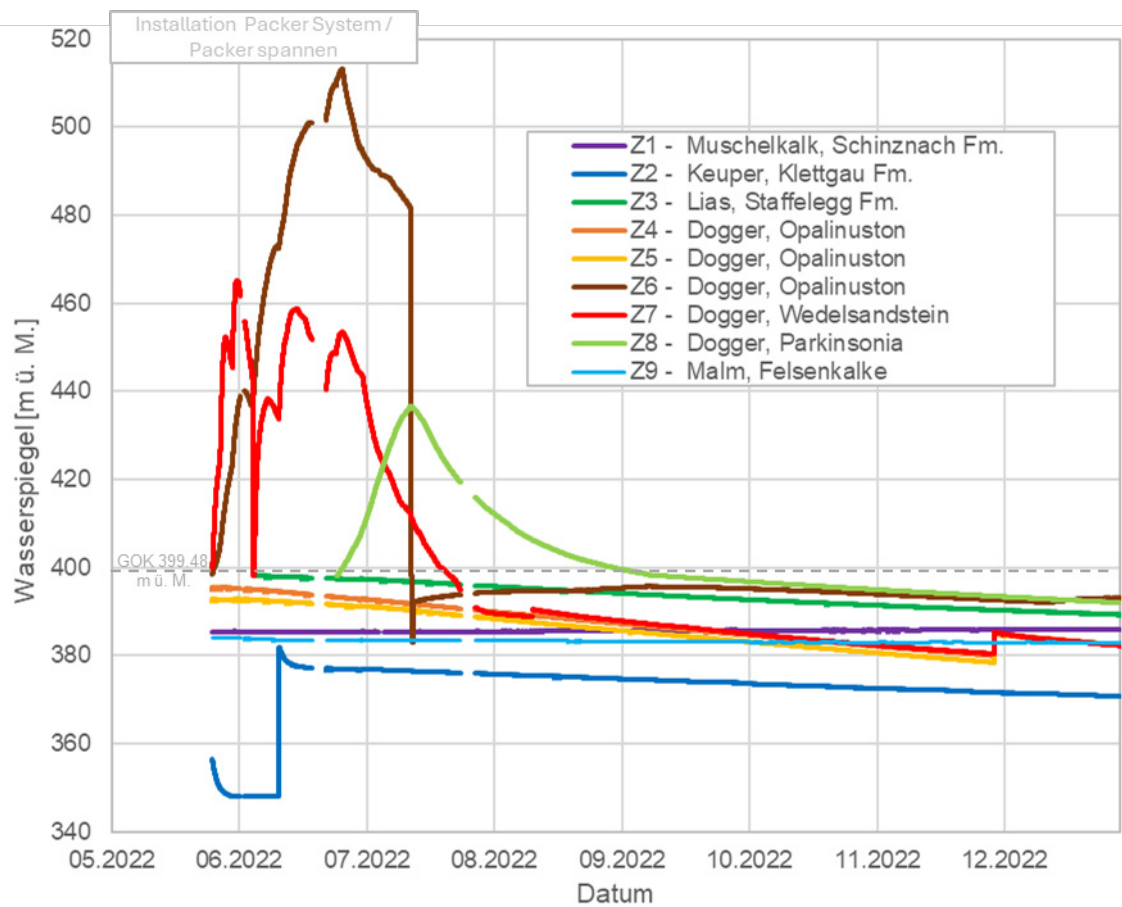


Fig. 4-2: LZB MAR1-1: Jahresganglinien der hydraulischen Druckhöhen im Beobachtungszeitraum 2022 inklusive Druckschwankungen während Systeminstallation und Packer spannen

4.2.2 Stichtagsmessung

Tab. 4-2 und Fig. 4-4 zeigen die berechneten hydraulischen Druckhöhen in m ü. M. für den Stichtag 31.12.2022 15:00 Uhr. Der Atmosphärendruck betrug zu diesem Zeitpunkt 97.2 kPa.

Tab. 4-2: LZB MAR1-1: Messwerte der Stichtagsmessung vom 31.12.2022, 15:00 Uhr

¹ Sensormembran 0.07 m unter Abhängtiefe Sensor

Zone Nr.	Drucksensor¹ [m unter OK Standrohr]	Sensormesswert am 31.12.2022 [kPa]	Wasserspiegel [m unter OK Standrohr]	Wasserspiegel [m ü. M.]
9	20	142.15	15.48	382.85
8	20	232.35	6.29	392.04
7	50	431.78	15.96	382.35
6	15	193.50	5.25	393.06
5	60	529.75	15.98	382.35
4	50	431.81	15.96	382.37
3	30	303.81	9.01	389.32
2	50	318.86	27.47	370.86
1	15	123.65	12.37	385.98

4.3 Temperaturprofil

Entlang des Multi-Packer-Systems wurde ein Glasfaserkabel installiert (Schoenball et al. 2023a), das als tiefenorientierter Temperatursensor dient. Am 15.12.2022 wurde vom Unternehmen Solexperts AG das Temperaturprofil entlang der Multi-Mode-Fasern des Glasfaserkabels mittels "Distributed Temperature Sensing» (DTS) gemessen. Zusätzlich wurden auch OTDR-Messungen durchgeführt, um Veränderungen in den optischen Eigenschaften der Fasern zu untersuchen. Das Temperaturprofil der Tiefbohrung MAR1-1 vom 15.12.2022 ist in Fig. 4-5 dargestellt.

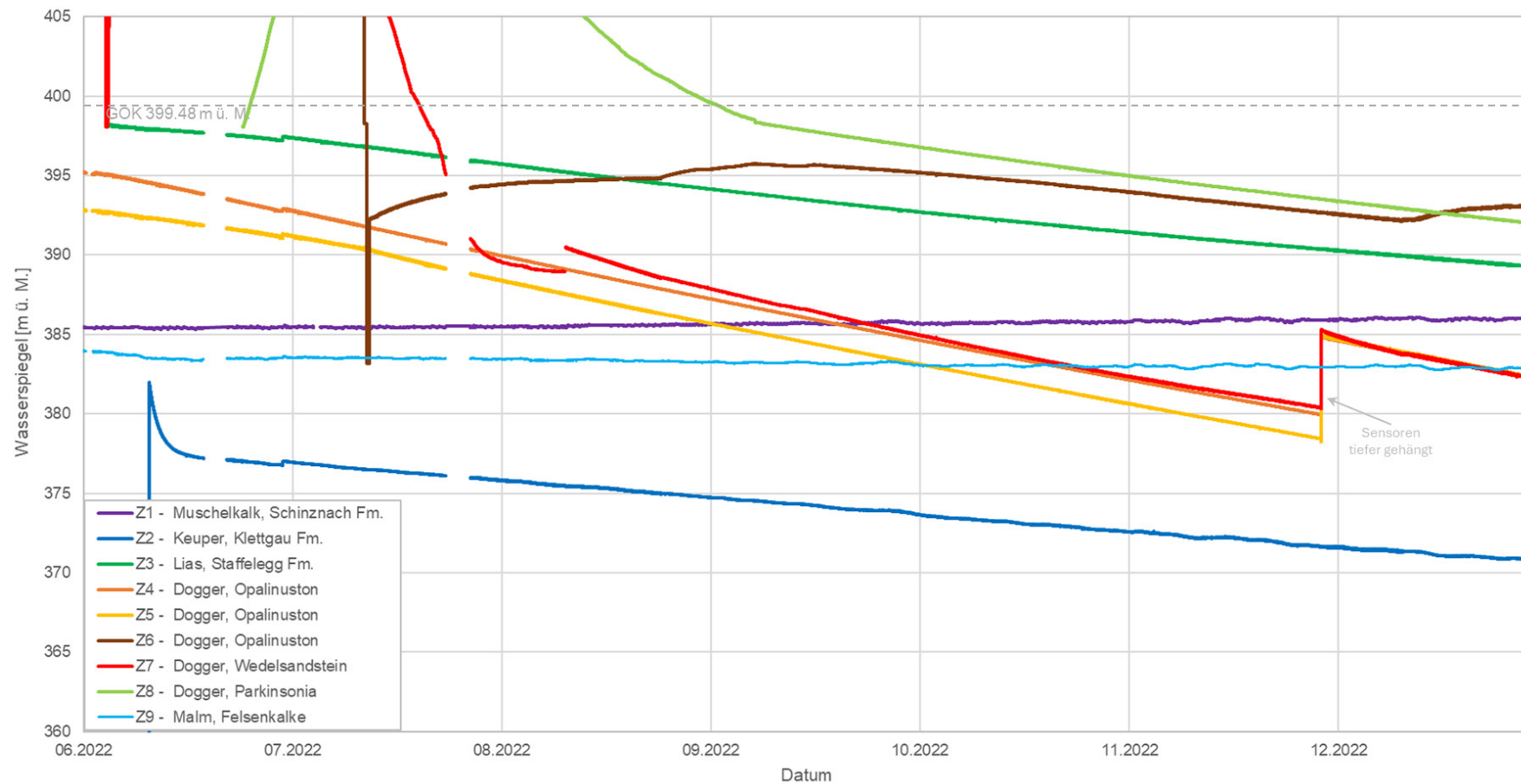


Fig. 4-3: LZB MAR1-1: Ganglinien der hydraulische Druckhöhen der Beobachtungszonen Z1 bis Z9 für das Jahr 2022

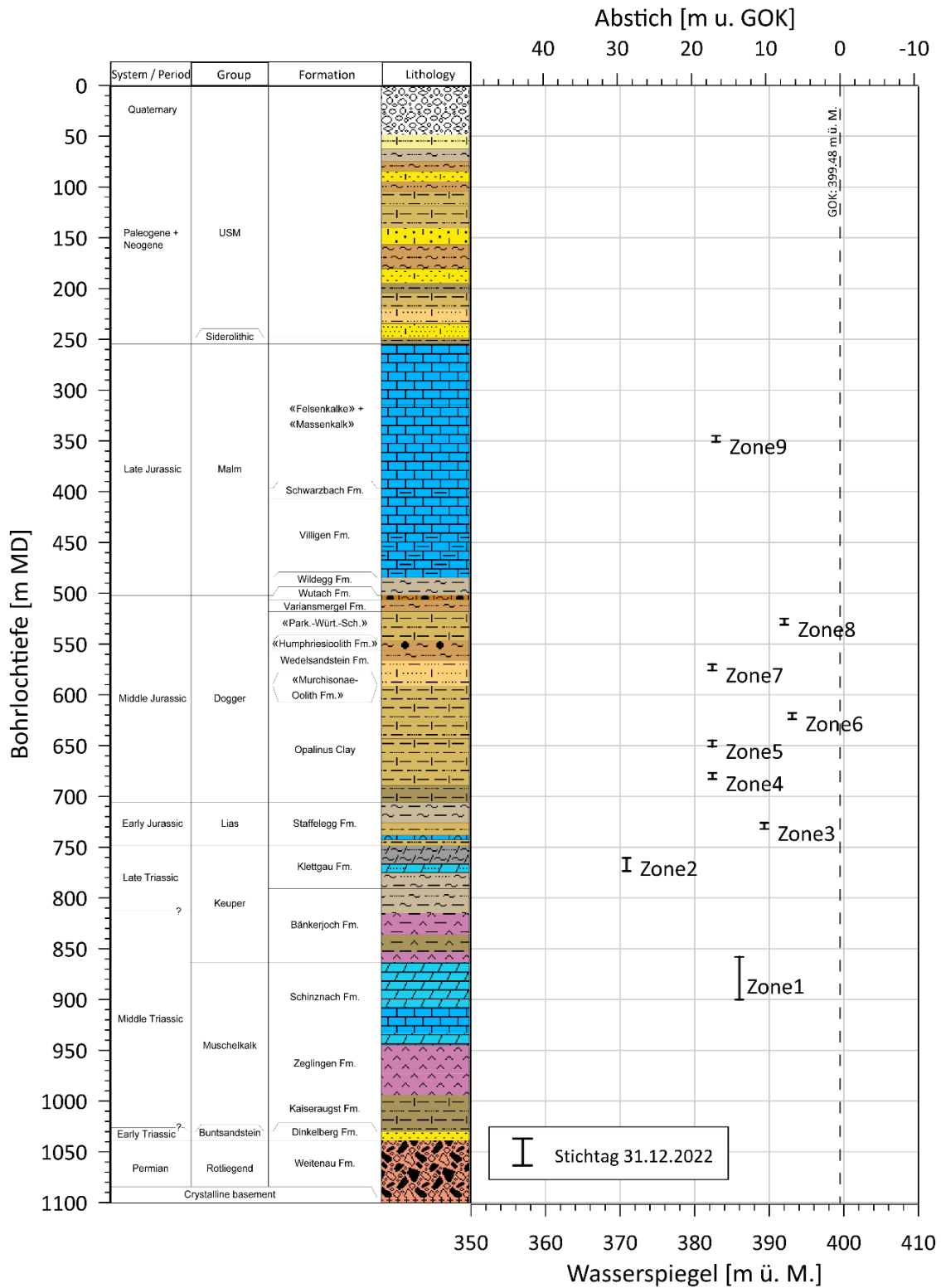


Fig. 4-4: LZB MAR1-1: Hydraulische Druckhöhen der Stichtagsmessungen vom 31.12.2022 15:00 in m. u. GOK und m ü. M.

Die Länge der dargestellten Beobachtungszonen entspricht den Perforationslängen bzw. dem offenen Bohrlochabschnitt.

Es wurden sechs DTS-Messungen durchgeführt und jede Messung dauerte 600 s. Zur Kalibration wurde eine 2-Punkt-Methode benutzt. Dazu wurden Sektionen des Glasfaserkabels in einer isolierten Box bei Raumtemperatur (9 °C) und in einem mobilen Wärmebad (60 °C) platziert und die Temperatur in den beiden Kalibrationsbädern mit DTS und PT1000-Sensoren gemessen.

Die OTDR-Messungen zeigen, dass sich die optischen Eigenschaften des Kabels bzw. der Spleiss-Stellen seit der Installation nicht verändert haben.

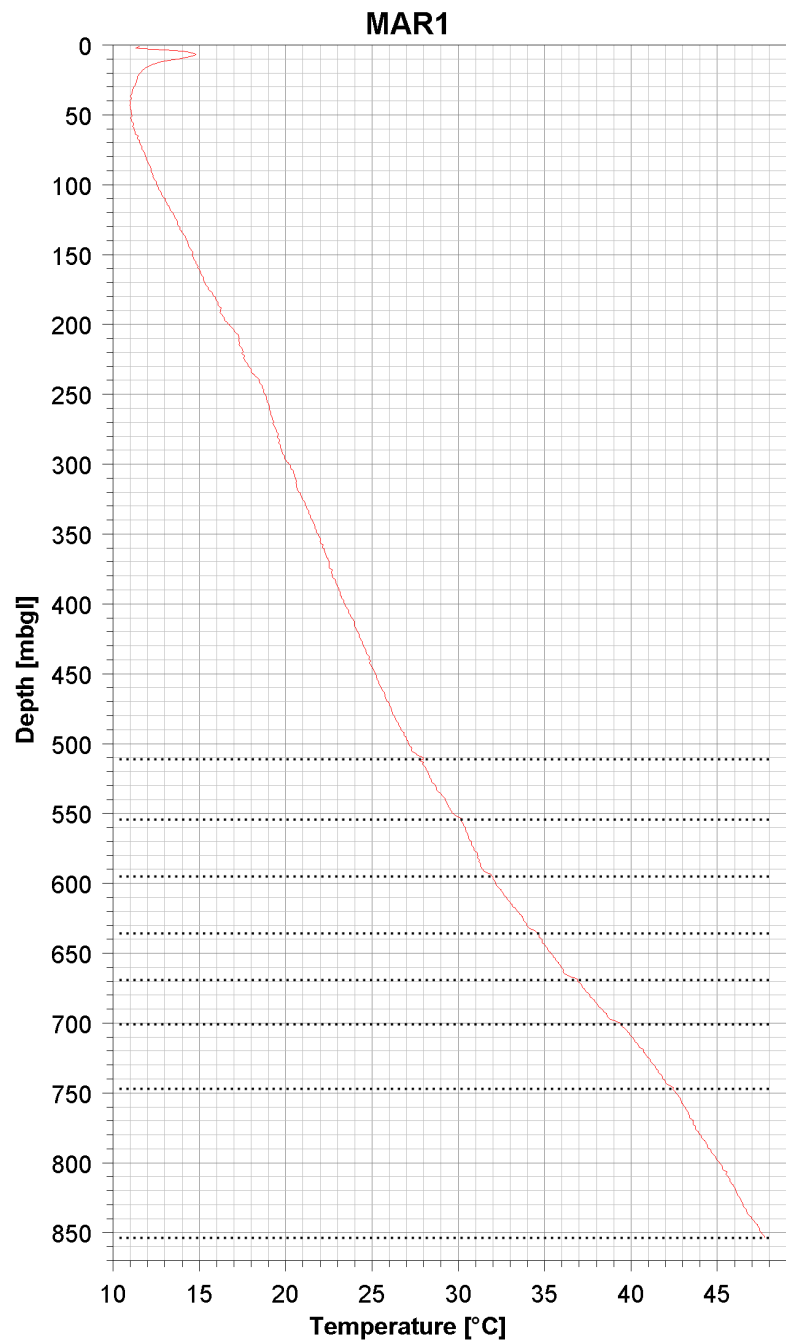


Fig. 4-5: Temperaturprofil der Tiefbohrung MAR1-1 von 15.12.2022

Die Tiefe ist als «Tiefe unter Geländeoberkante» dargestellt. Die gepunkteten Linien verweisen auf die Spleiss-Stellen unterhalb der Packer.

[illegible]

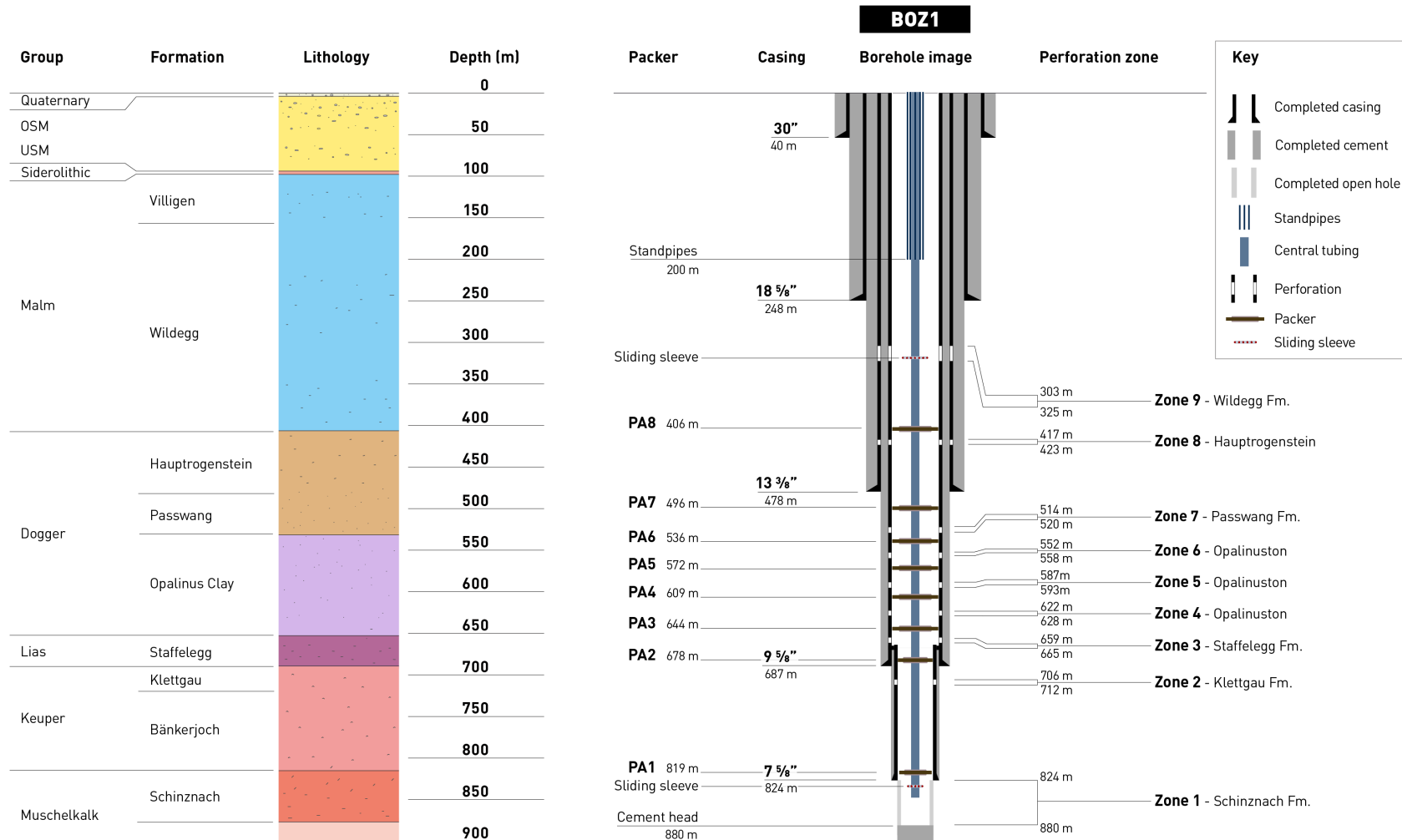


Fig. 5-1: Bohrlochschemata der Tiefbohrung BOZ1-1 mit lithostratigraphischem Profil, Bohrlochausbau und installiertem MPS zur LZB

5.2 Hydraulische Druckhöhen

Die hydraulischen Druckhöhen werden in diesem Bericht in Meter über dem Meeresspiegel (m ü. M.) angegeben. Die Berechnung der Wasserspiegelhöhen (in m ü. M.) aus den aufgezeichneten Druckwerten (in kPa) ist in Kapitel 2.2 beschrieben.

Die Geländeoberkante der Bohrung Bözberg-1-1 liegt bei 513.29 m ü. M. Die Oberkanten der Standrohre liegen zwischen 0.47 und 0.51 m unter GOK.

Die Summe der in Kapitel 2.2 beschriebenen Unsicherheiten ergibt eine Unsicherheitsbandbreite der Messungen von ca. 3 % der gemessenen Wassersäule, zwischen -0.83 m und +1.01 m in Abhängigkeit der Abhängtiefe des Drucksensors und der Wassersäule über dem Sensor im Standrohr.

Anhang C.3 fasst die hydraulischen Daten in Jahresblättern je Beobachtungszone zusammen.

5.2.1 Jahresganglinien

Die Jahresganglinien der hydraulischen Druckhöhen (seit Beginn der Datenaufzeichnung am 26.06.2022) sind in Fig. 5-2 und Fig. 5-3 dargestellt. Fig. 5-2 deckt dabei die gesamte Bandbreite der beobachteten hydraulischen Druckhöhen ab, inklusive Druckspitzen und der Phase der Druck-erholung direkt nach der Installation des LZB-Systems und dem Spannen der Packer. Um die Druckentwicklung besser aufzulösen fokussiert Fig. 5-3 auf eine geringere Bandbreite der hydraulischen Druckhöhe.

Nach anfänglich starken Druckschwankungen im Zusammenhang mit der Installation des MPS, insbesondere in den Beobachtungszonen Z3, Z5 und Z8 (Fig. 5-2), ist seit Anfang August 2022 ein kontinuierliches Absinken der Druckhöhe in den Beobachtungszonen zu beobachten. Alle Beobachtungszonen zeigen seit Installation des MPS sub-artesische Verhältnisse (Fig. 5-3). Die Wasserspiegel in den Beobachtungszonen Z2 (Keuper) und Z1 (Muschelkalk) haben sich schnell stabilisiert und zeigen Ende 2022 stabile Druckhöhen sowie gezeitenbedingte tägliche Schwankungen.

In nahezu allen Beobachtungszonen wurde während des Jahres 2022 die Abhängtiefen der Tauch-sensoren den sich ändernden Wasserspiegeln angepasst. Die entsprechenden Sprünge in der hydraulischen Druckhöhe (Fig. 5-3) resultieren aus der Volumenverdrängung von Wasser im Standrohr durch das Eintauchen von zusätzlichem Sensorkabel. Das verdrängte Wasservolumen wird von den geringdurchlässigen Formationen anschliessend zeitverzögert aufgenommen.

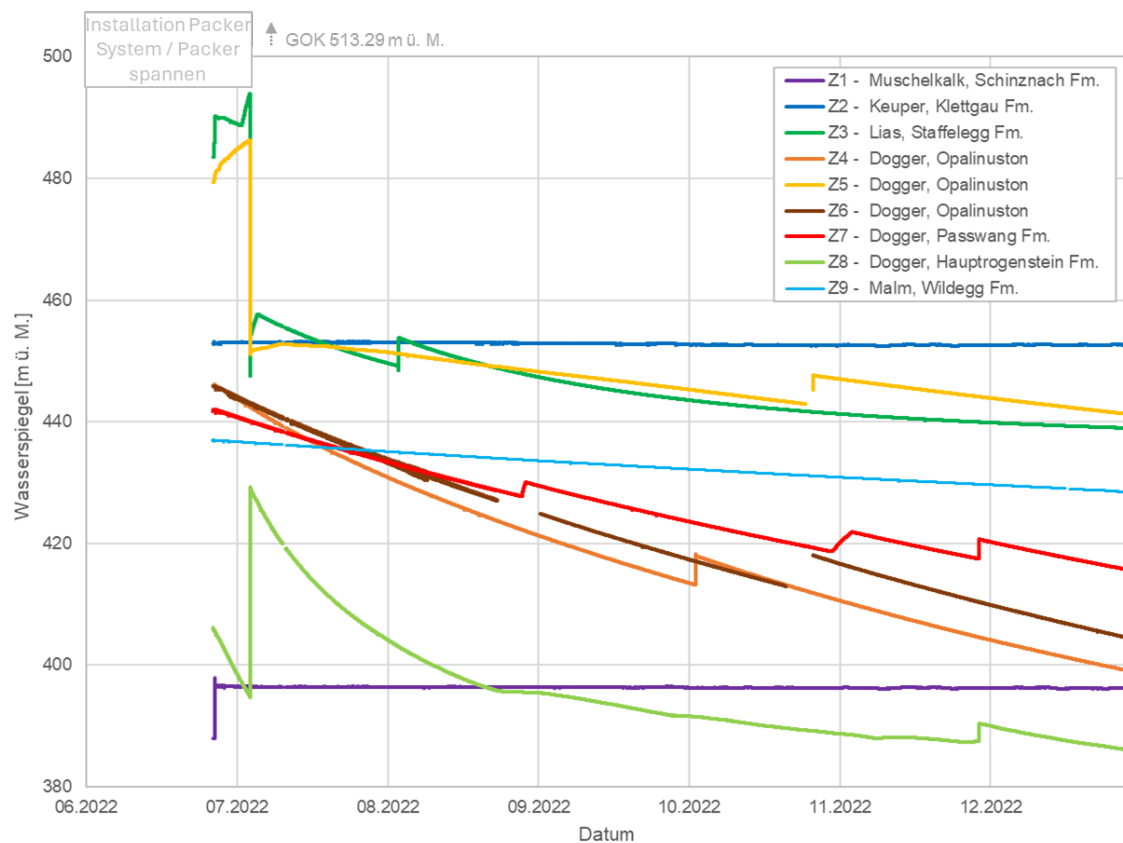


Fig. 5-2: LZB BOZ1-1: Jahresganglinien der hydraulischen Druckhöhen im Beobachtungszeitraum 2022 inklusive Druckschwankungen während Systeminstallation und Packer spannen

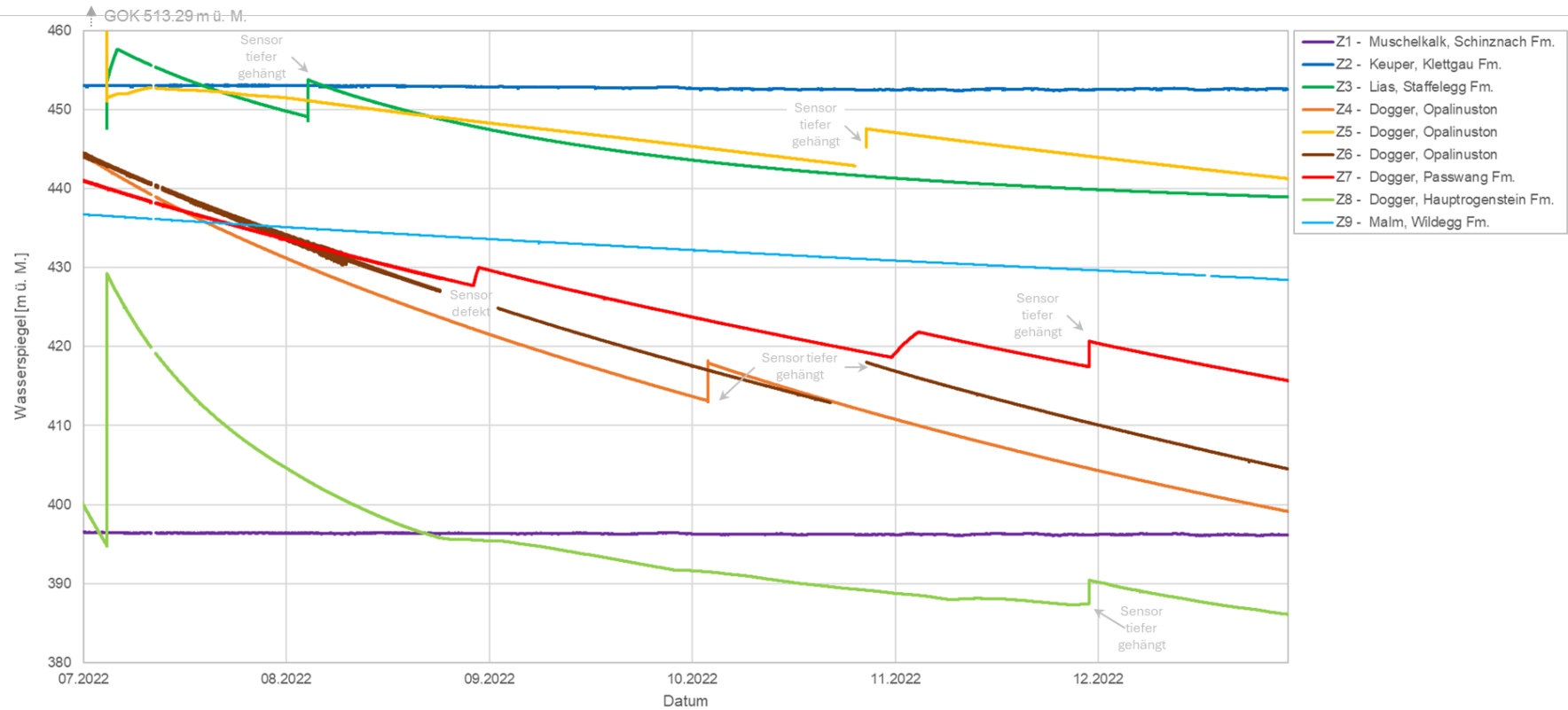


Fig. 5-3: LZB BOZ1-1: Ganglinien der hydraulische Druckhöhen der Beobachtungszonen Z1 bis Z9 für das Jahr 2022

5.2.2 Stichtagsmessung

Fig. 5-4 und Tab. 5-2 zeigen die berechneten hydraulischen Druckhöhen in m ü. M. für den Stichtag 31.12.2022 15:00 Uhr. Der Atmosphärendruck betrug zu diesem Zeitpunkt 96.0 kPa.

Tab. 5-2: LZB BOZ1-1: Messwerte der Stichtagsmessung vom 31.12.2022, 15:00 Uhr

¹ Sensormembran 0.07 m unter Abhängtiefe Sensor

Zone Nr.	Drucksensor ¹ [m unter OK Standrohr]	Sensormesswert am 31.12.2022 [kPa]	Wasserspiegel [m unter OK Standrohr]	Wasserspiegel [m ü. M.]
9	94	191.23	84.36	428.46
8	150	325.26	126.70	386.11
7	120	321.59	97.07	415.73
6	140	408.33	108.23	404.55
5	100	376.29	71.50	441.30
4	130	257.18	113.64	399.16
3	95	304.11	73.86	438.95
2	100	487.45	60.17	452.64
1	125	178.45	116.67	396.15

5.3 Temperaturprofil

Entlang des Multi-Packer-Systems wurde ein Glasfaserkabel installiert (Schoenball et al. 2023b), das als tiefenorientierter Temperatursensor dient. Am 16.12.2022 wurde vom Unternehmen Solexperts AG das Temperaturprofil entlang der Multi-Mode-Fasern des Glasfaserkabels mittels "Distributed Temperature Sensing" (DTS) gemessen. Zusätzlich wurden auch OTDR-Messungen durchgeführt, um Veränderungen in den optischen Eigenschaften der Fasern zu untersuchen. Das Temperaturprofil der Tiefbohrung BOZ1-1 vom 16.12.2022 ist in Fig. 5-5 dargestellt.

Es wurden sechs Messungen durchgeführt und jede Messung dauerte 600 s. Zur Kalibration wurde eine 2-Punkt-Methode benutzt. Dazu wurden Sektionen des Glasfaserkabels in einer isolierten Box bei Raumtemperatur (7 °C) und in einem mobilen Wärmebad (60 °C) platziert und die Temperatur in den beiden Kalibrationsbädern mit DTS und PT1000-Sensoren gemessen.

Die OTDR-Messungen zeigen, dass sich die optischen Eigenschaften des Kabels bzw. der Spleiss-Stellen seit der Installation etwas verschlechtert haben. Insbesondere die Signalverluste an Spleiss-Stelle 5 führen zu Artefakten in den Temperaturdaten. Diese konnten zum Teil durch Filterung der Daten und mittels der «dual-ended»-Konfiguration kompensiert werden. Aufgrund starker Artefakte und Signalverlust durch Rauschen ist das Temperaturprofil von 777.0 m unter GOK bis Bohrungsende in Fig. 5-5 nicht dargestellt.

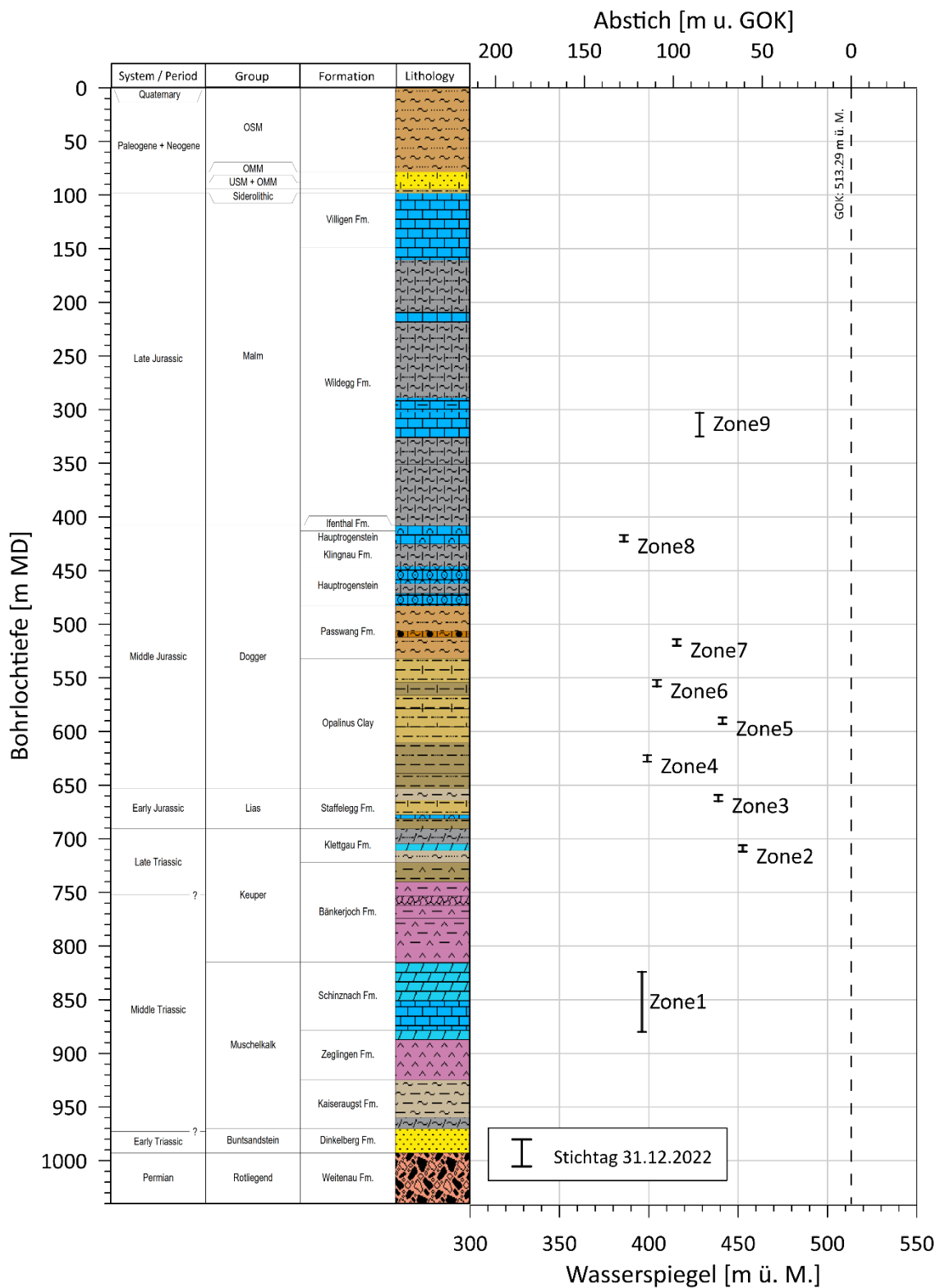


Fig. 5-4: LTB BOZ1-1: Hydraulische Druckhöhen der Stichtagsmessungen vom 31.12.2022 15:00 in m. u. GOK und m ü. M.

Die Länge der dargestellten Beobachtungszonen entspricht den Perforationslängen bzw. dem offenen Bohrlochabschnitt.

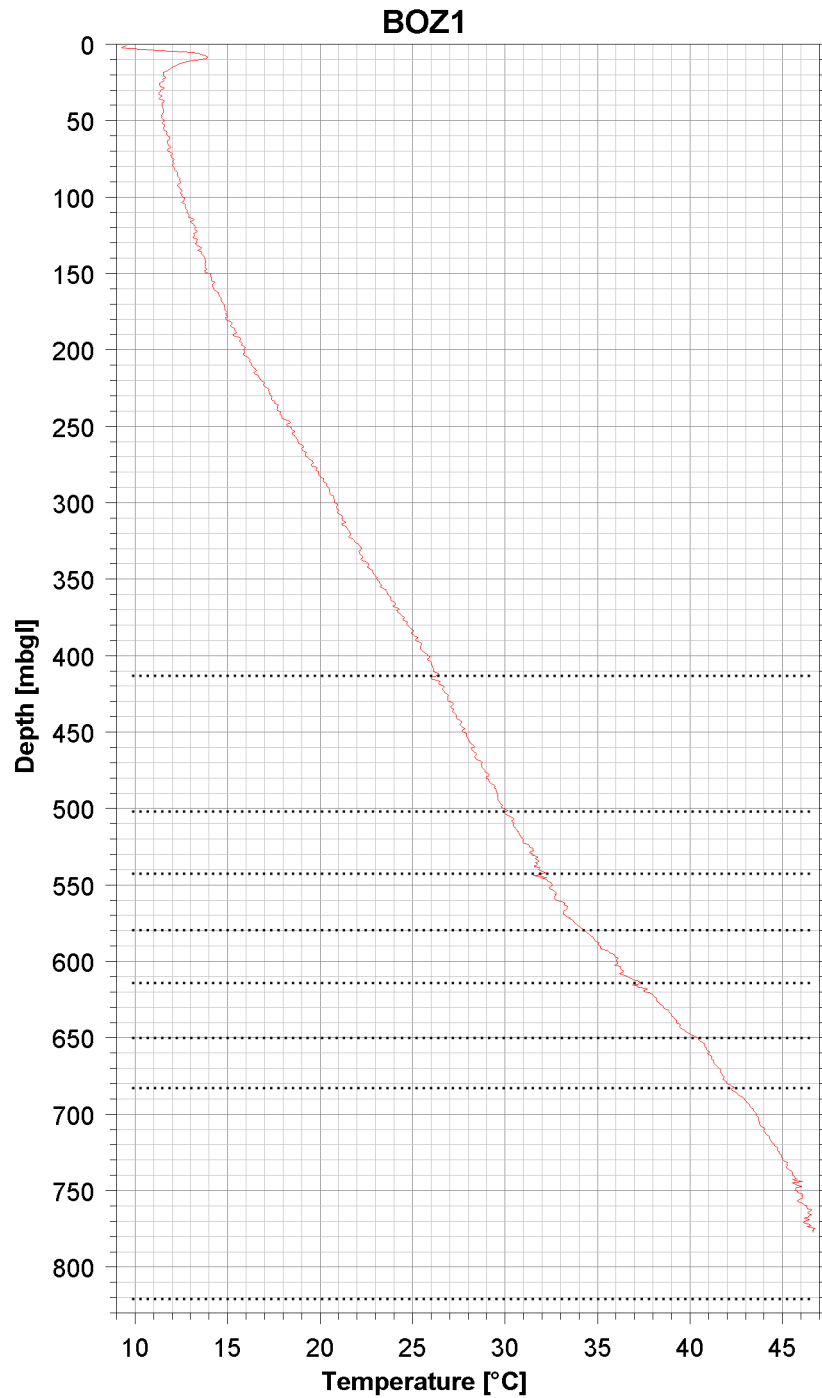


Fig. 5-5: Temperaturprofil der Tiefbohrung BOZ1-1 von 16.12.2022

Die Tiefe ist als «Tiefe unter Geländeoberkante» dargestellt. Die gepunkteten Linien verweisen auf die Spleiss-Stellen unterhalb der Packer.

6 LZB Stadel STA3-1

6.1 Status und Betrieb

Fig. 6-1 zeigt das Bohrlochschemata der Tiefbohrung STA3-1 mit lithostratigraphischem Profil, Bohrlochausbau und dem zur LZB installierten Multi-Packer-System (MPS). Appendix D.1 enthält das Datenblatt (Stand: Dezember 2022) mit den Detailangaben zu jeder Beobachtungszone.

Sämtliche auf die Installation des Multi-Packer-Systems in der Tiefbohrung STA3-1 (Schoenball et al. 2023c) folgenden Feldaktivitäten während des Jahres 2022 sind in Form einer laufend nachgeführten Aktivitätenliste in Anhang D.2 dokumentiert.

Das MPS funktionierte während des Berichtsjahres störungsfrei. Die Drücke der acht im Bohrloch installierten Packer fielen bezogen auf den Packerdruck zum Zeitpunkt der Installation leicht und stabilisierten sich im Jahresverlauf. Langfristige Druckschwankungen in den Packerdrücken sind vor allem auf Temperaturschwankungen im Bohrkeller zurückzuführen. Eine hydraulische Isolation im Bohrloch ist mit dem MPS für alle Beobachtungszonen gegeben. An den im Bohrkeller installierten Druckausgleichsgefässen traten keine Leckagen oder Defekte auf. An der elektronischen Messeinrichtung wurden während des Betriebsjahres 2022 ebenfalls keine Defekte festgestellt.

Tab. 6-1 fasst die Datenausfälle im Jahr 2022 zusammen, z. B. aufgrund von defekten Drucksensoren oder Ausfällen des Systems zur Datenaufzeichnung (DAS). Die ausschliesslich grüne Markierung verweist auf keine Datenverluste im Jahr 2022. Steigende Druckhöhen in den Beobachtungszonen Z2, Z3, und Z4 bedingten eine höhere Installation der Drucksensoren. Zwischenzeitlich wurde für die Beobachtungzone Z2 der Drucksensor deshalb für artesische Messungen umgebaut (Anhang C.2).

Tab. 6-1: Unterbrüche der Datenerfassung des LZB-Systems STA3-1 im Jahr 2022

grün = funktionierende Datenerhebung, Daten vorhanden

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Bemerkung
27.07. – 31.12.										

6.2 Hydraulische Druckhöhen

Die hydraulischen Druckhöhen werden in diesem Bericht in Meter über dem Meeresspiegel (m ü. M.) angegeben. Die Berechnung der Wasserspiegelhöhen (in m ü. M.) aus den aufgezeichneten Druckwerten (in kPa) ist in Kapitel 2.2 beschrieben.

Die Geländeoberkante der Bohrung Stadel-3-1 liegt bei 408.74 m ü. M. Die Oberkanten der Standrohre liegen zwischen 0.24 und 0.95 m unter GOK.

Die Summe der in Kapitel 2.2 beschriebenen Unsicherheiten ergibt eine Unsicherheitsbandbreite der Messungen von ca. 3.3 %, zwischen -0.90 m und 1.08 m in Abhängigkeit der Abhängtiefe des Drucksensors und der Wassersäule über dem Sensor im Standrohr.

Anhang D.3 fasst die hydraulischen Daten in Jahresblättern je Beobachtungszone zusammen.

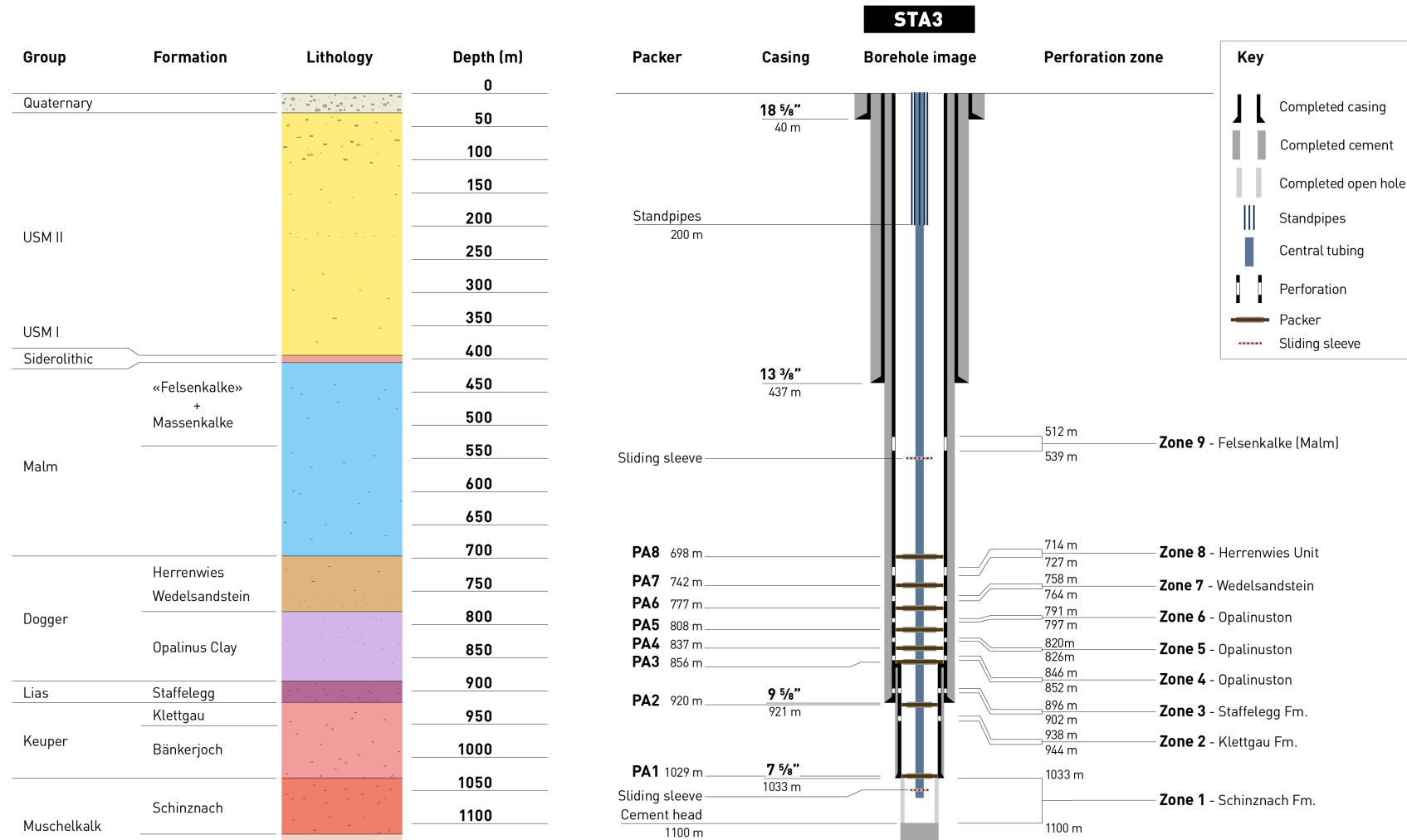


Fig. 6-1: Bohrlochschemata der Tiefbohrung STA3-1 mit lithostratigraphischem Profil, Bohrlochausbau und installiertem MPS zur LZB

6.2.1 Jahresganglinien

Die Jahresganglinien der hydraulischen Druckhöhen (seit Beginn der Datenaufzeichnung am 27.07.2022) sind in Fig. 6-2 und Fig. 6-3 dargestellt. Fig. 6-2 deckt dabei die gesamte Bandbreite der beobachteten hydraulischen Druckhöhen ab, inklusive der hydraulischen Druckhöhe der Herrenwies Formation (Z8), welche kurz nach der Installation des MPS einen stabilen Wasserspiegel mit geringfügigen Schwankungen um 247.60 m ü. M. zeigt. Um die Druckentwicklung der restlichen Intervalle besser aufzulösen fokussiert Fig. 6-3 auf eine geringere Bandbreite der hydraulischen Druckhöhe ohne Darstellung der Beobachtungszone Z8 (Herrenwies Fm.).

Seit Anfang August 2022 ist ein kontinuierliches Absinken der Druckhöhen in den Beobachtungszonen Z5 (Wedelsandstein Formation), Z6 und Z7 (Opalinuston) zu beobachten. Ein kontinuierlicher Druckanstieg zeigt sich in den Beobachtungszonen Z3 (Lias) und Z4 (Opalinuston) sowie, weniger ausgeprägt, in Beobachtungszone Z9 (Malm). Die Zone Z1 (Muschelkalk) und Zone Z8 (Herrenwies Formation) zeigen nach Installation des MPS eine rasche Stabilisierung der Druckhöhen sowie gezeitenbedingte tägliche Schwankungen.

In den Beobachtungszonen Z3 und Z4 wurde während des Jahres 2022 die Abhängtiefen der Tauchsensoren dem steigenden Wasserspiegel angepasst (Fig. 6-3). Nach Änderung der Installationstiefe zeigen die Ganglinien einen sprunghaften Abfall der hydraulischen Druckhöhen mit anschliessendem Wiederanstieg. Das Heraufziehen der Sensoren führte zu einer Verringerung des mit Wasser gefüllten Volumens im Standrohr, welches nur verzögert durch Fluss aus den geringdurchlässigen Formationen ausgeglichen wurde.

Alle Beobachtungszonen zeigen seit Mitte Oktober 2022 sub-artesische Verhältnisse (Fig. 6-3). Der vorher artesische Wasserspiegel in den Beobachtungszonen Z2 (Keuper) sinkt seit September 2022.

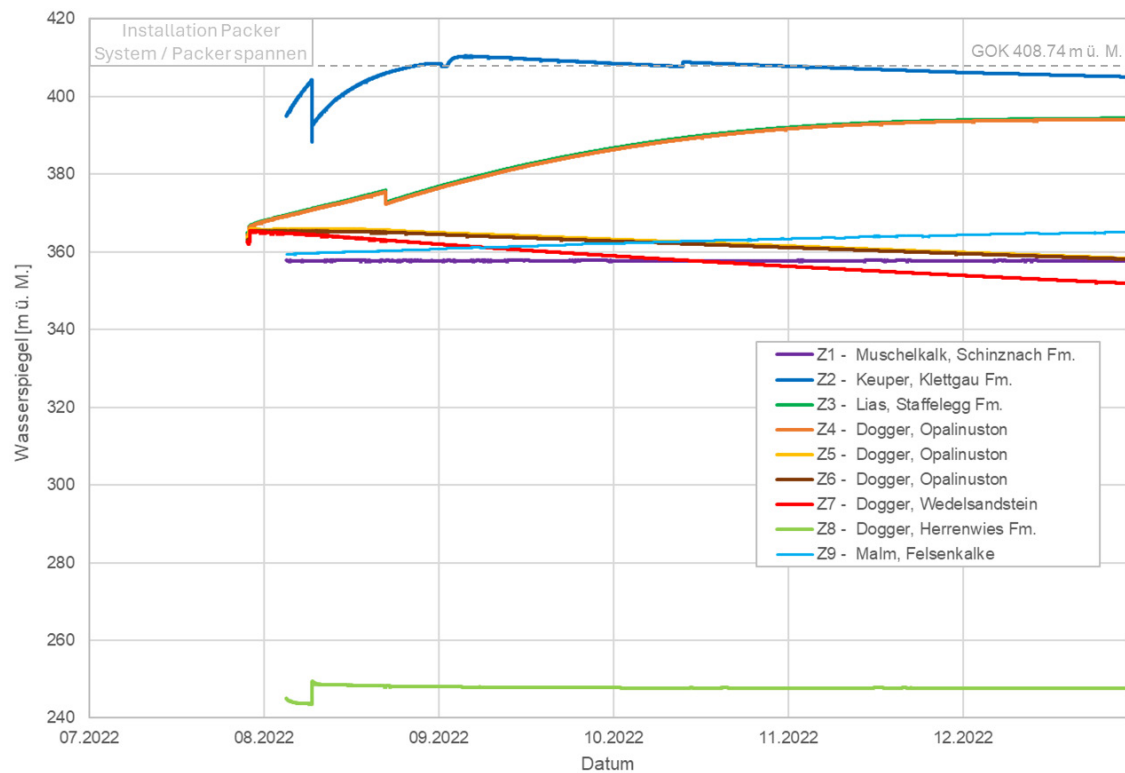


Fig. 6-2: LZB STA3-1: Jahresganglinien der hydraulischen Druckhöhen im Beobachtungszeitraum 2022 inklusive Herrenwies Formation (Z8)

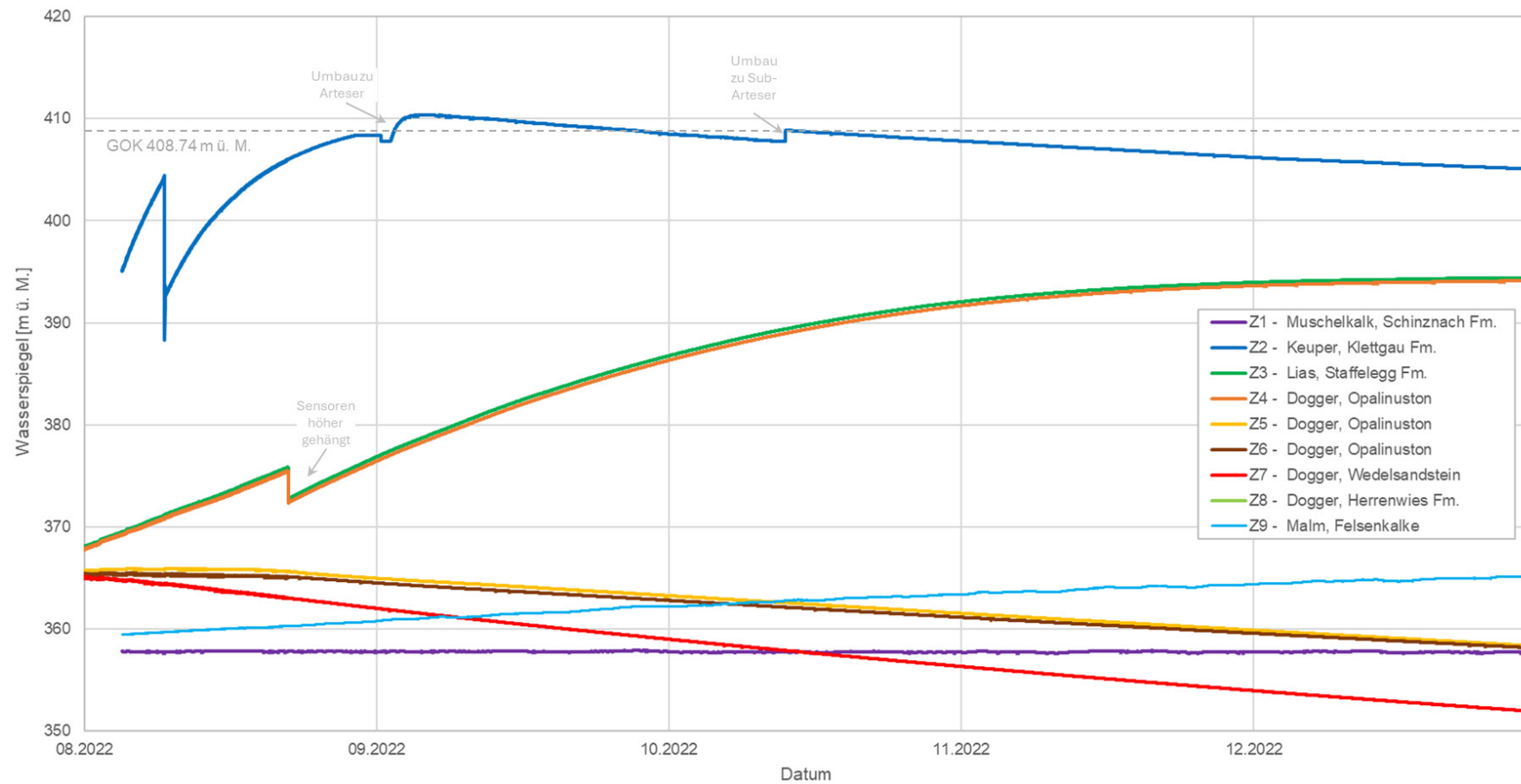


Fig. 6-3: LZB STA3-1: Ganglinien der hydraulische Druckhöhen der Beobachtungszonen Z1 bis Z9 für das Jahr 2022
Ganglinie der Herrenwies Formation Z8 ist nicht dargestellt.

6.2.2 Stichtagsmessung

Fig. 6-4 und Tab. 6-2 zeigen die berechneten hydraulischen Druckhöhen in m ü. M. für den Stichtag 31.12.2022 15:00 Uhr. Der Atmosphärendruck betrug zu diesem Zeitpunkt 97.0 kPa.

Tab. 6-2: LZB STA3-1: Messwerte der Stichtagsmessung vom 31.12.2022, 15:00 Uhr

¹ Sensormembran 0.07 m unter Abhängtiefe Sensor

Zone Nr.	Drucksensor¹ [m unter OK Standrohr]	Sensormesswert am 31.12.2022 [kPa]	Wasserspiegel [m unter OK Standrohr]	Wasserspiegel [m ü. M.]
9	70	365.90	42.66	365.16
8	165	144.89	160.19	247.64
7	80	334.70	55.84	351.99
6	80	395.59	49.63	358.19
5	80	397.53	49.43	358.39
4	60	552.01	13.69	394.13
3	60	555.07	13.38	394.44
2	20	260.65	3.39	405.12
1	55	145.86	50.09	357.72

6.3 Temperaturprofil

Entlang des Multi-Packer-Systems wurde ein Glasfaserkabel installiert (Schoenball et al. 2023c), das als tiefenorientierter Temperatursensor dient. Am 16.12.2022 wurde vom Unternehmen Solexperts AG das Temperaturprofil entlang der Multi-Mode-Fasern des Glasfaserkabels mittels "Distributed Temperature Sensing" (DTS) gemessen. Zusätzlich wurden auch OTDR-Messungen durchgeführt, um Veränderungen in den optischen Eigenschaften der Fasern zu untersuchen. Das Temperaturprofil der Tiefbohrung STA3-1 vom 16.12.2022 ist in Fig. 6-5 dargestellt.

Es wurden sechs Messungen durchgeführt und jede Messung dauerte 600 s. Zur Kalibration wurde eine 2-Punkt-Methode benutzt. Dazu wurden Sektionen des Glasfaserkabels in einer isolierten Box bei Raumtemperatur (12 °C) und in einem mobilen Wärmebad (60 °C) platziert und die Temperatur in den beiden Kalibrationsbädern mit DTS und PT1000-Sensoren gemessen.

Die OTDR-Messungen zeigen, dass sich seit der Installation die optischen Eigenschaften des Kabels bzw. der Spleiss-Stellen nicht verändert haben.

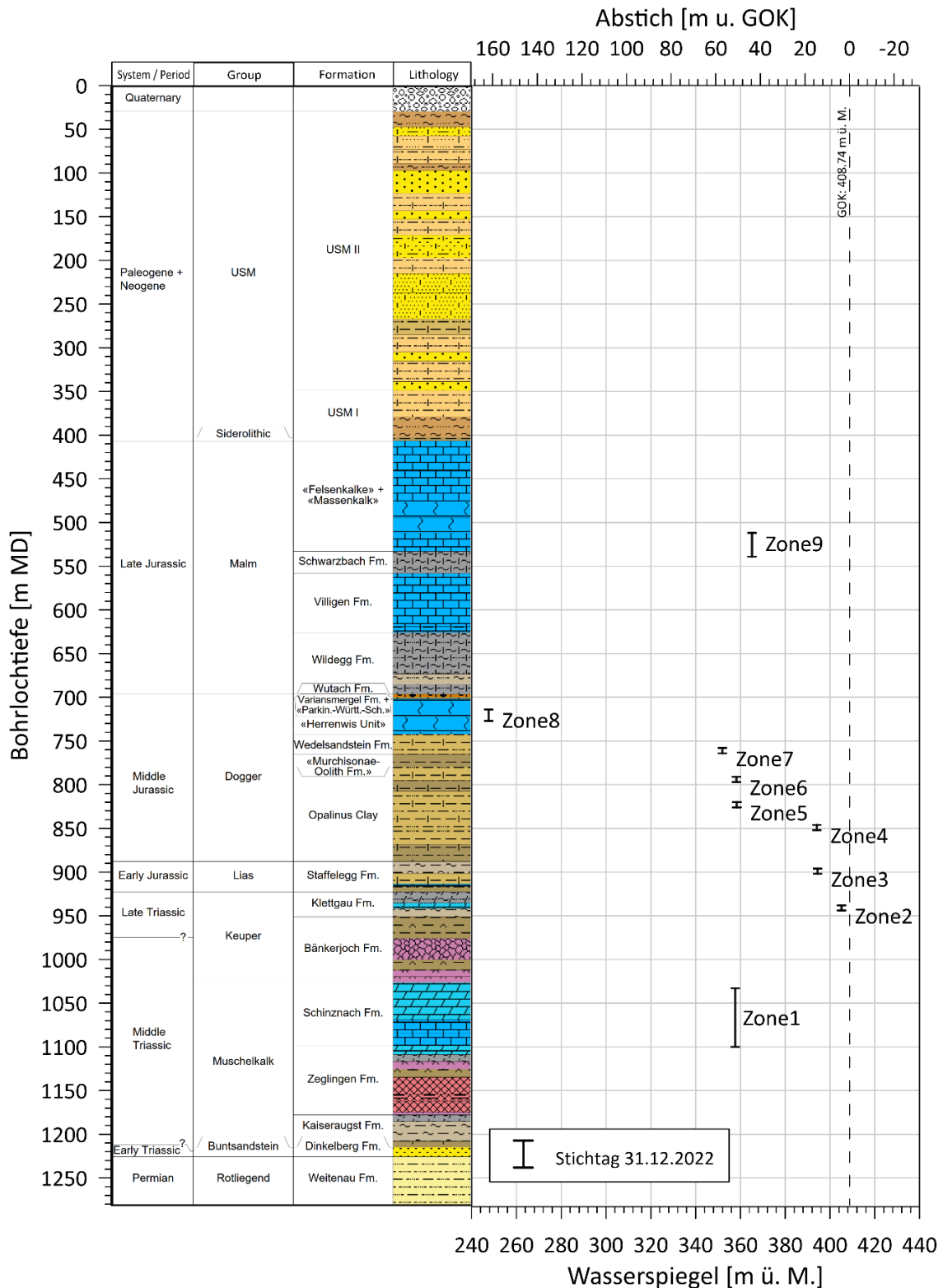


Fig. 6-4: LZB STA3-1: Hydraulische Druckhöhen der Stichtagsmessungen vom 31.12.2022 15:00 in m. u. GOK und m ü. M.

Die Länge der dargestellten Beobachtungszonen entspricht den Perforationslängen bzw. dem offenen Bohrlochabschnitt.

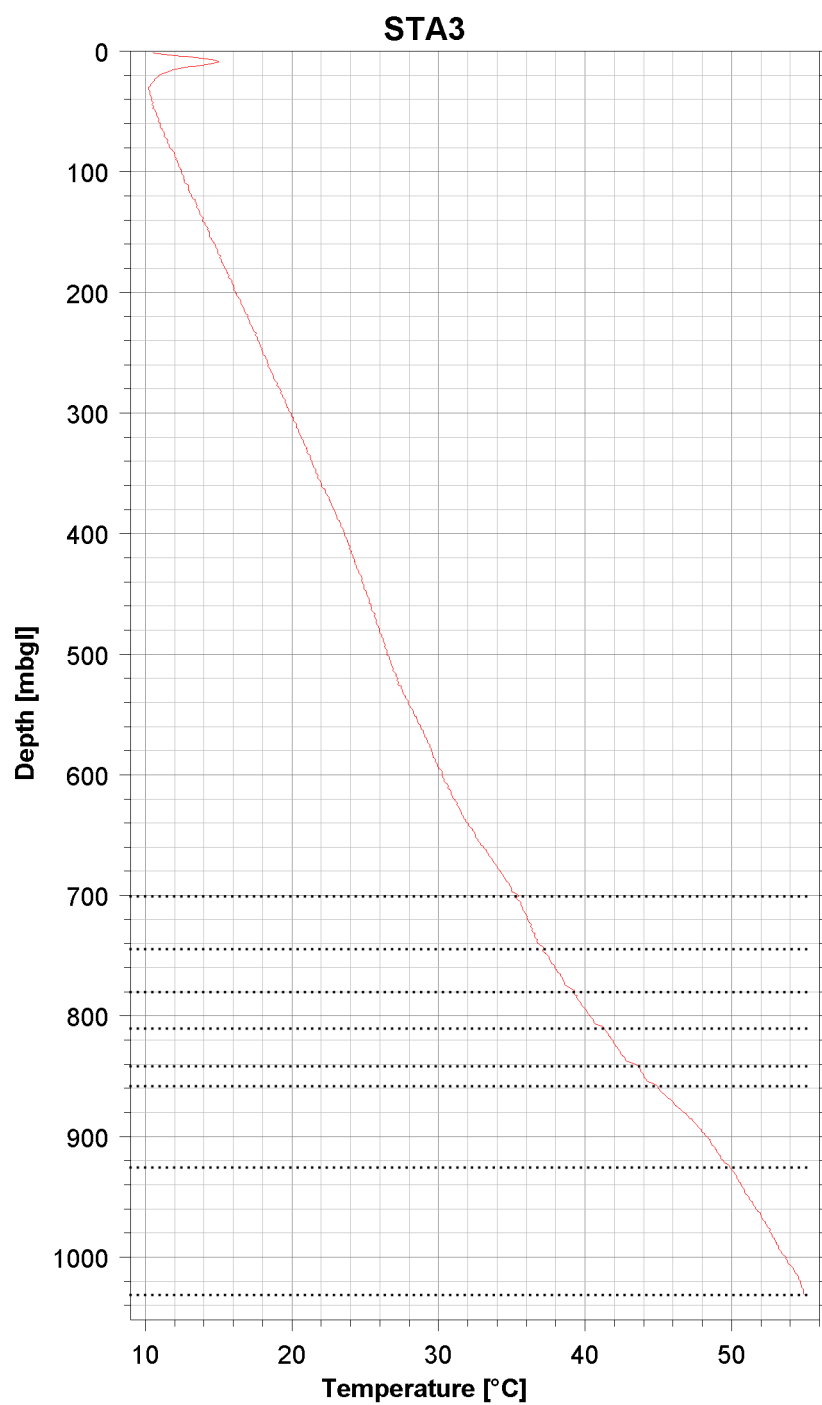


Fig. 6-5: Temperaturprofil der Tiefbohrung BOZ1-1 von 16.12.2022

Die Tiefe ist als «Tiefe unter Geländeoberkante» dargestellt. Die gepunkteten Linien verweisen auf die Spleiss-Stellen unterhalb der Packer.

7 Referenzen

- Hayer, J., Fanger, L., Firat-Lüthi, B. & Vogt, T. (2022): Sondierbohrung Benken, Langzeitbeobachtung 2021, Dokumentation und Messdaten. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-15.
- Jäggi, K. (2019): Sondierbohrung Benken, Langzeitbeobachtung, Ausbau Westbay Multi-Packer-System, Einbau Multi-Packer-System Baker/Hughes. Nagra Arbeitsbericht NAB 17-48.
- Schoenball, M., Vogt, T., Kech, M. & Rösli, U. (2023a): Long-term monitoring system of the Marthalen-1 borehole: Installation Report. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-48.
- Schoenball, M., Vogt, T., Kech, M. & Rösli, U. (2023b): Long-term monitoring system of the Bözberg-1 borehole: Installation Report. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-49.
- Schoenball, M., Vogt, T., Kech, M. & Rösli, U. (2023c): Long-term monitoring system of the Marthalen-1 borehole: Installation Report. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-50.

Anhang A Bohrung BEN – LZB-System

A.1 BEN Datenblatt 2022

Tiefbohrung Benken BEN1-1

Multipackersystem - Langzeitbeobachtung
System Firma Baker Oil Tools, Celle
Geländeoberkante (GOK) 404.3 m ü. M.

Datenaufzeichnung in Betrieb ab: 23.07.2009, ersetzt Oktober 2021

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Barometer	Temperatur
Intervall-Länge: m ab GOK	0.9 - 411.16 m	412.43 - 505.08 m	504.35 - 541.78 m	543.05 - 607.72 m	608.99 - 654.20 m	655.47 - 698.87 m	700.14 - 738.65 m	739.92 - 827.7 m (offene Bohrung)		
Oberkante Packer-Element Unterseite	411.16 m P1	503.08 m P2	541.78 m P3	607.72 m P4	654.20 m P5	698.87 m P6	738.65 m P7			
Perforationen alt: m ab GOK	389.0 - 392.0 m 392.0 - 395.5 m	466.0 - 469.0 m -	536.0 - 539.0 m -	576.0 - 579.0 m -	630.0 - 633.0 m -	678.5 - 681.5 m -	711.0 - 714.0 m 716.5 - 719.5 m	773.0 - 776.0 m -		
Perforationen neu: m ab GOK	382.0 - 385.0 m 385.0 - 388.0 m	- -	511.0 - 514.0 m 521.0 - 524.0 m	570.0 - 573.0 m 582.0 - 585.0 m	624.0 - 627.0 m 637.0 - 640.0 m	669.5 - 672.5 m 682.5 - 685.5 m	713.5 - 716.5 m 718.0 - 721.0 m	- -		
Lithostratigraphische Einheit	Wohlgeschichtete Kalke	Varians-Schichten Parkinsoni-W.-Sch.	Wedelsandstein	Opalinuston	Opalinuston	Obtusus-Schichten	Stubensandstein	Gipskeuper Trigonodus-Dolomit		
Chronostrat. Serie	Malm	Dogger	Dogger	Dogger	Dogger	Lias	Keuper	Keuper/Muschelkalk		
Sensortyp: Druckbereich: Seriennummer	MTM/N10 5 bar absolut 2361	MTM/N10 5 bar absolut 1626	MTM/N10 5 bar absolut 2793	MTM/N10 6 bar absolut 1241773	MTM/N10 5 bar absolut 2041	MTM/N10 5 bar absolut 2793	PTX 610 25 bar absolut SN.512445	MTM/N10 5 bar absolut 2360	PTM 0.85 - 1.25 bar 1211320	PT1000 -10 - +50 1211320
Abhängteufe Druckaufnehmer m unter GOK	30.0 m ab 23.07.2009	30.0 m ab 23.07.2009	30.0 m ab 23.07.2009	90.0 m ab 07.04.2022	90.0 m ab 03.02.2022	30 m ab 17.11.2021	Oberflächensensor Intervalldruck nicht mehr artesisch, keine Messwerte	30 m ab 23.07.2009		Bohrkeller ab 13.10.2021
Aufzeichnungsrate	ab 14.10.2021 1 Wert pro Stunde ab 07.04.2022 1 Wert alle 10 Minuten	ab 14.10.2021 1 Wert pro Stunde ab 07.04.2022 1 Wert alle 10 Minuten	ab 14.10.2021 1 Wert pro Stunde ab 07.04.2022 1 Wert alle 10 Minuten	ab 14.10.2021 1 Wert pro Stunde ab 07.04.2022 1 Wert alle 10 Minuten	ab 14.10.2021 1 Wert pro Stunde ab 07.04.2022 1 Wert alle 10 Minuten	ab 14.10.2021 1 Wert pro Stunde ab 07.04.2022 1 Wert alle 10 Minuten	ab 14.10.2021 1 Wert pro Stunde ab 07.04.2022 1 Wert alle 10 Minuten	ab 14.10.2021 1 Wert pro Stunde ab 07.04.2022 1 Wert alle 10 Minuten		ab 14.10.2021 1 Wert pro Stunde ab 07.04.2022 1 Wert alle 10 Minuten
Zeit-Basis:	MEZ	MEZ	MEZ	MEZ	MEZ	MEZ	MEZ	MEZ		MEZ

Bemerkungen:

MEZ = Mitteleuropäische Zeit, keine Umstellung auf Sommer-/Winterzeit

Stand: Dezember 2022

A.2 BEN Logbuch 2022

Chronologie der Aktivitäten und Messungen 2022

Aktivitäten vom 13.01.2022

Zeit: 09:00 – 11:00 Uhr

Datenaufzeichnung der Datenerfassung ausgelesen. Dateien kontrolliert und die aufgezeichneten Messwerte kontrolliert und Serverupload geprüft. Momentanwerte kontrolliert und notiert.

Manometer an den Gasflaschen (zur Packerdruckhaltung) abgelesen und Werte notiert. Ausgleichsgefäße kontrolliert. Bohrflansch und Bohrkeller gereinigt.

Zeit: 09:10 Uhr, Messwerte Manometer, Füllstand Druckgefäße

	Flaschendruck [bar]	Packerdruck [bar]	Füllstand [cm]
Packer 1 +2 (blau)	118	61.0	28.0
Packer 3 (rot)	100	62.0	27.5
Packer 4 (grün)	200	61.0	32.8
Packer 5 – 7 (gelb)	135	62.0	33.6

Messwerte Manometer

Zone 6 (schwarz)	0 bar	Nicht angeschlossen
Zone 7 (pink)	0 bar	Nicht angeschlossen

Bearbeiter: J. Hayer Monitron AG Polymetra

Aktivitäten vom 03.02.2022

Zeit: 10:45 – 13:20 Uhr

Datenaufzeichnung der Datenerfassung ausgelesen. Dateien kontrolliert und die aufgezeichneten Messwerte kontrolliert und Serverupload geprüft. Momentanwerte kontrolliert und notiert.

Manometer an den Gasflaschen (zur Packerdruckhaltung) abgelesen und Werte notiert. Ausgleichsgefäße kontrolliert. Bohrflansch und Bohrkeller gereinigt.

Sensor Zone 5 tiefer gesetzt, neue Messposition 90 m unter OK Stand-Pipe.

Stand-Pipe Zone 6 aufgefüllt bis OK Rohr.

Remote Software Anydesk installiert.

Alle Sensoren ausgebaut, Seriennummern notiert und alle Wasserstände in den Standpipes mit dem Lichtlot gemessen.

Zeit: 11:05 Uhr, Messwerte Manometer, Füllstand Druckgefäße

	Flaschendruck [bar]	Packerdruck [bar]	Füllstand [cm]
Packer 1 +2 (blau)	120	61.0	27.5
Packer 3 (rot)	100	61.0	27.0
Packer 4 (grün)	200	61.0	33.0
Packer 5 – 7 (gelb)	130	62.0	32.0

Messwerte Manometer

Zone 6 (schwarz)	0 bar	Nicht angeschlossen
Zone 7 (pink)	0 bar	Nicht angeschlossen

	Sensornummer	Wasserspiegel Stand-Pipe [m u. OKR]
Zone 1	2361	13.29
Zone 2	1626	21.67
Zone 3	2793	23.18
Zone 4	n. lesbar	54.60
Zone 5	2041	70.34
Zone 6	2793	0 nach Auffüllen
Zone 7	512445	-
Zone 8	2360	8.79

Bearbeiter: J. Hayer Monitron AG Polymetra

Aktivitäten vom 09.03.2022

Zeit: 09:45 – 12:30 Uhr

Datenaufzeichnung der Datenerfassung ausgelesen. Dateien kontrolliert und die aufgezeichneten Messwerte kontrolliert und Serverupload geprüft. Momentanwerte kontrolliert und notiert.

Manometer an den Gasflaschen (zur Packerdruckhaltung) abgelesen und Werte notiert. Ausgleichsgefäße kontrolliert. Bohrflansch und Bohrkeller gereinigt.

Kabel- und Sensorvolumen ausgemessen, Verdrängung in Zone 8 kontrolliert (Sensor ausgebaut und Wasserstand im Stand-Pipe direkt nach Ausbau und 1.5 Stunden später gemessen).

Abstand Stand-Pipes zum Deckel Bohrkeller ausgemessen und auf GOK rückgerechnet.

Zeit: 10:10 Uhr, Messwerte Manometer, Füllstand Druckgefäße

	Flaschendruck [bar]	Packerdruck [bar]	Füllstand [cm]
Packer 1 +2 (blau)	122	64.0	28.0
Packer 3 (rot)	101	64.2	27.5
Packer 4 (grün)	210	63.9	33.1
Packer 5 – 7 (gelb)	140	64.0	34.0

Messwerte Manometer

Zone 6 (schwarz)	0 bar	Nicht angeschlossen
Zone 7 (pink)	0 bar	Nicht angeschlossen

Bearbeiter: J. Hayer Monitron AG Polymetra

Aktivitäten vom 07.04.2022

Zeit: 08:45 – 12:30 Uhr

Datenaufzeichnung der Datenerfassung ausgelesen. Dateien kontrolliert und die aufgezeichneten Messwerte kontrolliert und Serverupload geprüft. Momentanwerte kontrolliert und notiert.

Manometer an den Gasflaschen (zur Packerdruckhaltung) abgelesen und Werte notiert. Ausgleichsgefäße kontrolliert. Bohrflansch und Bohrkeller gereinigt.

09:20 Einbau neuer Sensor (# 1241773) in Zone 4. Messwert Sensor Atm: 95.82 kPa, Einbautiefe neu 90 m (vorher 55 m). Wasserspiegel im Stand-Pipe 55.07 m ab ROK, Messwert Sensor nach Einbau 490.07 kPa.

Messrate auf 10 min geändert, Neustart DAS um 09:50 Uhr.

Zeit: 09:00 Uhr, Messwerte Manometer, Füllstand Druckgefäße

	Flaschendruck [bar]	Packerdruck [bar]	Füllstand [cm]
Packer 1 +2 (blau)	122	63.4	27.8
Packer 3 (rot)	100	64.1	27.5
Packer 4 (grün)	210	64.0	33.0
Packer 5 – 7 (gelb)	140	63.0	33.5

Messwerte Manometer

Zone 6 (schwarz)	0 bar	Nicht angeschlossen
Zone 7 (pink)	0 bar	Nicht angeschlossen

Bearbeiter: J. Hayer und M. Pesendorfer, Monitron AG Polymetra

Aktivitäten vom 21.06.2022

Zeit: 15:45 – 17:15 Uhr

Datenerfassung neu gestartet und geprüft, Datenausfall seit 16.06.2022.

Datenaufzeichnung der Datenerfassung ausgelesen. Dateien kontrolliert und die aufgezeichneten Messwerte kontrolliert und Serverupload geprüft. Momentanwerte kontrolliert und notiert.

Manometer an den Gasflaschen (zur Packerdruckhaltung) abgelesen und Werte notiert. Ausgleichsgefäße kontrolliert. Bohrflansch und Bohrkeller gereinigt.

Messrate auf 10 min geprüft, Neustart DAS um 16:30 Uhr.

Zeit: 16:00 Uhr, Messwerte Manometer, Füllstand Druckgefäße

	Flaschendruck [bar]	Packerdruck [bar]	Füllstand [cm]
Packer 1 +2 (blau)	130	67.0	29.5
Packer 3 (rot)	105	68.0	28.0
Packer 4 (grün)	222	68.0	33.0
Packer 5 – 7 (gelb)	145	68.0	34.5

Messwerte Manometer

Zone 6 (schwarz)	0 bar	Nicht angeschlossen
Zone 7 (pink)	0 bar	Nicht angeschlossen

Bearbeiter: J. Hayer, Monitron AG Polymetra

Aktivitäten vom 18.08.2022

Zeit: 08:00 – 11:00 Uhr

Datenaufzeichnung der Datenerfassung ausgelesen. Dateien kontrolliert und die aufgezeichneten Messwerte kontrolliert und Serverupload geprüft. Momentanwerte kontrolliert und notiert.

Manometer an den Gasflaschen (zur Packerdruckhaltung) abgelesen und Werte notiert. Ausgleichsgefäße kontrolliert. Bohrflansch und Bohrkeller gereinigt.

Versuch Minipacker in Stand-Pipe Zone 4 durch Solexperts einzubauen.

Ausbau Sensor Zone 4, Messung Wasserstand in Stand-Pipe 56,57 m u. OK Rohr.

Dummy-run mit DN12 mm bis 100 m möglich, Dummy-run mit DN14 mm Dummy nur bis 0.65 m möglich, Versuch Minipacker DN 14 mm ohne Sinker-bar einzubauen endet ebenso an der Durchführung des Stand-pipes durch den Bohrungsflansch.

Wiedereinbau Sensor Zone 4 auf 90 m unter OK Rohr.

Zeit: 08:15 Uhr, Messwerte Manometer, Füllstand Druckgefäße

	Flaschendruck [bar]	Packerdruck [bar]	Füllstand [cm]
Packer 1 +2 (blau)	130	67.0	27.5
Packer 3 (rot)	110	69.0	27.0
Packer 4 (grün)	222	69.0	32.0
Packer 5 – 7 (gelb)	148	68.0	33.0

Messwerte Manometer

Zone 6 (schwarz)	0 bar	Nicht angeschlossen
Zone 7 (pink)	0 bar	Nicht angeschlossen

Bearbeiter: J. Hayer, Monitron AG Polymetra

Aktivitäten vom 04.10.2022

Zeit: 14:30 – 15:30 Uhr

Datenaufzeichnung der Datenerfassung ausgelesen. Dateien kontrolliert und die aufgezeichneten Messwerte kontrolliert und Serverupload geprüft. Momentanwerte kontrolliert und notiert.

Manometer an den Gasflaschen (zur Packerdruckhaltung) abgelesen und Werte notiert. Ausgleichsgefäße kontrolliert. Bohrflansch und Bohrkeller gereinigt.

Zeit: 14:45 Uhr, Messwerte Manometer, Füllstand Druckgefäße

	Flaschendruck [bar]	Packerdruck [bar]	Füllstand [cm]
Packer 1 +2 (blau)	140	62.0	27.5
Packer 3 (rot)	105	65.0	27.0
Packer 4 (grün)	220	65.0	32.0
Packer 5 – 7 (gelb)	140	62.0	- ¹⁾

¹⁾ Flüssigkeitsstand durch neue Plexiglasscheibe nicht ablesbar

Messwerte Manometer

Zone 6 (schwarz)	0 bar	Nicht angeschlossen
Zone 7 (pink)	0 bar	Nicht angeschlossen

Bearbeiter: J. Hayer, Monitron AG Polymetra

Aktivitäten vom 01.12.2022

Zeit: 07:30 – 09:30 Uhr

Datenaufzeichnung der Datenerfassung ausgelesen. Dateien kontrolliert und die aufgezeichneten Messwerte kontrolliert und Serverupload geprüft. Momentanwerte kontrolliert und notiert.

Manometer an den Gasflaschen (zur Packerdruckhaltung) abgelesen und Werte notiert. Ausgleichsgefäße kontrolliert. Bohrflansch und Bohrkeller gereinigt.

Versuch Minipacker in Stand-Pipe Zone 5 durch Solexperts einzubauen.

Ausbau Sensor Zone 5, Messung Wasserstand in Stand-Pipe 72,96 m u. OK Rohr.

Dummy-run mit DN14 mm bis 0.8 m möglich.

Wiedereinbau Sensor Zone 5 auf 90 m unter OK Rohr.

Zeit: 07:45 Uhr, Messwerte Manometer, Füllstand Druckgefäße

	Flaschendruck [bar]	Packerdruck [bar]	Füllstand [cm]
Packer 1 +2 (blau)	122	62.0	27.0
Packer 3 (rot)	105	65.0	28.0
Packer 4 (grün)	210	64.0	30.0
Packer 5 – 7 (gelb)	138	62.0	- ¹⁾

¹⁾ Flüssigkeitsstand durch neue Plexiglasscheibe nicht ablesbar

Messwerte Manometer

Zone 6 (schwarz)	0 bar	Nicht angeschlossen
Zone 7 (pink)	0 bar	Nicht angeschlossen

Bearbeiter: J. Hayer, Monitron AG Polymetra

A.3 BEN Jahresblätter 2022

Anmerkung: Nur in der digitalen Version dieses Berichtes ist der Anhang A.3 enthalten und unter dem Büroklammersymbol abgelegt.

Für Beobachtungszonen 6 und 7 liegen im Jahr 2022 keine verlässlichen Daten der hydraulischen Druckhöhe und somit keine Jahresblätter vor.

Anhang B Bohrung MAR1-1 – LZB-System

B.1 MAR1-1 Datenblatt 2022

Tiefbohrung Marthalen MAR1-1											
Multi-Packer-System - Langzeitbeobachtung System Solexperts AG Geländeoberkante (GOK) 399,48 m ü. M. Datenaufzeichnung in Betrieb ab: 25.05.2022 Stand 31.12.2022											
	Zone 9	Zone 8	Zone 7	Zone 6	Zone 5	Zone 4	Zone 3	Zone 2	Zone 1	Barometer	Temperatur
Intervall-Tiefe: [m ab GOK]	1.56 - 507.17 m	508.17 - 550.07 m	551.07 - 591.05	592.05 - 632.00	633.00 - 665.56	666.56 - 697.08	698.08 - 743.06	744.06 - 849.54	850.54 - 900.00		
Oberkante Packer-Element	507.17 P8	550.07 P7	591.05 P6	632.00 P5	665.56 P4	697.08 P3	743.06 P2	849.54 P1			
Unterkante [m ab GOK]		508.17	551.07	592.05	633.00	666.56	698.08	744.06	850.54		
Perforationen [m ab GOK]	345 - 351 m	525 - 531 m	570 - 576 m	618 - 624 m	645 - 651 m	677 - 683 m	726 - 732 m	760.5 - 773.5 m	858 - 900 m (offenes Bohrloch)		
Lithostratigraphische Einheit	Felsenkalke + Massenkalke	Parkinsoni Wirttembergia	Wedelsandstein	Opalinuston	Opalinuston	Opalinuston	Stafellegg	Klettgau	Schinznach		
Chronostrat. Serie	Malm	Dogger	Dogger	Dogger	Dogger	Dogger	Lias	Keuper	Muschelkalk		
Sensortyp: Druckbereich: Seriennummer	MTM/N10 0 - 2 bar absolut 1211566	MTM/N10 0 - 6 bar absolut 1211554 ----- ATM.1ST 16 bar absolut für artesische Messungen	MTM/N10 0 - 6 bar absolut 1211553 ----- ATM.1ST 16 bar absolut für artesische Messungen	MTM/N10 0 - 6 bar absolut 1211555 ----- ATM.1ST 16 bar absolut für artesische Messungen	MTM/N10 0 - 6 bar absolut 1211556	MTM/N10 0 - 6 bar absolut 1211557	MTM/N10 0 - 6 bar absolut 1211552	MTM/N10 0 - 6 bar absolut 1211558	MTM/N10 0 - 2 bar absolut 1211567	PTM 0.85 - 1.25 bar 1211321	PT1000 -10 - + 50 °C -
Abhängigteufe Druckaufnehmer [m unter OK Standrohr]	20.0 m seit 25.05.2022	20.0 m seit 09.09.2022 vorher artesisch	50.0 m seit 01.12.2022, 20 m seit 11.08.2022 vorher artesisch	15.0 m seit 13.07.2022 vorher artesisch	60.0 m seit 01.12.2022 20 m seit 25.05.2022	50 m seit 01.12.2022 20 m seit 25.05.2022	30.0 m seit 25.05.2022	50.0 m seit 25.05.2022	15.0 m seit 25.05.2022	Bohrkeller seit 25.05.2022	
Aufzeichnungsrate Zeit-Basis:	1 Wert pro 5 Minuten (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	

Bemerkungen: MEZ = Mitteleuropäische Zeit, keine Umstellung auf Sommer-/Winterzeit
DAS = Data Acquisition System

B.2 MAR1-1 Logbuch 2022

Chronologie der Aktivitäten und Messungen 2022

Datum	Typ	Was	Aktivität	Wer
12.07.	Begehung, Änderung Systemkomponenten	PA5-8	Abhängen Packer 5 – 8 von den Druckkesseln und Anschluss der Packer direkt an die Drucksensoren	Solexperts
12.07.	Änderung Systemkomponenten	I6_16, I6_6	Umbau Zone 6 von artesischen zu subartesischen Verhältnissen Einbau Subartereser-Sensor Zone 6 mit 15 m Einbautiefe Umbau Stand-Pipe und Ausblasen Rohr bis 9 m unter ROK	Solexperts
12.07.	Änderung DAS	I6_16, I6_6	Wechsel von Sensor MAR i6_16 zu MAR i6_6, Sensor an Atmosphäre 97.65 kPa, nach Einbau 181 kPa	Solexperts
23.07.	Änderung DAS	DAS	Kompletter Ausfall der Datenerfassung DAS	Solexperts
25.07.	Begehung	PA5	Nachspannen Packer 5, Anhängen an Druckkessel, Demontage DAS	Solexperts
28.07.	Änderung DAS	DAS	Wiederinbetriebnahme DAS	Solexperts
11.08.	Änderung Systemkomponenten	I7_16, I7_6	Umbau Zone 7 von artesischen zu subartesischen Verhältnissen Einbau Subartereser-Sensor Zone 7 mit 20 m Einbautiefe Umbau Stand-Pipe und Ausblasen Rohr bis 9.77 m unter ROK	Monitron MTJOH
11.08.	Änderung DAS	I7_16, I7_6	Wechsel von Sensor MAR i7_16 zu MAR i7_6, Sensor an Atmosphäre 97.02 kPa, nach Einbau 217.41 kPa	Monitron MTJOH
18.08.	Begehung		Kontrolltermin Keine besonderen Auffälligkeiten	Monitron MTJOH
09.09.	Änderung Systemkomponenten	I8_16, I8_6	Umbau Zone 8 von artesischen zu subartesischen Verhältnissen Subartereser-Sensor Zone 8 mit 20 m Einbautiefe Umbau Stand-Pipe	Solexperts

Datum	Typ	Was	Aktivität	Wer
09.09.	Änderung DAS	I8_16, I8_6	Wechsel von Sensor MAR i8_16 zu MAR i8_6 keine Angaben zu Druckwerten	Solexperts
04.10.	Begehung		Kontrolltermin Auf Stand-Pipe von Zone 3 fehlt gerade Verschraubung, Stand-Pipe ist somit 3 cm kürzer als angegeben. Nullmessungen erfolgten mit montierter Verschraubung.	Monitron MTJOH
01.12.	Begehung		Kontrolltermin Sensortiefen Zone 4 von 20 auf 50 m gesetzt Sensortiefen Zone 5 von 20 auf 60 m gesetzt Sensortiefen Zone 7 von 20 auf 50 m gesetzt Schachtdeckel Antenne beschädigt	Monitron MTJOH
13.12.	Begehung	PA6	Nachspannen Packer 6, Auffüllen Druckkessel, Packerdruck 16.1 bar Kesselgewicht 16.71 kg	Solexperts

B.3 MAR1-1 Jahresblätter 2022

Anmerkung: Nur in der digitalen Version dieses Berichtes ist der Anhang B.3 enthalten und unter dem Büroklammersymbol abgelegt.

Anhang C Bohrung BOZ1-1 – LZB-System

C.1 BOZ1-1 Datenblatt 2022

Tiefbohrung Bözberg BOZ1-1											
Multipackersystem - Langzeitbeobachtung System Solexperts AG Geländeoberkante (GOK) 513.29 m ü. M. Datenaufzeichnung in Betrieb ab: 26.06.2022											
	Zone 9	Zone 8	Zone 7	Zone 6	Zone 5	Zone 4	Zone 3	Zone 2	Zone 1	Barometer	Temperatur
Intervall-Länge: m ab GOK	0.97 - 408.91 m	409.91 - 497.79 m	498.79 - 538.42	539.42 - 574.89	575.89 - 610.37	611.37 - 645.70	646.70 - 678.81	679.81 - 817.00	818.00 - 875.00		
Oberkante Packer-Element Unterseite	408.91 P8	497.79 P7	538.42 P6	574.89 P5	610.37 P4	645.70 P3	678.81 P2	817.00 P1			
Perforationen m ab GOK	303 - 325 m	417 - 423 m	514 - 520 m	552 - 558 m	587 - 593 m	622 - 628 m	659 - 665 m	706 - 712 m	824 - 880 m		
Lithostratigraphische Einheit	Wildeg	Hauptrogenstein	Passwang	Opalinuston	Opalinuston	Opalinuston	Staffelegg	Klettgau	Schinzach		
Chronostrat. Serie	Malm	Dogger	Dogger	Dogger	Dogger	Dogger	Lias	Keuper	Muschelkalk		
Sensortyp: Druckbereich: Seriennummer	MTM/N10 2 bar absolut 1211569	MTM/N10 6 bar absolut 1211564	MTM/N10 6 bar absolut 1211563	MTM/N10 6 bar absolut 1211562	MTM/N10 6 bar absolut 1211561	MTM/N10 6 bar absolut 1211560	ATM/1ST 16 bar absolut 1211364	ATM/1ST 6 bar absolut 1211559	MTM/N10 2 bar absolut 1211568	PTM 0.85 - 1.25 bar 1211320	PT1000 -10 - +50 -
Abhängteufe Druckaufnehmer m unter Top Stand-Pipe	94.07 m ab 20.12.2022	150.07 m ab 01.12.2022	120.07 m ab 01.12.2022	140.07 m ab 28.10.2022	100.07 m ab 28.10.2022	130.07 m ab 04.10.2022	95.07 m ab 04.08.2022	100.07 m ab 26.06.2022	125.07 m ab 26.06.2022		Bohrkeller ab 26.06.2022
Aufzeichnungsrate Zeit-Basis:	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ		1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ

Bemerkungen: MEZ = Mitteleuropäische Zeit, keine Umstellung auf Sommer-/Winterzeit

Stand: Dezember 2022

C.2 BOZ1-1 Logbuch 2022

Chronologie der Aktivitäten und Messungen 2022

Datum	Typ	Was	Aktivität	Wer
04.08.	Begehung, Änderung Systemkomponenten	I3_6	Sensor Zone 3 um 30 m auf 95 m tiefer gesetzt	Solexperts
24.08.	Änderung Systemkomponenten	PA5-7	Anschluss Waagen an GeomonitorDrucktank PA5, PA6 und PA 7 auf 25 bar Nachfüllen	Solexperts
26.08.	Änderung Systemkomponenten	I6_6	Sensor Zone 6 ausgebaut und zur Reparatur gebracht	Solexperts
02.09.	Änderung Systemkomponenten	I6_6	Wiederinbetriebnahme Sensor Zone 6 auf 100 m	Solexperts
08.09.	Begehung, Änderung Systemkomponenten	I9_6	Kontrolltermin, Sensor Zone 9 um 5 m auf 85 m tiefer gesetzt	Monitron MTJOH
29.09.	Begehung	PA 8	Nachspannen PA8 auf 20.5 bar	Solexperts
04.10.	Begehung, Änderung Systemkomponenten	I4_6	Kontrolltermin, Sensor Zone 4 um 30 m auf 130 m tiefer gesetzt	Monitron MTJOH
28.10.	Begehung, Änderung Systemkomponenten	I6_6, I5_6	Sensor Zone 6 um 40 m auf 140 m tiefer gesetzt, Sensor Zone 5 um 30 m auf 100 m tiefer gesetzt	Monitron MTPEH
10.11.	Begehung	PA 8	Nachspannen PA8 auf 20 bar	Solexperts
29.11.	Begehung	PA 8	Nachspannen PA8 auf 20 bar, Wechsel Flex-Schläuche durch 4 m Stahlleitungen	Solexperts
01.12.	Begehung, Änderung Systemkomponenten	I6_6, I7_6	Kontrolltermin, Sensor Zone 6 um 20 m auf 120 m tiefer gesetzt, Sensor Zone 7 um 20 m auf 150 m tiefer gesetzt	Monitron MTPEH
19.12.	Begehung, Änderung Systemkomponenten	I9_2	Sensor Zone 9 um 15 m tiefer gesetzt (jetzt 100 m)	Monitron MTPEH
20.12.	Begehung, Änderung Systemkomponenten	I9_2	Messbereich überschritten: Sensor Zone 9 um 6 m höher gesetzt (jetzt 94 m)	Monitron MTPEH

C.3 BOZ1-1 Jahresblätter 2022

Anmerkung: Nur in der digitalen Version dieses Berichtes ist der Anhang C.3 enthalten und unter dem Büroklammersymbol abgelegt.

Anhang D Bohrung STA3-1 – LZB-System

D.1 STA3-1 Datenblatt 2022

Tiefbohrung Stadel STA3-1

Multipackersystem - Langzeitbeobachtung
System Solexperts AG
Geländeoberkante (GOK) 408.74 m ü. M.
Datenaufzeichnung in Betrieb ab: 27.07.2022

	Zone 9	Zone 8	Zone 7	Zone 6	Zone 5	Zone 4	Zone 3	Zone 2	Zone 1	Barometer	Temperatur
Intervall-Länge: m ab GOK	1.30 - 697.23 m	698.23 - 740.67 m	741.67 - 775.97 m	776.97 - 806.70 m	807.70 - 837.64 m	838.64 - 854.11 m	855.11 - 922.15 m	923.15 - 1027.29	1028.29 - 1100.00		
Oberkante Packer-Element	697.23 P8	740.67 P7	775.97 P6	806.70 P5	837.64 P4	854.11 P3	922.15 P2	1027.29 P1			
Unterkante		698.23	741.67	776.97	807.70	838.64	855.11	923.15	1028.29		
Perforationen m ab GOK	512 - 539 m	714 - 727 m	758 - 764 m	791 - 797 m	820 - 826 m	846 - 852 m	896 - 902 m	938 - 944 m	1033 - 1100 m		
Lithostratigraphische Einheit	Felsenkalk	Herrenwis	Wedelsandstein	Opalinuston	Opalinuston	Opalinuston	Staffellegg	Klettgau	Schinznach		
Chronostrat. Serie	Malm	Dogger	Dogger	Dogger	Dogger	Dogger	Lias	Keuper	Muschelkalk		
Sensortyp: Druckbereich: Seriennummer	MTM/N10 6 bar absolut 1241779	MTM/N10 2 bar absolut 1241772	MTM/N10 6 bar absolut 1241778	MTM/N10 6 bar absolut 1241777	MTM/N10 6 bar absolut 1241776	MTM/N10 6 bar absolut 1241775	MTM/N10 6 bar absolut 1241774	MTM/N10 6 bar absolut 1241773	MTM/N10 2 bar absolut 1241771	PTM 0.85 - 1.25 bar 1241788	PT1000 -10 - +50 -
Abhängteufe Druckaufnehmer m unter Top Stand-Pipe	70.07 m ab 27.07.2022	165.07 m ab 27.07.2022	80.07 m ab 27.07.2022	80.07 m ab 27.07.2022	80.07 m ab 27.07.2022	60.07 m ab 22.08.2022	60.07 m ab 27.07.2022	20.07 m ab 14.10.2022	55.07 m ab 27.07.2022		Bohrkeller ab 27.07.2022
Aufzeichnungsrate Zeit-Basis:	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ	1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ		1 Wert pro 5 Minuten 12 Werte pro Stunde (Ausnahmen bei Inbetriebnahme und Wartungsarbeiten an DAS) MEZ

Bemerkungen:

MEZ = Mitteleuropäische Zeit, keine Umstellung auf Sommer-/Winterzeit

Stand: Dezember 2022

D.2 STA3-1 Logbuch 2022

Chronologie der Aktivitäten und Messungen 2022

Datum	Typ	Was	Aktivität	Wer
22.08.	Begehung		Anschluss der Waagen an die Datenerfassung	Solexperts
22.08.	Änderung DAS	DAS	Änderung Datenerfassung für Messung der Druckkesselgewichte	Solexperts
22.08.	Änderung Systemkomponenten	I3_6	Sensor Zone 3 um 20 m auf 60 m höher gesetzt	Solexperts
22.08.	Änderung Systemkomponenten	I4_6	Sensor Zone 4 um 20 m auf 60 m höher gesetzt	Solexperts
02.09.	Änderung Systemkomponenten	I2_6 und I2_16	Zone 2 von subartesischen zu artesischen Messbedingungen umgebaut Ausbau Sensor STA I2_6 aus Stand-Pipe, Aufbau Sensor STA I2_16 auf Stand-Pipe	Solexperts
02.09.	Änderung DAS	I2_6 und I2_16	Wechsel von Sensor STA i2_6 zu STA i2_16	Solexperts
29.09.	Begehung	PA 8	Nachspannen Packer 8 auf 20.7 bar	Solexperts
04.10.	Begehung		Kontrolltermin Keine besonderen Auffälligkeiten	Monitron
04.10.	Änderung Systemkomponenten	I2_16	Abbau Arteser Sensor STA I2_16	Monitron MTJOH
14.10.	Änderung Systemkomponenten	I2_6 und I2_16	Umbau Zone 2 von artesischen zu subartesischen Verhältnissen Verlängerung Stand-Pipe um 0.70 m Einbau Subarteser-Sensor STA I2_6 in Zone 2 mit 20 m Einbautiefe	Monitron MTPEH
14.10.2022	Änderung DAS	STA I2_6 und STA I2_16	Wechsel von Sensor STA i2_16 zu STA i2_6, Sensor an Atmosphäre 97.24 kPa, nach Einbau 297.47 kPa	Monitron MTPEH

D.3 STA3-1 Jahresblätter 2022

Anmerkung: Nur in der digitalen Version dieses Berichtes ist der Anhang D.3 enthalten und unter dem Büroklammersymbol abgelegt.