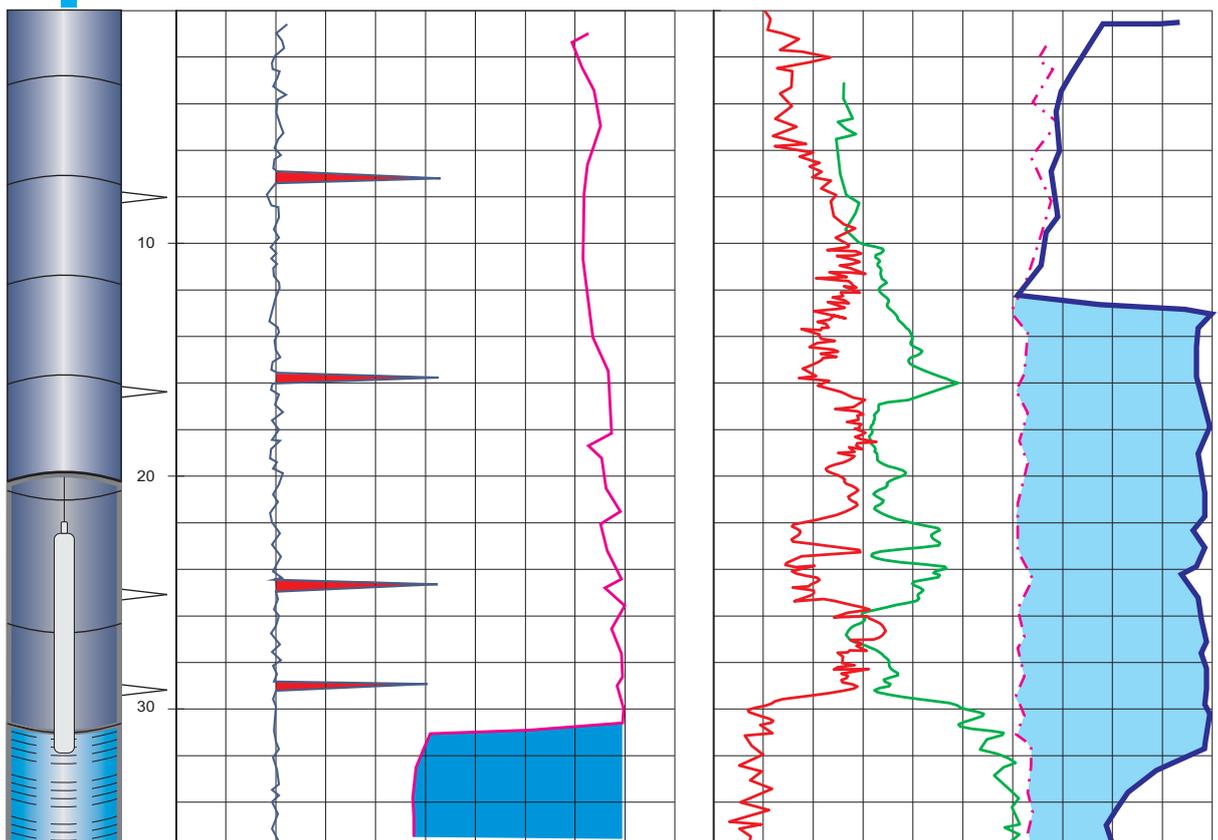


Bohrlochgeophysikalische Untersuchungen Tiefbrunnen I "In der Klingelleite" Markt Hahnbach

September 2021



Geophysikalische Brunnenkontrollmessungen am 6. und 15.9.2020
Tiefbrunnen I „In der Klingelleite“ der Markt Hahnbach

Projekt: Markt Hahnbach
Herbert-Falk-Straße 5
92256 Hahnbach

Projektleitung: R&H Umwelt GmbH
Dr. Katharina Vujevic
Schnorrstraße 5a
90471 Nürnberg

Auftraggeber: Markt Hahnbach
Herbert-Falk-Straße 5
92256 Hahnbach

Auftragnehmer: Fontus Logging Service
Am Einsiedel 39a
91785 Pleinfeld

Bearbeiter: W. Beck, Diplomgeologe



Pleinfeld, den 11.11.2021

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Der Tiefbrunnen I „In der Klingelleite“ der Marktgemeinde Hahnbach wurde in zwei Messeinsätzen am 6.9. und 15.9.2021 auftragsgemäß mit geophysikalischen Bohrlochmessungen einer aktuellen Statuskontrolle unterzogen. Dazu kam in Abstimmung mit der Projektleitung (R & H Umwelt GmbH) nach Beendigung des Leistungspumpversuchs ein Standard-Messprogramm zur Ausführung, welches der Ermittlung der hydraulischen und physikalisch-chemischen Verhältnisse im Ruhezustand und bei Wasserförderung diente und um eine Gamma-Strahlungsmessung zur Charakterisierung der GW-Leiter ergänzt wurde.

Die dazu eingesetzten Messverfahren erfolgen gemäß DVGW-Arbeitsblatt W110 (2005/2010): Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen bzw. DVGW-Arbeitsblatt W135 (1998): Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Grundwassermessstellen und Brunnen und dienen damit folgender Aufgabenstellung im Einzelnen:

- Überprüfung der in der Brunnenbohrung aufgeschlossenen Schichtenfolge durch Messung der natürlichen Gamma-Strahlungsintensität (**GR**) analog zum Tongehalt mit Identifizierung von potentiell grundwasserführenden Schichten und grundwasserhemmenden Stauhorizonten (Stockwerksgliederung).
- Erstellung eines quantitativen Zuflussprofils mit Ermittlung der hydrodynamischen Verhältnisse im Ruhezustand und Charakterisierung der Grundwasserzutritte bei Wasserförderung mittels Flowmeter-Messungen (**FLOW-01, FLOW-11/12/13**).
- Messung der vertikalen Differenziertheit von Temperatur und Leitfähigkeit (**TEMP-01/SAL-01, TEMP-11/SAL-11**) zur Kennzeichnung der chemisch-physikalischen Verhältnisse im Ruhezustand und Kontrolle dieser Parameter unter Förderbedingungen.

2. **Bezugsgrößen** (nach Brunnendokumentation und Geophysik)

Messnullpunkt:	OK. Sperrrohr DN700
Teufenbezug:	0,25 m über GOK
Messendteufe:	164,40 m
Sperrrohr:	DN700 bis 47,40 m
Ausbautiefe:	165,00 m
Ausbaudurchmesser:	DN400 Stahl beschichtet
Ausbaudaten:	0,16 m bis 40,30 m Vollrohr 40,30 m bis 120,00 m Filterrohr 1 120,00 m bis 125,00 m Vollrohr 125,00 m bis 145,00 m Filterrohr 2 145,00 m bis 150,00 m Vollrohr 150,00 m bis 165,00 m Filterrohr 3
Ruhewasserspiegel:	52,30 m
tiefster Betriebswasserspiegel:	74,00 m
Pumpeneinlauf:	77,00 m
Förderrate:	5,80 und 6,20 l/s l/s

3. **Gerätedaten**

Messwinde:	Intergeo Haferland AG, Zug/Schweiz, E600, mit frequenzgesteuerten Antrieb (ATW Winter)
Gamma-Sonde:	Typ GR202, Ø 40 mm, NaJ-Kristall 2" x 1" Anzeige 1 cps = 1,58 API
Flowmeter-Sonde:	Typ FL3-90, Ø 90 mm Präzisions-Impeller, Anzeige 3 Impulse pro Umdrehung
Temperatur-/ Leitfähigkeits-Sonde:	Typ TC02C, Ø 35 mm, Temperatur-Anzeige 0-50 °C Salinitäts-Anzeige 0-10 mS/cm; 4 Elektroden-Anordnung (normiert auf 25 °C)

4. Messverfahren und Messstrecken

Gamma-Messung

(GR) von 164,40 bis 0,00 m (Fahrgeschwindigkeit 4 m/min)

Kombinierte Temperatur-/Leitfähigkeits-Messung ohne Wasserförderung

(TEMP-01/SAL-01) von 53,30 bis 164,40 m (Fahrgeschwindigkeit 6 m/min)

Kombinierte Temperatur-/Leitfähigkeits-Messung mit Wasserförderung (5,80 l/s)

(TEMP-11/SAL-11) von 72,20 bis 164,40 m (Fahrgeschwindigkeit 6 m/min)

Flowmeter-Messung ohne Wasserförderung; Messfahrt

(FLOW-01) von 52,30 bis 164,40 m (Fahrgeschwindigkeit 6 m/min)

Flowmeter-Messung mit Wasserförderung (6,20 l/s); Messfahrt

(FLOW-11) von 74,00 bis 164,40 m (Fahrgeschwindigkeit 6 m/min)

Flowmeter-Messung mit Wasserförderung (6,20 l/s); Messfahrt

(FLOW-12) von 80,00 bis 140,00 m (Fahrgeschwindigkeit 6 m/min)

Flowmeter-Messung mit Wasserförderung (6,20 l/s); Messfahrt

(FLOW-13) von 72,00 bis 80,00 m (Fahrgeschwindigkeit 6 m/min)

5. Messergebnisse

Die erzielten geophysikalischen Mess- und Interpretationsergebnisse wurden in beiliegendem Diagramm (Anlage) der gegebenen Fragestellung entsprechend ausgewertet und graphisch mittels WellCAD-Software aufbereitet. Die in das Übersichtsdiagramm eingearbeiteten Daten zur Geologie wurden aus der Brunnendokumentation 1:1 übernommen und mit den Messdaten zusammen dargestellt. Die Teufenangaben zu den Vollrohr- und Filterstrecken im Brunnen basieren ebenfalls auf dieser Ausbauzeichnung in Abgleich mit den von der Projektleitung zur Verfügung gestellten TV-Befahrung; Bezugspunkt für alle Messdaten war die Oberkante Sperrrohr DN700 = 0,25 m über GOK. Weitere Details können dem Messprotokoll und der Diagrammdarstellungen im Anhang auch direkt entnommen werden. Die aktuellen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen.

5.1 Lithologische und radiometrische Beurteilung der Messergebnisse (GR)

Bei der Gamma-Messung in der mit einer Rohrtour aus DN400 Stahl Rilsan ausgebauten, großkalibrigen Brunnenbohrung wird die natürliche Gesteins-Strahlung sehr differenziert und mit vergleichsweise guter Eindringtiefe in Impulsraten erfasst und aufgezeichnet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich in Abhängigkeit von Bohrdurchmesser und Größe des Ringraums die Signale aus dem Gebirge mit den Strahlungseinflüssen aus der Brunnenbohrung selbst überlagern können. Dies ist im vorliegenden Fall im oberen Profilabschnitt durch die laut Bohrdokumentation bis in eine Tiefe von 47,40 m eingebaute Stahl-Sperrrohtour DN700 mit Dämmerzement gegeben, was sich auf das Strahlungs-Diagramm mit einer zwar nur schwachen, aber sichtbaren Amplituden-Minderung auswirkt und die Unterkante in genau 46,00 m Tiefe unter Messnullpunkt erkennen lässt. Die mächtige Ton- und Tonstein-Formation des von Rhäto-Lias und Feuerletten wird beginnend bei 5,50 m mit relativ breit gestreuten Gamma-Amplituden zwischen ≥ 60 und 90 API bis in diese Tiefe wiedergegeben und erfährt dann ab der Verrohrungsunterkante eine Erhöhung auf Werte von ≥ 70 bis 110 API. Daran wird auch ersichtlich, dass die Sperrverrohrung in den Ton einbindet. Zwischengeschaltete Sandsteinlagen, wie im Schichtprofil ab 42,00 m Tiefe verzeichnet, kommen hier im Gamma-Log weniger zur Geltung bzw. sind auch nicht direkt korrelierbar. Schmale sandige Einschübe zeigen sich eher in den Tonen darüber durch Unterschreiten der 60 API-Linie.

Mit Eintauchen der Mess-Sensorik in das Grundwasser bei 72,20 m ändert sich das Strahlungsverhalten und die gesamte Messkurve erfährt einen Versatz um ca. 20 API nach links, was auf einen Messeffekt durch Streuung und Absorption der Gamma-Quanten nach dem Dichteübergang Luft/Wasser zustande kommt. In der Praxis führt dies dazu, dass im Gamma-Log bei einem Strahlungs-Niveau von ≥ 40 API bis hier 70 API von tonigen Schichtmerkmalen gesprochen werden kann, während die Sandsteine mit Werten ≤ 40 bis 20 API einigermaßen gut davon zu unterscheiden sind. Dieser Wechsel vollzieht sich so bis zur Messendteufe bei 164,40 m und steht dabei nur bedingt im Zusammenhang mit den lithologischen Verhältnissen, wie sie im Bohrprofil angesprochen werden. Andererseits zeigt sich anhand von Stärke und Kontrast der gemessenen Gamma-Impulsraten auch ein wesentlich differenzierter Schichtverlauf, der auch den Wechsel zwischen potentiell Grundwasser-führenden Schichten und grundwasserhemmenden Stauhorizonten im Einzelnen gut zu erkennen gibt. (Stockwerksgliederung).

5.2 Produktionstechnische Messverfahren (Hydrodynamische Verhältnisse und Zuflussprofil)

5.2.1 Messungen im Ruhezustand (TEMP-01/SAL-01, FLOW-01)

Die kombinierte Messung von Temperatur und Leitfähigkeit (TEMP-01/SAL-01) im Ruhezustand vor Aufnahme des Pumpbetriebes sowie die Flowmeter-Nullmessung (FLOW-01) sollten Aussagen über die physikalisch-chemischen Verhältnisse und die damit verbundene hydrodynamische Situation im Brunnen liefern und wurden von einem tiefen Ruhewasserspiegel in 72,20 m Tiefe bis zur Messendteufe bei 164,40 m gefahren. Die Signalspur des hochauflösenden Impeller-Flowmeters lässt unter diesen Verhältnissen (DN400) eine schwache, aber dennoch messbare Indikationen auf eine im Ruhezustand des Brunnen vorhandene vertikale Wasserdynamik erkennen. Diese setzt in Umgebung des Ruhewasserspiegels ein und hält zur Tiefe hin fast unvermindert bis in die unteren Bereiche von Filter 3 durch, wo nach den radiometrischen Befunden auch noch ein Sandsteinpaket mit entsprechend guten Wasserwegsamkeiten erschlossen sein dürfte.

Analog dazu ergeben sich aus den Messindikationen der Wassertemperatur und der elektrischen Leitfähigkeit im Ruhezustand ebenfalls eindeutige Hinweise, die vor allem auf ein Zufluss-Verhalten in einer Zone vom Ruhewasserspiegel bis zu etwa 60,00 m Tiefe hindeuten. Die Kurve der Wassertemperatur zeigt hier in dieser Hinsicht mit leichten Schwankungen zwischen 10,92 und 10,98 ($\pm 0,06$ °C) zwar nur sehr geringe Veränderungen, die aber im Vergleich zum weiteren teufen konstanten Verlauf, wo bis in eine Tiefe von 108,00 m nur ein schwacher Anstieg von 10,98 auf 11,04 °C (+ 0,06 °C) zu verzeichnen ist, ins Gewicht fallen. Deutlicher wird dies an den Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit sichtbar, die hier im gleichen Abschnitt mit Werten zwischen 702 und 728 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (± 26 $\mu\text{S}/\text{cm}$) etwas stärker variiert, dann aber ebenfalls ein konstantes Niveau von 716 $\mu\text{S}/\text{cm}$ einnimmt.

Unterhalb von 108,00 m, wo sich bei den Messungen im Pumpbetrieb die Hauptzuflusszone ergibt, geht die Temperaturkurve in einen leichten, aber weiterhin sehr steilen Anstieg über, der in 148,00 m Tiefe am Übergang in den Filter 3 mit 11,18 °C (+ 0,14 °C) endet. Die Leitfähigkeit geht hier beginnend bei bereits 132,00 m geringfügig auf Werte um 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Danach lässt die

Durchströmung im Ruhezustand deutlich nach, was sich daran erkennen lässt, dass nun sowohl die Werte der Wassertemperatur, als auch die der elektrischen Leitfähigkeit bis zur Messendteufe bei 164,40 m einer messbaren Veränderung unterliegen. Während die Temperatur weiter auf 101,34 °C (+ 0,30 °C) zunimmt, sinkt die Leitfähigkeit auf 685 µS/cm (- 15 µS/cm) ab.

5.2.2 Messungen bei Produktion (TEMP-11/SAL-11, FLOW-11/12/13)

Wie sich dies im Betriebszustand des Brunnens verhält und welche Veränderungen sich bei Wasserförderung ergeben, dies sollten mit den anschließend durchgeführten Produktionsmessungen zur Lokalisierung und quantitativen Ermittlung der vertikalen Zuflussraten geklärt werden. Die Messungen erfolgten mit einer U-Pumpe mit Einlauftiefe PE auf 77,00 m und mit einer anfangs konstanten Förderrate von $Q = 6,20$ l/s, die dann aber bei sinkendem Betriebswasserspiegel auf 5,80 l/s reduziert werden musste. Unter diesen Anreibungsbedingungen kann bei einem annähernd stationären Wasserspiegel in zuletzt 74,00 m unter Messnullpunkt für den Kurzpumpversuch ein Leistungsquotient von 0,27 l/s pro m Absenkung bilanziert werden. In Anbetracht dessen, dass sich aus der Ruhemessung eine nicht zu vernachlässigende abwärts gerichtete Wasserdynamik ergibt, können sich bei längerer Entnahme noch wesentliche Änderungen im Bild von Temperatur und Leitfähigkeit ergeben. Mit Aufnahme der Grundwasserförderung reagieren aber jetzt bereits alle im Ruhezustand vorhandenen sowie durch den Pumpbetrieb zusätzlich aktivierten effektiven Horizonte als sehr unterschiedlich produktive Zuflusszonen mit allerdings auch in Verluste übergehenden Strömungs-Anomalien. Diese von normalen Zufluss-Verhältnissen etwas abweichenden Strömungs-Situation konnten bis zum tiefsten Messpunkt nach Größe und Beschaffenheit differenziert dargestellt werden. Charakterisiert wird dieses spezielle Zufluss- und Verlust-Verhalten in Form gut aufgelöster Messwertunterschiede, die sich in den Diagrammen der Mess- und Belegfahrt (FLOW-11/12) gegenüber der Ruhemessung (FLOW-01) eindeutig reproduzierbar darstellen und durch die simultane Messung von Temperatur und Leitfähigkeit bei Wasserförderung (TEMP-11/SAL-11) noch zusätzlich belegt werden. Daraus ergibt sich die in der nachstehenden Tabelle aufgezeigte Zufluss- und Abflussverteilung im Brunnen bei Wasserförderung:

Zuflussprofil bei einer Fördermenge Q = 6,20 l/s mit Pumpeneinlauf bei 77,10 m:

Teufe m	Relativer Zuflussanteil		Bemerkungen
	%	l/s	
Oberhalb PE 74,00 bis 74,60	+10	0,62	nicht direkt messbarer über die Gesamtbilanz berechneter Zuflussanteil
77,40 bis 78,20	+15	0,93	sehr produktive Einzelzuflüsse in Größenordnung der darunter auftretenden Verluste
79,40 bis 81,40	+18	1,12	
93,20 bis 93,80	-6	0,37	dominierende Hauptzuflusszone mit nach oben hin angekoppelten Verlusten im Filter 1
95,60 bis 97,20 98,30 bis 99,40	-24	1,49	
101,00 bis 102,80 103,60 bis 107,70	+66	4,09	
137,60 bis 139,00 140,20 bis 142,60	+9	0,56	zur Zuflusszone zusammengefasste sehr kleine Einzelzuflüsse im Filter 2
152,00 bis 153,40 154,80 bis 155,60 156,60 bis 157,20 160,80 bis 162,60	+12	0,74	zur Zuflusszone zusammengefasste sehr kleine Einzelzuflüsse im Filter 3
Gesamt	100	6,20	

Was diese Zusammenstellung angeht, so musste aus dem Bereich oberhalb der Pumpe auf einen empirisch veranschlagten Zuflussanteil von 10 % der Förderrate geschlossen werden, der sich auch durch eine etwas niedrigere Salinität von 670 µS/cm und Wassertemperatur von 11,45 °C gering unterscheidet. Der Hauptzustrom von Wasser unterhalb der Pumpe erfolgt aus einer Tiefe zwischen 101,00 und 107,70 m, wo 66 % der Produktionsrate nachgewiesen werden, zusammen mit weiteren 21 % aus den Filterabschnitten 2 und 3 darunter, die dann aber im Förderstrom zur Pumpe einer Reduzierung unterliegen. Diese eindeutige Abnahme der gemessenen Fließgeschwindigkeiten muss als anomale Zone mit Änderung des Durchfluss-Querschnitts interpretiert werden, was so betrachtet dann als Verlustzone für den Gesamtstrom zu bewerten ist. Diesen scheinbaren oder auch tatsächlichen Verlusten stehen Zuflüsse in gleicher Größenordnung im Bereich zwischen 77,40 und 78,20 m unmittelbar unterhalb der Pumpe gegenüber und werden durch einen weiteren Zustrom geringeren Ausmaßes von oberhalb der Pumpe ergänzt.

Die Messindikationen von Temperatur und Leitfähigkeit bei Wasserrförderung (TEMP-11/SAL-11) zeigen dazu im Vergleich wenig Auffälligkeiten. Gegenüber der Situation im Ruhezustand des Brunnens (TEMP-01/SAL-01), wo ein Fließverhalten aus den oberen in die unteren Profilabschnitte zu verzeichnen ist, findet nun eine Strömungsumkehr und ein zur Pumpe hin orientierter Fluss statt und führt zu einer leichten aber sehr gleichmäßigen Erhöhung der Wassertemperatur, die unterhalb

des Hauptzuflusses ab 108,00 m Tiefe eine Parallelverschiebung um ca. 0,30 °C nach rechts erfährt, die oberhalb auf 0,50 °C ansteigt. Die elektrische Leitfähigkeit im Förderstrom liegt unterhalb von 108,00 m bei sehr gleichmäßigen 690 bis 700 µS/cm und geht dann im Hauptzustrombereich auf 680 µS/cm zurück, um oberhalb von 88,00 m bis zur Pumpe wieder einen festen Wert von 715 µS/cm einzunehmen.

Somit stellt sich unter hydraulischen wie auch hydrochemischen Gesichtspunkten eine Gesamt-Situation beim Pumpbetrieb im Brunnen dar, aus der sich ableiten lässt, dass trotz der ungeklärten Strömungs-Anomalie eine Anregung bis in die tiefsten produktiven Zonen stattfindet und auch Menge und Qualität des geförderten Brunnenwassers den Erwartungen entspricht.

<input type="checkbox"/> Bohrlochmessung	<input checked="" type="checkbox"/> Brunnenkontrollmessung	<input type="checkbox"/> Sonstiges:
--	--	-------------------------------------

Bohrung: Tiefbrunnen I	Messdatum : 6. und 15.9.2021
Lokalität: "In der Klingelleite"	Projekt Nr.: P21048
Projekt: Markt Hahnbach	Ausführender: W. Beck
Auftraggeber: R&H Umwelt GmbH	Teilnehmer: Dr. Katharina Vujevic

Bezugsgrößen:	
Ansatzhöhe: _____ m NN	Rechtswert: _____
Messnullpunkt: OK. Sperrrohr DN700	Hochwert: _____
Teufenbezug: 0,25 m über GOK	Messendteufe: _____ 164.40 m
Bemerkung: _____	

Bohrlochdaten: (nach Brunnendokumentation, Bezugspunkt alte GOK)			
Bohrendteufe:	169.00 m	Baujahr:	n.b.
Bohr-Ø:	1300 mm von	0.00 m bis	6.00 m
	1000 mm von	6.00 m bis	8.00 m
	900 mm von	8.00 m bis	54.00 m
	700 mm von	54.00 m bis	169.00 m
Sperrrohr-Ø:	Stahl DN700 mm	Sperrrohrlänge:	47.40 m
	mm	Tondichtung:	m

Ausbaudaten: (nach Brunnendokumentation, neuer Bezugspunkt OK. Brunnenkopf)			
Ausbauteufe:	165.00 m	Ausbaumaterial:	Stahl Rilsan DN400
Verrohrung:	Vollrohr DN400 mm von	0.16 m bis	40.30 m
	Filter DN400 mm von	40.30 m bis	120.00 m
	Vollrohr DN400 mm von	120.00 m bis	125.00 m
	Filter DN400 mm von	125.00 m bis	145.00 m
	Vollrohr DN400 mm von	145.00 m bis	150.00 m
	Filter DN400 mm von	150.00 m bis	165.00 m
	mm von	m bis	m
	mm von	m bis	m

Pumpdaten:	
Pumpentyp: n.b.	Pumpeneinlauftiefe: 77.00 m
Steigleitung: ZSM DN100	(1.Leistungsstufe) Förderrate: 5,8 und 6,2 l/s
Bemerkungen: _____	Pumpeneinlauftiefe: m
	(2.Leistungsstufe) Förderrate: l/s
Pumpbeginn: _____ Uhr	Pumpende: _____ Uhr
Pumpenumbau: _____ Uhr	Warte- u. Stillstandszeiten: _____ Std.

Messdaten						Sondendaten		Pumpdaten	
Verfahren	File-Nr.	Strecke von - bis (m)		Richtung	Geschwindigkeit (m/min)	Typ	Spacing (m)	Leistung (l/s)	Wasserspiegel Ruhe/Betrieb (m)
06.09.2021									
TEMP-11/SAL-11	682 TC	72.20	164.40	d	6	TC02C	0.65	5.8	72.20
FLOW-timemode	685 FL	Standmessung 80,00				FL3-90	0.40	5.8	72.20
FLOW-11	684 FL	74.00	164.40	d	6	FL3-90	0.40	6.2	74.00
FLOW-12	686 FL	80.00	140.00	d	6	FL3-90	0.40	6.2	74.00
FLOW-13	687 FL	72.00	80.00	d	6	FL3-90	0.40	6.2	74.00
15.09.2021									
TEMP-01/SAL-01	695 TC	52.30	164.40	d	6	TC02C	0.65	0.0	52.30
FLOW-01	697 FL	52.30	164.40	d	6	FL3-90	0.40	0.0	52.30
GR 1.9	698 GR	164.40	0.00	u	4	GR202	0.50	0.0	52.30
6.9. Messbeginn: 13:30 Uhr		Messende: 16:00 Uhr		Ruhe-WSp.: m		tiefster abgesenkter WSp.: 74,00 m			
15.9. Messbeginn: 10:00 Uhr		Messende: 13:20 Uhr		Ruhe-WSp.: 52,30 m		tiefster abgesenkter WSp.: m			
Bemerkungen/Vorkommnisse:									

