

Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften

Studiengang Chemie- und Umwelttechnik

# Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Engineering (B. Eng.)

---

Zum Thema

## **Unterirdische Wasseraufbereitung-Charakterisierung des Betriebs und Entwicklung von Vorschlägen für die Optimierung**

Eingereicht von:

Alexander Köber, XXXXXXXXXX

Matrikel: 26185

Eingereicht am: 17.08.2023  
Erstprüfer: Frau Prof. Dr.-Ing. Hilke Würdemann  
Zweitprüfer: Herr Dipl.-Ing. Peter Müller

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank geht an Frau Professor Hilke Würdemann, durch deren Engagement Kontakte geknüpft werden konnten, die zur Erstellung und Entwicklung dieser Arbeit wichtige Impulse gaben, sowie hilfreiche Informationen beisteuerten.

Allen Beteiligten danke ich, dass sie sich die Zeit genommen haben in gemeinsamen Online-Meetings ihr interdisziplinäres Fachwissen in die Arbeit einfließen zu lassen.

Insbesondere möchte ich Herrn Dr. Torsten Winkelkemper für die Hilfestellung beim Verstehen und Nachvollziehen der Daten des Ereignisspeichers der Fermanox-Anlage danken. Natürlich gilt auch meinem betrieblichen Betreuer, Herrn Dipl.-Ing. Peter Müller, besonderer Dank. Er war für mich immer ein zuverlässiger Ansprechpartner und wir erarbeiteten uns zusammen das Verständnis für die Anlage.

Ich möchte weiterhin dem Sachbearbeiter für Wasserrecht/Grundwasser des Landratsamtes Leipzig, Herrn Martin Kornalewski, danken, der mir im Umgang mit dem Portal für interdisziplinäre Daten und Auswertungen (iDA) des Freistaates Sachsen für die Recherche wichtiger Grundwasserparameter half.

Ebenso danke ich der Sachbearbeiterin für Bohrdatenherausgabe, Frau Jana Schneider, vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie für die Hilfestellung im Umgang mit dem Programm UHYDRO zur Darstellung der Schichtenverzeichnisse.

Schließlich bedanke ich mich noch recht herzlich bei Frau Gabriele Wegel von der Fa. Fritz Thiele Bohrungen und Brunnenbau in Naunhof als erste Ansprechpartnerin im Zusammenhang mit der Entwicklung und dem Ausbau der beiden Brunnen sowie der Sanierung des älteren der beiden. Ebenso bedanke ich mich für das entgegengebrachte Vertrauen beim Ausleihen des Kabellichtlotes zur Ermittlung der Grundwasserstände.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	vii
Tabellenverzeichnis.....	x
Verzeichnis über Formeln und Reaktionsgleichungen.....	xi
Abkürzungsverzeichnis .....	xii
1 Einleitung .....	1
1.1 Zielstellung .....	2
2 Theoretische Grundlagen .....	3
2.1 Grundwasser .....	4
2.2 Stand der Wissenschaft und Technik.....	7
2.2.1 Unterirdische Wasseraufbereitung .....	10
2.2.2 Brunnen .....	16
2.2.3 Brunnenausbau .....	18
2.3 Brunnenalterung.....	22
2.3.1 Verockerungen.....	22
2.3.2 Versandung.....	23
2.3.3 Sonstige .....	23
2.4 Brunnenregenerierung .....	24
2.4.2 Brunnensanierung.....	30
3 Charakterisierung des Standorts sowie Nutzungshistorie .....	34
3.1 Standort.....	34
3.2 Brunnen B 2 .....	37
3.3 Brunnen B 1 .....	40
3.4 Betriebsbeginn Fermanox-Anlage .....	42
3.4.1 Arbeitsweise erste Betriebsphase .....	43
3.4.2 Regenerations- und Sanierungsmaßnahmen am Brunnen 2 .....	48
3.4.3 Arbeitsweise zweite Betriebsphase .....	53
4 Material und Methoden .....	57
4.1 Grundwasser-Monitoring.....	57
4.2 Massebilanz .....	63
4.3 Wasseranalytik.....	64

4.3.1	Photometrie.....	65
4.3.2	Durchführung.....	66
4.4	Brunnenleistungen .....	69
4.4.1	Brunnen 2 .....	70
4.4.2	Brunnen 1 .....	71
4.4.3	Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens .....	71
4.5	Fehlerbetrachtung und Datenbewertung.....	73
5	Ergebnisse und Diskussion.....	76
5.1	Förder- und Infiltrationsmenge 120 m <sup>3</sup> zu 40 m <sup>3</sup> .....	76
5.2	Förder- und Infiltrationsmenge 80 m <sup>3</sup> zu 40 m <sup>3</sup> .....	77
5.3	Förder- und Infiltrationsmenge 60 m <sup>3</sup> zu 30 m <sup>3</sup> .....	78
5.4	Brunnenleistungen .....	79
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	80
7	Literaturverzeichnis.....	83
8	Anhang .....	A
	Eidesstattliche Erklärung.....	145

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundwasserleiter schematisch (Spektrum der Wissenschaften Verlagsgesellschaft mbH, 2000).....	5
Abbildung 2: Grundfließbild klassische Wasseraufbereitung (eigene Darstellung).....	7
Abbildung 3: Pourbaix-Diagramm Eisen (Rott, 1994, p. 10) .....	9
Abbildung 4: Konzeptvergleich links konventioneller Kiesfilter, rechts unterirdische Wasseraufbereitung (Fa. Winkelkemper GmbH, 2020).....	11
Abbildung 5: Fermanox-Wasseraufbereitung Verfahrensprinzip (Rott, 1994, p. 6).....	12
Abbildung 6: Pore im Grundwasserleiter (Rott & Friedle, 2000, p. 101).....	13
Abbildung 7: Oxidationszone im Erdreich (Rott, 1994, p. 12) .....	14
Abbildung 8: Brunnenausbau Normal (Tholen, 2012, p. 66).....	19
Abbildung 9: Brunnenausbau mit Sperrrohr (Tholen, 2012, p. 67) .....	19
Abbildung 10: Entsandung durch Kolben (Mutschmann & Stimlmayer, 2019, p. 183).....	21
Abbildung 11: Alterungsprozesse in Deutschland 1999 (Fa. Winkelkemper GmbH, 2020).....	22
Abbildung 12: NDSK 300 (Eichhorn, et al., 2003, p. 35).....	26
Abbildung 13: Prinzipschema Gaskompressionsimpulsgenerator (Eichhorn, et al., 2003, p. 18).....	28
Abbildung 14: Hydropuls-Generator der Fa. Pigadi GmbH (Fa. Pigadi GmbH, 2023) .....	28
Abbildung 15: Kieswäscher (Aqua Brunnen Service GmbH, 2009) .....	29
Abbildung 16: Grundwasserkörper Westsachsen (SMUL, 2007, p. 34).....	35
Abbildung 17: Prüfbericht Wasseranalyse Brunnenwasser B 1/11 (Eurofins Institut , 2017).....	36
Abbildung 18: Übersichtsplan Brunnenanlagen auf dem Betriebsgelände der Fa. KÖHRA Frische GmbH (Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2019).....	37
Abbildung 19: Bodenprofil und Brunnenausbauschema B 1/11 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2011).....	38
Abbildung 20: Q-s-Leistungskurve B 1/11, Mai 2011 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2011) .....	39
Abbildung 21: Bodenprofil und Brunnenausbauschema B 1/19 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2019).....	41
Abbildung 22: Q-s-Leistungskurve B 1/19, Juni 2019 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2019) .....	42
Abbildung 23: Wasseranalyse 19.12.2019 (Fa. Winkelkemper GmbH, 2019).....	43

Abbildung 24: Förder- und Infiltrationsmengen erste Betriebsphase (Fa. Winkelkemper GmbH, 2023) .....	44
Abbildung 25: Ermittelte Eisen- und Mangangehalte von B 2 in der ersten Betriebsphase (eigene Darstellung) .....	45
Abbildung 26: Ermittelte Eisen- und Mangangehalte von B 1 in der ersten Betriebsphase (eigene Darstellung) .....	46
Abbildung 27: Impulsgenerator GID35P (Fa. TLM Hydropuls, 2014) .....	49
Abbildung 28: Bodenprofil und Brunnenausbauschema SB 1/22 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2022) .....	51
Abbildung 29: Manschettenkolben (Fa. BSL Bauservice & Logistik GmbH, 2022, p. 4) .....	52
Abbildung 30: Förder- und Infiltrationsmengen zweite Betriebsphase (Fa. Winkelkemper GmbH, 2023) .....	53
Abbildung 31: Ermittelte Eisen- und Mangangehalte von SB 1/22 in der zweiten Betriebsphase (eigene Darstellung) .....	54
Abbildung 32: Ermittelte Eisen- und Mangangehalte von B 1/21 in der zweiten Betriebsphase (eigene Darstellung) .....	55
Abbildung 33: Ausschnitt Datenlogger 23.12.2022 - 30.12.2022 (Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2023) .....	59
Abbildung 34: Ausschnitt Datenlogger 03.02.2023 - 08.02.2023 (Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2023) .....	60
Abbildung 35: Kabellichtlot (eigene Darstellung) .....	61
Abbildung 36: Ausschnitt Datenlogger 21.03.2023 - 24.03.2023 (Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2023) .....	62
Abbildung 37: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 1, 07.03.23 (eigene Darstellung).....	67
Abbildung 38: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 2, 06.03.23 (eigene Darstellung).....	67
Abbildung 39: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 1, 13.03.23 (eigene Darstellung).....	68
Abbildung 40: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 2, 14.03.23 (eigene Darstellung).....	68
Abbildung 41: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 1, 21.03.23 (eigene Darstellung).....	68

Abbildung 42: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 2, 16.03.23 (eigene Darstellung).....	68
Abbildung 43.: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 1, 22.03.23 (eigene Darstellung).....	69
Abbildung 44: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 2, 24.03.23 (eigene Darstellung).....	69
Abbildung 45:Verlauf der Eisenkonzentration Konzentration im geförderten Grundwasser über 19 Tage (eigene Darstellung) .....	69
Abbildung 46: Q-s-Leistungskurve Brunnen B 2 nach Errichtung (Fa. Thiele Brunnenbau, 2011) .....	70
Abbildung 47: Q-s-Leistungskurve Brunnen B 2 nach Sanierung (Fa. Thiele Brunnenbau, 2022) .....	70
Abbildung 48: Q-s-Leistungskurve sanierter Brunnen B 2 im März 2023 (eigene Darstellung) .....	70
Abbildung 49: Q-s- Leistungskurve B 1/19, Juni 2019 (eigene Darstellung).....	71
Abbildung 50: Q-s-Leistungskurve B 1/19, Februar 2023 (eigene Darstellung).....	71
Abbildung 51: Absenkkurve und Parameter im gespannten Grundwasserleiter.....	72

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Lockergesteine nach Korngröße (Kaluderovic, 2022, p. 19) .....	6
Tabelle 2: Ergebnis Pumpversuch B 1/11, Mai 2011 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2011) .....	39
Tabelle 3: Ergebnis Pumpversuch B 1/19, Juni 2019 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2019).....	42
Tabelle 4: Mittelwerte von pH-Wert sowie Eisen- und Mangangehalt vor und während erster Betriebsphase (eigene Darstellung) .....	48
Tabelle 5: Mittelwerte von pH-Wert sowie Eisen- und Mangangehalt vor und nach Sanierung (eigene Darstellung) .....	56
Tabelle 6: Grundwasserstände (eigene Darstellung).....	63
Tabelle 7: statistische Kennwerte (eigene Darstellung).....	75

## Verzeichnis über Formeln und Reaktionsgleichungen

(1) Darcy-Gesetz .....	6
(2) Massekonzentration .....	8
(3) Oxidation von Eisenhydrogencarbonat .....	8
(4) Oxidation von Manganhydrogencarbonat .....	9
(5) Bildung von Eisenoxidhydroxid .....	16
(6) Bildung von Eisenoxid .....	16
(7) hydrostatischer Druck .....	58
(8) Brunnengleichung nach Thiem .....	71
(9) Konfidenzintervall .....	75

## Abkürzungsverzeichnis

DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
DWI	Druckwellenimpulsverfahren
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
GWL	Grundwasserleiter
IBN	Inbetriebnahme
iDA	interdisziplinäre Daten und Auswertungen
KBE	Koloniebildende Einheiten
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
NDSK	Niederdruckspülkopf
PAK	polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff
ppm	parts per million
SMEKUL	Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TDS	total dissolved solids
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TWSG	Trinkwasserschutzgebiet
TWSZ	Trinkwasserschutzzone
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

# 1 Einleitung

Die Firma KÖHRA-Frische GmbH verarbeitet seit nunmehr über 30 Jahren Obst und Gemüse für Kunden in der Gastronomie und Hotellerie sowie für Catering-Anbieter und Großküchen für Schulen, Hochschulen und Krankenhäuser. Ein wesentlicher Verfahrensschritt ist die Reinigung der angelieferten Rohware mit Trinkwasser bevor die weitere mechanische Verarbeitung erfolgt. Als Spül- und Reinigungswasser für die Produktionsmaschinen und -anlagen wird Grundwasser aus zwei Brunnen genutzt. Der Erste wurde 2011, der Zweite 2019 angelegt. In der Vergangenheit kam es durch das anfangs unbehandelt genutzte Grundwasser zu Korrosion an den Maschinen und Anlagenteilen durch Ausfällungen aus Eisenoxiden und -hydroxiden, welche im Grundwasser (GW) gelöst vorliegen, aber über der Erdoberfläche mit dem Luftsauerstoff reagieren und sich als schwerlösliche Niederschläge abscheiden. Auch bei Mangan kann es zu diesen Erscheinungen kommen. Dies spielt jedoch hier nur eine untergeordnete Rolle.

Der infolgedessen aufkommende Reinigungsaufwand ist zeit- und kostenintensiv. Die Intention zur Nutzung dieses Wassers war die der Einsparung teureren Trinkwassers vom öffentlichen Wasserversorger. Dieses wird von den umliegenden Wasserwerken nur bei der Verarbeitung der Rohware eingesetzt. Darüber hinaus ist es mit 11-16 °C auch wärmer, was dazu führt, dass der Energieverbrauch für die Kühlung der Produktionsräume zur Gewährleistung der Haltbarkeit und Frische der Produkte steigt.

Im Jahr 2019 wurde im Zusammenhang mit der Errichtung des zweiten Brunnens eine Anlage zur unterirdischen Enteisung und Entmanganung der Fa. Fermanox installiert. Das Ziel dieser Anlage ist es durch die Einbringung von mit Sauerstoff gesättigtem Grundwasser in den Untergrund, Eisen und Mangan dort auszufällen und bereits dort zu fixieren.

Mit der Installation der Aufbereitungstechnik konnte zunächst eine qualitativ bessere Versorgung des Werks mit Grundwasser erreicht werden, jedoch stellten sich im Verlauf des nunmehr dreijährigen Betriebes verschiedene Probleme ein. Nachdem der Eisengehalt im geförderten Wasser zunächst gesunken war, stieg dieser wieder an und unterlag starken Schwankungen, sodass es wieder zur Förderung von eisenbelastetem Wasser kam. Der Grundwasserstand schien zu sinken, sodass die Pumpen begannen Luft anzusaugen.

## 1.1 Zielstellung

Die Zielstellung im Rahmen dieser Arbeit besteht darin, durch die Analyse des Betriebszustandes der Fermanox-Wasseraufbereitungsanlage mögliche Ursachen für deren nicht ausreichende Funktionalität zu identifizieren. Der Erfolg von Maßnahmen zur Senkung des Eisengehaltes soll durch dessen regelmäßige Bestimmung erfolgen. Ferner soll die aktuelle Brunnenleistung ermittelt und mit der ursprünglichen verglichen werden. Die wissenschaftliche Auswertung dient als Grundlage zur Entwicklung von Vorschlägen für die zukünftige Betriebsweise.

## 2 Theoretische Grundlagen

Das gesamte Wasserdargebot der Erde wird auf etwa 1,4 Milliarden km<sup>3</sup> geschätzt (Mutschmann & Stimlmayer, 2019, p. 103). Davon sind jedoch 97 % Salzwasser und nur 3 % Süßwasser, von denen wiederum 69 % als Gletschereis oder in Permafrostböden vorliegen. In Anbetracht dessen ist es geboten, die begrenzten Vorkommen durch ein Wassermanagement zu schützen. Dazu dienen verschiedene Richtlinien, Gesetze und Verordnungen wie beispielweise die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Erstere stellt eine Umsetzung der EG-Richtlinie 98/83/EG über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch in nationales Recht dar. Sie definiert Grenzwerte, enthält Beurteilungskriterien für die Aufbereitung des Wassers, benennt die Pflichten der Wasserversorger und stellt für die Gesundheitsämter eine rechtliche Grundlage zur Überwachung dieser Bestimmungen dar (Vgl. Umweltbundesamt, 2022). Auf Grundlage des WHG können Trinkwasserschutzgebiete mit verschiedenen Trinkwasserschutzzonen eingerichtet werden, in denen bestimmte Handlungen eingeschränkt oder komplett untersagt sind. Zone eins stellt einen umzäunten, eng gefassten Bereich z. B. um einen Trinkwasserbrunnen dar, dessen Betreten verboten ist. Die geschützte Fläche wächst über Zone zwei bis drei, in der schließlich das gesamte Einzugsgebiet des Wasservorkommens erfasst wird. Des Weiteren gilt das Verursacherprinzip. Demnach sind die durch Beseitigung von Verschmutzungen entstandene Kosten dem Verursacher anzulasten.

Bereits 300 v. Chr. wurden im antiken Rom erste Wasserleitungen gebaut. Im Mittelalter geriet das Wissen in Vergessenheit. Ende des 19. Jahrhundert begann man sich wieder Gedanken über die Wasseraufbereitung zu machen, um die Ausbreitung von Krankheiten durch wasserbürtige Keime zu verhindern. Daneben können im Wasser zahlreiche anorganische und organische Stoffe gelöst sein.

Die Zusammensetzung ist regional sehr verschieden. Ein wichtiger Parameter zur Charakterisierung ist der TDS (Total Dissolved Solids), angegeben in ppm (parts per million) bzw. die Leitfähigkeit, die in mS/cm oder µS/cm angegeben wird. Höhere Werte werden dabei durch mehr gelöste Moleküle und Ionen verursacht, welche sich in Lösung befinden. Sie geben damit Auskunft über den Grad der chemischen Belastung. Je nach Anwendungsbereich muss das Rohwasser durch verschiedene Methoden aufbereitet werden. Dabei können mechanische, biologische und chemische Verfahren zum Einsatz kommen. Die Aufbereitung ist umso aufwändiger, je reiner das Wasser werden soll. Daneben hängt der Aufbereitungsaufwand vor

allem von der verwendeten Rohwasserart ab. Trotz dieser technischen Möglichkeiten wird geschätzt, dass ca. 1,4 bis 2,2 Milliarden Menschen keinen Zugang zu qualitativ unbedenklichem Trinkwasser haben, obwohl es als Menschenrecht gesetzlich verankert ist (Vgl. Gimbel, et al., 2004, p. 2). Als ein kostbares Gut wird es in Zukunft auch kriegerische Auseinandersetzungen um seine Gewinnung geben.

## 2.1 Grundwasser

Zur Trinkwasserversorgung stehen Regen-, Oberflächen und Grundwasser zur Verfügung, wobei letzteres am häufigsten verwendet wird, weil für die Aufbereitung der geringste Aufwand nötig ist. In Deutschland wird das Rohwasser für die Trinkwasserversorgung zu etwa 63 % aus Grundwasser bezogen (Rott & Friedle, 2000, p. 99). Das Regenwasser, welches auf die Erdoberfläche fällt, versickert ins Erdreich. Durch die Wirkung der Schwerkraft bewegt es sich nach unten ins Erdinnere und durchdringt dabei verschiedene Gesteinsschichten. Diese wirken durch ihre Porosität und Textur wie ein Filter und es baut sich auf der Oberfläche der Körner ein biologischer Film aus Mikroorganismen auf. So wird es bereits vorgereinigt für eine anschließende weitere Aufbereitung zur Nutzung als Trinkwasser. Darüber hinaus wirkt die Bodenmatrix wie ein pH-Puffer. Regenwasser ist, bedingt durch die große Oberfläche der einzelnen Tropfen und den geringen Gehalt an Härtebildnern, leicht sauer, da es auf dem Weg durch die Atmosphäre  $\text{CO}_2$  aufnimmt (Lernort Mint, 2022). Es dringt nach unten in die verschiedenen Gesteinsschichten vor, welche unterschiedlich durchlässig sind, verteilt sich und wird an manchen Stellen gestaut. Auf seinem unterirdischen Weg löst es dabei z. T. chemische Verbindungen wie Karbonate und Hydrogencarbonate aus Mineralien und Lockersedimenten, wodurch der pH-Wert wieder ansteigt. Schadstoffe können durch intermolekulare Wechselwirkungen wie elektrostatische Anziehung an den Oberflächen solcher gelösten Partikel adsorbieren und dadurch immobilisiert werden. Je nach hydrogeologischen Gegebenheiten kann das GW auch über mehrere Stockwerke verteilt vorliegen. In küstennahen Gebieten kann es auch vorkommen, dass es ab einer gewissen Tiefe salzig ist, wenn zwischen Grundwasserkörper und dem Meerwasser eine hydraulische Verbindung besteht. Aufgrund der bei gleich großer Wassersäule höheren Dichte von Salzwasser, drängt dieses zum Druckausgleich in das nicht salzige Grundwasser ein bis die Druckverhältnisse ausgeglichen sind. Mehrere Grundwasserstockwerke liegen übereinander. Es wechseln sich wasserleitende Schichten, die sogenannten Aquifere, mit wasserundurchlässigen Schichten, den Aquitarden,

ab. Ferner werden gespannte und ungespannte Grundwasserleiter (GWL) unterschieden. Die folgende Abbildung 1 veranschaulicht den Aufbau als Schnittdarstellung.

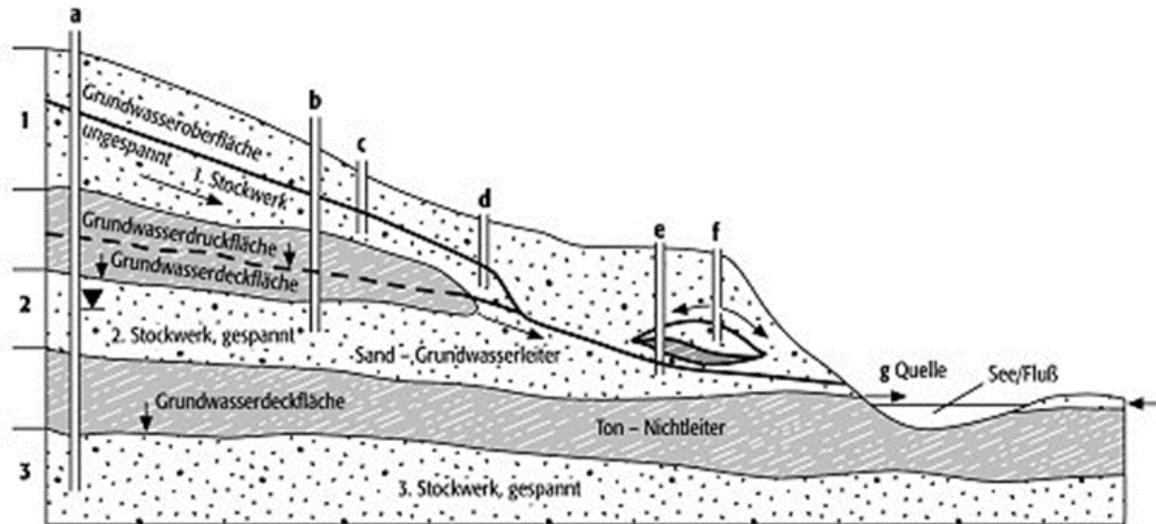


Abbildung 1: Grundwasserleiter schematisch (Spektrum der Wissenschaften Verlagsgesellschaft mbH, 2000)

In gespannten Grundwasserleitern steht der Wasserkörper unter Druck. In dieser Abbildung sind das die Grundwasserkörper des zweiten und dritten Stockwerks. Sie erstrecken sich mit der Höhe  $h$  von der Wasseroberfläche bis zur Sohle. Ebenso sind die wasserführenden Schichten zu den Seiten hin durch wasserundurchlässige Gesteinsformationen begrenzt. Die Fläche im Querschnitt kann nun über die gesamte sich unterirdisch erstreckende Länge variieren. Die Drucklinie liegt an manchen Stellen über der eigentlichen Oberfläche, hier als gestrichelte Linie über dem zweiten Stockwerk dargestellt. Wird die Grundwasserdeckfläche des zweiten Aquifers durch Bohrung  $b$  durchbohrt, drückt der Überdruck das Wasser in dem zylindrischen Bohrloch nach oben, bis der Wasserspiegel die Höhe der Grundwasserdrucklinie erreicht hat. Die Drücke gleichen sich damit wie bei kommunizierenden Gefäßen aus. Weiterhin kann der Abbildung entnommen werden, dass sich die Grundwasserdruckfläche des dritten Aquifers unter der Grundwasserdruckfläche und des zweiten Aquifers befindet. Dabei ist jedoch der Abstand zwischen der Grundwasserdeck- zur druckfläche des dritten Aquifers größer als der beim zweiten Aquifer. Das bedeutet der dritte Aquifer ist gespannter als der Zweite. Befindet sich das Niveau der Druckfläche über der Erdoberfläche, kann es passieren, dass die Wassersäule die Erdoberfläche durchdringt und sich hier ergießt. Dieses Phänomen wird als artesischer Brunnen bezeichnet. In einer Senke sammelt sich das Wasser und kann einen Druckwassersee bilden. Tritt das Wasser an einem Hang aus stellt dies eine Quelle als Ursprung eines Flusses dar.

Der unterirdische Wasserkörper bewegt sich infolge der Schwerkraft entlang seiner eigenen Neigung innerhalb der wasserführenden Sedimente. Der hydraulische Gradient  $i$  beschreibt dabei das unterirdische Gefälle über die Länge. Die Fortbewegungsgeschwindigkeit wird maßgeblich von der Durchlässigkeit der unterirdischen Gesteine und Sedimente bestimmt. Je grobkörniger und poröser das Material, desto durchlässiger ist es. Dabei werden Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter unterschieden, wobei die Durchlässigkeit von Ersterem zu Letzterem zunimmt. Weiterhin hängt es von der Korngrößenverteilung ab. Je breiter die unterschiedlichen Größen gestreut sind, desto besser können die Zwischenräume aufgefüllt werden und umso schlechter leitet dieses Medium ein Fluid. Die Lockergesteine lassen sich nach ihrer Korngröße grob klassifizieren, dargestellt in Tabelle 1.

Tabelle 1: Einteilung der Lockergesteine nach Korngröße (Kaluderovic, 2022, p. 19)

Benennung	Korngrößenbereich [mm]
Stein	200 bis > 63
Kies	63 bis > 2
Sand	2,0 bis > 0,06
Schluff	0,06 bis > 0,002
Ton	< 0,002

In der Umgebung von Leipzig liegt größtenteils ein Porengrundwasserleiter vor (Bgr, o.D.). Die fließenden Wassermengen in diesen Sedimenten lassen sich mithilfe des Gesetzes von Darcy quantifizieren. Es gilt

$$Q = k_f \cdot F \cdot \frac{h}{l} \quad (1)$$

So kann mit vorhandenem  $k_f$ -Wert des umliegenden Erdreichs auf die Ergiebigkeit eines geplanten Brunnens geschlossen werden. Mit der Durchflussmenge  $Q$  als differenzielle Größe des Volumenstroms in Abhängigkeit der Zeit, mit der Fläche  $F$  und dem Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$ . Dieser ist umso größer, je durchlässiger eine Erdmasse ist. Die Werteskala reicht von  $10^{-8}$  für schluffigen Ton mit Korngrößen kleiner als 0,0002 mm bis  $1.5 \cdot 10^{-2}$  m/s für groben Kies mit einer Korngröße von 20 mm (Damrath & Cord-Landwehr, 1998, p. 39). Die Heterogenität der meisten Untergründe machen eine Berechnung daher schwierig. Ferner wird noch zwischen der Bahn-, Filter- und Abstandsgeschwindigkeit unterschieden. Die eben gezeigte Betrachtungsweise stellt die Filtergeschwindigkeit dar und entspricht demnach dem Verhältnis von Durchflussrate zur Querschnittsfläche. Die

Bahngeschwindigkeit ist höher, da der Weg eines einzelnen Teilchens durch die verschlungenen Pfade in dem porösen Grundwasserleiter betrachtet wird. Die Abstandsgeschwindigkeit ergibt sich aus dem per Luftlinie zurückgelegten Weg pro Zeit. In allen Arten von Grundwasserleitern bewegt sich das Wasser nur einige bis wenige hundert Meter im Jahr voran. Verringert sich der Querschnitt des Aquifers in Fließrichtung entsteht der bereits beschriebene Überdruck eines gespannten Aquifers.

## 2.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Am weitesten verbreitet ist die oberirdische Wasseraufbereitung wie sie in Wasserwerken durchgeführt wird. Sie beziehen ihr Rohwasser hauptsächlich aus Talsperren, Uferfiltraten und Grundwasser, welches über Brunnennetzwerke gewonnen wird. Letzteres ist von Natur aus sauerstoffarm und stellt ein reduzierendes Milieu dar. Eisen und Mangan liegen meist gelöst in Form von zweiwertigen Kationen oder gebunden als Eisenhydrogencarbonat  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$  und Manganhydrogencarbonat  $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$  vor. Die folgende Abbildung 2 zeigt ein einfaches Verfahrensschema.

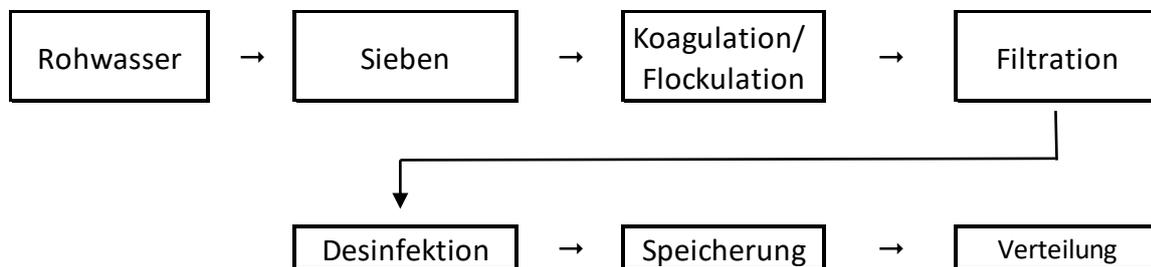


Abbildung 2: Grundfließbild klassische Wasseraufbereitung (eigene Darstellung)

Die ersten drei Verfahrensschritte dienen der Entfernung von Feststoffen. Durch das Sieben und Sedimentation werden gröbere Verschmutzungen entfernt. Häufig wird das Wasser anschließend belüftet. Nach der Filtration wird es im letzten Aufbereitungsschritt durch Chlorierung oder Ozonierung desinfiziert, sodass es auf seinem Weg durch die Rohrleitungen zum Verbraucher in einwandfreier Qualität ankommt.

Bei der Belüftung wird atmosphärische Luft von unten über möglichst feine Düsen in einen Behälter eingebracht, wodurch kleine Luftblasen mit großer Oberfläche entstehen. Diese steigen auf und verursachen Turbulenzen, wodurch ein guter Stoffaustausch zwischen flüssiger und gasförmiger Phase erreicht wird. Beim Stofftransport diffundiert Sauerstoff infolge seines

hohen Henry-Koeffizienten von  $4,4 \cdot 10^4$  bar bei  $20\text{ °C}$  (Gimbel, et al., 2004, p. 25) aus der Gasphase in das Wasser. Er ist zwar physikalisch schlecht in Wasser löslich, aber aufgrund des hohen Anteils in der Luft mit etwa 21 % ist die Triebkraft hoch und es lösen sich etwa 11,3 mg/l bei  $10\text{ °C}$ . Kohlendioxid hingegen löst sich nicht nur physikalisch, sondern auch chemisch. Erst erfolgt die Physisorption, die  $\text{CO}_2$  Moleküle werden hydratisiert. Etwa 0,2 % des Kohlendioxids reagieren dann mit dem Wasser zur Kohlensäure, was als Chemisorption bezeichnet wird. Diese befindet sich mit ihrer ersten und zweiten Dissoziationsstufe, Hydrogenkarbonat und Carbonat, im chemischen Gleichgewicht, dem sog. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Bei  $10\text{ °C}$  lösen sich so 2295 mg/l (Unternehmensberatung Babel, 2023). In der Atmosphäre sind 400 ppm  $\text{CO}_2$  enthalten. Über die molare Masse  $M$  und den Volumenanteil  $\varphi$  lässt sich die Massekonzentration  $\beta$  berechnen. Es gilt

$$\beta = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Damit ergibt sich

$$\beta = \frac{\varphi}{V_m} \cdot M$$

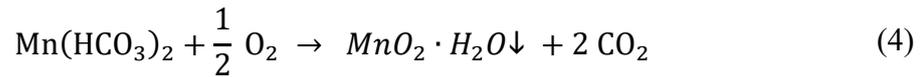
$$\beta = 785,5 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = 0,7855 \text{ mg/l}$$

Somit diffundiert das Kohlendioxid vom Ort der höheren zum Ort der niedrigeren Konzentration entsprechend dem Gradienten aus dem Wasser in die Gasphase. Umgekehrt sind in der Luft umgerechnet knapp 300 mg/l Sauerstoff enthalten, also eine höhere Konzentration als im Wasser, daher diffundiert dieser aus der Gas- in die Flüssigphase. Auf diese Weise werden einerseits saure Gase wie Kohlendioxid oder Schwefelwasserstoff ausgetrieben, wodurch der pH-Wert steigt. Andererseits fallen durch den eingebrachten Sauerstoff Eisen und Mangan als schwerlösliche Hydroxide aus, die anschließend durch die Filtration entfernt werden. Der chemische Mechanismus wird im Folgenden erklärt:

Durch den eingebrachten Sauerstoff kommt es zu chemischen Reaktionen, die durch mikrobiologische Prozesse beschleunigt werden. Die Eisen(II)–Oxidation läuft nach folgender Gleichung ab.



Die Reaktionsgleichung für Manganhydrogencarbonat sieht ähnlich aus.



Es ist zu erkennen, dass das Hydrogencarbonat auf der Eduktseite verbraucht wird und damit auf der Produktseite Kohlendioxid entsteht. Nach dem Prinzip von Le Chatelier können Gleichgewichtsreaktionen zur Edukt- oder Produktseite durch die Temperatur, den Druck und/oder Konzentration der Reaktionspartner verschoben werden. Das freiwerdende Kohlendioxid entweicht. Alkalinität begünstigt die Hinreaktion. Diese Reaktionen laufen jedoch nicht freiwillig ab. Durch den Eintrag von Sauerstoff wird, abhängig vom pH-Wert, das Redoxpotential erhöht. In Abbildung 3 ist ein Pourbaix-Diagramm dargestellt, welches die Existenzbereiche verschiedener Eisenverbindungen in Abhängigkeit des Redoxpotentials sowie des pH-Wertes illustriert.

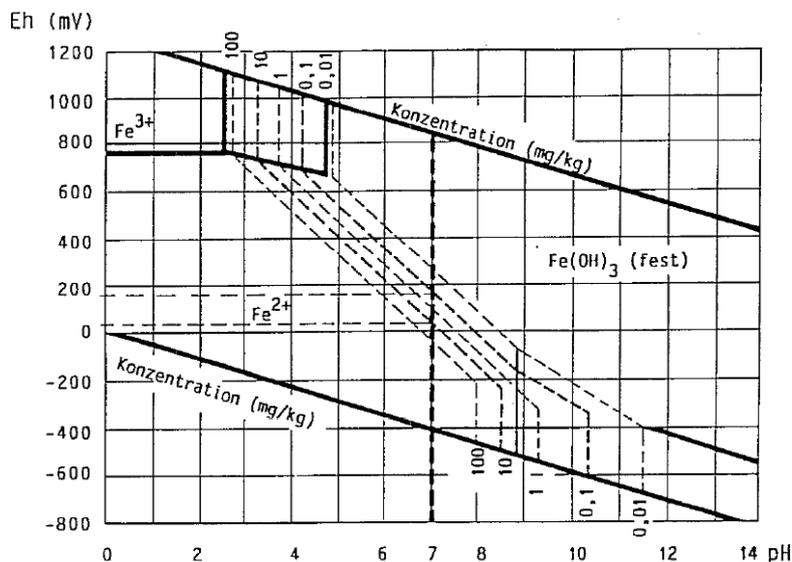


Abbildung 3: Pourbaix-Diagramm Eisen (Rott, 1994, p. 10)

An der Abszisse ist der pH-Wert, an der Ordinate das Redoxpotential in mV ablesbar. Zwei durchgehende Geraden verlaufen parallel zueinander vom oberen linken Bereich in den unteren rechten Bereich. Je negativer das Standardpotential einer Spezies ist, umso stärker fungiert diese als Reduktionsmittel. Die Oxidation von Eisen(II)- zu Eisen(III)-Ionen verläuft bei der Wasseraufbereitung von reduzierten Grundwässern mit entsprechend niedrigem Redoxpotential nicht freiwillig. Das Standardpotential  $E^\circ$  beträgt für Eisen (II) +0,77 V (Mortimer & Müller, 2015, p. 349). Sobald das Redoxpotential, durch den eingebrachten Sauerstoff, das Niveau des Bereiches erreicht hat, der durch die gestrichelten, ebenfalls schräg verlaufenden dünnen Linien gekennzeichneten ist, beginnt die Reaktion zu Eisen(III)-hydroxid.

Damit sinkt der Gehalt an freien Eisen(II)-Ionen in Lösung. Da Mangan(II)-Ionen ein noch höheres Potential von +1,23 V aufweisen, ist für deren Oxidation zu Mangan (IV)-Ionen, gebunden als Braunstein, ein noch höheres Redoxpotential notwendig (Internetchemie ChemLin, 2022). Das bedeutet, es reagiert zuerst das Eisen mit dem Sauerstoff und dann, wenn dieses so weit verbraucht ist, das Mangan. Eine nennenswerte autokatalytisch chemische Manganoxidation ist bei pH-Werten unter 7 erst ab Redoxpotentialen von 600 mV möglich (Vgl. Rott & Friedle, 2000, p. 102). Eventuell vorhandener, unangenehm riechender, Schwefelwasserstoff würde aufgrund seines ebenfalls geringen Standardpotentials über Zwischenstufen bis zu Sulfat oxidiert und der Geruch somit neutralisiert werden. Aus dem Pourbaix-Diagramm geht auch hervor, dass ein umso höheres Redoxpotential notwendig ist, um diese Reaktionen stattfinden zu lassen, je niedriger der pH-Wert ist. Im Umkehrschluss ist also für eine Ausfällung ein höherer pH-Wert günstiger.

Rein chemisch betrachtet, laufen die Redoxreaktionen sehr langsam ab. Da die Potentialdifferenz zwischen dem zu oxidierenden Eisen bzw. Mangan und dem Sauerstoff positiv ist, können einige Mikroorganismen dies ausnutzen, um ihren Energiebedarf daraus zu decken. Bei den Mangan-Oxidierern handelt es sich meist um chemolithotrophe Bakterien, die ihren Kohlenstoffbedarf aus anorganischem CO<sub>2</sub> decken. Entsprechend schwer ist Entmanganung bei einem Mangel im Grundwasser. Es konnten eine erste Bakterienart *Candidatus Manganitrophus noduliformans* nachgewiesen werden, welche vermag, Mangan direkt zu oxidieren (Vgl. Podbregar, 2020). Der Sauerstoffbedarf zur Oxidation von 1 g Fe<sup>2+</sup> beträgt 0,14 g, für die Oxidation von Mn<sup>2+</sup> 0,29 g (Mutschmann & Stimlmayer, 2019, p. 328).

### 2.2.1 Unterirdische Wasseraufbereitung

Die oberirdische Entfernung der Feststoffe durch Sedimentationsbecken, die Belüftung sowie Filterapparate erfordert viel Platz, der durch die nachfolgend beschriebene unterirdische Wasseraufbereitung eingespart wird. Vor der Entscheidung zur Installation einer solchen Anlage ist eine Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit ratsam. Das Wasser sollte dabei, abgesehen vom Eisen- und Mangangehalt, v.a. auch auf die Gehalte an reduziertem Stickstoff in Form von Ammonium, sulfidischen Verbindungen sowie reduzierten organischen Stoffen analysiert werden, da für deren Oxidation ebenfalls Sauerstoff verbraucht werden würde. Die Grundidee der unterirdischen Aufbereitung besteht darin, den sonst bei der Belüftung oberirdisch zugeführten Sauerstoff in die wasserführenden Erdschichten einzubringen und die

Ausfällung von Eisen- und Manganhydroxid bereits dort ablaufen zu lassen. Das erste Reichspatent zum „Enteisenen im Untergrund“ erhielt G. Oesten vom Kaiserlichen Patentamt des Deutschen Reiches bereits am 03.02.1900 (Vgl. Müller, o. D.).

In Abbildung 4 sind beide Konzepte im Vergleich illustriert.

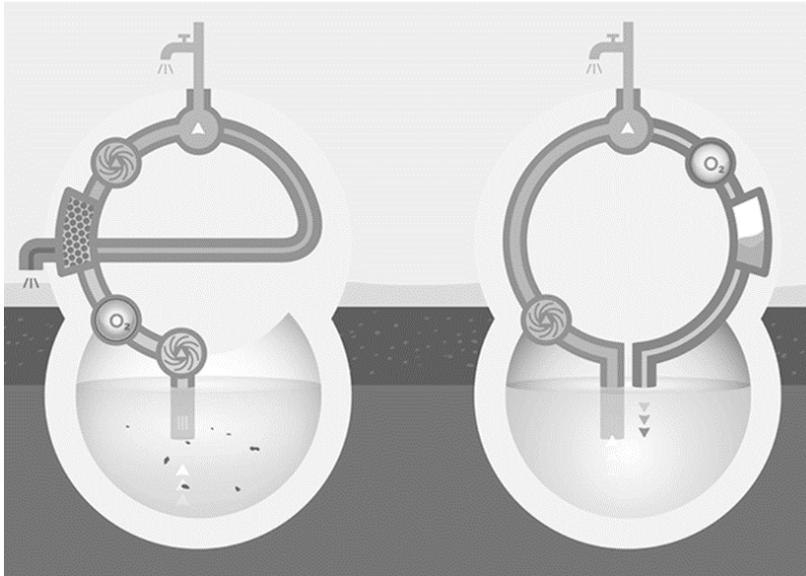


Abbildung 4: Konzeptvergleich links konventioneller Kiesfilter, rechts unterirdische Wasseraufbereitung (Fa. Winkelkemper GmbH, 2020)

Links ist ein konventioneller Kiesfilter schematisch dargestellt. Bei der Rückspülung wird das geförderte Grundwasser, nachdem es den Filter passiert hat, nicht über den Hahn wie im Normalbetrieb entnommen, sondern über veränderte Ventilstellung umgeleitet und zurück zum Filter gepumpt. Während bei der Filtration häufig Wassergeschwindigkeiten von 5-15 m/h angewendet werden, sind für die Entfernung der Schmutzpartikel beim Rückspülen höhere Geschwindigkeiten von 30-40 m/h notwendig. Bei sehr hohen Eisen- und Mangangehalten kann es dazu kommen, dass der Filter täglich rückgespült werden muss. Da auch bei häufigem Rückspülen immer nur ein Teil der Ablagerungen ausgetragen werden kann und sich das Filtermaterial demnach mit der Zeit immer weiter zusetzt, muss es nach einer gewissen Zeit erneuert werden. Der ausgespülte Eisen- und Manganschlamm muss fachgerecht entsorgt werden.

Bei der unterirdischen Wasseraufbereitung übernimmt die vorhandene Bodenmatrix die Funktion des Filtermediums. Die Einsparung von Filtermaterialien ist somit ein weiterer Vorteil des Verfahrens. In der folgenden Abbildung 5 ist das Verfahrensprinzip anhand einer

Fermanox-Wasseraufbereitungsanlage illustriert, die mit 2 Brunnen alternierend arbeitet. Es gibt auch Modelle, die mit nur einem Brunnen arbeiten.

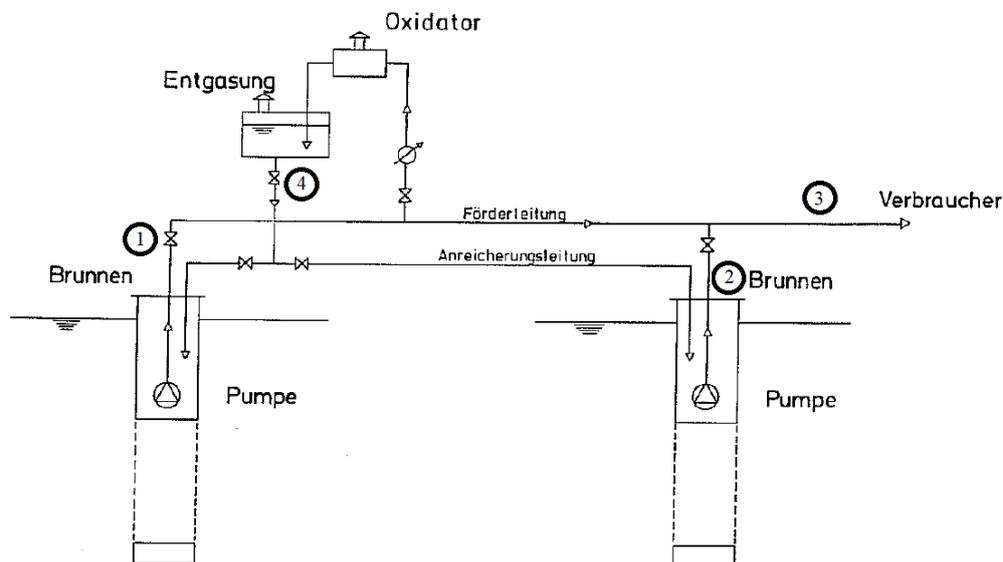


Abbildung 5: Fermanox-Wasseraufbereitung Verfahrensprinzip (Rott, 1994, p. 6)

Die Einbringung des Sauerstoffs erfolgt nach dem Prinzip einer Venturidüse durch einen Injektor. Aus einem der beiden Brunnen wird eine bestimmte Grundwassermenge gepumpt. Der Großteil davon fließt über Leitung 3 ins Werk zum Verbrauch. Der andere Teil passiert ein Ventil, welches den Druck auf 3 bis 4 bar herunterregelt. Danach strömt das Wasser mit hoher Geschwindigkeit durch den Injektor. Gemäß dem Venturieffekt weist es infolge der hohen Geschwindigkeit einen niedrigeren statischen Druck auf als die Atmosphäre. Die Luft bewegt sich vom Ort des höheren zum Ort des niedrigeren Drucks in den Injektor und dringt in das Wasser ein. Der Sauerstoff löst sich im Wasser und ist zu 98 % darin gesättigt. Danach erreicht es einen separaten Behälter (4) zur Zwischenspeicherung des Infiltrationswassers und Entgasung. Nicht gelöste Gase sollen hier entweichen und nicht erst im Untergrund, um einerseits dessen mechanische Stabilität durch zu größeren Blasen koaleszierenden kleineren Gasbläschen nicht zu beeinträchtigen und womöglich Sedimentbewegungen auszulösen. Andererseits würde die Durchlässigkeit der Poren verringert werden, durch die das Sediment durchzogen ist. In Abbildung 6 ist der Aufbau einer solchen Pore schematisch dargestellt.

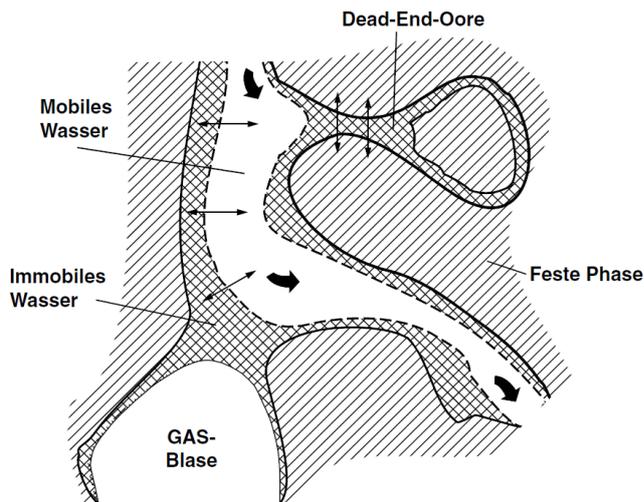


Abbildung 6: Pore im Grundwasserleiter (Rott & Friedle, 2000, p. 101)

Die Porenkanäle reichen unterschiedlich weit in das Material hinein. Manche sind in sich geschlossen, das sind die sog. Dead-End-Poren bzw. Porenzwickel, d. h. sie bilden eine Art Schlaufe. Einmal dort abgelagertes Material verschließt sich selbst den Ausgang und damit den Weg zurück ins umgebende Medium und bleibt so dort fixiert. Wasser, welches an den Porenwänden adsorbiert, wird ebenfalls als Haftwasser immobilisiert. Nur die übrigbleibenden Kanäle stehen somit für fließendes Wasser zur Verfügung. Eingeschlossene Gasblasen blockieren durch ihre Oberflächenspannung diese Wege ebenso und verschlechtern damit auch die Hydraulik im Untergrund. Daher ist eine Voraussetzung für den Betrieb der Anlage ein hinreichend poröses Lockersediment im Untergrund.

Die Füllhöhe im Entgasungsbehälter wird über ein Schwimmerventil geregelt. Direkt am Auslauf des Behälters ist eine über die Drehzahl einstellbare Pumpe angebracht. Ist der Behälter vollgefüllt wird der Zulauf gestoppt. Ist der Behälter fast leer, wird der Behälter wieder gefüllt. Durch die Steuerung ist ein nachgeschalteter, motorbetriebener Drei-Wege-Kugelhahn so ausgerichtet, dass das Infiltrationswasser in den anderen Brunnen gespeist wird, aus dem gerade nicht gefördert wird. Es verdrängt das darin befindliche Grundwasser und breitet sich über die Filterrohrschlitze in das umgebende Medium mit der Geometrie einer idealisiert angenommenen Kugel aus. Aufgrund der durch den Sauerstoffeintrag ausgelösten Reaktionen wird dieser Raum auch als Oxidations- oder Reaktionszone bezeichnet. Sie ist in der folgenden Abbildung 7 dargestellt.

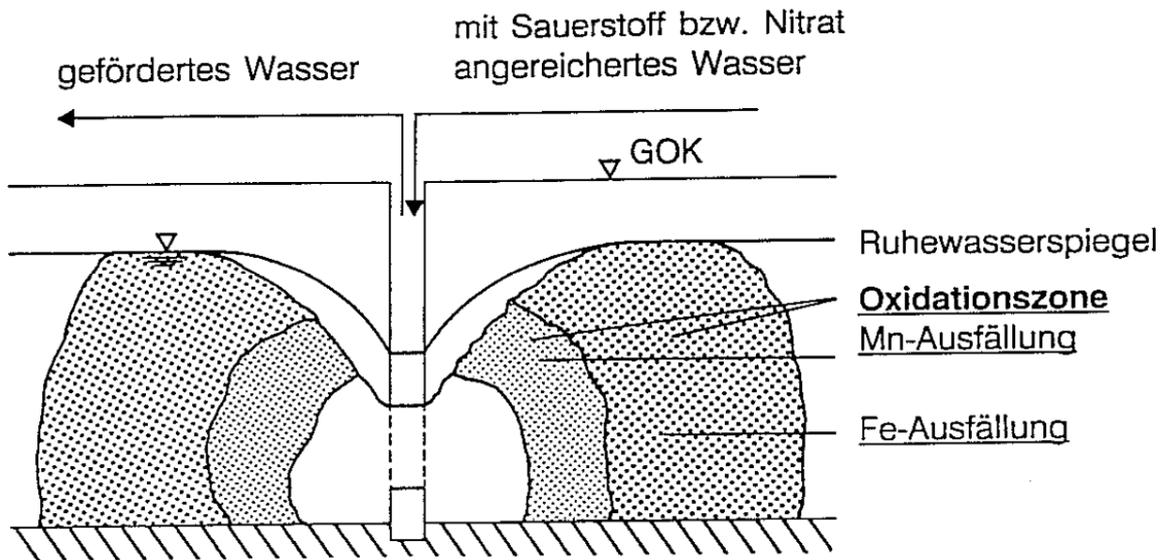


Abbildung 7: Oxidationszone im Erdreich (Rott, 1994, p. 12)

Sobald die voreingestellte Infiltrationsmenge erreicht ist, wird der Zulauf zum Behälter über ein Magnetventil gestoppt.

Nun beginnt die mindestens dreißig bis sechzig-minütige Ruhephase. Der Mechanismus verläuft in zwei Phasen. In der ersten Phase adsorbiert der Sauerstoff an der Oberfläche der Partikel und in den Poren. In Abbildung 7 ist zu erkennen, dass die Zone der Eisenausfällung weiter vom Brunnenrohr entfernt ist, als die der Manganausfällung und sich direkt an diese anschließt. Der Radius beträgt üblicherweise mehrere Meter. In der zweiten Phase strömt reduziertes Grundwasser aus dem Erdreich, welches sich außerhalb der Reaktionszone befindet, in diese hinein. Zuerst adsorbieren die Eisen(II)-Ionen ebenfalls an den Grenzflächen und reagieren mit dem Sauerstoff zu Eisen(III)-hydroxid. Die Ausfällungen bleiben an den Oberflächen der Partikel und der Porenkanäle haften und sind dadurch immobilisiert. Ferner katalysieren bereits vorhandene oberflächlich gebundene Eisen- und Manganausfällungen weitere Reaktionen. Erst wenn das im Grundwasser vorhandene Eisen auf diese Weise gebunden ist, reagiert das Mangan an der Oberfläche und in den Poren mit dem noch verbliebenen Sauerstoff. Deshalb weist die Reaktionszone für die Eisenausfällung einen größeren Radius auf als die für das Mangan. Das Grundwasser dringt Richtung Brunnenrohr vor und erst wenn alle freien Eisen(II)-Ionen als Hydroxide gebunden sind, können die freien Mangan(II)-Ionen mit dem restlichen Sauerstoff, sofern vorhanden, zu ihren Hydroxiden reagieren.

Nähere Erläuterungen zu den chemischen und biologischen Reaktionen folgen im nächsten Abschnitt. Abgesehen davon, dass im Vergleich zur oberirdischen Filtration kein Filtermaterial nötig ist, welches regelmäßig rückgespült werden muss, besteht ein weiterer Vorteil des Verfahrens darin, dass bei der ausreichend eingebrachten Sauerstoffmenge, eine Brunnenalterung durch Verockerung gehemmt wird, weil es das Eisen gar nicht erst in die Nähe der Brunnenrohres schafft und bereits vorher aufgehalten wird. Dadurch wird die Häufigkeit zur Durchführung von Regenerationsmaßnahmen, auf die in Abschnitt 2.4 eingegangen wird, reduziert.

Infolge der natürlichen, wenngleich sehr langsamen, unterirdischen Fließgeschwindigkeit des Grundwassers, kommt es zu Verzerrungen dieser Kugelgeometrie des Reaktionsraumes. Die Größe dieses Reaktionsraumes hängt im Wesentlichen von der Porosität und Permeabilität des umgebenden Mediums und der Menge an pro Infiltrationszyklus eingebrachtem Wasser ab. Sehr günstig sind Lockersedimente wie Kies- und Sandschichten mit nahezu 40 % Hohlraumanteil. Schlecht leitend sind Tone und Schluffe.

Die Eisenoxidation verläuft mit hoher Reaktionsgeschwindigkeit, sodass hier bereits nach der ersten Infiltration eine deutliche Abnahme des Eisengehaltes erwartbar ist. Das aufbereitete Wasser kann im Anschluss daran gefördert und gleich genutzt werden. Dabei senkt sich der Grundwasserstand im Brunnenrohr unter der Geländeoberkante (GOK). Nachdem die voreingestellte Fördermenge erreicht ist, schaltet das System um und es wird aus dem anderen, infiltrierten Brunnen gefördert. Die Umschaltzyklen sind verbrauchsabhängig, d. h. ist zur geplanten Umschaltung die programmierte Infiltrationsmenge noch nicht erreicht, wird das Förderlimit des aktuell in Betrieb befindlichen Brunnens überzogen. Im Idealfall wird genauso viel gefördert bis der eingebrachte Sauerstoff durch die im nachfließenden Grundwasser enthaltenen, freien Eisen(II)-Ionen, verbraucht ist. Wird über dieses Maß weiter gefördert nähert sich unaufbereitetes, eisen- und manganhaltiges Wasser immer mehr dem Brunnenrohr, bis dieses schließlich auch gefördert werden würde (Vgl. Rott, 1994, p. 4 ff.). Hier gilt es ein gutes Verhältnis zwischen Förder- und Infiltrationsmenge einzustellen. Über eine separate Ablauffunktion kann eine Anzahl von Tagen eingestellt werden. Wird die voreingestellte Fördermenge in dieser Zeit nicht erreicht, wird ebenfalls umgeschaltet. Dadurch wird verhindert, dass zu viel Zeit zwischen Infiltration und Förderung vergeht und der Sauerstoff durch unterirdische Strömungen wegtransportiert wird.

Im Anschluss an die Ruhephase kann aufbereitetes Wasser gefördert werden. Dabei stellt sich zwangsläufig die Frage, was mit den Reaktionsprodukten passiert. Die unterirdische Porenstruktur wirkt wie ein Filter. Demnach werden Schmutzpartikel durch bei der Filtration wirkende analoge Mechanismen zurückgehalten. Man könnte meinen, die Ablagerungen verstopfen den Grundwasserleiter. Der Schlamm verbleibt dort und reagiert weiter, er verliert schrittweise Wasser, schrumpft dadurch und wird fester. Es bildet sich zunächst kristallines Eisen(II)-oxidhydrat in der Form des Minerals Lepidokrokit und Goethit.



und schließlich



Das sind dieselben Vorgänge wie beim Rosten von Eisen. Eisen(III)-hydroxid hat eine Dichte von  $4,1 \text{ g/cm}^3$  und Eisen(III)-oxid über  $5,2 \text{ g/cm}^3$ . Es kommt hierbei also zu einer Volumenabnahme. So ist es theoretisch möglich, dass sich selbst bei einer Betriebsdauer von 100 Jahren der hydraulisch wirksame Porenanteil nur um maximal 0,1 bis 9 % reduziert. Dadurch übertrifft die mögliche Nutzungsdauer des Aquifers die eines durchschnittlichen Bohrbrunnens deutlich (Rott & Friedle, 2000, p. 107). Bei einem angenommenen Porenvolumen von 35 % können nach Olthoff (1986) auf diese Weise in einem Kubikmeter Boden bis zu 225 kg Eisen als Eisenoxidhydrat abgelagert werden, wobei sich die Porosität nur um 10 % verringert (Vgl. Friedle, 2003, p. 105).

### 2.2.2 Brunnen

Es gibt vielerlei Zwecke für die Brunnen gebaut werden. Sie werden als Grundwassermessstellen genutzt, für Geothermie, für Brauchwasser, Trinkwasser oder Mineralwasser, zur Regenerierung von Grundwasserleitern, als Injektionsbrunnen, als Sicherungsbrunnen der chemischen Industrie oder als Wasserhaltungsbrunnen in Tagebauen bzw. Untertage. In der Praxis ist es häufig so, dass man gar nicht genau weiß ob und in welcher Tiefe mit Grundwasser gerechnet werden kann.

Zur Nutzung von Grundwasser gibt verschiedene Arten wie Rammbrunnen, Schacht- und Bohrbrunnen. Erstere stellen die einfachste Form dar. Dabei wird ein Loch ins Erdreich

vorgebohrt und ein schmales Stahlrohr wie eine Art Lanze ins Erdreich gerammt. So werden nur flache Aquifere in 7-8 m Tiefe erreicht und sie liefern nur geringe Wassermengen. Für diese Tiefe können noch oberirdische Saugpumpen verwendet werden. Der Schachtbrunnen nimmt im Durchmesser größere Ausmaße an, etwa 1 bis 1,5 m. Hier wird das Erdreich ausgegraben und ausgemauert. Das Mauerwerk stabilisiert die Baugrube und verhindert das Nachrutschen der Erde. Beim Bohrbrunnen wird mit entsprechendem Gerät in die Erde gebohrt. Typische Tiefen sind 100-300 m bei Bohrdurchmessern von 1-1,6 m (Vgl. Würdemann, 2020, p. 211). Hier müssen dann Tiefbrunnenpumpen verwendet werden, die in der Tiefe des Brunnens platziert sind und das Wasser nach oben gegen dessen Schweredruck fördern. Saugpumpen funktionieren dann nicht mehr, da der hydrostatische Druck in der Saugleitung mit zunehmender Höhe sinkt, bis er schließlich das Niveau des Wasserdampfdruckes erreicht hat und Kavitation entsteht. Sie sind daher maximal bis in eine Tiefe von 7-8 m einsetzbar.

Vor der Errichtung des Brunnens muss zunächst die Frage geklärt werden, wieviel Leistung dieser erbringen soll, also wieviel Wasser täglich benötigt wird. Auf dieser Grundlage wird die passende Tiefbrunnenpumpe mit der entsprechenden Leistung herausgesucht. Diese weist einen gewissen Durchmesser auf. Danach richtet sich der erforderliche Rohrdurchmesser. Das Bohrloch muss dann etwas größer gestaltet werden, da der Hohlraum um das Rohr herum mit Füllmaterial versehen wird.

Grundsätzlich werden das Trockenbohr- und das Spülbohrverfahren unterschieden, die als Dreh- oder Schlagbohrung ausgeführt werden können. Die in Betracht kommende Methode hängt maßgeblich von der vorliegenden Gesteinsart ab, davon wie tief gebohrt werden und welcher Durchmesser am Ende erreicht werden soll. Je nach Auswahl des Bohrwerkzeugs kann das Gestein dabei schlagend, drehend, schneidend, verdrängend, lösend bzw. durch Kombinationen davon zerkleinert werden. Bei Bohrungen im Festgestein wird vor allem das Schlagbohrverfahren angewendet. Dabei wird, wie der Name schon verrät, das Gestein durch Schlag zertrümmert und zerkleinert. Die Bohrgutaustragung erfolgt dann entweder intermittierend oder kontinuierlich. Wichtig dabei ist, dass anhand des ausgehobenen Materials ein Schichtenprofil erstellt werden kann, welches Rückschlüsse auf die hydraulischen Eigenschaften und damit eine Prognose zur erwartbaren Brunnenleistung zulässt. Die Proben werden aufgehoben. Je tiefer gebohrt wird, desto aufwendiger und teurer wird es für den Auftraggeber. Daher sollte vorher recherchiert werden, ab welcher Tiefe mit Grundwasser gerechnet werden kann (Vgl. GLA, 1994, pp. 97-102).

Am besten wird vor der eigentlichen Brunnenbohrung eine Aufschlussbohrung mit geringerem Durchmesser durchgeführt, um weitere Informationen über die hydrogeologischen Gegebenheiten vor Ort zu gewinnen. Bei regelmäßiger Pflege und Reinigung erreichen Brunnen eine Lebensdauer von 25 Jahren und mehr.

### 2.2.3 Brunnenausbau

Für den Ausbau kommen Rohre verschiedener Arten und Materialien zum Einsatz. Grundsätzlich wird zwischen dem Ausbau mit oder ohne Sperrrohr unterschieden. Daneben gehören noch Vollrohre, Filterrohre und Sumpfrohre sowie Filterkies, Dichtungen, der Brunnenkopf, die Pumpe, die Steigleitung, eine Brunnenstube und evtl. ein Brunnenenhaus dazu. Häufig werden PVC-Rohre verwendet, aber auch Stahl oder Steinzeug kommen zum Einsatz.

Ein einfacher Ausbau ohne Sperrrohr besteht aus einem Vollrohr, welches bis zum Beginn des Grundwasserleiters reicht und dem anschließenden Filterrohr. Am Ende kann noch ein Stück Vollrohr als Sumpfrohr eingebaut sein. Es dient dazu, einen beruhigten Bereich zu schaffen, in dem sich angesaugter Sand absetzen kann, die sog. Auflandung. Der Filterrohrabschnitt sollte die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters erfassen. Die verrohrte Strecke wird auch Rohrtour genannt. Der Hohlraum zwischen dieser und der angrenzenden Bohrlochwand, der sog. Ringraum, wird meist mit Filterkies oder Glaskugelschüttungen aufgefüllt. In Abbildung 8 ist der Ausbau ohne Sperrrohr dargestellt.

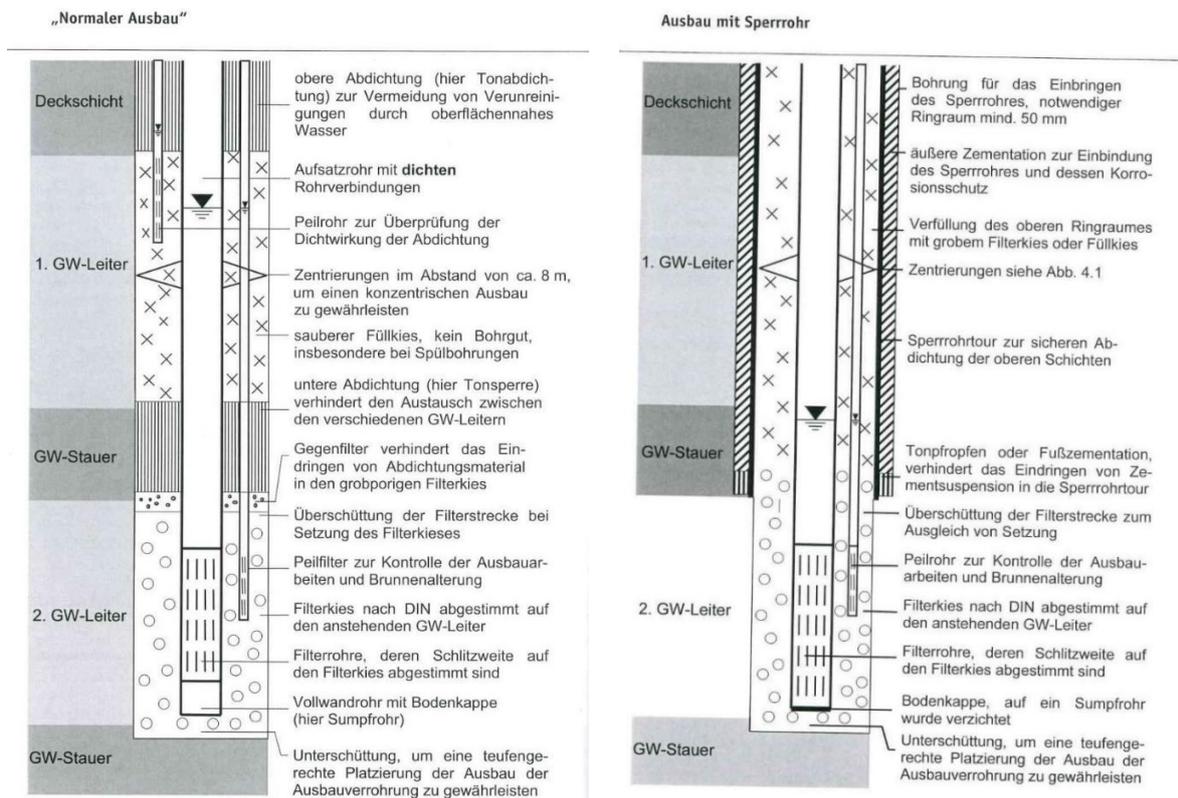


Abbildung 8: Brunnenausbau Normal (Tholen, 2012, p. 66)

Abbildung 9: Brunnenausbau mit Sperrrohr (Tholen, 2012, p. 67)

Auf den eingezeichneten Peilfilter wird aus Kostengründen häufig verzichtet. Die Höhendifferenz zwischen dem Wasserstand in ihm und dem im Hauptrohr ist ein Maß für den Filterrohrwiderstand.

Die Abbildung 9 rechts daneben zeigt den Ausbau mit Sperrrohr. Dessen Hauptaufgabe besteht darin sowohl horizontale als auch vertikale Wasserwegsamkeiten zu verhindern. So ist es denkbar, dass Wasser aus dem ersten GWL horizontal erst in den Ringraum und bei Schäden, Leckagen oder Undichtigkeiten am Vollrohr auch in dieses eindringt und sich so mit dem Wasser des zweiten GWL vermischt oder es dringt vertikal über den Ringraum nach unten in diesen vor. Die Vermischung der Wässer aus verschiedenen Grundwasserstockwerken ist unbedingt zu vermeiden, da sich deren Zusammensetzung i. d. R. unterscheidet. Im Idealfall schließt das Sperrrohr bündig mit dem GW-Stauer ab. Es ist aus Stahl. Der Zwischenraum zwischen Sperrrohr und Bohrlochwand wird zementiert. Nach unten zum GWL wird der Zwischenraum durch einen Tonpfropfen versiegelt oder ebenfalls zementiert. Dabei kann in zwei Etappen gebohrt werden. Das Bohrloch für das Sperrrohr wird größer gebohrt. Nach Aushärten des Zements wird mit kleinerem Durchmesser der zweite GWL erschlossen. Dieser Ausbau hat sich besonders in Süddeutschland durchgesetzt und bietet gute Voraussetzungen für eine etwaige später durchzuführende Sanierung. Beim normalen Ausbau ohne Sperrrohr

wird der Ringraum zwischen erstem und zweitem GWL durch Tonsperren gegeneinander abgedichtet (Vgl. Tholen, 2012, pp. 65-67) .

Filterrohre gibt es in verschiedenen Ausführungen, beispielweise geschlitzt oder als Wickeldrahtfilter. Dabei kommt es entscheidend auf die offene Fläche an, durch die das GW eindringen kann. Ein gutes Maß für die Schlitzweite sind 10 % offene Fläche im Verhältnis zur Gesamtmantelfläche. Ist sie zu groß, kann kein Sand zurückgehalten werden und es könnte Filterkiessmaterial in den Innenraum fallen. Ist sie zu klein, steigt der Eintrittswiderstand für das Wasser. Die Filterkiesschüttung muss gut auf die vorhandene Bodenformation abgestimmt sein. Sie sollte, ebenso wie die Bodenformation, eine gute Durchlässigkeit für das andrängende Wasser bieten und gleichzeitig Sandführung verhindern. In den Hohlräumen der Kiesschüttung können sich Ablagerungen absetzen, ohne gleich die Wasserwegsamkeit zu behindern. Darüber hinaus stützt der gefüllte Ringraum den Rohrausbau ab (Vgl. Tholen, 2012, pp. 77-79). Auch bei kleinen Entnahmemengen sollte der Durchmesser des Filterrohres mindestens 300 mm betragen und die Filterkiesschicht mindestens 100 mm dick sein. Die Bemessung der Bohrung ergibt sich dann aus dem Filterrohrdurchmesser zuzüglich der doppelten Ringraumstärke (Vgl. Mutschmann & Stimlmayer, 2019, p. 166). Das Bohrloch wäre dann 500 mm im Durchmesser, also nicht einmal das doppelte des Rohres. Nach Damrath/Cord-Landwehr (1998) sollte das ins Erdreich gebohrte Loch etwa 2- bis 2,5-mal so groß sein. Je stärker der Ringraum ist, desto mehr Porenvolumen ist auch vorhanden, in dem sich Ablagerungen absetzen können, ohne die Leistung wesentlich zu mindern. Andererseits wirken dann Regenerierungsmaßnahmen eventuell nicht weit genug in diesen hinein.

Zur weiteren Entwicklung eines Brunnens gehört die anschließende Entsandung. Sie kann auf verschiedenen Art und Weisen durchgeführt werden, häufig durch das sog. Kolben. Dabei wird eine mittels Gummimanschetten zur Rohrrinnenwand abdichtende Scheibe mit eingebautem Ventil rasch im Rohr auf- und abbewegt. Das Prinzip ist in Abbildung 10 dargestellt.

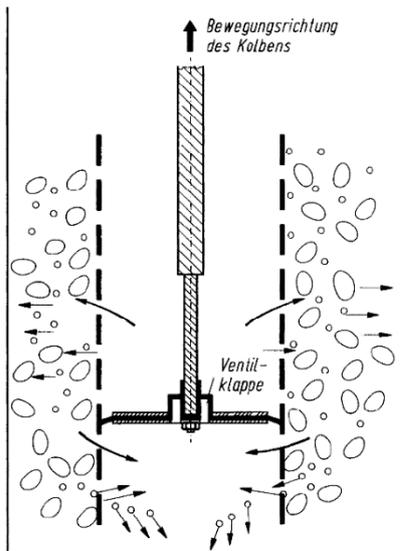


Abbildung 10: Entsandung durch Kolben  
(Mutschmann &  
Stimmlmayer, 2019, p. 183)

Bei der Aufwärtsbewegung entsteht unter der Scheibe ein Unterdruck und darüber ein Überdruck. Dadurch kommt es zu einer Strömung aus dem oberen Rohrraum über die angrenzende Filterkiesschicht zurück in den unteren Rohrraum. Dabei wird Sand mitgerissen und eine eventuelle Brückenbildung der Körner untereinander zerstört. Die Strömungskraft ist durch die Geschwindigkeit der Auf- und Abwärtsbewegungen variierbar. Sie muss gut angepasst sein, sonst könnten zu große Sandkörner mobilisiert werden, die jedoch nicht durch die Öffnungen der Schlitzweite passen und diese, sowie Porenzwischenräume, verstopfen. Der Sand fällt nach unten in den Sumpf und kann abgepumpt werden. Entsanden kann durch intermittierenden Abpumpen, sog. Schocken, mittels Seiher oder Wasserhochdruck wie bei der Regeneration durchgeführt werden. Um die Wirkung zu erhöhen kann das Filterrohr abschnittsweise behandelt werden, sodass die einwirkenden Kräfte auf einen lokal begrenzten Bereich konzentriert werden (Vgl. Mutschmann & Stimmlmayer, 2019, p. 182). Ein weiterer wichtiger Effekt des Kolbens ist die Reklassifizierung der Kiesschüttung durch die radiale Umordnung und Neuorientierung der Kies Korngrößen. Aufgrund ihrer Trägheit werden die Kleineren weiter nach außen getragen, die Größeren verbleiben nah an den Filterrohrschlitzen. So werden diese nicht versperrt und das Wasser kann gut hindurchfließen. Dieser geschichtete Aufbau ähnelt dann dem eines überirdischen Kiesfilters. Der Effekt der Fixierung der Eisenoxide und -hydroxide bei der unterirdischen Wasseraufbereitung kommt also wie beschrieben erst in der angrenzenden Bodenformation zum Tragen. Daher ist es wichtig den Sauerstoff in der Einfahr- und Betriebsphase möglichst weit von diesem

Bohrlochbereich wegzubefördern, sonst wird das Gegenteil erreicht und eine vorzeitige Brunnenalterung provoziert (Vgl. Würdemann, 2023)

## 2.3 Brunnenalterung

Bei der Brunnenalterung unterscheidet man laut Arbeitsblatt W130 des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) zwischen Versandung, Verockerung, Versinterung, Verschleimung, Aluminiumausfällungen und Korrosion (Damrath & Cord-Landwehr, 1998, p. 69).

### 2.3.1 Verockerungen

Verockerungen sind Ausfällungen von ockerfarbenen bis schwarzen schwer löslichen Eisenhydroxiden und Mangan(IV)-Oxiden. Wie in Abbildung 11 zu sehen, sind sie nach einer Umfrage des DVGW von 1999 zu 84 % häufigste Grund für Leistungsminderungen.

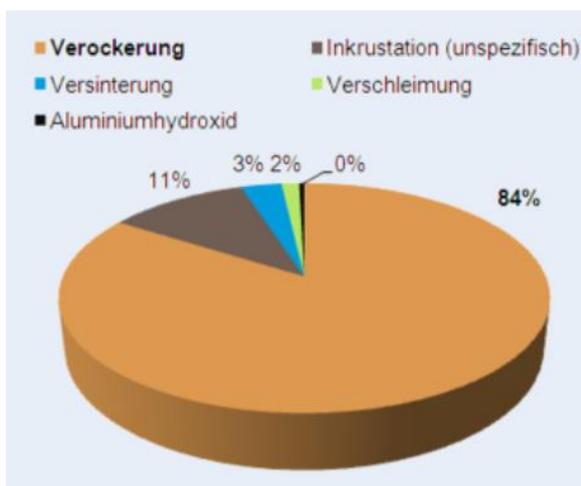


Abbildung 11: Alterungsprozesse in Deutschland 1999  
(Fa. Winkelkemper GmbH, 2020)

Sie können dicke Krusten auf der inneren und äußeren Oberfläche des Filterrohres oder der Pumpe bilden und bis in die Kiesschüttung im Ringraum und darüber hinaus bis in die angrenzende Bodenformation hineinwachsen. Auf diese Weise setzen sich auch die Filterschlitz immer mehr zu, wodurch sich der Strömungswiderstand für das eintretende Wasser erhöht und so nicht mehr genügend nachfließen kann. Der Wasserstand im Betrieb sinkt. Damit steigt auch der Stromverbrauch der Pumpe. Sie muss aufgrund des größeren Höhenunterschiedes zwischen Wasserstand und Erdoberfläche für die gleiche Fördermenge

mehr Arbeit aufwenden. Sie kann auch durch Korrosion Schaden nehmen, wenn die Reaktionen an deren Metalloberfläche stattfinden. Man spricht in diesem Zusammenhang von Lochfraß.

Sie sind unvermeidlich und entstehen infolge des ständigen Absenkens und Wiederansteigens des Grundwasserstandes und dem damit einhergehenden Kontakt des Wassers mit atmosphärischer Luft. Dabei kommt es zu chemischen und biologischen Reaktionen, die bereits in 2.2 erläutert wurden. Das geschieht jedes Mal, wenn der Wasserspiegel im Brunnenrohr infolge der Wasserförderung abnimmt. Wird der Brunnen überlastet, also mehr Wasser entnommen, als durch das Wasserdargebot zur Verfügung steht, sinkt der Wasserspiegel unter die Filterrohroberkante und atmosphärische Luft dringt durch die Filterschlitz, sofern diese frei sind, in den umliegenden Ringraum oder noch weiter darüber hinaus in das angrenzende Erdreich (Vgl. Puhmann, 2000, p. 26). Das kann aber auch passieren, wenn der Grundwasserspiegel sich aufgrund einer in trockenen Jahren geringen Grundwasserneubildung verringert hat.

### 2.3.2 Versandung

Durch den Sog der Pumpe kann feiner Sand mobilisiert werden und sich in den Zwischenräumen der Kieskörner absetzen. Dadurch sinkt die Porosität der Schüttung und die Durchlässigkeit nimmt ab. Dieser Vorgang heißt Kolmation. Wenn die Filterschlitz zu weit dimensioniert sind und die Wassereintrittsgeschwindigkeit entsprechend hoch genug ist, kann der Sand von außen auch nach innen in den Rohrraum vordringen und entweder in die Ansaugöffnung der Pumpe geraten oder nach unten absinken und sich im Sumpfrohr sammeln.

Da die Entsandung auch zu einem Verfahrensschritt bei der Brunnenentwicklung gehört, kann bei Sandführung im Förderwasser die Ursache schon bei deren nicht korrekter Ausführung oder einem Ausbau mit zu groß dimensionierten Filterrohrschlitzen liegen.

### 2.3.3 Sonstige

Versinterungen sind auch eine Art Ausfällung, jedoch mineralischer Art, wie z.B. Kalkablagerungen.

Verschleimung entsteht durch sessile Bakterien, die Biofilme auf Oberflächen bilden. Wenn dieses mikrobielle Wachstum überhandnimmt, kann es ebenfalls zu Beeinträchtigungen des Wasserandrangs kommen.

Aluminium liegt meist gebunden, z. B. in Feldspäten, Silikaten oder Tonmineralen vor. Bei niedrigen pH-Werten kann es aber auch zu einem geringen Teil aus diesen heraus hydrolysieren, dann gelöst im Grundwasser vorliegen und ausfallen, wenn es z. B. mit basischem Wasser vermischt wird. Es bildet Überzüge aus Aluminiumhydroxid, wodurch es ebenfalls zu Verstopfungen kommen kann (Vgl. Klaassen, 2017).

## 2.4 Brunnenregenerierung

Wenn die Leistung zu weit gemindert ist, besteht die Möglichkeit der Brunnenanierung bzw. -regenerierung. Die Regenerierung stellt die erste Maßnahme dar, welche keine baulichen Änderungen vorsieht. Es stehen dabei verschiedene Optionen zur Verfügung. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen rein mechanischen, hydromechanischen und chemischen Verfahren. Das Ziel ist es, durch deren Anwendung die Verschmutzungen und Ablagerungen innerhalb des Brunnenrohres und im angrenzenden Ringraum zu beseitigen, um so die ursprüngliche Leistungsfähigkeit vollständig oder zumindest teilweise wiederherzustellen. Im besten Fall wird eine Tiefenwirkung bis in die an die Bohrlochwandung angrenzende Bodenmatrix erreicht. Es sollen insbesondere die Filteröffnungen freigelegt und so wieder wasserdurchlässiger werden. Erst wenn diese Maßnahmen nicht zum Erfolg führen, muss eine Sanierung in Betracht gezogen werden. Diese ist aufwändiger und teurer und stellt die letzte Möglichkeit dar, um den Brunnen noch zu retten. Andernfalls bleibt dem Betreiber nichts anderes übrig, als den alten Brunnen wieder zu verfüllen und einen neuen anzulegen. Dies sollte durch regelmäßige Pflege verhindert werden. Nach Nolte und Rübesamen (1999) sollte bei stark zu Verockerungen und Korrosion neigenden Brunnen alle ein bis zwei Jahre, bei besseren Rohwasserverhältnissen alle fünf bis sieben Jahre eine Wartung erfolgen (Vgl. Nolte & Rübesamen, 1991, p. 3).

Dabei kommen drei Verfahrensprinzipien zum Tragen. Zuerst muss durch Einwirkung von Kräften eine Trennung der Beläge, Verschmutzungen und Inkrustationen von den Oberflächen herbeigeführt werden. Danach folgt deren möglichst vollständiger Austrag. Dieser kann durch Strömung realisiert werden. Letztlich sollte noch eine Erfolgskontrolle stattfinden. Um herauszufinden wieviel und welches störende Material sich im Untergrund über die Jahre angesammelt hat, kann eine Analyse hier Klarheit schaffen, um Regenerationsmaßnahmen zielgerichtet einzusetzen.

Mechanisch können Inkrustationen und Beläge in der Rohrtour durch Auf- und Abbewegungen einer rotierenden Bürste gelockert und abgetragen werden. Diese fallen unten in den Sumpf und können danach mittels Lufthebeverfahren ausgetragen werden.

Chemisch besteht die Möglichkeit durch verschieden starke organische bzw. anorganische Säuren oder Reduktionsmittel die Beläge zu entfernen. Die Verwendung dieser Mittel ist unter Einhaltung des Minimierungsgebotes nach DVGW-Arbeitsblatt W130 durchzuführen. Demnach ist nur so wenig wie möglich und so viel wie nötig einzusetzen (Vgl. Paul, 2007, p. 62).

Die hydromechanischen Wirkprinzipien beruhen auf der Ablösung durch Scherkräfte infolge der Erzeugung sowohl erhöhter Strömungsmenge als auch -geschwindigkeit. Mechanisch wirken durch Druckwellen ausgelöste Schwingungen. Bei den zahlreichen technischen Entwicklungen wird versucht, einerseits die Wirkung der aufgebrauchten Kräfte zu erhöhen, indem diese auf einen abgegrenzten Rohrabschnitt konzentriert werden und andererseits diese Wirkung über einen möglichst großen Radius bis in die angrenzende Bodenformation vordringen zu lassen. Die Wirkung und Effizienz der vom Markt hervorgebrachten Geräte ist unterschiedlich. Es soll im Folgenden auf einige Beispiele näher eingegangen werden.

#### 2.4.1.1 Seiher

Bei Seihern beruht die Reinigungsleistung auf hydromechanischer und teilweise mechanischer Wirkung. Der zu behandelnde Filterrohrabschnitt wird ober- und unterhalb der Ansaugöffnung der Pumpe durch eine Scheibe, die zur Filterrohrwand mittels Manschetten abdichtet, vom restlichen Brunnenrohr abgegrenzt. Durch eine Intensiventnahme werden hohe Fließgeschwindigkeiten erzielt und die daraus resultierenden Scherkräfte wirken hauptsächlich auf die Innenrohroberfläche und die Filterschlitzte. Die Strömungsgeschwindigkeit nimmt aber in der angrenzende Filterkiesschüttung ab, da sie sich darin in vertikaler Richtung nach oben und unten ausbreiten kann und damit an Kraft und Geschwindigkeit verliert (Vgl. Eichhorn, et al., 2003, p. 10). Die mechanische Wirkung beruht auf der Auslösung von Druckwellen infolge der hohen Geschwindigkeit, mit der das Wasser auf die Filterrohrwand tritt.

#### 2.4.1.2 Spülköpfe

Spülköpfe werden direkt oberhalb der vorhandenen Unterwasserpumpe zwischen diese und die anschließende Steigleitung montiert. Auch ihre Reinigungsleistung beruht auf hydromechanischer und teilweise mechanischer Wirkung. Ein solches Gerät wird direkt oberhalb der vorhandenen Unterwasserpumpe zwischen diese und die anschließende

Steigleitung montiert und arbeitet wie der Seiher mit dem anstehenden Grundwasser. Die folgende Abbildung 12 zeigt den Niederdruckspülkopf (NDSK) der Fa. Wilschdorf GmbH.



Abbildung 12: NDSK 300 (Eichhorn, et al., 2003, p. 35)

Das von der Pumpe angesaugte Wasser strömt nicht durch die Leitung nach oben, sondern tritt als Wasserstrahlen mit niedrigem Druck über einen ringsum verlaufenden Drüsenkranz horizontal auf die Filterrohrwand zu. Dabei dringt jedoch nur ein Teil des Wasserstromes durch die Filterrohrschlitze in den angrenzenden Kiesraum vor, wird durch die Sogwirkung der Saugöffnung der Pumpe vertikal nach unten abgelenkt und strömt dann wieder durch die Filterrohrschlitze über den Rohrraum zurück in die Ansaugöffnung der Pumpe. Das Wasser wird also im Kreislauf geführt, dringt dabei aber horizontal nicht weit in die Kiesschüttung vor. Durch die Strömungsgeschwindigkeit werden die Kieskörner im angrenzenden Ringraum verwirbelt und prallen aneinander, wodurch sich die Beläge lösen. Ist die Strömungsgeschwindigkeit zu gering werden die Kieskörner zu wenig bewegt und der Reinigungseffekt leidet. Ist die Strömungsgeschwindigkeit zu hoch wird die horizontale Schichtenfolge der Kiesschüttung durcheinandergebracht, die Körner setzen sich ab und verdichten. Dadurch nimmt die Porosität ab und der Wasserdurchflusswiderstand wird erhöht. Der Austrag der Ablagerungen erfolgt diskontinuierlich über einen Teilstrom durch die Steigleitung (Vgl. Eichhorn, et al., 2003, pp. 47-48)

### 2.4.1.3 Hochdruckrotationsaggregate

Bei Hochdruckrotationsaggregaten wird Fremdwasser eingesetzt, welches zwar in geringerer Menge aber mit mehr Druck zur Anwendung kommt. Der aufgesetzte Spülkopf ist mit zwei bis drei versetzt angeordneten Düsen ausgestattet. Er dreht sich nach dem Rückstoßprinzip durch das mit bis zu 300 bar durchgepumpte Wasser mit bis zu 200 U/min. Beim Auftreffen der Wasserstrahlen auf die Rohrwand werden ebenfalls Druckwellen erzeugt. Diese pflanzen sich vom Rohrausbaumaterial über die Kiesschüttung bis in die angrenzende Bodenformation fort. So wird zwar eine Trennungswirkung über einen größeren Radius als bei den vorgenannten Methoden erreicht, aber die geringeren Wassermengen dringen nicht so weit in den angrenzenden Raum vor, um das gelockerte Material auch auszutragen. (Vgl. Eichhorn, et al., 2003, pp. 14, 36-37)

### 2.4.1.4 Druckwellengeneratoren

Die von diesen Geräten erzeugten Druckwellen liegen im mittel- bis niederfrequenten Bereich von 100-700 Hz. Direkt als Druckwellenimpulsgeneratoren sind Doppelrotationsaggregate ausgelegt. Sie arbeiten mit Drücken bis 550 bar. Die erzeugten Druckwellen weisen höhere Beschleunigungswerte und größere Amplituden auf, wodurch ein höherer Energieeintrag in umgebende Materialien generiert werden kann. Auch sie rotieren dabei durch das Rückstoßprinzip. Das Besondere dabei ist, dass durch die versetzte Anordnung der Düsen auf zwei Ebenen und deren gegenläufige Rotationsrichtung die Wasserstrahlen nicht direkt auf die Rohrwand treffen und das Wasser fein zerstäubt wird. Durch die hohe Geschwindigkeit sinkt der statische Druck bis auf den Sättigungsdampfdruck. Das Wasser beginnt zu siedeln, es wird bewusst Kavitation erzeugt. Dadurch bildet sich eine stabile Gasblase aus, die den Wasserspiegel im Rohr um 10-20 cm anhebt. Sie verhindert den vertikalen Wasserfluss im Rohr über und unter ihr. Untersuchungen zur Korrelation zwischen Drehzahlzahl und Reinigungserfolg haben gezeigt, dass dieser bei weniger Umdrehungen pro Minute zwar abnimmt, aber dafür weiter in die Umgebung hineinreicht. So wird es bei hartnäckigen Verkrustungen immer schwerer diese zu entfernen, je weiter sie in die angrenzende Bodenformation vorgedrungen sind (Vgl. Etschel & Schmidt, 2001, p. 31).

Ein Pulsator stellt ebenfalls ein Druckwellenimpulsverfahren (DWI) nach Merkblatt W130 DVGW dar, jedoch werden die Druckwellen hier durch die Knallgasreaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff erzeugt. Dabei wird Wasser elektrolysiert und im Gasraum gespeichert. Sobald ein gewisses Volumen erreicht ist, wird es gezündet. Im Gasreaktor entsteht eine Gasblase aus Wasserdampf. Die Druckwelle entsteht durch deren Implosion. Der so erzeugte Unterdruck

bewirkt eine schwache Sogwirkung, welche gelöstes Material in den Rohrrinnenraum transportieren soll. Jedoch muss dieser Stofftransport ebenfalls durch anschließende Intensiventnahme und Schocksanden unterstützt werden.

Die stärksten Initialschwingungen erzeugen die Druckwellen der sog. Impulsgeneratoren. Durch plötzliche Entspannung von unter hohem Druck stehenden Fluiden wie Wasser, Luft, Stickstoff oder CO<sub>2</sub>. Sie erreichen damit einen Energieeintrag von bis zu 0,3 J/kg bei einer Beschleunigung der Druckwellen von 500-1000 m/s<sup>2</sup>. Die Pulsrate ist dabei deutlich höher als beim Pulsator. Der Druck wird in Abhängigkeit des Rohrausbaumaterials im Druckbehälter aufgebaut und magnetventilgesteuert in Millisekundenintervallen durch eine große Öffnung abgegeben. Dabei wird mit 10-130 bar gearbeitet. Abbildung 13 zeigt das Funktionsprinzip schematisch.

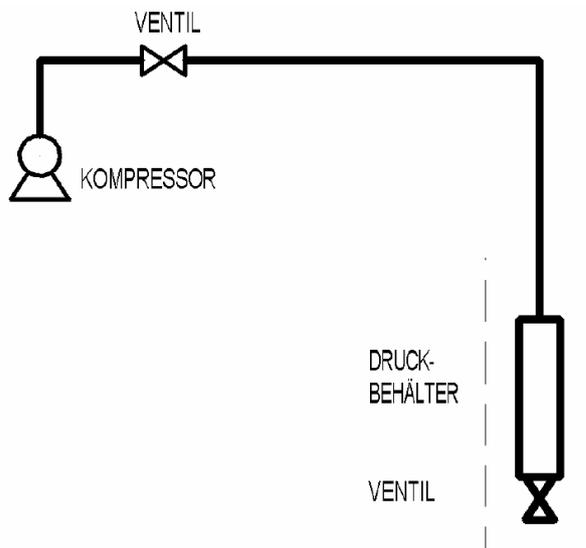


Abbildung 13: Prinzipschema  
Gaskompressionsimpulsgenerator  
(Eichhorn, et al., 2003, p. 18)



Abbildung 14: Hydropuls-Generator der Fa. Pigadi GmbH (Fa. Pigadi GmbH, 2023)

Rechts daneben in Abbildung 14 sei hier als Beispiel der Hydropuls-Generator der Fa. Pigadi GmbH dargestellt. Bei diesem Modell ist bereits eine Absaugvorrichtung zum Austrag der Schmutzpartikel integriert (Vgl. Eichhorn, et al., 2003, pp. 17-18, 40-41).

Ultraschallgeber arbeiten mit hochfrequenten Schwingungen ab 20 kHz. Diese Technik wird beispielsweise auch bei Optikern, Juwelieren oder Zahntechnikern eingesetzt um kleine, feinstrukturierte Gegenstände an schwer zugänglichen Stellen zu reinigen. Das Funktionsprinzip basiert auf der Hypothese, dass die Schallwellen, mit einer Wellenlänge

kleiner als die Hälfte der Öffnungsweite der Poren der Verkrustungen, in diese eindringen und deren Mikrostruktur aufbrechen. So lassen sich Partikel größer als  $1\ \mu\text{m}$  lösen. Jedoch wird gemäß dem Beschleunigung-Zeit-Gesetz für harmonische Schwingungen mit zunehmender Frequenz die maximale Amplitude kleiner, dementsprechend erfahren diese Wellen eine starke Dämpfung in der Kiesschüttung und erzielen keine Wirkung mehr in der angrenzenden Bodenformation.

#### 2.4.1.5 Mehrkammerspülgeräte

Die Mehrkammerspülgeräte sind Kieswäscher. Sie eignen sich für die Anwendung in Kombination mit chemischen Regeneriermitteln, von denen eine ganze Reihe auf dem Markt sind. Es können anorganische Säuren wie z. B. Salzsäure oder Schwefelsäuregemische oder pH-neutrale Reduktionsmittel zu Anwendung kommen. Die Mittel einfach in großer Menge einzufüllen und abzuwarten hat keinen Erfolg, da sie infolge ihrer größeren Dichte absinken und so nicht lange genug in der jeweiligen Tiefe einwirken können (Vgl. Tholen, 2012, p. 230). Abbildung 15 veranschaulicht das Wirkprinzip des Gerätes.

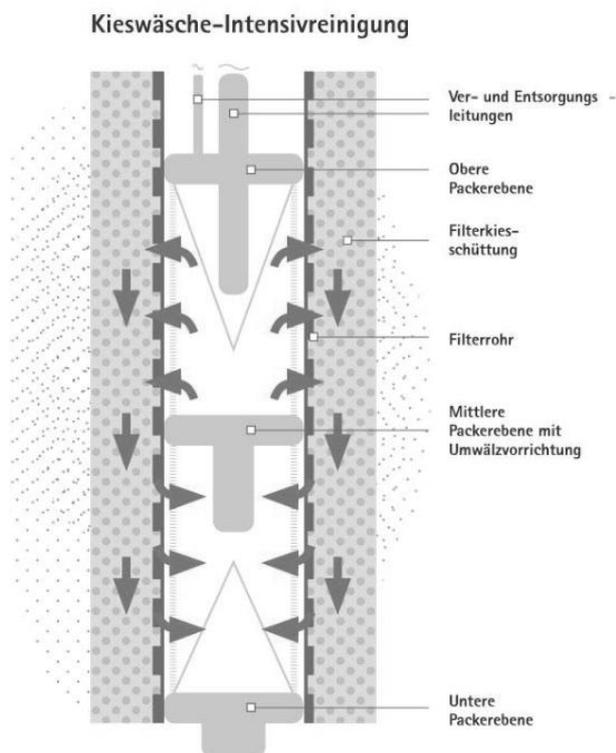


Abbildung 15: Kieswäscher (Aqua Brunnen Service GmbH, 2009)

Zum Aufbau des Gerätes gehören zwei Bereiche, die durch drei Packerebenen voneinander abgegrenzt sind. Die zylindrischen Körper der Packer reichen bis nah an die Rohrwandung, zu

der sie mittels Gummidichtungen abdichten und so zwei abgeschlossene Volumina bilden. Durch in der Mitte befindliche Laufräder wird eine Kreislaufströmung erzeugt. Dabei strömt das anstehende Grundwasser von der ersten Kammer durch die Filterrohrschlitze über die Filterkiesschüttung nach unten und über die dort befindlichen Filterrohrschlitze wieder in den Rohrraum der zweiten Kammer zurück. Durch den Sog der Laufräder gelangt das Wasser wieder in die erste Kammer und schließt damit den Kreislauf. Im nächsten Schritt wird das Regeneriermittel unter Messung des pH-Wertes von oben über die Versorgungsleitung in die erste Kammer zudosiert. Dies muss nach dem Minimierungsgebot des Merkblattes W130 des DVGW so erfolgen, „dass Konzentrationen von chemischen Stoffen, die das Trinkwasser verunreinigen oder seine Beschaffenheit nachteilig beeinflussen, so niedrig gehalten werden sollen, wie dies nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles möglich ist.“ (Mutschmann & Stimlmayer, 2019, p. 6). Im Anschluss daran wird die Strömungsrichtung umgekehrt, sodass sich nun bereits gelockerte Beläge durch den Lastwechsel ablösen. Dabei ist das Ziel durch die Zugabe saurer Regeneriermittel den pH-Wert so weit abzusenken, dass die festen Partikel in Lösung gehen, weil größere Agglomerate an Schmutzpartikeln nicht durch die Öffnungsweite der Filterrohrschlitze passen und zurückgehalten werden würden. Parallel dazu wird auch der Filterwiderstand gemessen. Das bedeutet, wenn sich dieser erhöht, wäre das ein Indiz für eine Verstopfung. Die Lösung wird zu Tage gefördert und weist aufgrund der gelösten Ionen eine bestimmte Leitfähigkeit auf. Diese wird online gemessen. Der Schmutz wird ausgetragen, die Leitfähigkeit sinkt. Nimmt die Leitfähigkeit nicht weiter ab, ist die Reinigung beendet. Anschließend kann das Gerät am nächsten Filterrohrabschnitt fixiert und ein neuer Arbeitszyklus eingeleitet werden (Vgl. Schrepfer, o. D., pp. 21 - 26).

#### 2.4.2 Brunnensanierung

Eine Brunnensanierung stellt eine bauliche Maßnahme dar, wobei zwischen Teil- und Vollsaniierungsmaßnahmen unterschieden wird. Sie kann sich als nächster Schritt nach einer vorangegangenen Regenerierung anschließen, wenn diese nicht den gewünschten Erfolg der Wiederherstellung der ursprünglichen Leistungsfähigkeit herbeigeführt hat. Auch wenn die Leistungsfähigkeit nach kurzer Zeit wieder abnimmt, sind weitere Schritte notwendig, um den Standort zur Wassergewinnung zu erhalten. Ein ursprünglich unsauber ausgeführter Brunnenausbau kann eine Sanierung ebenso nötig machen wie Schäden am Ausbaumaterial durch äußere Einflüsse wie Korrosion oder fehlerhaft ausgeführte vorherige Regeneration durch beispielsweise zu hohe Drücke. Eine vollständige Sanierung des Brunnens kann

aufwändiger sein als einen neuen anzulegen. Da alle Maßnahmen jedoch behördlicher Genehmigungen bedürfen ist eine Dokumentation mit Abwägung der Vor- und Nachteile der nächsten Schritte vorteilhaft.

#### 2.4.2.1 Einschubverrohrungen

Wenn der Brunnen nicht kontinuierlich betrieben wird, treten Verockerungen durch das ständige Absinken und Wiederansteigen des Grundwasserstandes im Vollrohr im oberen Teil des Filterrohres zuerst auf, da die Konzentration an gelöstem Sauerstoff hier am höchsten ist. Je mehr sich dadurch die obersten Filterschlitze zusetzen, desto geringer wird die freie Fläche für den Wassereintritt. Dadurch steigt die Durchtrittsgeschwindigkeit des Wassers im unteren Bereich beim Übergang vom Ring- in den Rohrrinnenraum. Der Wasserstand im Brunnenrohr sinkt, wodurch die Unterwasserpumpe mehr Arbeit leisten muss, um die gleiche Menge Wasser zu fördern. Durch diese Anströmspitzen kann auch feiner Sand im Ringraum mobilisiert und mitgerissen werden. Dieser ungleichmäßige Wassereintritt kann auch durch vertikal unterschiedliche Wasserdurchlässigkeiten der umliegenden Bodenformationen verursacht werden und ist damit durch vorher durchgeführten Regenerierungsmaßnahmen nicht zu beseitigen. In diesem Fall kann in das vorhandene Filterrohr ein zusätzliches dünneres eingesetzt werden, welches im betreffenden oberen Bereich eine geringere Schlitzweite als im unteren aufweist. Es wirkt als Saugstromsteuerung, so können die Einströmunterschiede ausgeglichen werden. Das zusätzliche Filterrohr schließt bündig mit dem vorhanden ab. Der entstandene Ringraum zwischen neuem und altem Filterrohr muss durch Packer verschlossen werden, um Wasserwegsamkeiten von oben- bzw. unterhalb des Wasserzutrittbereiches zu verhindern (Tholen, 2012, p. 235).

Wenn die vorhandenen Ausbauvollrohre Undichtigkeiten aufweisen, können zusätzliche Einschubrohre zum Einsatz kommen, um die vertikale Vermischung der Wässer aus unterschiedlichen Grundwasserstockwerken zu verhindern. Ein schadhafter Filterrohrabschnitt kann um ein zusätzliches, neues, dünneres Filterrohr erweitert werden, welches in das alte eingesetzt wird. Der hier neu entstandene Ringraum ist dann mit Filterkies zu verfüllen. Um die infolge des verringerten Durchmessers geringere Wasserdurchtrittsfläche zu kompensieren kann ein Wickeldrahtfilter verwendet werden.

#### 2.4.2.2 Ringraumnachdichtungen

Ist der Rohrausbau intakt und dicht, kann es noch über den Ringraum zu unerwünschten vertikalen Wasserbewegungen zwischen verschiedenen Grundwasserleitern kommen, wenn

z. B. die eingebrachte Tonsperre Undichtigkeiten aufweist. Eine Möglichkeit besteht darin, das vorhandene Vollrohr über die entsprechende Länge zu perforieren, d. h. es werden bewusst Schlitz- oder Löcher in das Material eingebracht. Dies geschieht mit entsprechenden Werkzeugen, Hohlladungen oder mit einem unter hohem Druck durch eine feine Düse gegen die Vollrohrwand gestrahltes Sand-Wasser-Gemisch. Durch diese entstandenen Löcher bzw. Schlitz- oder Röhren wird eine zähe Zementsuspension in den umgebenden Ringraum gepresst. Sie verfestigt sich und dichtet die Volumina ober- und unterhalb gegeneinander ab (Vgl. Nolte & Rübesamen, 1991, p. 8).

#### 2.4.2.3 Neuverfilterung durch Herausbohren

Sind die Filterrohrschlitze derart verockert und verkrustet, dass der Ruhewasserspiegel bei der Förderung bis weit unterhalb der Oberkante des Filterrohrabschnittes absinkt, wird der alte Filterrohrabschnitt herausgebohrt und durch einen neuen ersetzt. Diese Methode lässt sich am besten bei Brunnen mit Sperrverrohrung anwenden. So kann mit entsprechendem Werkzeug der untere Ringraum herausgegraben und erweitert werden ohne die Gefahr, dass der obere Teil einbricht (Vgl. Tholen, 2012, p. 238).

#### 2.4.2.4 Komplettsanierung

Wenn alle vorherigen Maßnahmen unzureichend sind, müssen die gesamte Rohrtour und der Ringraum erneuert werden. Im einfachsten Fall ist der Brunnen in einer festen Bodenformation errichtet und der komplette Ringraum nur mit einer Kiesschüttung zur Gewährleistung der Standsicherheit versehen. Nachdem der Kies mittels Mammutpumpe nach dem Luftheberprinzip Schritt für Schritt aus dem Ringraum herausbefördert wurde, kann der Ausbaustrang herausgezogen werden.

Ist der Ringraum hingegen zementiert oder mit Sperrschichten ausgebaut, muss dieser entweder über- oder zerbohrt werden. Beim Überbohren wird ein Rohr mit dem Durchmesser in der Größenordnung des Ringraumes und aufgesetzter Bohrkronen angesetzt und gräbt sich in den Ringraum unter Aufwendung entsprechend hoher Druckkräfte hinein. Flache Brunnen aus PVC-, Holz- oder Steinzeugausbau, können durch Verwendung eines Bohrkopfes mit mindestens dem Durchmesser des ursprünglichen Bohrloches unter völliger Zerstörung des vorhandenen Material herausgebohrt werden (Vgl. Tholen, 2012, pp. 245 - 248).

#### 2.4.2.5 Brunnenrückbau

Wenn der Standort zur Grundwassergewinnung schließlich doch aufgegeben werden muss, sind, soweit dies möglich ist, alle Ausbaumaterialien zu entfernen und das hohle Bohrloch

schichtengerecht sowie setzungsfrei aufzufüllen. Das heißt, dass die vorhandenen wasserdurchlässigen und -undurchlässigen Erdschichten in der entsprechenden Tiefe wiederhergestellt werden müssen. Um zu verhindern, dass das verfüllte Material zusammen- und dann nachrutscht, muss dieses sauber und verdichtungsfähig sein. Wird darauf nicht geachtet, kann es passieren, dass sich im Nachhinein an der Oberfläche ein Absenktrichter bildet, in dem sich z. B. Regenwasser sammeln, über diesen als Drainage abfließen und so das Grundwasser verunreinigen. Zur Oberfläche hin muss dann mit einer Tonsperre versiegelt werden. Die größte Sicherheit bietet eine vollständige Verfüllung des Bohrloches mit Zement.

### 3 Charakterisierung des Standorts sowie Nutzungshistorie

Der Standort der Firma befindet sich etwa 17 km südöstlich der sächsischen Großstadt Leipzig in der Leipziger Tieflandsbucht. Es folgen Ausführungen zu den hydrogeologischen Gegebenheiten vor Ort.

#### 3.1 Standort

Die Überwachung und Durchsetzung der Gesetze und Verordnungen obliegt hier der unteren Wasserbehörde des Umweltamtes in Grimma. Das Sächsische Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL) unterhält ein Landesmessnetz für Grundwasser dessen Daten in Form von interaktiven Kartenanwendungen online öffentlich zugänglich sind (Freistaat Sachsen, 2023). Daraus konnten nützliche Informationen zur Grundwasserbeschaffenheit vor Ort entnommen werden.

Der für die folgenden Betrachtungen relevante Grundwasserkörper wird als Parthegebiet mit dem Code SAL GW 060 bezeichnet. Er erstreckt sich vom Standort der Firma etwa 9 km in östlicher Richtung bis zum angrenzenden Grundwasserkörper Vereinigte Mulde 1 mit dem Code DESN\_VM-1-2-1, welcher ab Grimma beginnt. Die südliche Grenze befindet sich in 900 m Entfernung, danach kommt das Eulagebiet. Er hat eine Ausdehnung von rund 284 km<sup>2</sup>. Das Wasser fließt in silikatischem Gestein und die Neubildungsrate ist mit 3.0 bis 4.5 Liter pro Sekunde je km<sup>2</sup> als mittelmäßig zu bewerten (SMUL, 2007, p. 35). Der Standort ist in der folgenden Abbildung 16 rot eingekreist.

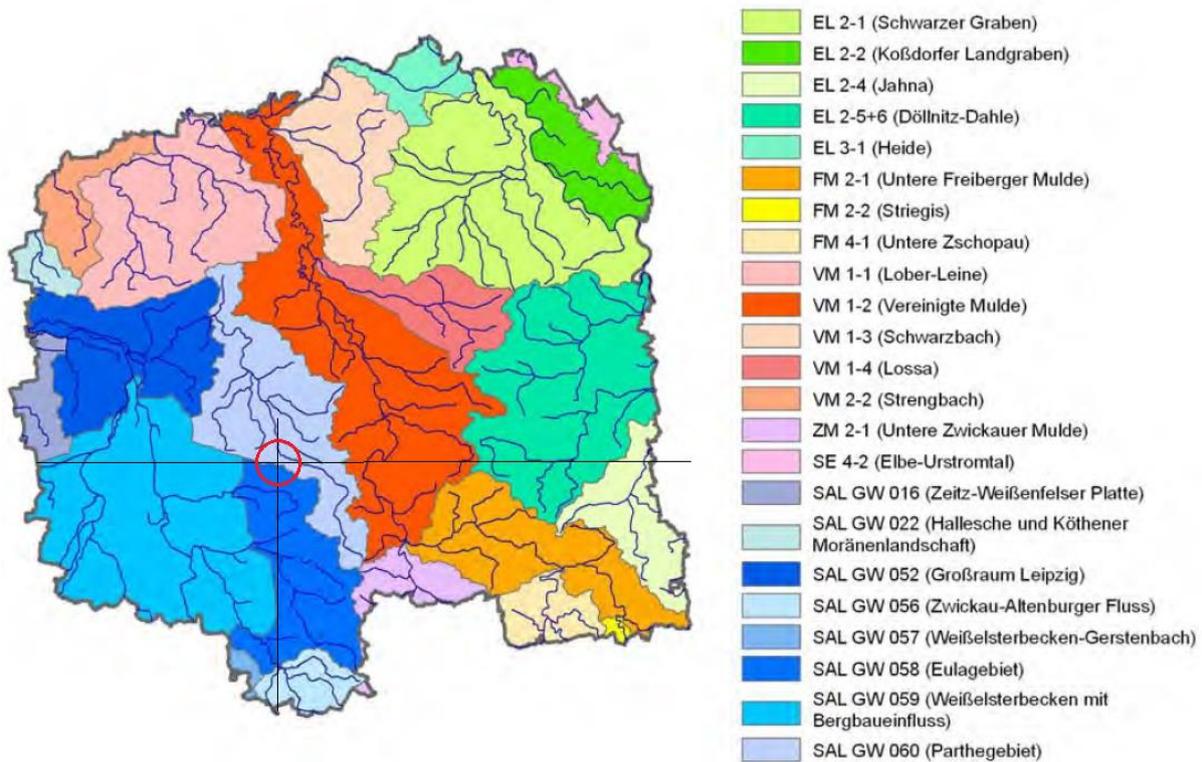


Abbildung 16: Grundwasserkörper Westsachsen (SMUL, 2007, p. 34)

In 918 m Entfernung nordwestlich befindet sich ein Brunnen des Wasserwerks II in Naunhof, welches täglich 18.000 m<sup>3</sup>, vermutlich aus dem zweiten Grundwasserleiter in 18-28 m Tiefe, fördert. Die Brunnen der Fa. KÖHRA Frische GmbH befinden sich in dessen Anstrombereich. Nach einer Stellungnahme des Fachbereiches Geologie im Zusammenhang mit dem Bescheid des Umweltamtes vom 12.02.2021 zur Genehmigung der Grundwasserentnahme sowie zum Einbringen von Sauerstoff in den Aquifer liegt die Abstandsgeschwindigkeit bei 0,5 m/Tag.

Der folgende Ausschnitt in Abbildung 17 zeigt die Werte für den Massegehalt an Eisen, Mangan, Sulfat und Ammonium des unbehandelten Grundwassers vom September 2017 hier vor Ort. Sie sind wesentliche Wasserparameter zur Auslegung und Beurteilung der späteren Wirkungsweise der Fermanox-Wasseraufbereitungsanlage. Die Analyse stammt vom Labor der Eurofins GmbH in Leipzig (Anhang 5).

Chemisch-Physikalische Prüfungen				
Testcode / Methode	Einheit	Ergebnis	Spezifikation	
<b>LG8P1</b> <b>pH-Wert (#)</b> DIN EN ISO 10523 (C5), 2012-04, SOP:75.17008.W, Potentiometrie				
pH-Wert		6,20	6,5 - 9,5	TrinkwV
Temperatur pH-Wert	°C	22,7		
<b>AN182</b> <b>Eisen mg/l</b> DIN EN ISO 17294-2, , ICP-MS Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Eisen (Fe)	mg/l	<b>2,43</b>	<b>0,20</b>	TrinkwV
<b>AN189</b> <b>Mangan mg/l</b> DIN EN ISO 17294-2, , ICP-MS Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Mangan (Mn)	mg/l	<b>0,219</b>	<b>0,05</b>	TrinkwV
<b>ANIDS</b> <b>Ammonium [CFA] mg/l</b> DIN EN ISO 11732 (E23), , Spektrophotometrie (CFA) Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Ammonium	mg/l	0,16	0,5	TrinkwV
Prüfungen mittels Ionenchromatographie				
Testcode / Methode	Einheit	Ergebnis	Spezifikation	
<b>AN217</b> <b>Sulfat mg/l</b> DIN EN ISO 10304-1, , IC-EC Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/l	<b>270</b>	<b>250</b>	TrinkwV

Abbildung 17: Prüfbericht Wasseranalyse Brunnenwasser B 1/11 (Eurofins Institut , 2017)

Nach der TrinkwV vom 15.02.1976 in der letzten am 25.09.2019 in Kraft getretenen Änderungsfassung (DVGW, 2023) werden mehrere Grenzwerte überschritten. Das vorrangige Ziel ist die Reduktion von Eisen. Davon ist ein Massegehalt von 2,43 mg/l enthalten, der Grenzwert beträgt 0,2 mg/l, Mangan sind 0,219 mg/l enthalten, dessen Grenzwert beträgt 0,05 mg/l. Sulfat liegt 20 mg/l über dem Grenzwert von 250 mg/l mit einem Gehalt von 270 mg/l. Ammonium ist mit 0,16 mg/l unter dem Grenzwert von 0,5 mg/l. Aufgrund des niedrigen pH-Wertes von 6,20 ist das Wasser, trotz der puffernden Wirkung einer hohen Gesamthärte von etwa 19 °dGH, als leicht sauer zu bezeichnen. Ansonsten liegt keine Indikation für anthropogene Kontamination in Form von beispielsweise aromatischen oder halogenierten Kohlenwasserstoffen vor. Auch mikrobiologisch ist das Wasser unbelastet. Die Anzahl koloniebildender Einheiten (KBE) von coliformen Bakterien wie *Escherichia coli* beträgt weniger als 1 pro 100 ml. Ebenso sind die Arten *Pseudomonas aeruginosa* und *Clostridium perfringens* sowie die Gattung der Enterkokken nicht nachweisbar.

Den ersten Brunnen mit der Bezeichnung B 1/11 errichtete die Fa. Fritz Thiele Bohrungen und Brunnenbau aus Naunhof. Er trägt firmenintern die Bezeichnung B 2 und ist seit nunmehr fast zwölf Jahren in Betrieb. In der Vergangenheit war das geförderte Grundwasser zunächst nicht aufbereitet worden und infolgedessen kam es zu Verschmutzungen im Werk durch ausgefallenes Eisen(III)-hydroxid. Er befindet sich laut Eintrag ins Grundbuch im Flurstück

235/1 und liegt in der Trinkwasserschutzzone (TWSZ) III des Trinkwasserschutzgebiet (TWSG) Naunhof.

Zur Veranschaulichung des Standorts der Brunnen dient der als Abbildung 18 dargestellte Übersichtsplan der Fa. Schmidt Vermessungs- und Projektmanagement.

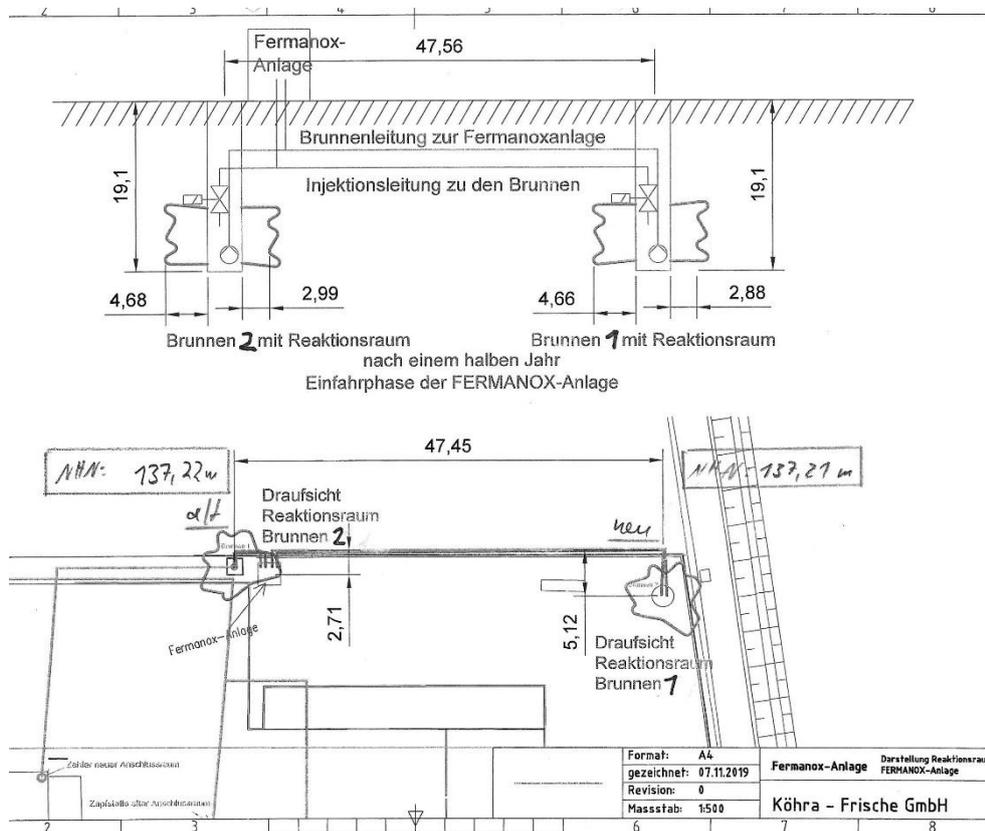


Abbildung 18: Übersichtsplan Brunnenanlagen auf dem Betriebsgelände der Fa. KÖHRA Frische GmbH (Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2019)

Im unteren Teil der Abbildung ist die Draufsicht, darüber die Ansicht im Schnitt zu sehen. Der alte Brunnen wurde bei 137,22 m NHN und ein neuer bei 137,21 m NHN gebohrt. Es folgt eine detailliertere Charakterisierung.

### 3.2 Brunnen B 2

Der Brunnen B 2 wurde im Trockenbohrverfahren bis in eine Tiefe von 19,10 m abgeteuf. Das Schichtenprofil ist in Abbildung 19 dargestellt.

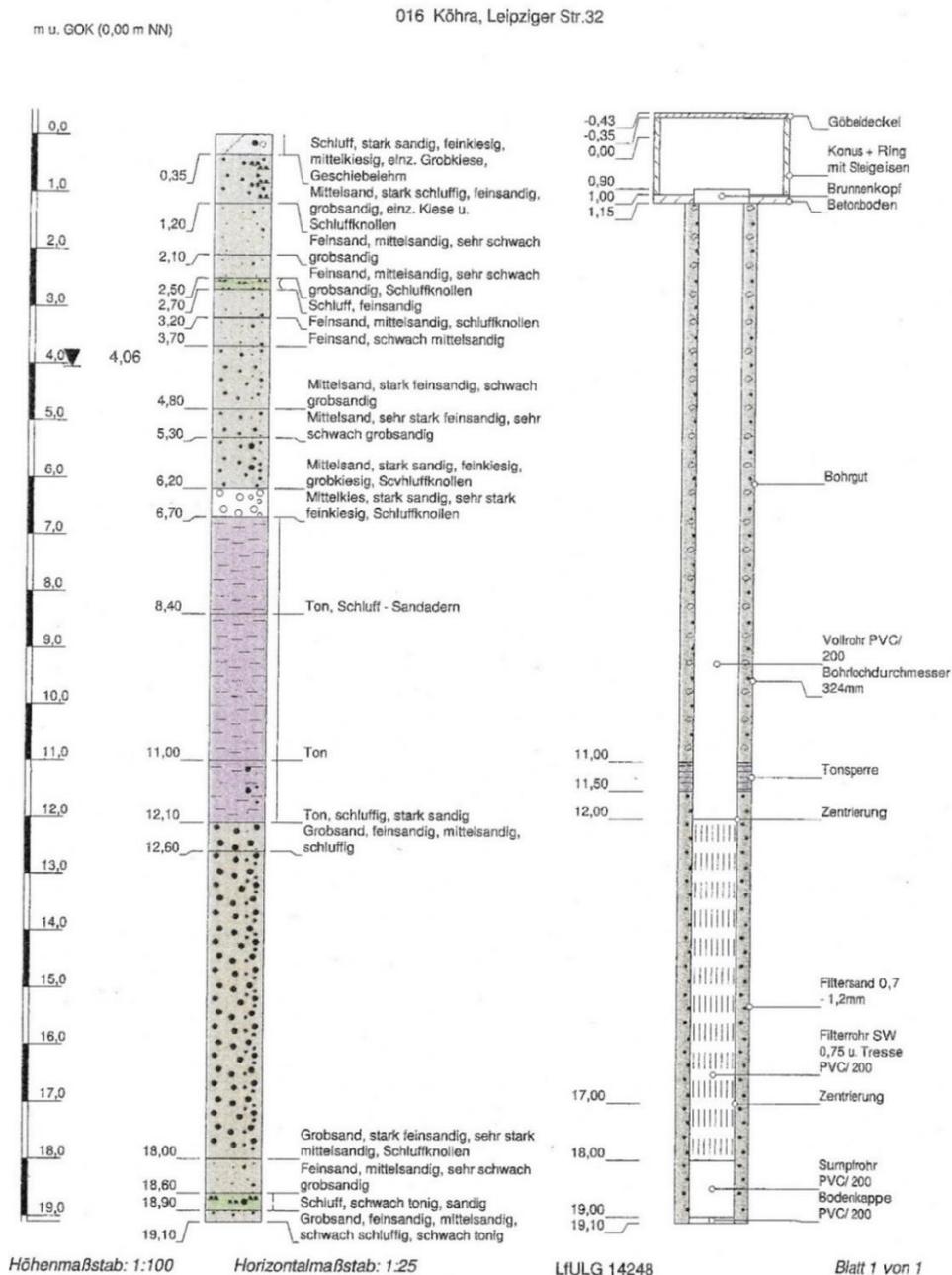


Abbildung 19: Bodenprofil und Brunnenausbauschema B 1/11 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2011)

In den ersten Metern Tiefe befinden sich Sandschichten unterschiedlicher Körnung. Ab 4,06 m wurde in der ungesättigten Bodenzone das erste Mal auf Wasser gestoßen. Ab 6,70 m Tiefe beginnt eine mehrere Meter mächtige, nahezu undurchlässige Tonschicht bis etwa 12 m. In der darauffolgenden Schicht bildet das Wasser in dem geschlossenen Kapillarraum des Grundwasserkörpers den Grundwasserleiter. Nach Analyse des Bohrgutes besteht das Gemenge des Lockersedimentes hauptsächlich aus Grobsand mit einer Korngröße von 2,0-0,6 mm, vermischt mit Mittelsand der Größenklasse 0,6-0,2 mm und Feinsandkörnern zwischen 0,2 und 0,06 mm Größe. Der Grundwasserkörper erstreckt sich vermutlich bis in 18,60 m Tiefe. Darauf folgt ein 30 cm mächtiger sandiger Schluff, auf den bis zur

Brunnenendteufe weitere Sande vorliegen. Die Ergebnisse des vierstündigen Pumpversuches sind in Tabelle 2 dargestellt. Das von der Firma erstellte Protokoll dazu befindet sich in Anhang 1.

Tabelle 2: Ergebnis Pumpversuch B 1/11, Mai 2011 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2011)

Q [m <sup>3</sup> /h]	Absenkung ab GOK [m]	s [m]	Q <sub>s</sub> [m <sup>3</sup> /h/m]
0	4,06	0	0
3,60	5,08	1,02	3,53
8,65	6,58	2,52	3,43
14,34	8,35	4,29	3,34
21,51	10,45	6,39	3,37

Formelzeichen: s – Absenkung des Wasserspiegels ab Ruhewasserspiegel

Der maximale Volumenstrom betrug 21,5 m<sup>3</sup>/h bei einer Absenkung des Ruhewasserspiegels von 4,06 m unter der Geländeoberkante auf 10,45 m, entsprechend einer Höhendifferenz von etwa 6,4 m. Dabei blieben noch etwa 1,5 m bis zu den Filterrohrschlitzen. Über diesen befand sich die Tiefbrunnenpumpe. Es ergibt sich eine spezifische Leistung von 3,36 m<sup>3</sup>/h/m. Daraus lässt sich die Leistungskurve erstellen. Man trägt dazu den Volumenstrom Q gegen die Absenkung des Wasserspiegels auf, dargestellt in Abbildung 20.

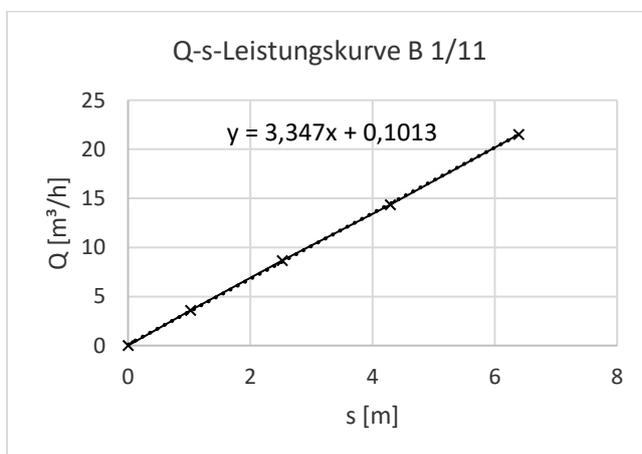


Abbildung 20: Q-s-Leistungskurve B 1/11, Mai 2011 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2011)

Der Verlauf ist linear, d. h. es handelt sich um einen gespannten Aquifer (Vgl. Mutschmann & Stimlmayer, 2019, p. 137). Die spezifische Leistung  $Q_s$  entspricht dem Anstieg der Geraden

gemäß  $\frac{dQ}{ds}$ .

Im Laufe der Jahre nahm der Wasserbedarf für das Werk zu. Er beträgt derzeit knapp 40.000 m<sup>3</sup> jährlich. Für die Errichtung der Fermanox-Anlage wurde Ende Juni bis Anfang Juli 2019 auf dem Gelände der Firma etwa 47,5 m östlich des Brunnens B 1/11 ein neuer angelegt. Nach Herstellerangaben soll der Mindestabstand 30 m bei einer Leistung von 40-100 m<sup>3</sup>/Tag und 35 m bei 100-200 m<sup>3</sup>/Tag betragen, sodass es zu keiner Überschneidung beider Reaktionszonen kommt.

### 3.3 Brunnen B 1

Der neue Brunnen trägt in Zusammenhang mit der Errichtung die Bezeichnung B 1/19, firmenintern B 1. Die Trockenbohrung erfolgte hier bis 20,30 m. Das Bodenprofil ähnelt dem des Ersten. Obwohl beide sehr nah beieinanderliegen, muss das nicht immer der Fall sein. Der Ruhewasserspiegel lag hier etwas tiefer, bei 6,52 m. Inwiefern das vielleicht mit einer allgemeinen Absenkung des Grundwasserspiegels durch die unmittelbare Nähe des Brunnens 2 zusammenhängt, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht eingeschätzt werden. Der Pumpversuch bei diesem ergab eine höhere Leistung von 29,75 m<sup>3</sup>/h bei einer Absenkung des Ruhewasserspiegels auf 9,83 m, entsprechend einer Höhendifferenz von nur 3,31 m. Seine spezifische Leistung ist mit knapp 9 m<sup>3</sup>/h/m fast 3-mal so groß wie die von Brunnen 2, der Anstieg der Leistungskurve entsprechend steiler. Das Wasserdargebot lässt demnach einen höheren Volmenstrom bei gleichzeitig geringerer Absenkung des Wasserspiegels unter GOK zu. In beiden sind PVC-Rohre mit 200 mm Durchmesser verbaut, auch wenn es in der folgenden Abbildung 21 den Anschein erweckt, als sei das von Brunnen 1 dünner.

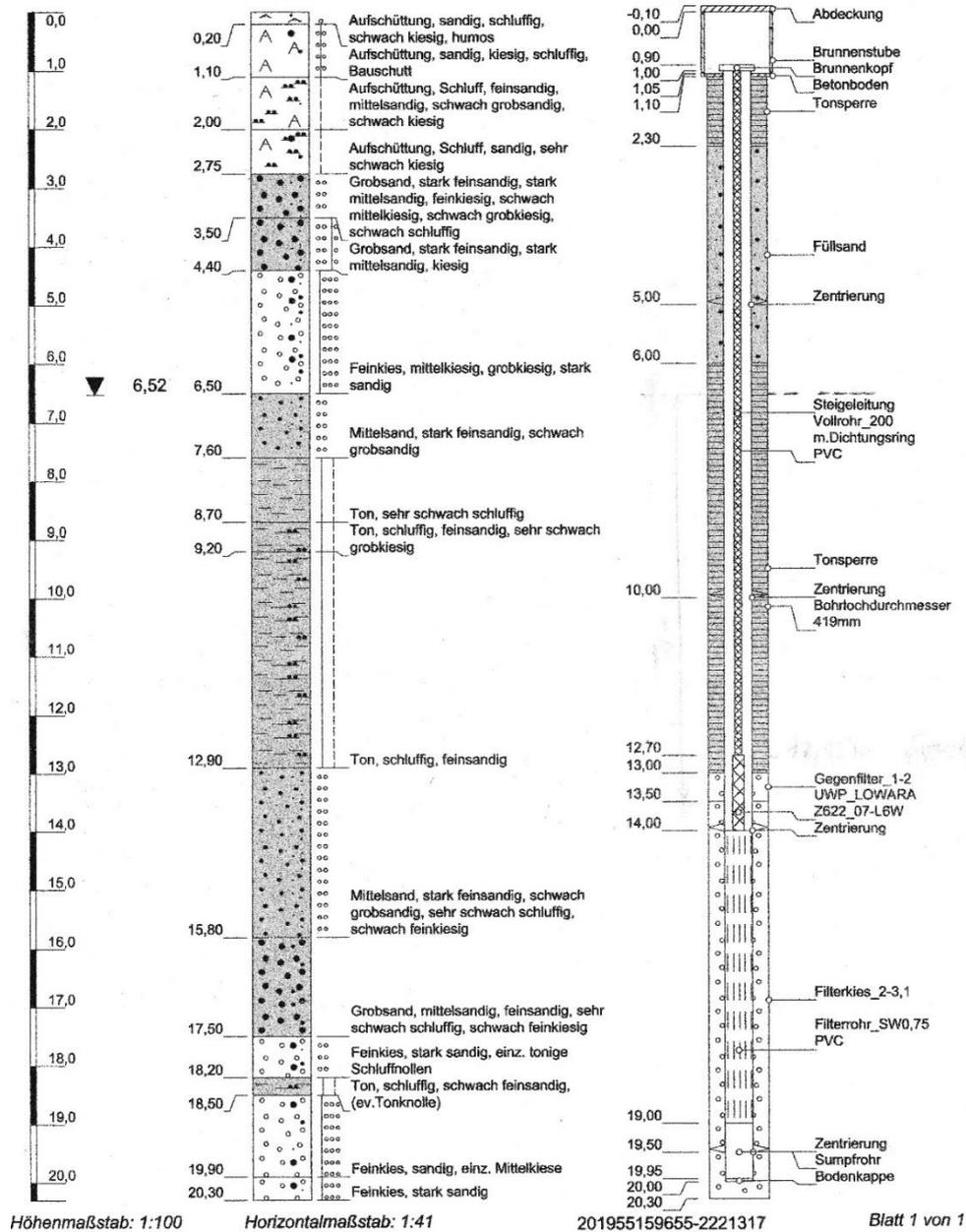


Abbildung 21: Bodenprofil und Brunnenausbauschema B 1/19 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2019)

Er verfügt somit über eine höhere Ergiebigkeit, daher genügen hier auch 5 m Filterrohr. Dieser Abschnitt befindet sich zwischen 14 und 19 m Tiefe. Nachfolgend sind auch hier die Werte in Tabelle 3 aufgeführt. Das Protokoll dazu befindet sich in Anhang 2

Tabelle 3: Ergebnis Pumpversuch B 1/19, Juni 2019 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2019)

Q [m <sup>3</sup> /h]	Absenkung ab GOK [m]	s [m]	Q <sub>s</sub> [m <sup>3</sup> /h/m]
0	6,52	0	0
7,50	7,23	0,71	10,56
15,00	7,78	1,26	11,90
29,75	9,83	3,31	8,99

Die Q-s-Leistungskurve ergibt wieder eine Gerade und bestätigt damit die Auswertung des ersten Pumpversuches von 2011, dass es sich um einen gespannten Aquifer handelt. Sie ist in Abbildung 22 dargestellt.

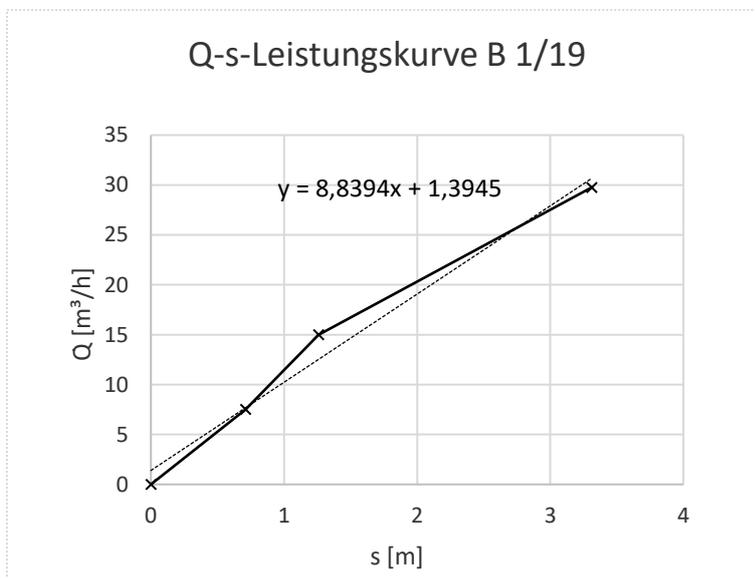


Abbildung 22: Q-s-Leistungskurve B 1/19, Juni 2019 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2019)

Der eine Ausreißer in der Messwerterfassung könnte auf den Wasserzähler zurückzuführen sein, obwohl das eher ein systematischer Fehler wäre und alle Messungen betroffen hätte. Es war vielleicht nur eine Messungenauigkeit. Die Wasserspiegelabsenkungen wurden mit einer drucksensitiven Sonde und die Fördermenge mit einer MTK-HWK Q3 R80H Wasseruhr von der Fa. Wehrle ermittelt. Dabei handelt es sich um einen mechanischen Mehrstrahl-Trockenläufer Wasserzähler mit Reedkontakt.

### 3.4 Betriebsbeginn Fermanox-Anlage

Für die Auslegung der Anlage führte die Fa. Winkelkemper GmbH eine Analyse des Wassers aus beiden Brunnen im September 2019 durch. Die Ergebnisse sind in Abbildung 23 dargestellt.

<u>Wasseranalysen:</u>	<u>Brunnen I</u>	<u>Brunnen II</u>	<u>Grenzwerte der TrinkwV</u>
Eisen:	2,34 mg/l	2,06 mg/l	0,2 mg/l
Mangan:	0,216 mg/l	0,183 mg/l	0,05 mg/l
Ammonium:	0,052 mg/l	0,063 mg/l	0,5 mg/l
Nitrit:	< 0,1 mg/l	< 0,1 mg/l	0,5 mg/l
Nitrat:	< 10 mg/l	< 10 mg/l	50 mg/l
KMnO <sub>4</sub> -Verbrauch:	4,48 mg/l	4,48 mg/l	(20) mg/l
Karbonathärte:	1,4 °dH	1,2 °dH	
Gesamthärte:	18,2 °dH	16,8 °dH	
pH-Wert:	6,34	6,21	6,5 - 9,5
Sulfat:	190 mg/l	180 mg/l	250 mg/l
Calcium:	121 mg/l	117 mg/l	
Magnesium:	14,9 mg/l	14,4 mg/l	
elektr. Leitfähigk. bei 25 °C:	620 µS/cm	615 µS/cm	2700 µS/cm

Abbildung 23: Wasseranalyse 19.12.2019 (Fa. Winkelkemper GmbH, 2019)

Selbst bei zwei so nah beieinanderliegenden Brunnen unterscheiden sich die Werte leicht. Wie schon im Bericht von 2017 sind die Eisen- und Mangangehalte zu hoch. Eine weitere wichtige Größe für die Auslegung ist der Wasserbedarf. Für kleinere Mengen bis 10 m<sup>3</sup>/h eignen sich die 1-Brunnen-Anlagen des Typs BV. Dabei erfolgt die Infiltration nachts, wenn kein Wasser verbraucht wird. Für einen größeren Wasserbedarf sind die Anlagen des Typs WV mit dem wechselseitigen Betrieb von zwei Brunnen vorgesehen, welche auch hier zum Einsatz kommt. Je nach Rohwasserqualität können so bis zu 250 m<sup>3</sup>/Tag bereitgestellt werden. Der Wasserbedarf des Werks betrug 2020 und 2021 etwa 25.000 m<sup>3</sup> und stieg gegen Ende der Corona-Pandemie auf knapp 30.000 m<sup>3</sup> im letzten Jahr. Ausgehend von 252 Werktagen und 53 Samstagen ergeben sich 305 Arbeitstage, daraus resultiert ein täglicher Bedarf von knapp 100 m<sup>3</sup> Wasser, 120 m<sup>3</sup> unter Einbeziehung eines Sicherheitsfaktors. Nach Fertigstellung der baulichen Maßnahmen erfolgte die endgültige Inbetriebnahme (IBN) mit Infiltration am 31.03.2020 bei einem Übergangs-Zählerstand von 1.776 m<sup>3</sup>. Bis zum Jahresende wurden 19.334 m<sup>3</sup>, de Facto also 17.558 m<sup>3</sup> mit der Fermanox-Anlage gefördert. Der Entgasungsbehälter der hiesigen Anlage fasst etwa 200 Liter. Die Förderung erfolgt mengengesteuert.

### 3.4.1 Arbeitsweise erste Betriebsphase

Laut Ereignisspeicher der Fermanox-Anlage erstreckte sich die erste Betriebsphase von April 2020 bis Februar 2021. Sie war durch wechselnde Betriebsmodi und teilweisen Ausfällen gekennzeichnet. Das Grundprinzip wurde in Abschnitt 2.2.1 in Zusammenhang mit der unterirdischen Wasseraufbereitung erklärt. Die Förderraten schwanken im Verlauf des Tages

aufgrund wechselnden Wasserbedarfs im Werk. Sie betragen etwa 4 bis maximal 15 m<sup>3</sup>/h. Die Infiltration verläuft mit etwa 3 bis 3,5 m<sup>3</sup>/h. In den knapp acht Monaten bis zur ersten Regenerierungsmaßnahme in Brunnen 2 am 22.10.2020 wurden insgesamt etwa 15.800 m<sup>3</sup>, also 7.900 m<sup>3</sup> aus jedem einzelnen Brunnen gefördert.

Laut Betriebshandbuch sollten 10-35 % der geförderten Menge infiltriert werden. Die Analyse der Daten zeigt jedoch, dass das nicht ausreicht. Es ist ein möglichst niedriges Förder- zu Infiltrationsverhältnis anzustreben. Auszüge des Ereignisspeichers können dem Anhang 8 und 9 entnommen werden. Abbildung 24 stellt der Betriebsverlauf der erste Betriebsphase graphisch dar.

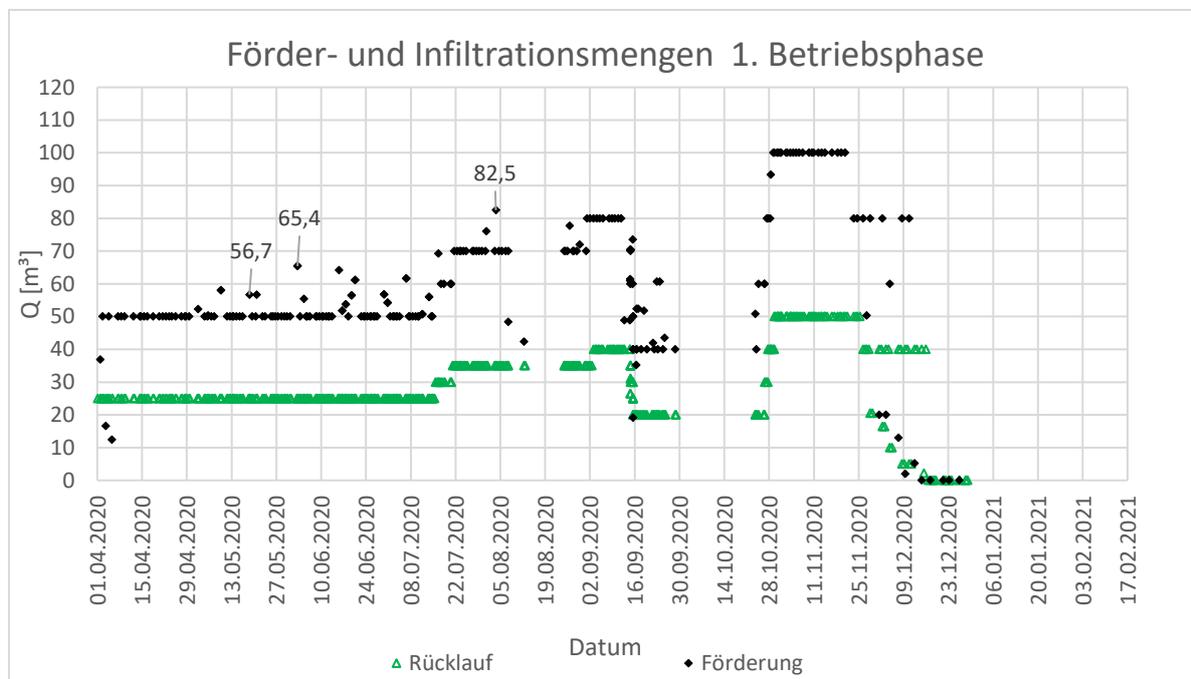


Abbildung 24: Förder- und Infiltrationsmengen erste Betriebsphase (Fa. Winkelkemper GmbH, 2023)

Die einzelnen Punkte die annähernd eine durchgehende Linie gehen, stellen den zeitlichen Verlauf der Förder- und Infiltrationsmengen dar. Die ersten etwa dreieinhalb Monate, in der Zeit zwischen 31.03.2020 bis 15.07.2020, betrug die eingestellte Fördermenge 50 m<sup>3</sup> und die Infiltrationsmenge 25 m<sup>3</sup>, entsprechend einem Verhältnis von zwei. In den Fällen, wo einzelne Punkte über dieser Linie liegen, wird das eingestellte Förderlimit überstiegen. So wurde z. B. am 18.05.2020 eine Wassermenge von 56,7 m<sup>3</sup> und am 02.06.2020 wurden 65,4 m<sup>3</sup> gefördert. Danach erfolgte eine schrittweise Anhebung der Förder- und Infiltrationsmengen auf 60 zu 30 m<sup>3</sup> und auf 70 zu 35 m<sup>3</sup> Anfang August 2020. Anfang September 2020 wurden 80 zu 40 m<sup>3</sup> ausprobiert, ab Ende Oktober 2020 eine weitere Steigerung auf 100 zu 50 m<sup>3</sup> und ab Ende

November 2020 wieder 80 zu 40 m<sup>3</sup>. In den Zeiträumen, in denen keine Datenpunkte sichtbar sind, wurde die Anlage auf Notbetrieb geschaltet. Das bedeutet, dass in dieser Zeit aus nur einem Brunnen ohne Infiltration gefördert wurde. Im Modus „Notbetrieb 1“ ist die Pumpe P1 deaktiviert und es wird nur aus Brunnen 2 gefördert.

Der erste längere Notbetrieb dauerte vom 07.08.2020 bis 24.08.2020 an. In diesen 17 Tagen wurde die Pumpe P1 deaktiviert, da sie Luft zog, was man sich bis heute nicht erklären kann. Es wurden zu diesen Ereignissen im Betriebsverlauf leider keine Notizen erstellt, daher können in nur wenigen Fällen die Gründe für die Abweichungen rekonstruiert werden. In dieser Zeit, das genaue Datum kann leider nicht angegeben werden, wurde ein Eisenwert von 2,14 mg/l gemessen. Das zeigt, dass ohne Infiltration wieder die ursprünglich hohen Eisengehalte eintreten. Abbildung 25 zeigt den zeitlichen Verlauf der Eisen- und Mangangehalte in Brunnen 2 in der ersten Betriebsphase.

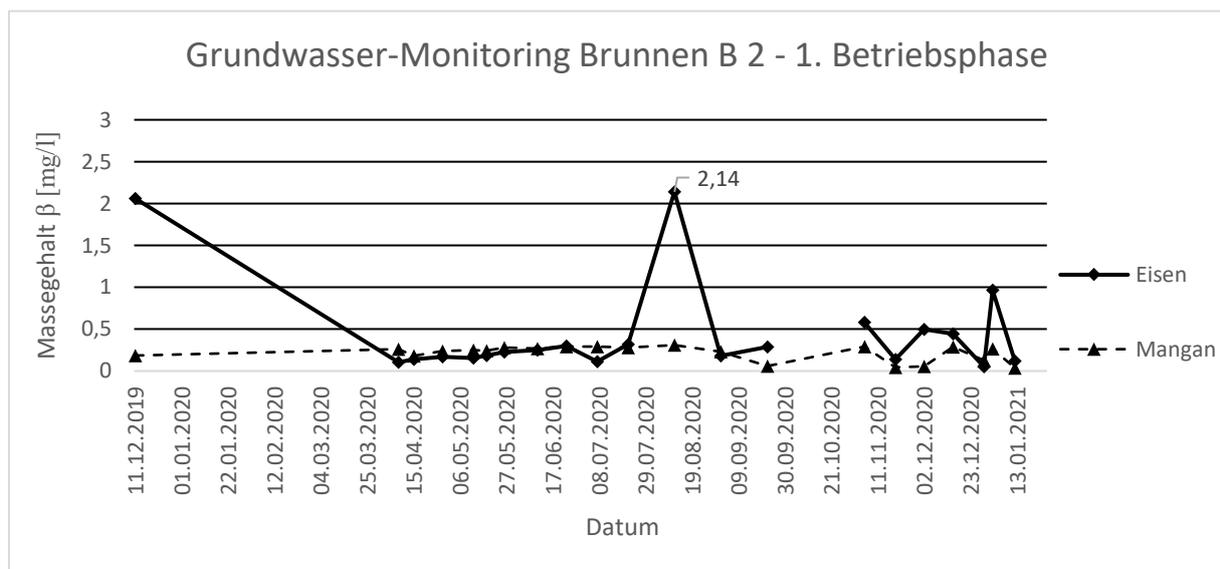


Abbildung 25: Ermittelte Eisen- und Mangangehalte von B 2 in der ersten Betriebsphase (eigene Darstellung)

Das durch diesen Messwert verursachte Maximum hebt sich deutlich vom restlichen Verlauf ab. Die nächste folgende Abbildung 26 zeigt die während der ersten Betriebsphase von Brunnen 1 gemessenen Eisen- und Manganwerte. Dabei werden die Eisengehalte verschiedener Daten miteinander verglichen und Rückschlüsse auf mögliche Gründe für die Schwankungen aus der Historie hergestellt.

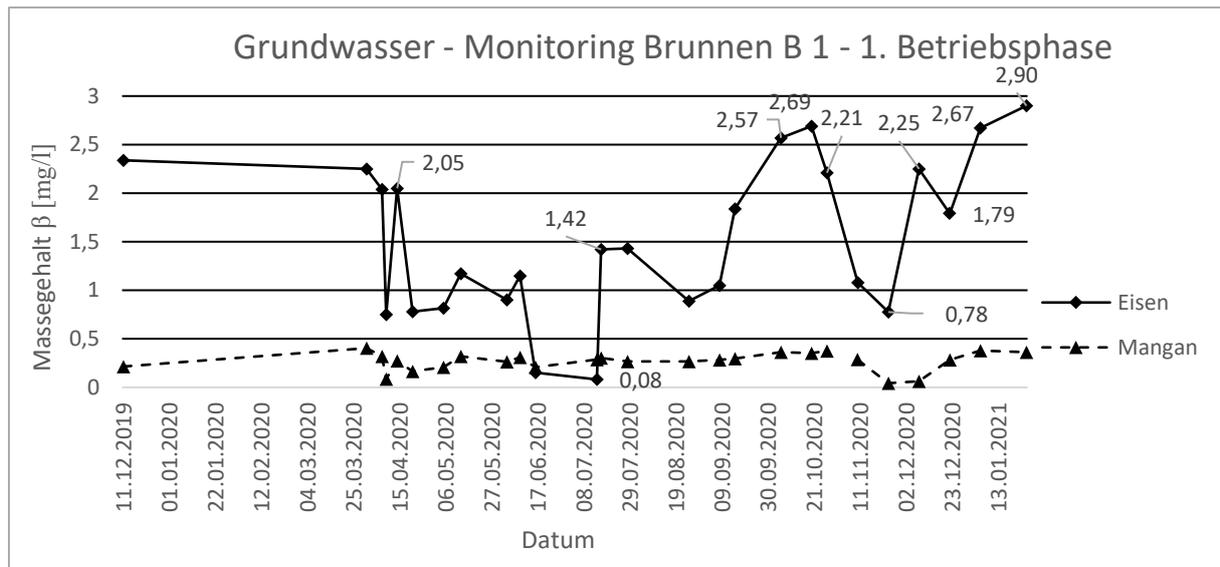


Abbildung 26: Ermittelte Eisen- und Mangangehalte von B 1 in der ersten Betriebsphase (eigene Darstellung)

Hier fallen deutlich mehr Schwankungen der gemessenen Werte als bei Brunnen 2 auf. Es scheint zunächst so, als wäre die Enteisung bei ihm effektiver, jedoch lassen sich viele Schwankungen durch die Notbetriebe erklären, in denen aus Brunnen 2 gar keine Messwerte erfasst wurden. Insgesamt liegen die Gehalte für Eisen in Brunnen 1 im Bereich von 0,08 mg/l im Juli 2020 und 2,90 mg/l im Januar 2021.

Über 28 Tage wurden vom 25.09.2020 bis 23.10.2020 knapp 2.100 m<sup>3</sup> im Notbetrieb 2, d. h. ausschließlich aus Brunnen 1 gefördert. Am 22.10.2020 wurde Brunnen 2 regeneriert. Aus dieser Zeit liegen 2 Messwerte für Eisen vor. Am 06.10.2020 wurden 2,57 mg/l und 2,69 mg/l wurden am 20.10.2020 gemessen. Da in dieser Zeit keine unterirdische Wasseraufbereitung erfolgte, waren die Eisengehalte entsprechend hoch und es liegen vom Brunnen 2 auch keine Messwerte vor. Am 27.10.2020 wurden 2,21 mg/l im Normalbetriebsmodus gemessen. Dabei fällt aber auf, dass einen Tag vorher aus Brunnen 1 mehr entnommen wurde als eingestellt war. Es war eine Förder- und Infiltrationsmenge von 40 zu 20 m<sup>3</sup> eingestellt. Tatsächlich wurden ab 52,4 m<sup>3</sup> entnommen. Somit ist es möglich, dass durch die erhöhte Entnahme mehr reduziertes Eisen in die Reaktionszone Richtung Brunnenrohr vorgedrungen war, als der mit der darauffolgenden Infiltrationsmenge eingebrachte Sauerstoff binden und damit fixieren kann. Wie in Abbildung 24 ersichtlich, wird in den darauffolgenden Wochen zwar die Förder- und Infiltrationsmenge auf 60 zu 30 m<sup>3</sup>, dann auf 80 zu 40 m<sup>3</sup> und schließlich auf 100 zu 50 m<sup>3</sup> erhöht, aber das Verhältnis bleibt bei zwei und die Anlage befindet sich im normalen Betriebsmodus. Die Eisengehalte nehmen wieder ab.

Im darauffolgenden Jahr vom 04.01.2021 bis 03.02.2021 erstreckte sich der dritte längere Zeitraum im Notbetrieb 2. Aus dieser Zeit liegen drei Messwerte vor. Es wurden am 05.01.2021 in Brunnen 1 ein Eisengehalt von 2,67 mg/l und am 26.01.2020 ein Eisengehalt von 2,9 mg/l gemessen. Dies lässt sich wieder mit der fehlenden Wasseraufbereitung erklären. Am 12.01.2021 wurde in Brunnen 2 ein Wert von nur 0,119 mg/l festgestellt. Laut Zeitstempel 786 wurde an diesem Tag der Notbetrieb um 08:13 Uhr beendet. In den darauffolgenden Zeitstempeln wurde öfters der Ablauf eingestellt. In dieser Funktion erfolgt ein Wechsel auf den anderen Brunnen nach Ablauf der eingestellten Zeit. Das bedeutet, bei Umschaltung aus dem Notbetrieb 2, bei dem nur aus Brunnen 1 gefördert wird, in die Ablauffunktion, wird weiterhin aus diesem gefördert, jedoch zusätzlich beginnt die Infiltration den Brunnen 2. Währenddessen wurde kurzzeitig auf Brunnen 2 geschaltet, um eine Probe zu entnehmen. Es wird vermutet, dass der niedrige Messwert daraus resultiert, dass frisch infiltriertes Wasser gemessen wurde.

Außerhalb der Notbetriebe scheint es eine Korrelation zwischen der Höhe des Eisengehaltes und der Zeitspanne zwischen Infiltrationsende und Beginn der erneuten Förderung aus dem jeweiligen Brunnen sowie der Fördermenge zu geben. Am 24.11.2020 konnte um 13:55 Uhr, trotz der hohen eingestellten Fördermenge von 100 m<sup>3</sup>, im Wasser aus Brunnen 1 ein Eisengehalt von nur 0,776 mg/l gemessen werden. Dabei verging lediglich ein halber Tag zwischen Infiltrationsende und Probennahme und darüber hinaus wurde erst kurz vorher, um 13:07 Uhr, auf diesen Brunnen umgeschaltet. Das Gegenbeispiel ist der am Dienstag, den 14.04.2020 um 11:18 Uhr gemessene Eisengehalt in Höhe von 2,05 mg/l. Hier waren eine Förder- und Infiltrationsmenge von nur 50 zu 25 m<sup>3</sup> eingestellt. Die letzte Infiltration war am Ostersonntag, dem 12.04.2020 um 13:48 Uhr beendet, am Ostermontag, dem 13.04.2020 wurde aufgrund des Feiertags kein Wasser gefördert. Am darauffolgenden Dienstag wurde um 07:55 Uhr auf Brunnen 1 umgeschaltet, d. h. die letzte Infiltration war fast zwei Tage her und zum Zeitpunkt der Probenahme wurde bereits seit über drei Stunden gefördert. Je mehr Zeit also zwischen Infiltrationsende und Beginn der erneuten Förderung aus dem jeweiligen Brunnen verging und je weiter die Fördermenge aus diesem Brunnen fortschritt, desto höher stieg der Eisengehalt.

Am Dienstag, den 08.12.2020 wurde um 7:45 Uhr wieder ein erhöhter Eisenwert von 2,25 mg/l in Brunnen 1 gemessen. Bei einer Förder- und Infiltrationsmenge von 100 zu 50 m<sup>3</sup> waren seit seiner Infiltration am vorherigen Samstag 70 Stunden vergangen. Seit der Umschaltung an dem

vorhergehenden Montag 9 Uhr sind bis zur Probenahme fast 23 Stunden vergangen. Am 22.12.2020 war der Eisenwert wieder etwas geringer, er betrug 1,79 mg/l. Einige Tage vorher wurde die Förder- und Infiltrationsmenge wieder auf 80 zu 40 m<sup>3</sup> gesenkt.

Es können jedoch nicht alle erhöhten Werten dadurch erklärt werden. So wurden am 16.07.2020 und am 28.07.2020 Eisengehalte von 1,42 mg/l und 1,43 mg/l gemessen, die Gründe dafür können jedoch nicht rekonstruiert werden.

Die Durchschnittswerte für den pH-Wert sowie der Eisen- und Mangangehalte sind für die Zeit vor der Inbetriebnahme mit Stichtag 19.12.2019 und für die Zeit danach während der ersten Betriebsphase als Mittelwerte in Tabelle 4 gegenübergestellt.

Tabelle 4: Mittelwerte von pH-Wert sowie Eisen- und Mangangehalt vor und während erster Betriebsphase (eigene Darstellung)

Brunnen	pH-Wert	Mangan vor IBN [mg/l]	Mangan nach IBN [mg/l]	Abweichung [%]	Eisen vor IBN [mg/l]	Eisen nach IBN [mg/l]	Abweichung [%]
B 1	6,34	0,22	0,27	25	2,34	1,54	-34
B 2	6,24	0,18	0,21	16	2,06	0,45	-78
∅	6,29	0,20	0,24	21	2,20	0,99	-55

So konnte der Eisengehalt seit Inbetriebnahme in Brunnen 1 von 2,34 mg/l um 34 % auf 1,54 mg/l und in Brunnen 2 von 2,06 mg/l um 78 % auf 0,45 mg/l gesenkt werden. Im Gesamtdurchschnitt ist der Eisengehalt um 55 % gesunken.

Mangan hingegen hat sich sogar erhöht. Im Brunnen 1 um 25 und im Brunnen 2 um 16 %. Eine biologische Oxidation des Mangans findet bei pH-Werten knapp unter 6 praktisch nicht statt. Die Zunahme könnte mit einer allgemeinen natürlichen Schwankung zusammenhängen und ist nicht auf die Wirkung des eingebrachten Sauerstoffes zurückzuführen.

### 3.4.2 Regenerations- und Sanierungsmaßnahmen am Brunnen 2

Mitte 2020 nahm die spezifische Leistung von Brunnen 2 ab. Sie fiel von durchschnittlich 3,5 auf nur noch 2 m<sup>3</sup>/h/m. Das entspricht eine Reduktion um fast 43 %. Die Pumpe zog Luft und das System musste abgeschaltet werden. Daraufhin entschloss man sich zunächst zur Regenerierung durch das Hydropulsverfahren der Fa. TLM Hydropuls GmbH. Wie im Abschnitt 2.4.1.4 dargestellt wurde, vermögen die Druckwellenimpulsverfahren von allen

miteinander verglichenen Verfahren die stärksten Initialschwingungen zu erzeugen. Zum Einsatz kam der Impulsgenerator des Typs GID35P wie in Abbildung 27 dargestellt.



Abbildung 27: Impulsgenerator GID35P  
(Fa. TLM Hydropuls,  
2014)

Das umliegende schwarze Gebilde dient der Zentrierung im Rohr. Nach Herstellerangaben soll dabei ein Energieeintrag an der Rohrwandung von bis 5 KJ erzeugt werden bei einem Wirkungsbereich von 5 m in die umliegende Bodenformation. Das darf bezweifelt werden. Nach dem Forschungsbericht des Dresdener Grundwasserforschungszentrums von 2003 erzielten die dort getesteten Geräte bei einer Frequenz von 200 bzw. 100 Hz einen Energieeintrag von 0,3 bzw.  $3,7 \cdot 10^{-6}$  J/kg. Ein Nachweis über die Wirkung konnte bis wenige Dezimeter in die umgebende Bodenformation erbracht werden. Gleichzeitig ist es notwendig das gelockerte Material durch eine Strömung auch auszutragen und zu Tage zu fördern.

Zuerst wurde die 16 cm hohe Auflandung im Sumpf mittels Airlift ausgetragen. Dieses Gerät arbeitet nach dem Luftheberprinzip. Das anschließende Hydropulsverfahren wurde mit 20-40 bar angewendet unter gleichzeitigem Austrag der gelösten Ablagerungen, ebenfalls mittels Airlift. Dabei wurden 50 l Stickstoff eingeblasen. Danach erfolgte eine nochmalige Reinigung des Sumpfes und schließlich ein gut anderthalb-stündiges Klarpumpen mit 8 m<sup>3</sup>/h. Es darf auch hier bezweifelt werden, dass der Ringraum ausreichend durchspült wurde und die Strömungsgeschwindigkeit durch das bloße Nachfließen des Grundwassers in den Rohrraum ausreicht genügend hohe Schleppkräfte zu generieren, durch die gelockertes Material mit- und abgeführt werden kann.

Laut Protokoll betrug der neue Grundwasserstand 6,93 m unter GOK. Die zwei am Ende durchgeführten Pumptestes mit einer Dauer von 30 und 100 Minuten ergaben bei einer Förderrate von 8,00 m<sup>3</sup>/h eine Leistung von 5,77 und 5,63 m<sup>3</sup>/h/m. Die Brunnenleistung konnte demnach von 2,01 auf durchschnittlich 5,70 m<sup>3</sup>/h/m angehoben werden. Das entspricht wieder

dem Ursprungswert von 2011 (Fa. TLM Hydropuls, 2020). Das Protokoll befindet sich im Anhang 7.

Dieser Erfolg hielt jedoch nicht lange an. Nach wenigen Monaten brach die Leistung erwartungsgemäß erneut ein woraufhin die Fermanox-Anlage abgeschaltet und die Brunnen ohne Aufbereitung betrieben wurden. Nach (Paul, 2007, p. 61) konnten gute Erfolge mit Druckwellen-Impulsverfahren in Kombination mit einer anschließenden chemischen Regenerierung mit Mehrkammer-Spülgeräten, wie dem Kieswäscher, gemacht werden. Dies hätte wohl auch hier einen nachhaltigeren Erfolg erzielen können.

Vom Februar 2021 bis Mitte Juni 2022 war die Fermanox-Anlage abgeschaltet. Die alten Probleme der oberirdischen Eisenausfällungen traten wieder auf. Im April 2022 wurde nun eine Sanierungsmaßnahme durchgeführt. Das Problem bestand nicht in schadhaftem Rohrausbau oder mangelnder Ringraumabdichtung. Es schien vielmehr so zu sein, dass es zu einer drastischen Abnahme der hydraulischen Durchlässigkeit gekommen war, weil die Verockerungen in die umliegende Bodenformation hineingewachsen waren. Es war demnach davon auszugehen, dass eine Teilsanierung nicht ausreicht. Der Brunnen wurde, wie in Abschnitt 2.4.2.4 erläutert, komplett saniert. Dabei wurde die gesamte alte Rohrtour durch Zerbohren zerstört, stückchenweise zu Tage gefördert und die Kiesschüttung inklusive Tonsperren und Aufschüttung aus dem Ringraum entfernt. Danach wurde der Durchmesser der Bohrlochwandung von 329 auf 419 mm erweitert. Der Durchmesser der neuen Rohrtour wurde bei 200 mm belassen, damit ergibt sich eine neue Ringraumstärke von 10,95 cm im Vergleich zu vorher 6,45 cm. In Abbildung 28 ist der neue Ausbau des in SB 1/22 umbenannten Brunnens dargestellt.

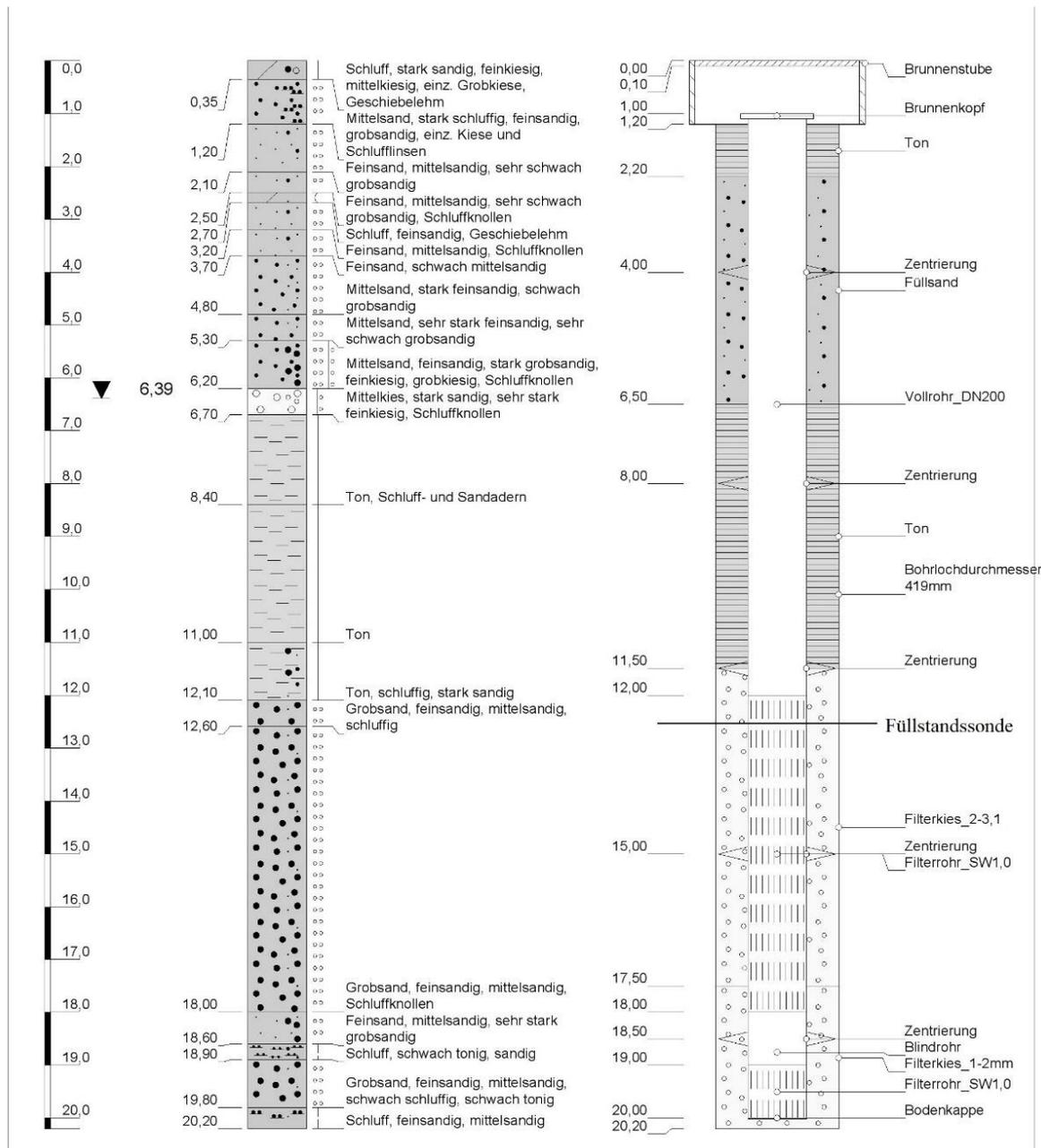


Abbildung 28: Bodenprofil und Brunnenausbauschema SB 1/22 (Fa. Thiele Brunnenbau, 2022)

Wie hier zu sehen ist wurde die Filterrohrstrecke um 1 m zusätzlich, von 19-20 m, erweitert. Dort befindet sich Grobsand. Um den Durchtrittswiderstand für das Wasser in den Rohrraum zu verringern wurde die Schlitzweite von 0,75 auf 1,0 mm erweitert, der Ringraumbereich um den obere 6 m langen Filterrohrabschnitt wurde mit größerem Kies von vorher 0,7-1,2 mm auf 2-3,1 mm aufgefüllt. Der um das neue 1 m lange Filterrohr erweiterte Ringraumbereich wurde mit Kies der Körnung 1-2 mm ausgefüllt. Die Pumpe wurde weiter abgesenkt, sodass sich der etwa 65 cm lange Motor im Bereich des zweiten Filterrohrabschnittes befindet und durch einströmendes Wasser genügend gekühlt wird. Der obere etwa 90 cm lange Hydraulikteil, in

dem sich die Laufräder befinden, ragt in den Teil des Blindrohres über dem unteren 1 m langen Filterrohrabschnitt.

Entsandet wurde mit einem Airlift. Das Gerät ist in Abbildung 29 dargestellt.



Abbildung 29: Manschettenskolben (Fa. BSL Bauservice & Logistik GmbH, 2022, p. 4)

Inwiefern sich dieser Airlift von dem bei der Regeneration verwendeten Gerät unterscheidet, geht aus den vorliegenden Unterlagen nicht hervor. Die Firmen arbeiten mit selbst gebauten Geräten. Bei diesem grenzen die an der Rohrwandung anliegenden Manschetten den Wirkbereich nach oben und unten ab. Bei der Aufwärtsbewegung ist das oben eingebaute Ventil verschlossen und das untere geöffnet. Dabei wird ein Unterdruck in dem Drahtgeflecht erzeugt, durch den die gelösten Schmutzpartikel aus dem Ringraum in den Rohrraum befördert werden. Bei der Abwärtsbewegung wird dann das obere Ventil geöffnet und das untere geschlossen. Infolgedessen strömt das schmutzbeladene Wasser durch das Steigrohr nach oben, wird aus dem Untergrund ausgetragen und oberirdisch in einem Becken gesammelt. Der Schmutz kann sedimentieren und der Reinigungsfortschritt mittels Imhofftrichter alle 15 Minuten protokolliert werden.

Das Kolben mit dem Airlift hat sicher die Auflandung und die Verschmutzungen im Rohr beseitigt und vielleicht noch einen Austrag durch eine gewisse Sogwirkung aus einigen Zentimetern des angrenzenden Ringraumbereiches erzielt. Es wird aber keine Wirkung bis in

die anstehende Bodenformation gegeben haben. Die anschließenden Pumpversuche ergaben nun nur noch eine Leistung von  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  bei einer Absenkung auf etwa  $10,5 \text{ m}$  wie bei der damaligen Errichtung. In Anhang 3 befindet sich das Protokoll zum Pumpversuch.

### 3.4.3 Arbeitsweise zweite Betriebsphase

Die zweite Betriebsphase beginnt nach der Sanierung von Brunnen 2 mit der Wiederinbetriebnahme der Fermanox-Anlage und damit einhergehenden Wiederaufnahme der Infiltration ab 15.06.2022 und dauert bis zur Zeit der Erstellung dieser Arbeit an. Der Zeitraum ist graphisch in Abbildung 30 dargestellt.

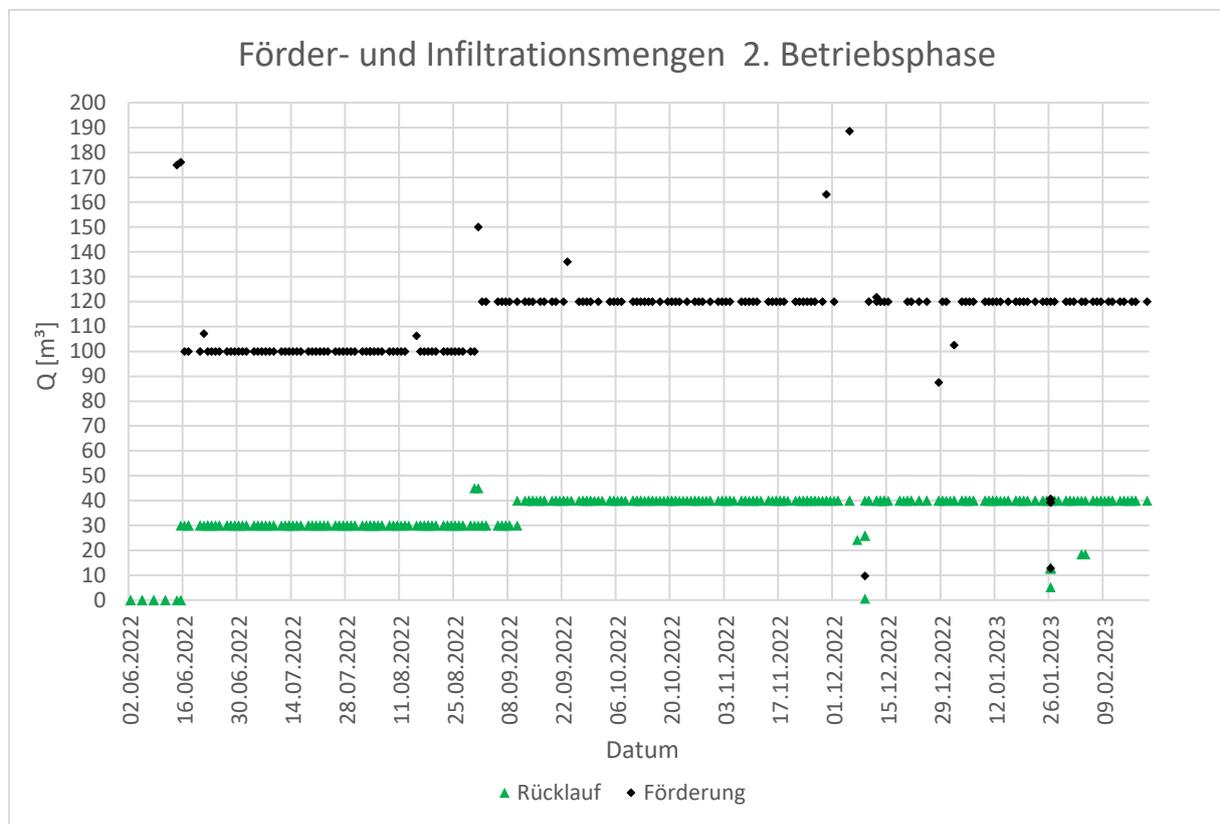


Abbildung 30: Förder- und Infiltrationsmengen zweite Betriebsphase (Fa. Winkelkemper GmbH, 2023)

Im Vergleich zur ersten Betriebsphase ist diese von wesentlich mehr Kontinuität gekennzeichnet. Es gab auch lediglich einen Notbetrieb. Dieser dauerte nur 2 Tage vom 07.12.2022 bis 09.12.2022 und wird daher nicht separat dargestellt. Dabei wurde Brunnen 2 deaktiviert und die Infiltration ausgesetzt, um das Druckminderungsventil am Zulauf zum Behälter zu reinigen, da dieses durch Verockerungen verstopft war. Bis zum 10.09.2022 wurde mit einer Förder- und Infiltrationsmenge von  $100$  zu  $30 \text{ m}^3$  gearbeitet. Danach wurde die

Infiltrationsmenge auf 40 m<sup>3</sup> erhöht und damit das Verhältnis von 3,3 auf 3 abgesenkt. Der Verlauf der Eisen- und Mangangehalte für den sanierten Brunnen SB 1/22 ist in Abbildung 31 dargestellt.

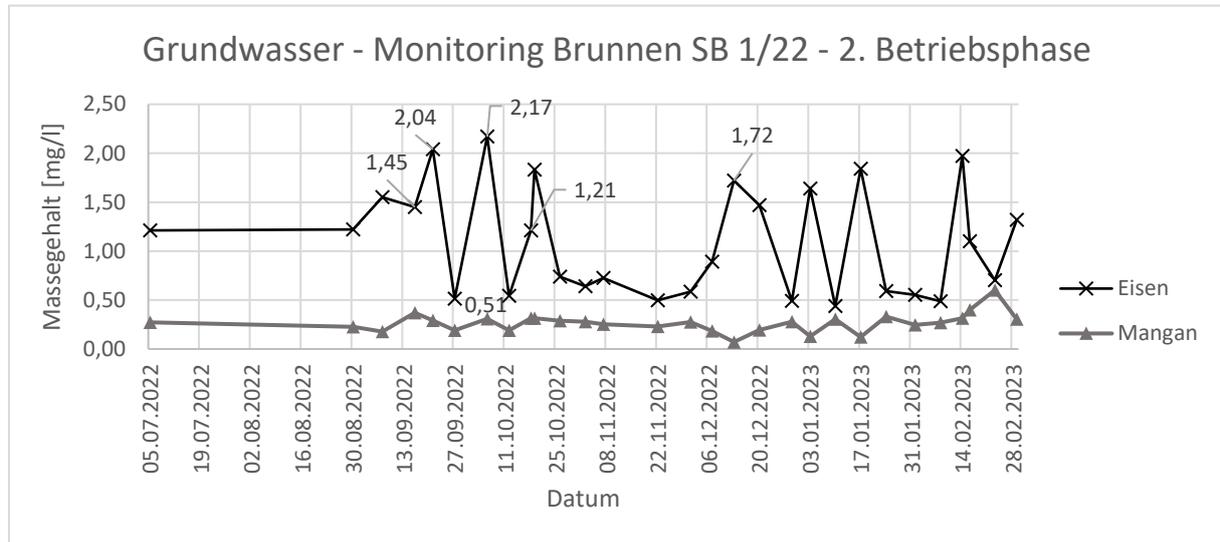


Abbildung 31: Ermittelte Eisen- und Mangangehalte von SB 1/22 in der zweiten Betriebsphase (eigene Darstellung)

Es sind zwei Eisengehalte über 2 mg/l erkennbar. Am 16.09.2022 wurde um 13:30 Uhr ein Eisengehalt von 1,45 mg/l gemessen. Es ist wieder das ursprüngliche Muster zu erkennen. Stichprobenartig wird die Höhe einiger Messwerte in Bezug zur vergangenen Zeit seit Umschaltung und vorangegangener Infiltration hergestellt.

Die Umschaltung auf die Pumpe P2 in diesem Brunnen erfolgte nach dem Ereignisspeicher um kurz nach 6 Uhr. Bis zur Probenahme sind knapp 7,5 Stunden seit der Umschaltung vergangen und die Infiltration ist 32,4 Stunden her. Der darauffolgende Messwert in Höhe von 0,512 mg/l wurde am 27.09.2022 um 11 Uhr ermittelt, nur wenige Minuten nach der Umschaltung auf P2. Die Infiltration war etwa elf Stunden her. Der nächste höhere Eisengehalt von 1,21 mg/l wurde an einem Dienstag, dem 18.10.2022 um 9:30 Uhr gemessen, die Umschaltung auf P2 war etwa 4,5 Stunden vorher, die Infiltration war am Sonntag, nachts um 0:17 Uhr, beendet. Damit sind bis zur Probenahme fast zweieinhalb Tage vergangen. Am 13.12.2022 um 13 Uhr wurden 1,72 mg/l gemessen, das Infiltrationsende und die Umschaltung ereigneten sich 16 Stunden vorher. In der vorhergehenden Woche wurde, in Zusammenhang mit dem bis Freitag 7:29 Uhr andauernden Notbetriebsmodus, nur aus Brunnen 1 gefördert und infolge des verstopften Druckventils dauerte die Infiltration in Brunnen 2 unverhältnismäßig lange. Zur Sauerstoffsättigung des Wassers ist ein Mindestdruck von 2,2 bar notwendig. Demnach ist anzunehmen, dass die damit durchgeführte Infiltration weniger Sauerstoff in den Aquifer

eingbracht hat als sonst. Der sich in der ersten Betriebsphase abzeichnende Trend setzt sich hier fort.

Es folgt die Darstellung des Verlaufs der gemessenen Eisen- und Mangangehalte in Brunnen 1 während der zweiten Betriebsphase in Abbildung 32.

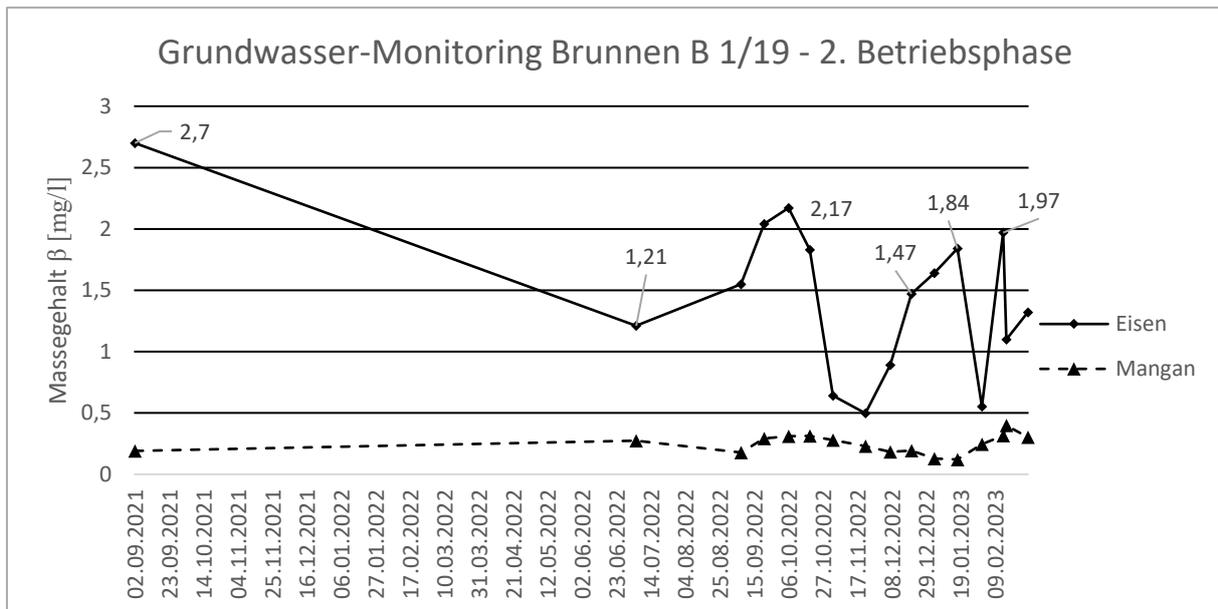


Abbildung 32: Ermittelte Eisen- und Mangangehalte von B 1/21 in der zweiten Betriebsphase (eigene Darstellung)

Der erste Wert in Höhe von 2,7 mg/l für Eisen stammt vom 02.09.2021. Er wurde von einem externen Labor, Limbach Analytics GmbH in Leipzig, im Rahmen der Auflagen von der unteren Wasserbehörde, ermittelt (Limbach Analytics, 2021). Es ist wieder zu sehen, dass ohne die Fermanox-Anlage Eisen auf das Ursprungsniveau angestiegen ist. Der Wert für Mangan beträgt durchschnittlich 0,19 mg/l, egal ob mit oder ohne Wasseraufbereitung. Es ist zu erkennen, dass seit der Wiederinbetriebnahme der Eisenwert insgesamt wieder gefallen ist, gleichwohl wieder einhergehend mit erheblichen Schwankungen wie in der ersten Betriebsphase. Während bei Brunnen 2 von 14 Messwerten nur 3 über 1 mg/l liegen, sind es bei Brunnen 1 11 von 15 Messwerten. Die Analyse der Messzeitpunkte von den folgenden Werten zeigt wieder dieselbe Korrelation zwischen der Höhe des Eisengehaltes und dem zeitlichen Abstand zur letzten Infiltration wie auch zur bereits geförderten Menge. Es scheint paradox, dass gerade der Brunnen, den man aufgrund seiner Leistungsminderung nicht mehr betreiben will, die besseren Werte liefert.

Insgesamt ist der pH-Wert nach der Sanierung geringer geworden. Er sank von 6,24 vor der Sanierung auf 6,02 nach der Sanierung. Das kann auf eine allgemeine Veränderung, bzw.

Verschlechterung im Sinne der Enteisung, des Grundwasserleiters hindeuten. Denkbar ist auch, dass bei der Durchbohrung der 30 cm dicken Tonschicht, zwischen 18,60 und 18,90 m unter GOK, im Zuge der Sanierung, bei diesem um einen zweiten Stauer handelt und die darunterliegende Erdschicht bereits zum zweiten Grundwasserleiter gehört. Bei Brunnen 1 war dies bereits bei der Errichtung der Fall. Er ist bis in eine Tiefe von 19 m unter GOK verfiltrert. Die Tonschicht hier ist ebenfalls 30 cm stark und erstreckt sich zwischen 18,20 und 18,50 m unter GOK. Auch die Tatsache, dass diese Schicht bei beiden in vergleichbarer Tiefe vorhanden ist, spricht dagegen, dass es sich nur um eine Tonknolle handelte.

Die Durchschnittswerte für den pH -Wert sowie der Eisen- und Mangangehalte sind für die Zeit vor der Sanierung und für die Zeit danach während der zweiten Betriebsphase als Mittelwerte in Tabelle 5 gegenübergestellt.

Tabelle 5: Mittelwerte von pH-Wert sowie Eisen- und Mangangehalt vor und nach Sanierung (eigene Darstellung)

Brunnen	pH-Wert	Mangan vor Sanierung [mg/l]	Mangan nach Sanierung [mg/l]	Abweichung [%]	Eisen vor Sanierung [mg/l]	Eisen nach Sanierung [mg/l]	Abweichung [%]
B 1	6,02	0,27	0,25	-8,2	1,54	1,38	-10,3
B 2	6,04	0,21	0,28	31,4	0,45	0,82	81,7
∅	6,03	0,24	0,26	11,6	0,99	1,10	10,5

Der Eisengehalt ist von durchschnittlich 0,99 mg/l während der ersten Betriebsphase um 10,5 % auf 1,10 mg/l angestiegen. Das hängt vermutlich mit dem höheren Förder-/ Infiltrationsverhältnis zusammen. In der ersten Betriebsphase betrug dieses 2, vor der Sanierung 3,3 und dann 2,5 nach der Sanierung. Das ist aber aufgrund der gefundenen Korrelation insgesamt auch wenig aussagekräftig, da bei den Probenahmen nicht die zugehörigen Fördermengen festgehalten wurden.

## 4 Material und Methoden

Das vorrangige Ziel der Untersuchungen besteht zunächst in der Inbetriebsetzung eines bereits angelegten, aber noch nicht ausreichend modifizierten Grundwassermonitorings zur Dokumentation betriebsrelevanter Parameter. Für dieses Monitoring wird eine Logo Steuerung in Verbindung mit Füllstandssonden eingesetzt. Sie stellt die einfachste Form einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) dar und dient als Datenlogger. Die Umsetzung dessen gehört zur Erfüllung der durch die untere Wasserbehörde erteilten Auflagen, um die Anlage in der Trinkwasserschutzzone III A betreiben zu dürfen. Zu den aufgezeichneten Daten gehören neben den Füllständen die Förder- und Infiltrationsmengen, die Volumenströme sowie die Betriebszeiten der Pumpen. Auf Grundlage der Analyse des bisherigen Betriebszustandes der Fermanox-Wasseraufbereitungsanlage können mögliche Ursachen, für die nicht ausreichende Funktionalität der Anlage, identifiziert werden. Durch regelmäßige Bestimmung der Eisenkonzentrationen beider Brunnenwässer kann der Erfolg durchgeführter Maßnahmen beurteilt werden. Ferner soll die spezifische Förderleistung durch Ermittlung der Korrelation zwischen Förderleistung und Absenkung des Wasserstandes unter GOK berechnet werden. Diese lässt sich dann mit der spezifischen Förderleistung zum Zeitpunkt der Pumpversuche vergleichen. Dieser Vergleich soll als Indikator für den eventuellen wieder eingetretenen Leistungsverlust dienen und zur Entscheidungsfindung, ob ein neu anzulegender Brunnen unvermeidlich ist.

### 4.1 Grundwasser-Monitoring

Die Füllstände und deren Absinken bei der Förderung sind wichtig zur Bestimmung der spezifischen Leistung der Brunnen und für die Gewährleistung der Wasserversorgung essentiell. Veränderungen dieser Parameter können durch natürliche Grundwasserschwankungen oder zunehmende Brunnenalterung durch Verockerungen hervorgerufen werden. Ohne deren Kenntnis besteht die Gefahr, dass die Unterwasserpumpen bei zu starker Absenkung der Füllstände Luft ansaugen und dadurch irreparabel beschädigt werden. Für deren Messung werden zwei Füllstandssonden vom Modell Waterpilot FMX21 der Fa. Endress & Hauser eingesetzt. Sie sind mit einer Keramikmesszelle ausgestattet, welche an Elektroden angeschlossen ist. Das Wirkprinzip beruht darauf, dass es durch den einwirkenden Druck zu es zu deren Verformung und infolgedessen zu einer Kapazitätsänderung kommt. Diese ist proportional zur Druckänderung, wird von der Elektronik in ein elektrisches

Messsignal umgewandelt, von der SPS registriert, verarbeitet und im Display angezeigt. Über einen in das Kabel eingearbeiteten Luftschauch wird der atmosphärische Referenzdruck gemessen (Vgl. Fa. Endress & Hauser AG, o. D., p. 9). Nach der allgemeinen Gleichung für den hydrostatischen Druck

$$p_{hyd} = \rho \cdot g \cdot h \quad (7)$$

Indizes: hyd - hydraulisch

ergibt sich durch Umstellung nach  $h$  die Höhe der darüberstehenden Wassersäule. Die Sonde arbeitet mit einem Gleichstrom im Messbereich von 4 bis 20 mA. Das heißt ohne Wasserkontakt liegen 4 mA zu deren Stromversorgung an. Je höher der Wasserdruck steigt, desto größer wird der Stromfluss bis hin zu 20 mA bei 1.000 mbar Wasserdruck. Demnach können diese einen Füllstand von maximal 10 m messen. Am Display der Logo Steuerung wird die Wassertiefe auf den Zentimeter genau angegeben. Die Steuerung hielt bisher die Umschaltvorgänge ungünstig fest, sodass Parameter wie das Infiltrationsende nicht herausgelesen werden konnten. Zu Beginn der Arbeit lagen zwei Datensätze vor, einer vom 17.08.2022 bis 29.09.2022 und einer vom 13.12.2022 bis 20.01.2023. Sie sind in Anhang 10 beigelegt.

Es war zuerst unklar in welcher Tiefe die Sonden platziert waren. Mit deren Kenntnis kann der Wasserstand ermittelt werden.

Diese ergaben jedoch in den dokumentierten Daten unsinnige Werte mit Sprüngen der Wasserstände bis auf 1,64 m unter GOK. Es sind auch Zeitabstände zwischen den einzelnen Stempeln von 26 bis 72 Stunden zu sehen. Ein Vergleich der öffentlich zugänglichen Grundwasserstände umliegender Messstellen aus der Datenbank des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie ergab, dass über Jahre betrachtet natürliche Schwankungen im Grundwasserspiegel von mehreren Metern auftreten. Die hier aufgezeichneten Schwankungen beziehen sich aber auf nur einige Stunden bis Tage. So lag die Vermutung nahe, dass sich die Sonden über der Wassersäule befinden und diese scheinbaren Grundwasserstandsschwankungen durch Druckschwankungen entstehen, wenn das nachfließende Grundwasser gegen diese strömt bzw. auch durch das von oben einfließende Infiltrationswasser. Es konnte bei der Beobachtung des Displays direkt vor Ort nachvollzogen werden, dass die Werte unverhältnismäßig augenblickliche Sprünge um einige Meter vollzogen. In Abbildung 33 ist ein Ausschnitt des Zeitraumes vom 13.12.2022 bis 20.01.2023 dargestellt.

$\Delta t$ [h]	Time (Sommerzeit)	Res	on	P1	P2	R1	R2	Q Werk	Q Ferm	Q_i_B 2 [m <sup>3</sup> ]	Q_f_B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q_i_B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q_f_B 1 [m <sup>3</sup> /h]	F1 [cm]	F2 [cm]
0,00	23.12.2022 10:01	0	1	1	0	0	0	0	0	1724,9	3276,7	1712,1	3276,7	-1180	-1179
0,00	23.12.2022 10:01	0	1	1	0	0	1	0	0	1724,9	3276,7	1712,1	3276,7	-1180	-1179
45,69	25.12.2022 07:42	0	1	1	0	0	0	0	0	1764,9	3276,7	1712,1	3276,7	-1312	-164
0,00	25.12.2022 07:42	0	1	0	0	0	0	0	0	1764,9	3276,7	1712,1	3276,7	-1312	-164
0,00	25.12.2022 07:42	0	1	0	0	1	0	0	0	1764,9	3276,7	1712,1	3276,7	-1311	-1106
0,00	25.12.2022 07:42	0	1	0	1	1	0	0	0	1764,9	3276,7	1712,1	3276,7	-1311	-1106
72,00	28.12.2022 07:43	0	1	0	1	0	0	0	1	1764,9	3276,7	1752,1	3276,7	-476	-1179
0,00	28.12.2022 07:43	0	1	0	0	0	0	0	1	1764,9	3276,7	1752,1	3276,7	-476	-1179
0,00	28.12.2022 07:43	0	1	0	0	0	1	0	1	1764,9	3276,7	1752,1	3276,7	-476	-1179
0,00	28.12.2022 07:43	0	1	1	0	0	1	0	1	1764,9	3276,7	1752,1	3276,7	-476	-1179
27,38	29.12.2022 11:05	0	1	1	0	0	0	0	0	1804,9	3276,7	1752,1	3276,7	-1314	-1210
0,00	29.12.2022 11:05	0	1	0	0	0	0	0	0	1804,9	3276,7	1752,1	3276,7	-1314	-1210
0,00	29.12.2022 11:05	0	1	0	1	1	0	0	0	1804,9	3276,7	1752,1	3276,7	-1314	-1210
26,08	30.12.2022 13:11	0	1	0	0	1	0	0	0	1804,9	3276,7	1792,1	3276,7	-1180	-1179
0,00	30.12.2022 13:11	0	1	0	0	0	0	0	0	1804,9	3276,7	1792,1	3276,7	-1180	-1179

Abbildung 33: Ausschnitt Datenlogger 23.12.2022 - 30.12.2022 (Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2023)

Indizes: i – Infiltration

f – Förderung

F - Füllstand

Am 25.12.2022 um 07:42 Uhr wird ein falscher Füllstand von 1,64 m unter GOK gemessen. In den Spalten Q\_i\_B 2 und Q\_i\_B 1 stehen die Zählerstände für die Infiltration in den jeweiligen Brunnen. Die Abstände betragen 40 m<sup>3</sup> und entsprechen damit der damaligen Einstellung. In den Spalten jeweils rechts daneben sind die Zählerstände der Förderung zu sehen, sie erhöhen sich nicht, die Zählung funktionierte nicht.

Die Sonden wurden zur Untersuchung aus den Brunnen gezogen und durch die an den Kabeln im Abstand von 1 Meter angebrachten Markierungen die Tiefe ermittelt. Die Sonde von B 2 hing auf etwa 10,50 m unter GOK, die von B 1 auf etwa 12,75 m. Bei dieser Gelegenheit wurden sie in einem über 30 cm hohen mit Wasser gefülltem Eimer getestet. Es stellte sich heraus, dass Sonde 2 defekt war.

Der Grundwasserstand kann als Entfernung von dessen Wasser- zur Erdoberfläche positiv oder negativ ausgedrückt werden. Das Hochziehen einer Sonde simuliert infolge des abnehmenden Wasserdruckes einen sinkenden Wasserstand. Ein positiver Anzeigewert des Grundwasserstandes müsste demnach zunehmen, ein negativer abnehmen. Anfangs gab es viele Unklarheiten beim Grundwassermonitoring, v. a. in Bezug auf die Füllstände. Beim Hochziehen einer Sonde aus einem der Brunnen nahm ein negativer Anzeigewert in Richtung Null, bis zum Durchstoßen der Wasseroberfläche, zu. Danach wurde ein konstanter Wert angezeigt, der *Offset*. Bei Sonde 1 betrug dieser Wert an der Atmosphäre -12,50 m. Da der beim Hochziehen der Sonde abnehmende hydrostatische Wasserdruck einer Abnahme des Wasserstandes entspricht, hätte der Wert demzufolge ab- und nicht zunehmen müssen. Der *Offset* war falsch eingestellt. Um hier Gewissheit zu erlangen, wurde dieser schließlich entfernt.

Ein Abtauchen der Sonde ins Wasser bewirkte nun ein Ansteigen der negativen Werte Richtung Null.

Time	Q <sub>f_B 1</sub> [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f_B 2</sub> [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>i_B 1</sub> [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>i_B 2</sub> [m <sup>3</sup> /h]	F1 [cm]	F2 [cm]
03.02.2023 15:59	0,0	13,8	0	0	566	-245
03.02.2023 16:09	0,0	10,8	0	0	569	-245
03.02.2023 16:19	0,0	12,0	0	0	569	-245
03.02.2023 16:29	0,0	13,8	0	0	564	-245
03.02.2023 16:39	0,0	13,2	0	0	563	-245
03.02.2023 16:49	0,0	9,0	0	0	570	-245
03.02.2023 16:59	0,0	10,2	0	0	570	-245
03.02.2023 17:09	0,0	9,6	0	0	573	-245
03.02.2023 17:19	0,0	8,4	0	0	575	-245
03.02.2023 17:29	0,0	10,2	0	0	573	-245
03.02.2023 17:39	0,0	4,2	0	0	583	-245
03.02.2023 17:49	0,0	0,0	0,0	0,0	593	-245
03.02.2023 17:59	0,0	0,0	0,0	0,0	596	-245
03.02.2023 18:09	0,0	0,0	0,0	0,0	599	-245
03.02.2023 18:19	0,0	0,0	0,0	0,0	600	-245
03.02.2023 18:29	0,0	0,0	0,0	0,0	-30	-245
03.02.2023 18:39	0,0	0,0	0,0	0,0	-30	-245
03.02.2023 18:49	0,0	0,0	0,0	0,0	604	-245
03.02.2023 18:59	0,0	0,0	0,0	0,0	604	-245
03.02.2023 19:09	0,0	0,0	0,0	0,0	604	-245
03.02.2023 19:19	0,0	0,0	0,0	0,0	605	-245
03.02.2023 19:29	0,0	0,0	0,0	0,0	606	-245

Abbildung 34: Ausschnitt Datenlogger 03.02.2023 - 08.02.2023 (Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2023)

Die Einstellung wurde so geändert, dass aller 10 Minuten ein Zeitstempel erfolgt. Diese Umstellung ermöglichte die Berechnung der Volumenströme. In dem Ausschnitt aus dem Datenlogger vom 03.02.2023 in Abbildung 34 ist gut zu erkennen, wie die Förderung aus B 2 den Füllstand von B 1 beeinflusst. Mit abnehmender Fördermenge gegen Betriebsende nimmt der Füllstand zu. Die Sonde war auf 12,50 m unter GOK platziert. Um 15:59 Uhr betrug der Füllstand in B 1  $-12,50 \text{ m} + 5,66 \text{ m} = -6,84 \text{ m}$  bei einer Förderrate aus B 2 von  $13,8 \text{ m}^3/\text{h}$ . Er steigt bis auf  $6,44 \text{ m}$  um 19:29 Uhr und bis in die Nacht hinein bis auf  $6,42 \text{ m}$ . Das heißt, durch die Beeinflussung gibt es im benachbarten Brunnen eine Absenkung um gut  $40 \text{ cm}$ . Der Grundwasserstand in B 1 liegt damit  $10 \text{ cm}$  höher als zum Zeitpunkt des Pumpversuches. Mit diesen Daten ist es auch möglich den Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  der Bodenmatrix zu berechnen, welcher eigentlich als Grundlage dienen sollte vor der Entscheidung zur Anlegung eines Brunnens, um die Ergiebigkeit abzuschätzen. Der konstante Wert in der letzten Spalte mit  $-245$  für F2 bedeutet, dass die Sonde nicht angeschlossen ist.

Da Sonde 2 defekt war, wurde Sonde 1 für die Messungen von B 1 in B 2 gesetzt. Hier konnte zunächst kein Grundwasserstand ermittelt werden, obwohl sie oberirdisch in dem Eimer mit Wasser funktionierte. Weitere Versuche wurden vorerst eingestellt. Um dennoch Klarheit über die Wasserstände zu erhalten, konnte im weiteren Verlauf, mit freundlicher Unterstützung der Fa. Brunnenbau Thiele, ein Kabellichtlot von dieser entliehen werden. Es ist in Abbildung 35 dargestellt.



Abbildung 35: Kabellichtlot (eigene Darstellung)

Das Messprinzip beruht auf der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers. In dem flachen Kabelband sind zwei stromführende Kupferlitzen eingearbeitet. An dessen Ende befindet sich eine Edelstahlsonde als Elektrode. Diese wird in den Brunnen heruntengelassen. Bei Wasserkontakt wird der Stromkreis geschlossen und ein summendes Geräusch ertönt. Über die auf dem Kabelband befindliche Bemaßung kann die Tiefe abgelesen werden. Zu Hersteller und Modellbezeichnung waren keine Angaben auf der Trommel vorhanden (Vgl. Fa. Hydrotechnik GmbH, 2023). Damit gelang schließlich erstmals eine Messung des Grundwasserstandes in B 2 sowie die Validierung des bereits mittels Füllstandssonde in B 1 Gemessenen.

Nach Lieferung und Installation einer neuen Sonde konnte am 23.03.2023 in B 2 ein Grundwasserstand von 6,26 m unter GOK im Datenlogger festgehalten werden. In Abbildung 36 ist ein Zusammenschnitt wichtiger Zeitstempel aus dem Datenlogger dargestellt.

$\Delta t$ [h]	Time	$\dot{Q}_f_{B1}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\dot{Q}_f_{B2}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\dot{Q}_i_{B1}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\dot{Q}_i_{B2}$ [m <sup>3</sup> /h]	B015.Ax	F2 [cm]
0,167	21.03.2023 20:20	0,0	0,0	3,6	0,0	-244	-29
0,167	21.03.2023 20:30	0,0	0,0	3,6	0,0	-244	-29
0,018	21.03.2023 20:31	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	-29
0,149	21.03.2023 20:40	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	-29
0,167	21.03.2023 20:50	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	-29
0,167	21.03.2023 21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	-29
0,167	23.03.2023 00:00	0,0	0,0	3,0	0,0	-244	-29
0,167	23.03.2023 00:10	0,0	0,0	3,6	0,0	-244	-29
0,070	23.03.2023 00:14	0,0	0,0	2,9	0,0	-244	-29
0,097	23.03.2023 00:20	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	669
0,167	23.03.2023 00:30	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	671
0,167	23.03.2023 00:40	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	671
0,167	23.03.2023 04:10	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	674
0,167	23.03.2023 04:20	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	674
0,167	23.03.2023 04:30	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	674
0,167	23.03.2023 04:40	0,0	0,6	0,0	0,0	-244	-29
0,167	23.03.2023 04:50	0,0	0,6	0,0	0,0	-244	-29
0,167	23.03.2023 05:00	0,0	0,6	0,0	0,0	-244	-29
0,166	23.03.2023 05:10	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	673
0,167	23.03.2023 05:20	0,0	0,0	0,0	0,0	-244	674
0,166	23.03.2023 05:30	0,0	1,2	0,0	0,0	-244	-29
0,167	23.03.2023 05:40	0,0	9,6	0,0	0,0	-244	-4
0,167	23.03.2023 05:50	0,0	15,0	0,0	0,0	-244	-4
0,167	23.03.2023 08:00	0,0	12,0	0,0	0,0	-244	-4
0,167	23.03.2023 08:10	0,0	12,6	0,0	0,0	-244	-4
0,167	23.03.2023 08:20	0,0	9,6	0,0	0,0	-244	-29
0,167	23.03.2023 08:30	0,0	4,8	0,0	0,0	-244	-29
0,167	23.03.2023 08:40	0,0	6,6	0,0	0,0	-244	-29

Abbildung 36: Ausschnitt Datenlogger 21.03.2023 - 24.03.2023 (Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2023)

So ist zu erkennen, dass in dem ausgerauten Bereich keinerlei Aktivität zu verzeichnen ist. In diesem Zeitraum, ohne jegliche Förder- oder Infiltrationsaktivität, ist die Wahrscheinlichkeit verwertbare Messergebnisse zu erhalten besonders groß. Um 0:20 Uhr war die Infiltration in B 1 abgeschlossen. Der Wert für den Füllstand F2 in der 1. Spalte von rechts verändert sich von -29 auf 669 mbar bzw. cm und steigt weiter an bis auf 674 cm. Die Sonde befindet sich auf 13 m unter GOK, demzufolge beträgt der Grundwasserstand  $-13,00 \text{ m} + 6,74 \text{ m} = -6,26 \text{ m}$ . Zum Zeitpunkt der Sanierung betrug er 6,39 m unter GOK. Weiterhin ist zu erkennen, dass mit einsetzender Förderung von 0,6 m<sup>3</sup>/h ab 4:40 Uhr die Messung nicht mehr dauerhaft korrekt funktioniert. Eine Anzeige von -29 bedeutet die Sonde hat Wasserkontakt, hängt sie frei über dem Wasserspiegel werden -4 angezeigt. Zumindest kann so eine Indikation in dieser Hinsicht erfolgen. Perspektivisch ist jedoch die Überwachung der Absenkung des Grundwasserstandes bei maximaler Förderung empfehlenswert, da davon auszugehen ist, dass sich die Leistung

weiter verschlechtert und die Pumpe irgendwann wieder Luft zieht. Die Grundwasserstände werden in Tabelle 6 festgehalten.

Tabelle 6: Grundwasserstände (eigene Darstellung)

B 1	B 2
[m unter GOK]	[m unter GOK]
6,42	6,26

Zu den Ursachen, warum die Füllstandsmessungen in B 2 nicht funktionieren, gibt es verschiedene Vermutungen. Die von der Unterwasserpumpe ausgehenden Vibrationen übertragen sich auf die Steigleitung. Bei Kontakt einer Sonde mit dieser stört möglicherweise die Messung, wenn die Pumpe ihre Drehzahl erhöht. Die von den Frequenzumrichtern ausgesendeten elektromagnetischen Wellen könnten ebenfalls einen Einfluss auf den im Kabel der Sonde fließenden schwachen Gleichstrom haben. Diese feinen 0,75 mm<sup>2</sup> starken Adern sind zwar mit einer Schutzhülle ummantelt, jedoch muss von diesem am Kabelende zum Anschluss ein Stückchen freigelegt werden. Dem entgegen steht die Tatsache, dass die ersten Messungen in B 1 unter den gleichen Bedingungen funktioniert haben. Insofern könnte auch der Kabelanschluss direkt in der Brunnenstube ursächlich für die Symptomatik sein. Nichtsdestotrotz befindet sich die Sonde nun in 13,0 m Tiefe und es lässt sich unterscheiden, ob sich der Grundwasserstand über oder unter diesem Niveau befindet.

## 4.2 Massebilanz

Um abzuschätzen ob der eingetragene Sauerstoff, rein stöchiometrisch betrachtet, ausreicht, um das vorhandene Eisen zu binden kann eine Massebilanz erstellt werden. Dazu wird zunächst die Masse an Eisen in 120 m<sup>3</sup> gefördertem unbehandeltem Grundwasser über Formel (2) berechnet.

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{m}{V} \\ m_{\text{Fe}} &= \beta \cdot V \\ &= 2,34 \text{ mg/l} \cdot 120.000 \text{ l} \\ m_{\text{Fe}} &= 280,8 \text{ g}\end{aligned}$$

Für die Oxidation von 1 g Eisen werden 0,14 g Sauerstoff benötigt.

$$m_{O_2} = 280,8 \text{ g}_{Fe} \cdot 0,14 \frac{\text{g}_{O_2}}{\text{g}_{Fe}}$$

$$m_{O_2} = 39,31 \text{ g}_{O_2}$$

Es wird überschlägig ein Sauerstoffgehalt von 10 mg/l im Infiltrationswasser mit 12-14 °C angenommen. Daraus ergibt sich ein benötigtes Volumen von

$$V = \frac{m}{\beta}$$
$$= \frac{39100 \text{ mg}}{10 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}$$

$$V_{\text{Inf}} = \underline{3,91 \text{ m}^3}$$

Tatsächlich wird demnach mit 40 m<sup>3</sup> etwa die zehnfache Menge infiltriert. Es ist anzunehmen, dass von dem eingebrachten Sauerstoff nicht jedes Molekül einen Adsorptionsplatz findet, an dem es dann mit dem vorhandenen Eisen reagieren kann.

Durch den Betrieb kam es zu einer signifikanten Reduktion des Eisengehaltes. Wie unter 2.2.1 erläutert, ist zur Ausfällung von Eisen und Mangan ein umso höheres Redoxpotential notwendig, je niedriger der pH-Wert ist. Trotz des niedrigen pH-Wertes sollten bei ordnungsgemäßer Funktionalität zumindest beim Eisen niedrigere Werte erreicht werden.

### 4.3 Wasseranalytik

Der analytische Prozess zur Messung der Eisengehalte besteht aus der Probennahme, deren Vorbereitung sowie der anschließenden Messung. Dabei werden der pH-Wert und die Wassertemperatur mit einer SenTix940 pH-Elektrode in Verbindung mit einem Multiparameter Taschenmessgerät Multiline Multi 3510 IDS der Fa. WTW gemessen. Sie ist mit einem Flüssigelektrolyt ausgestattet. Eine solche Elektrode stellt eine Einstabmesskette dar. Das bedeutet, dass Mess- und Referenzelektrode in einem Bauteil vereint sind. Mit der passenden Elektrode ist dieses Gerät auch in der Lage den Sauerstoffgehalt zu messen. Die Messung der Temperatur erfolgt gleichzeitig mit der pH-Wert-Messung. Da dieser geringfügig, infolge der höheren Aktivität der Ionen, auch von der Temperatur abhängig ist, erfolgt der Abgleich auf Standardbedingungen automatisch durch das Gerät.

Die Eisengehalte werden photometrisch mit einem Spektralphotometer vom Modell DR3900 der Fa. Hach in Verbindung mit Testküvetten ermittelt.

#### 4.3.1 Photometrie

Die Photometrie (altgr. φῶς phos ‚Licht‘ und μετρεῖν metrein ‚messen‘) ist ein Messverfahren im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes mit Hilfe eines Photometers. Es gibt Ein- und Zweistrahlphotometer. Bei Letzterem wird durch Teilung des Strahlenganges die gleichzeitige Messung von Probelösung und Blindprobe ermöglicht. Das DR3900 ist ein Einstrahlphotometer, dabei ist der Blindwert separat zu ermitteln.

Die Probennahme erfolgt direkt im Fermanox-Häuschen über einen Wasserhahn. Die etwa 1 Liter fassende Probeflasche wird vor Abfüllung der eigentlichen Wasserprobe dreimal mit dem geförderten Wasser gespült. Die Messung erfolgt unmittelbar im Anschluss. Der Eisen Küvetten-Test LCK 321 der Fa. Hach ist für einen Gesamteisengehalt im Messbereich von 0,2-6,0 mg/l geeignet und kam auch beim bisherigen firmeninternen Monitoring zum Einsatz. Diese bis zum Untersuchungsbeginn erhobenen Werte sind in Anhang 4 einsehbar. Bis dahin wurden abwechselnd einmal pro Woche die Wasserparameter des Grundwassers aus B 1, dann B 2, in der dritten Woche die Abwasseranlage und schließlich wieder B 1 gemessen. In der Historie stehen somit die Messwerte beider Brunnen im Abstand von drei Wochen zur Verfügung. Bei der Zugabe des Probenwassers in die Testküvette reagiert das Eisen(II) mit dem Indikator 1,10-Phenantrolin zu einem orangeroten Komplex. Als Derivat des Phenanthrens ist es ein polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff (PAK). Der Ligand ist zweizählig und kann damit Eisen(II) binden. Zusätzlich enthaltene Ascorbinsäure reduziert vorhandenes Eisen(III)- zu Eisen(II)-Ionen, sodass dieses ebenfalls komplexiert und miterfasst werden kann. Die Messung erfolgt mit einer Wellenlänge von 510 nm. Nach dem Einsetzen einer Küvette erkennt das Gerät den zu messenden Parameter automatisch über einen aufgedruckten Barcode.

Die selektive Bestimmung von Eisen(II) wurde mit einem Satz Pulverkissen durchgeführt, welche nur Phenantrolin ohne Reduktionsmittel enthielten. Dazu wurde eine gesonderte 25 ml Testküvette mit Probewasser befüllt und die fertige Portion des Pulvers zugegeben. Nach nur 3 Minuten konnte der Inhalt in eine Rechteckküvette umgefüllt und der Eisen(II)-Gehalt, nach einer vorherigen Messung des Nullwertes, ermittelt werden.

### 4.3.2 Durchführung

Während eines Förderzyklus wurden in annähernd regelmäßigen Abständen Proben entnommen und auf den Gesamt- sowie Eisen(II)-Gehalt untersucht. Die ersten Messungen wurden mit dem LCK 321 durchgeführt, welcher den Gesamteisengehalt erfasst. Um Eisen(II) und Eisen(III) unterscheiden zu können, wurden die Proben im Verlauf der Messungen filtriert und das Filtrat mit dem Gesamteisentest LCK 321 getestet. Zusätzlich diente der selektiv Eisen(II) messende Test LCW 255 der Kontrolle, wie effektiv das Probewasser durch Filtration von Eisen(III) befreit werden konnte.

Zur Filtration wurde eine 3 ml fassende Spritze mit dem Probewasser aufgezogen, auf der Seite des weiblichen Luer-Lock-Anschlusses des Vorsatzfilter angebracht und das Wasservolumen durch diesen hindurchgedrückt. Das Filterpapier ist in den Spritzenvorsatzfiltern der Fa. Labbsolute mit einem Außendurchmesser von 33 mm sicher fixiert, sodass ein Umfließen der Membran verhindert wird. Eine Porengröße von 0,45 µm erwies sich als gut handhabbar. Nach jeder Verwendung wurde die Spritze auf der gegenüberliegenden Seite am männlichen Luer-Lock-Anschlusses arretiert und das Spritzenvolumen fünfmal mit Leitungswasser rückgespült. Anschließend wurde dreimal mit dem Probewasser in normaler Filtrierrichtung gespült, um sicher zu gehen, dass keine Leitungswasserreste im Totvolumen die anschließende Messung verfälschen. Es zeigte sich, dass die Filtration nicht das komplette Eisen(III) entfernt. Durch zusätzliche Messung mit dem LCW255 konnte somit die Validität und Reliabilität der Messwerte erhöht werden.

#### 4.3.2.1 Förder- und Infiltrationsmenge 120 m<sup>3</sup> zu 40 m<sup>3</sup>

Es folgen beispielhaft die graphischen Darstellungen einiger Messreihen, die noch ohne Differenzierung zwischen Eisen(II) und Eisen(III) durchgeführt wurden. Das Datum in den Messreihen bezieht sich auf den Tag an dem auf die Pumpe im jeweiligen Brunnen umgeschaltet wurde. Die Förderung dauert, bei 120 m<sup>3</sup> Fördermenge, bis zum nächsten Tag an, bei geringerer Fördermenge entsprechend kürzer. Die restlichen Diagramme befinden sich im Anhang 6.

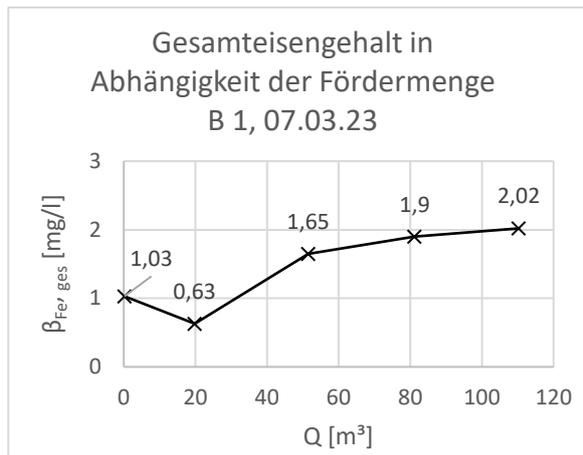


Abbildung 37: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 1, 07.03.23 (eigene Darstellung)

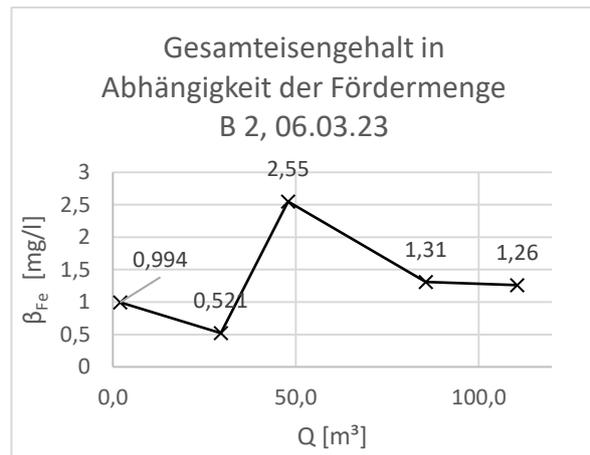


Abbildung 38: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 2, 06.03.23 (eigene Darstellung)

In Abbildung 38 ist die Messreihe vom 06.03.2023 dargestellt. Dabei wurde aus B 2 gefördert. Der Wechsel auf B 1 erfolgte am nächsten Tag. In Abbildung 37 sind die Ergebnisse dieser Messreihe vom 07.03.2023 dargestellt.

#### 4.3.2.2 Förder- und Infiltrationsmenge 80 m³ zu 40 m³

Die Fördermenge wurde auf 80 m³ reduziert, daraus resultiert ein geringeres Förder- zu Infiltrationsverhältnis von 2 bei gleichbleibender Infiltrationsmenge. In den nun folgenden Diagrammen ist zusätzlich der Graph für die reinen Eisen(II)-Gehalte grau dargestellt. Diese wurden mit dem selektiven Eisen(II)-Test LCW 255 durchgeführt.

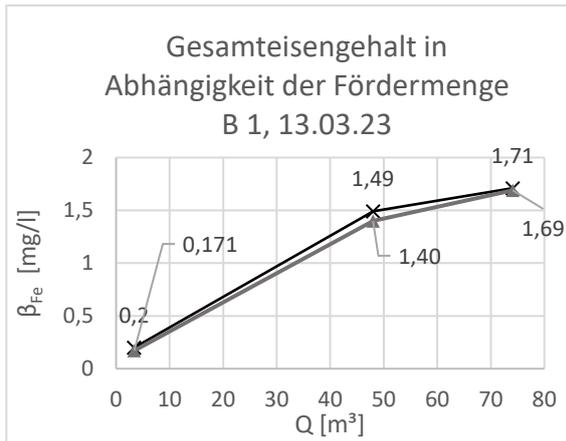


Abbildung 39: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 1, 13.03.23 (eigene Darstellung)

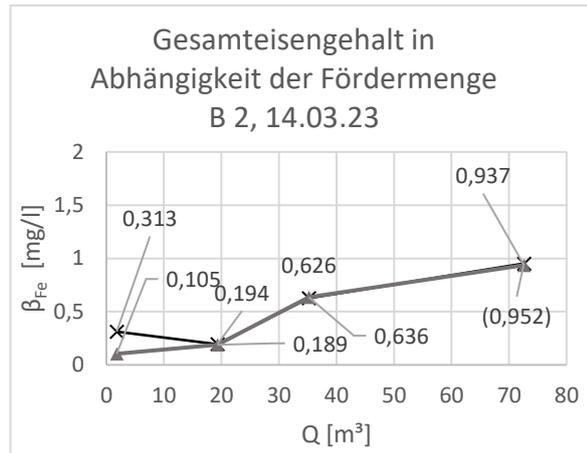


Abbildung 40: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 2, 14.03.23 (eigene Darstellung)

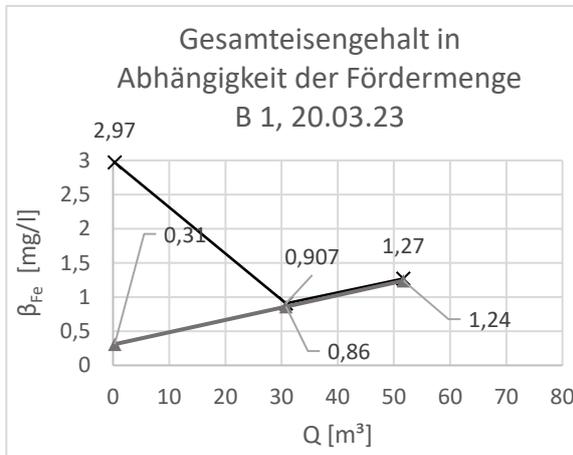


Abbildung 41: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 1, 20.03.23 (eigene Darstellung)

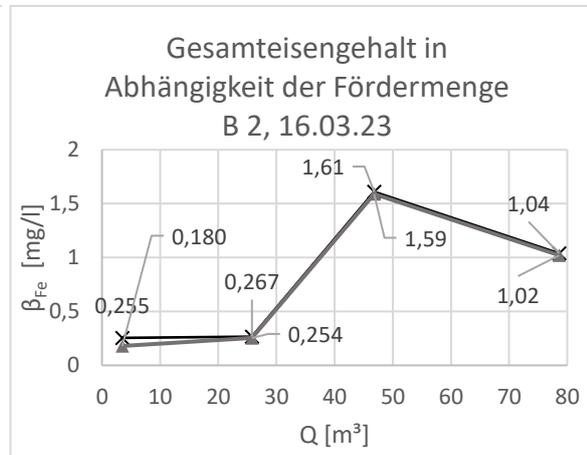


Abbildung 42: Gesamteisengehalt in Abhängigkeit der Fördermenge B 2, 16.03.23 (eigene Darstellung)

### 4.3.2.3 Förder- und Infiltrationsmenge 60 m³ zu 30 m³

Hier trat das beschriebene Phänomen auf, dass die Infiltration noch nicht beendet, aber die eingestellte Fördermenge von nun 60 m³ bereits erreicht war. Dies ist auch bei einer Förder- und Infiltrationsmenge von 80 zu 40 m³ zu erwarten, wenn die Umschaltung von einem auf den anderen Brunnen hinreichend früh am Tag beginnt. Einhergehend mit den Betriebstätigkeiten im Werk ist der Wasserbedarf besonders hoch. Aufgrund der höheren Fördergeschwindigkeit ist das Förderlimit dann vor Infiltrationsende erreicht. Im Zeitraum von fünf Werktagen trat dies dreimal auf. Im Folgenden sind jeweils ein Diagramm für B 1 und eines für B 2 dargestellt.

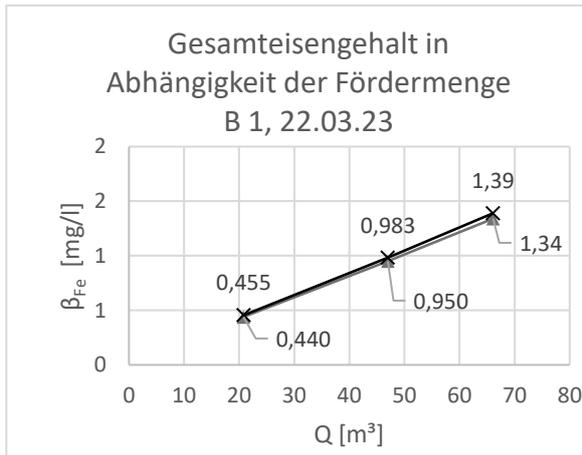


Abbildung 43.: Gesamteisen in Abhängigkeit der Fördermenge B 1, 22.03.23 (eigene Darstellung)

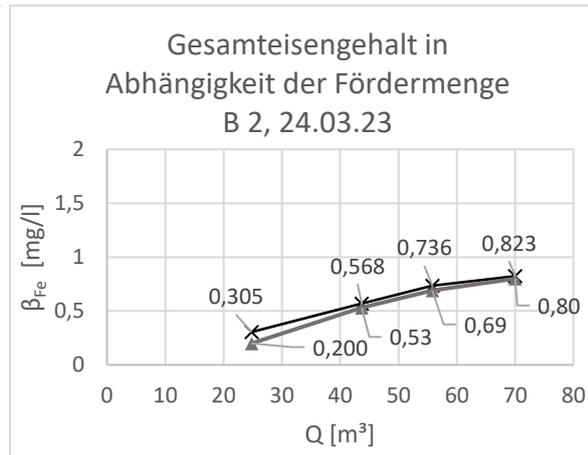


Abbildung 44: Gesamteisen in Abhängigkeit der Fördermenge B 2, 24.03.23 (eigene Darstellung)

Das folgende Diagramm in Abbildung 45 stellt nun den Verlauf des Eisengehaltes ohne Differenzierung zwischen B 1 und B 2 dar.

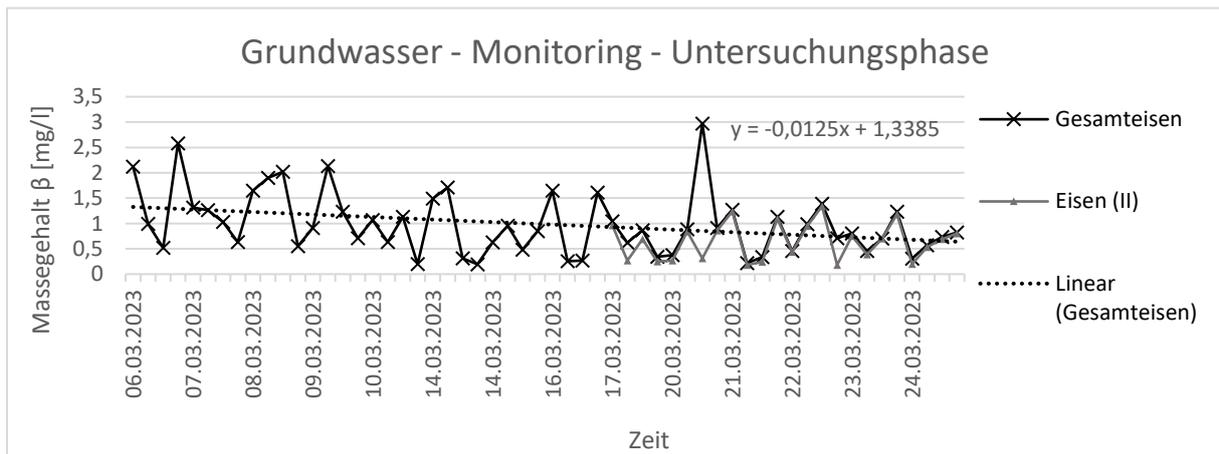


Abbildung 45: Verlauf der Eisenkonzentration im geförderten Grundwasser über 19 Tage (eigene Darstellung)

Ab 17.03.2023 konnte auch der Eisen(II)-Gehalt ermittelt werden. Dieser Graph ist grau dargestellt.

#### 4.4 Brunnenleistungen

Mit dem Kabellichtlot konnten die Absenkungen des Wasserpegels in Abhängigkeit vom Förderstrom für beide Brunnen ermittelt werden. Es werden beide Brunnen miteinander verglichen. B 1 weist die höhere Leistung auf. Es konnten bei nahezu maximaler Last in B 2 bei 50 Hz und einem Volumenstrom von 10,75 m³/h eine Füllstandsabsenkung auf 16,70 m unter GOK gemessen werden. Das bedeutet in diesem Fall eine Absenkung des

Grundwasserstandes unter die Filterrohroberkante. In B 1 konnte ebenfalls bei 50 Hz, jedoch noch geringerem Leitungsdruck von nur noch 5,2 bar und einem daraus resultierenden Volumenstrom von etwa 13,70 m<sup>3</sup>/h eine Füllstandsabsenkung auf 9,70 m gemessen werden.

Der reguläre Druck im Wasserleitungsnetz wird von den Pumpen auf 6 bar gehalten.

#### 4.4.1 Brunnen 2

Die folgende Abbildung 46 stellt die Q-s-Leistungskurve von B 2 (B 1/11) nach Errichtung im Jahr 2011 dar. Rechts daneben in Abbildung 47 ist seine Leistungskurve unmittelbar nach der Sanierung im April 2022 dargestellt.

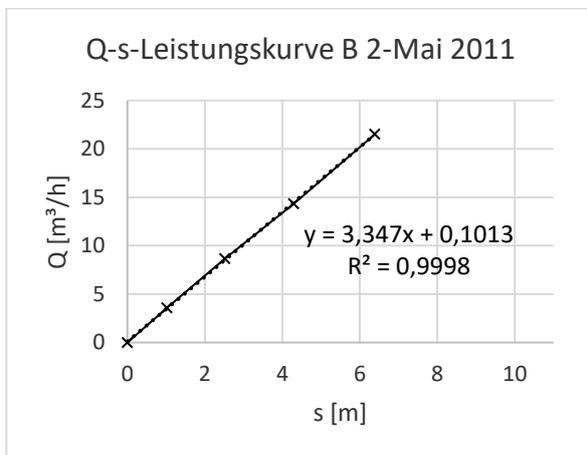


Abbildung 46: Q-s-Leistungskurve Brunnen B 2 nach Errichtung (Fa. Thiele Brunnenbau, 2011)

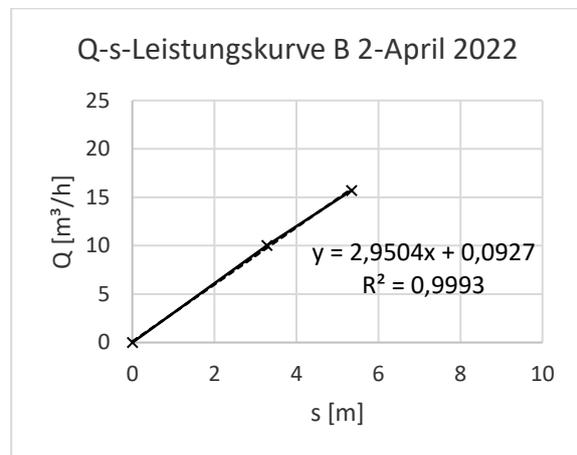


Abbildung 47: Q-s-Leistungskurve Brunnen B 2 nach Sanierung (Fa. Thiele Brunnenbau, 2022)

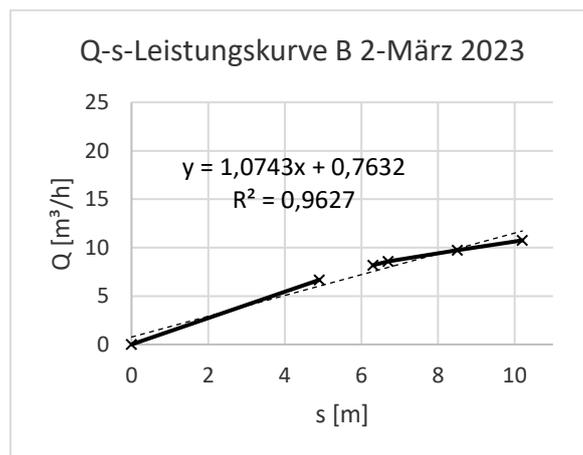


Abbildung 48: Q-s-Leistungskurve sanierten Brunnen B 2 im März 2023 (eigene Darstellung)

#### 4.4.2 Brunnen 1

In den folgenden zwei Abbildungen sind die Leistungskurven von B1 (B 1/19) zum Zeitpunkt seiner Errichtung im Juni 2019 links und die aktuelle, rechts, gegenübergestellt.

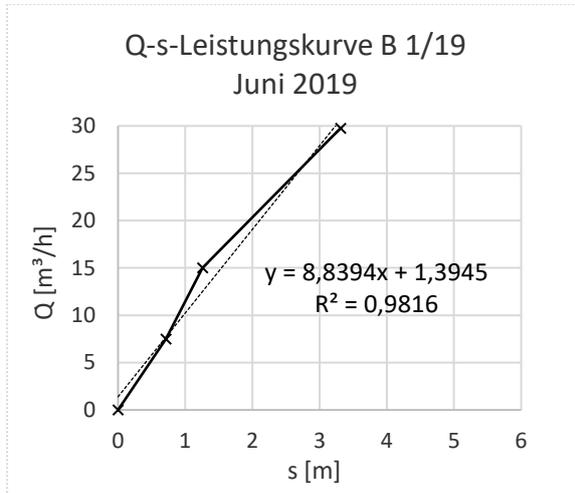


Abbildung 49: Q-s- Leistungskurve B 1/19, Juni 2019 (eigene Darstellung)

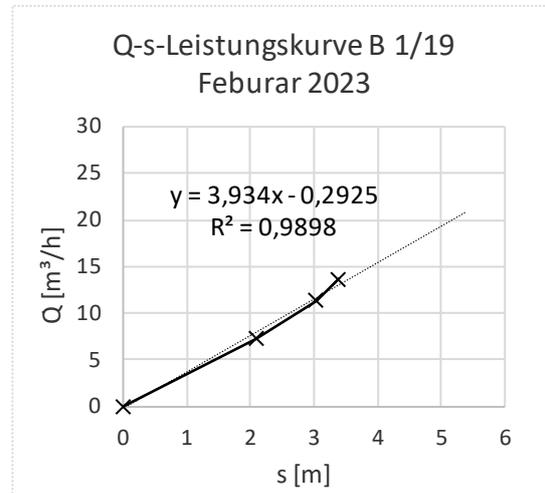


Abbildung 50: Q-s-Leistungskurve B 1/19, Februar 2023 (eigene Darstellung)

#### 4.4.3 Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens

Ein wesentliches Charakteristikum für die hydrogeologische Beschaffenheit der umliegenden Bodenstrukturen stellt der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  dar. Die Durchlässigkeiten des Filterkieses im Ringraum sowie die der Filterschlitzte sind beeinflussbar. Deren Auslegung erfolgt auf der Grundlage der beabsichtigten Fördermenge. Der  $k_f$ -Wert der Bodenformation ist nicht beeinflussbar. Er stellt den limitierenden Faktor dar. Da die Fermanox-Anlage mit zwei Brunnen betrieben wird, besteht die Möglichkeit über synchrone Füllstandsmessungen die Absenkung in dem Brunnen aus dem gerade gefördert wird und gleichzeitig diejenige Absenkung in dem in etwa 47,5 m Entfernung befindlichen anderen Brunnen zu messen. Es gilt die Brunnengleichung nach Thiem für gespannte Aquifere (Mutschmann & Stimlmayer, 2019, p. 125).

$$Q = \frac{2 \pi k_f H (h_2 - h_1)}{\ln r_2 - \ln r_1} \quad (8)$$

Formelzeichen:

$k_f$  – Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

$r$  – Radius der Absenkung des GW-Spiegels

$H$  – Mächtigkeit des GW-Leiters [m]

$h$  – Abstand GW-Spiegel zur Sohle [m]

Falls hier tatsächlich Wasser aus dem zweiten Grundwasserleiter in den ersten strömt, wird die Gleichung keine exakten Ergebnisse liefern. Es soll dennoch unabhängig von der Aufgabenstellung versucht und mit Literaturdaten verglichen werden.

Zur Veranschaulichung des Absenktrichters dient Abbildung 51.

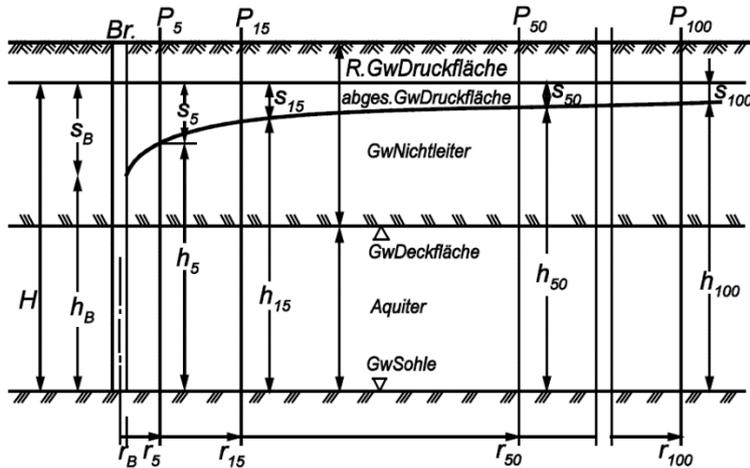


Abbildung 51: Absenkkurve und Parameter im gespannten Grundwasserleiter (Mutschmann & Stimlmayer, 2019, p. 125)

Es wird von B 2 ausgegangen. Als Radius  $r_1$  wird der halbe Brunnenrohrdurchmesser mit  $r_1 = 0,10$  m verwendet. Radius  $r_2$  ist der Abstand zu B 1 mit  $r_2 = 47,5$  m.

Nach den Bodenprofilen sind die Filterrohre zwischen zwei Tonschichten eingebracht. Bei beiden Brunnen erstreckt sich die mächtigere erste vertikal von etwa 7 bis 12 m und die dünnere zweite mit einer Stärke von nur 30 cm zwischen 18 und 19 m Tiefe. Aus dem kostenfreien „UHYDRO Erfassungsprogramm für geologische Daten 5.3“ des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) konnten Daten zum Schichtenaufbau umliegender Bohrungen entnommen und verglichen werden (Freistaat Sachsen, 2023). Daraus geht hervor, dass sich in etwa 600 m nordwestlicher Richtung, zwischen 22 und 25 m Tiefe, eine 3 m dicke Tonschicht befindet. In etwa 300 m nordöstlicher Richtung werden zwei wasserführende Schichten von einer 1 m dicken Schluffschicht getrennt, die sich von 20,50 bis 21,50 m Tiefe erstreckt. In einer in 315 m südöstlich durchgeführten Kohlebohrung erscheint die zweite 1,20 m dicke Tonschicht erst ab 32,60 m Tiefe. Auszüge des Programms sind in Anhang 12 beigefügt. Daher wird für die Berechnung davon ausgegangen, dass es sich bei der 30 cm starken Tonschicht im Schichtenverzeichnis von B 2 ab 18,60 m und bei B 1 ab 18,20 m um einen Grundwassernichtleiter handelt. Demnach

erstreckt sich der Grundwasserleiter bei B 2 von 12,10 m bis 18,60 m und ist damit 6,50 m mächtig. Bei B 1 erstreckt er sich von 12,90 m bis 18,20 m und ist demzufolge 5,30 m mächtig.

Es wird die Förderleistung aus Abbildung 48 von Abschnitt 4.3.1 mit  $Q_2 = 6,67 \text{ m}^3/\text{h}$  genutzt, bei der der Grundwasser-Stand von 6,26 m unter GOK aus Abschnitt 4.1 um 5,14 m auf 11,40 m abgesenkt wird. Die Höhe  $h_1$  ist der Abstand im Förderbetrieb von der Aquifersohle bei 18,60 m bis auf 11,40 m, entsprechend ist  $h_1 = 7,20 \text{ m}$ . Gleichzeitig senkt sich der Grundwasserstand in B 1 von 6,42 m auf 6,60 m ab, somit ist  $h_2 = 11,60 \text{ m}$ . Es ergibt sich ein  $k_f$ -Wert von

$$\begin{aligned} k_f &= \frac{Q(\ln r_2 - \ln r_1)}{2 \pi H (h_2 - h_1)} \\ &= \frac{6,67 \text{ m}^3/\text{h} (\ln 47,5 \text{ m} - \ln 0,1 \text{ m})}{3600 \text{ s/h} \cdot 2 \pi \cdot 6,5 \text{ m} (11,6 \text{ m} - 7,2 \text{ m})} \end{aligned}$$

$$k_{f,1} = 6,35 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

und bei einem Förderstrom von  $Q_2 = 15 \text{ m}^3/\text{h}$

$$k_{f,2} = 5,15 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

In der Literatur ist für den pleistozänen Kies bei Leipzig, als sandig-kiesiges Lockergestein, wird ein Wert von  $k_f = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  angegeben (Mutschmann & Stimmlmayer, 2019, p. 121) und für Feinsand liegt er in der Größenordnung von  $10^{-5}$  bis  $10^{-4} \text{ m/s}$  (Fa. IGEWA GmbH, 2004). In den Bodenprofilen sind die Aquifere als stark feinsandige Grobsande ausgewiesen. Das konnte hiermit in guter Näherung nachgewiesen werden.

## 4.5 Fehlerbetrachtung und Datenbewertung

Die Markierungen an den Kabeln der Sonden wurden mit einem Zollstock abgetragen. Die Sonden arbeiten mit einer Messgenauigkeit von 1 cm. Somit wird es hier wahrscheinlich zu geringfügigen Abweichungen kommen zwischen der gemessenen Kabellänge und den tatsächlichen Tiefen.

Bei den firmeninternen Messergebnissen des Eisen- und Mangangehaltes gibt es Schwankungen. Wie sauber hier bei der Durchführung gearbeitet wurde, kann nicht nachgeprüft werden.

Das pH-Meter wurde regelmäßig durch Pufferlösungen mit  $\text{pH}=7$  und  $\text{pH}=4,01$  zweipunktkalibriert. Eine Dreipunktkalibrierung wäre noch exakter, wird aber für diese Messungen als hinreichend genau erachtet. Die gewonnen Messwerte waren plausibel, es gab keine unverhältnismäßig großen Abweichungen. Als zusätzliche Referenz dienen hier die durch externe Labore durchgeführten Analysen. Die Aktuellste wurde von der Limbach Analytics GmbH am 21.09.2022 durchgeführt und ist dem Anhang 11 beigelegt.

Fehler im analytischen Prozess können bei der Probenahme, der Probenvorbereitung oder bei der Messung auftreten. Eine Bewertung ist erforderlich, um abzuschätzen wie zuverlässig die erhaltenen Messergebnisse sind. Bei der Probenahme war es wichtig, die Messungen hinsichtlich des Eisen(II)-Gehaltes unverzüglich nach Entnahme des Wassers durchzuführen, um eine weitere Oxidation zu Eisen(III) zu verhindern. Beim Öffnen des Hahnes zur Entnahme des Probenwasser müssen erst ein paar Spülgänge erfolgen, da das in der Rohrleitung befindliche Wasser unsauber ist und eisenhaltige Verschmutzungen enthalten kann. Dieser Verschmutzungsgrad ist variabel. Mögliche Fehlerquellen bei den photometrischen Messungen könnte eine durch Fingerabdrücke verschmutzte Küvette gewesen sein. Bei der Probenahme können Fehler gemacht worden sein. Die Linearität der Extinktion ist nach dem Lambert-Beerschen Gesetz nur in einem begrenzten Konzentrationsbereich gegeben. Vereinzelt wurde dieser mit dem Gesamteisentest LCK321 unterschritten und es gab Messungen, bei denen der Messwert der gefilterten Proben höher war als der Gesamteisenwert, was nicht möglich ist. Diese Abweichungen konnten jedoch durch die zusätzlich Messung des reinen Eisen(II)-Gehaltes kompensiert werden.

Aus Kostengründen wurden hier nur bei zwei Messreihen Dreifachbestimmungen durchgeführt, um die Qualität der Analysen bewerten zu können. Dabei stellt die empirische Standardabweichung  $s$  ein Maß dafür dar, wie stark die einzelnen Messergebnisse vom Mittelwert abweichen. In der Messreihe des Wassers vom 14.03.2023 aus B 2 erfolgte etwa zu Beginn der Förderung, nach  $1,8 \text{ m}^3$ , und gegen Ende der Förderung, nach  $72,6 \text{ m}^3$ , eine Dreifachbestimmung. Daraus wurde der Mittelwert  $\bar{x}$  und die Standardabweichung  $s$  berechnet. Als Maß für die Präzision ist es sinnvoll, den Variationskoeffizienten bzw. die relative Standardabweichung anzugeben. Sie wird berechnet mit  $s_{\text{rel}} = s/\bar{x}$ . Hierbei wird die Größe der

Abweichung zur Größe des Mittelwertes ins Verhältnis gesetzt. Die Ergebnisse sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: statistische Kennwerte (eigene Darstellung)

Probe nach 1,8 m <sup>3</sup>	β [mg/l]	Probe nach 72,6 m <sup>3</sup>	β [mg/l]
1	0,312	4	0,952
2	0,305	5	0,955
3	0,322	6	0,950
$\bar{x}$	0,313	$\bar{x}$	0,952
s	0,009	s	0,003
s <sub>rel</sub>	0,027	s <sub>rel</sub>	0,003
Intervall	0,021	Intervall	0,006
OVG (β) [mg/l]	0,334	OVG (β) [mg/l]	0,959
UVG (β) [mg/l]	0,245	UVG (β) [mg/l]	0,946

Die relative Standardabweichung beträgt 2,7 % für die erste Probenreihe mit den Nummern 1 bis 3 und nur 0,3 % für die Nummern 4 bis 6 der zweiten. Diese sind als gering zu bewerten. Die Messungen sind sehr präzise. Zur Beurteilung, ob der Mittelwert mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von 95 % in der Grundgesamtheit des wahren Wertes  $\mu$  liegt, erfolgt die Berechnung des Konfidenzintervalls mit

$$\text{cnf}(\bar{x}) = \bar{x} \pm t \cdot \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (9)$$

Formelzeichen:                    t – Quantil                                    N – Anzahl Messergebnisse

Bei nur wenig durchgeführten Messungen kommt das Quantil der Student-t-Verteilung zur Anwendung. Es ist ein Maß, für die Abweichung der aus dieser Datenmenge resultierenden Verteilung von der Normalverteilung. Die Normalverteilung ergibt sich nur bei theoretisch unendlich vielen Messergebnissen. Mit einem Freiheitsgrad von  $df = N-1 = 3-1 = 2$  und einem Student-t-Faktor von 4,303 (Harris, 2014, p. 88) ergibt sich ein Konfidenzintervall von

$$\text{cnf}(\bar{x}) = 0,313 \text{ mg/l} \pm 0,022 \text{ mg/l}$$

Das bedeutet, dass der wahre Gesamteisengehalt der ersten Proben nach 1,8 m<sup>3</sup> Förderung mit 95 %-iger statistischer Sicherheit im Bereich von 0,291 und 0,335 mg/l liegt. Der wahre Wert für die Proben nach 72,6 m<sup>3</sup> geförderter Wassermenge liegt mit derselben statistischen Sicherheit im Bereich von 0,930 und 0,974 mg/l.

## 5 Ergebnisse und Diskussion

Es werden die Ergebnisse aus den Messreihen diskutiert. Zunächst wurden die Eisengehalte bei der Fördermenge von 120 m<sup>3</sup> und der Infiltrationsmenge von 40 m<sup>3</sup> gemessen.

### 5.1 Förder- und Infiltrationsmenge 120 m<sup>3</sup> zu 40 m<sup>3</sup>

In Abbildung 38 ist die Messreihe vom 06.03.2023 dargestellt. Dabei ist im Verlauf des Eisengehaltes in Abhängigkeit der Fördermenge ein Knick nach unten zu erkennen. Im Zuge der Förderung sinkt der Gehalt an Eisen im Wasser aus B 2 von 0,994 mg/l zu Beginn der Förderung auf 0,521 mg/l nach etwa 30 m<sup>3</sup> Förderleistung. Anschließend steigt der Eisengehalt wieder an und erreicht nach weiteren 20 m<sup>3</sup> Förderung einen Wert von 2,55 mg/l. Danach fällt der Wert auf 1,31 mg/l ab. Ein entsprechender Verlauf wurde auch bei der Messreihe vom 09.03.2023 bei B 2 festgestellt (Anhang 6). Hier steigt der Gehalt an Eisen ohne vorherige Absenkung bis auf 2,13 mg/l nach etwa 85 m<sup>3</sup> Förderleistung. Danach fällt der Wert auf 1,23 mg/l. Eine mögliche Ursache für diesen Effekt könnte auf den Fremdwasserzutritt aus dem zweiten Grundwasserleiter zurückzuführen sein.

Abbildung 37 zeigt den Verlauf der Eisenkonzentration der Messreihe vom 07.03.2023 bei der Förderung aus B 1. Auch hier sinkt der Eisengehalt erst um etwa 39 % von 1,03 auf 0,63 mg/l. Er steigt dann an, erreicht 1,65 mg/l Eisen nachdem 51,5 m<sup>3</sup> gefördert wurden, nach 81,2 m<sup>3</sup> beträgt der Eisengehalt 1,9 mg/l und erreicht nach 110,3 m<sup>3</sup> schließlich 2,02 mg/l. Am Verlauf der Kurve ist zu erkennen, dass ihr Anstieg vom Eisengehalt 0,63 mg/l bis 2,02 mg/l abnimmt. Der Wert steigt nach dem Minimum zuerst um etwa 162 %, dann um 15 % und schließlich nur noch um 6 %. Auffällig war, dass das Wasser kurz nachdem die Förderung aus diesem Brunnen begann, also kurz nachdem auf Pumpe P1 umgeschaltet wurde, trüb und ockerfarben war. Ein paar Liter von diesem Wasser wurden in einem Eimer aufgefangen. Nach 24 Stunden befanden sich weiche, nicht kristalline bzw. körnige Schlieren am Boden, d. h. es war kein Sand, sondern höchstwahrscheinlich Eisen(III)-hydroxid. Es wird vermutet, dass bei dem ersten Messwert auch Eisen(III) erfasst wurde, welches durch den Druckstoß beim Umschalten der Pumpen mitbefördert wurde.

Insgesamt konnten 4 Messwerte im Förderlimitbereich von 110 bis 120 m<sup>3</sup> mit einem durchschnittlichen Eisengehalt von 1,66 mg/l erfasst werden.

## 5.2 Förder- und Infiltrationsmenge 80 m<sup>3</sup> zu 40 m<sup>3</sup>

Der Eisengehalt nimmt auch hier mit zunehmender Fördermenge zu. Die Anstiege der Kurven, die den Eisengehalt im Verlauf der Förderung darstellen, werden geringer. Das geförderte Wasser enthält nun weniger Eisen. Es treten keine Eisengehalte mehr über 2 mg/l auf. Der durch die Filterung ermittelte Eisen(II)-Gehalt unterscheidet sich wenig vom Gesamteisengehalt. Das bedeutet, es ist kaum Eisen(III) enthalten. Die Differenz wird im Verlauf der Förderung geringer.

In Abbildung 42 ist der Verlauf des Gesamteisengehaltes bei der Förderung aus B 2 dargestellt. Die Messreihe wurde am 16.03.2023 begonnen und am 17.03.2023 beendet. Der Eisen(II)-Gehalt steigt um 526 % von 0,254 mg/l auf 1,59 mg/l und fällt anschließend um 36 % auf 1,02 mg/l ab. Dieser überraschende Verlauf könnte folgendermaßen begründet sein: Beim ersten und zweiten Grundwasserleiter handelt es sich um gespannte Aquifere. Besteht ein Potentialunterschied zwischen beiden fließt Wasser aus dem mit dem höheren Potential zu dem mit dem niederen. Besitzt der zweite Grundwasserleiter das höhere Potential, breitet sich der eingetragene Sauerstoff nur im ersten Grundwasserleiter aus. Nur hier bildet sich dann die Reaktionszone. Wird das dort aufbereitete Wasser dann gefördert, kann unaufbereitetes Grundwasser mit reduziertem Eisen(II) aus dem zweiten Stockwerk durch dessen Überdruck in die Reaktionszone im ersten Stockwerk vordringen und wird damit unbeabsichtigt auch gefördert. Um diese vertikale Wasserbewegungen zu verhindern, könnte eine Einschubverrohrung als Teilsanierungsmaßnahme, wie im Abschnitt 2.4.6.1 beschrieben, in Verbindung mit einer Ringraumabdichtung eingebracht werden. In der vorhergehenden Messreihe von B 2 in Abbildung 40 am 14.03.2023 fehlt dieser Peak. Dort ist zwar ein Abknicken im Anstieg erkennbar, aber der nachfolgende Wert ist mit 0,937 mg/l höher als der vorhergehende mit 0,636 mg/l. Vom ersten Messwert nach einer Fördermenge von 1,8 m<sup>3</sup> beträgt der gefilterte Eisen(II)-Gehalt 0,105 mg/l. Er steigt um etwa 80 % auf 0,189 mg/l bei der zweiten Probenahme nachdem weitere 17,5 m<sup>3</sup> gefördert wurden.

Eine Verringerung der Fördermenge um 33,3 % führte im Förderlimitbereich von 70 bis 80 m<sup>3</sup> zu einer Abnahme des durchschnittlichen Eisengehaltes um 19,2 % von 1,66 auf 1,34 mg/l. Tendenziell liefert B 2 mit durchschnittlich 0,93 mg/l die besseren Werte als B 1 mit durchschnittlich 1,66 mg/l bei ähnlicher Fördermenge. Die Infiltration erfolgt mit einem geringerem Volumenstrom von etwa 3 m<sup>3</sup>/h im Vergleich zur Förderung mit 4-15 m<sup>3</sup>/h. Das

heißt bei weiterer Verringerung der Förder- und Infiltrationsmengen besteht die Gefahr, dass die eingestellte Fördermenge erreicht, aber die Infiltration noch nicht beendet ist. Dann wird, wie beschrieben, das Entnahmelimit überschritten, das Förder- und Infiltrationsverhältnis steigt wieder und damit auch die Gefahr Eisen(II) zu fördern.

Die Abweichung des Eisen(II)-Gehaltes vom Gesamteisengehalt nimmt in allen Messreihen mit der Fördermenge ab. Dies soll durch ein weiteres Beispiel gezeigt werden. Ganz besonders deutlich zu sehen ist dies an der Messreihe vom 21.03.2023 dargestellt in Abbildung 41. Die Abweichung zwischen gemessenem Gesamteisengehalt und Eisen(II) beträgt hier 88 %, d.h. Eisen(II)-Ionen machen mit 0,31 mg/l nur 12 % vom Gesamteisen-Gehalt in Höhe von 2,97 mg/l aus. Das Wasser war deutlich trüb und ockerfarben. Die Annahme, dass beim ersten Messwert auch Eisen(III) erfasst wurde, welches sich durch den Druckstoß beim Umschalten der Pumpen mitbefördert wurde, bestätigt sich damit.

### 5.3 Förder- und Infiltrationsmenge 60 m<sup>3</sup> zu 30 m<sup>3</sup>

Der Graph in Abbildung 43 zeigt einen geradlinigen Anstieg, sowohl vom Gesamteisengehalt als auch vom Eisen(II)-Gehalt in Abhängigkeit der Fördermenge aus B 1 von 0,44 bis auf 1,39 mg/l am 22.03.23. Die Werte von B 2 in Abbildung 44 steigen ebenfalls ziemlich geradlinig, allerdings nur bis 0,82 mg/l. Es sind jetzt auch keine Gehaltsspitzen mehr erkennbar. Während beim Verhältnis 80 zu 40 m<sup>3</sup> noch Werte über 1,5 mg/l auftraten, ist das nun nicht mehr der Fall. Tendenziell liefert auch hier B 2 mit durchschnittlich 0,93 mg/l bessere Werte als B 1 mit durchschnittlich 1,25 mg/l. Die weitere Verringerung von nun sowohl der Förder- als auch der Infiltrationsmenge um 25 % bewirkte im Förderlimitbereich von 45 bis 60 m<sup>3</sup> eine weitere Verringerung des Eisengehaltes um 21,6 % von durchschnittlich 1,34 auf 1,05 mg/l. Der Nachteil hierbei ist, dass nun die Pumpen häufigeren Schaltzyklen unterworfen sind.

Im dem dreiwöchigen Zeitraum der Messwerterfassung der in Abbildung 45 dargestellt ist, ist ein eindeutiger Trend der Senkung sowohl des Gesamteisen- als auch Eisen(II)-Gehaltes erkennbar. Der Anstieg der Trendlinie ist mit -0,0125 schwach negativ. Der Eisen(II)-Gehalt konnte von durchschnittlich 1,66 mg/l um 36,7 % auf 1,05 mg/l gesenkt werden.

## 5.4 Brunnenleistungen

Der Anstieg der Q-s-Leistungskurve von B 2 ist von 3,3 zum Zeitpunkt der Errichtung auf knapp 3 im April 2022 kurz nach der Sanierung gesunken. Bis März hat die Leistung noch einmal abgenommen. In Abbildung 48 ist der aktuelle Anstieg des Graphen dargestellt. Er beträgt nur noch 1, trotz der vor kurzem erfolgten Komplettsanierung. Das heißt er hat jetzt noch etwa 30 % seiner ursprünglichen Leistung. Der Determinationskoeffizient des letzten Graphen ist mit 0,96 relativ gering, d.h. hier sind die Abweichungen der Messwerte besonders groß. Zur Bestimmung des Volumenstromes während der Messungen wurde dieser in Abhängigkeit der Frequenz der Frequenzumrichter für die Unterwasserpumpen ermittelt. Die Anzeigewerte waren dabei starken Schwankungen unterworfen, sodass hier eine exakte Messwerterfassung schwierig war.

Der Graph der Q-s-Leistungskurve von B 1 vom Februar 2023 in Abbildung 50 verläuft flacher als der in Abbildung 49 zum Zeitpunkt seiner Errichtung im Juni 2019. Sein Anstieg ist von knapp 9 auf aktuell knapp 4 gesunken. Die spezifische Leistung beträgt damit nur noch 44,3 % des ursprünglichen Wertes. Ein kleinerer Anstieg bedeutet, dass bei gleicher Fördermenge eine stärkere Absenkung des Grundwasserstandes unter GOK erfolgt. Dies deutet auf eine fortgeschrittene Brunnenalterung hin. Es sollten Regenerationsmaßnahmen eingeleitet werden, um die ursprüngliche Leistungsfähigkeit wieder herzustellen.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Zu Beginn der Arbeit stellte die korrekte Ermittlung der Wasserstände in beiden Brunnen das größte Problem dar. Es war nicht ganz klar, auf welche Tiefe die Sonden eingestellt waren. Für das zukünftige Grundwassermonitoring empfiehlt sich die Installation von jeweils einem Peilrohrfilter in beiden Brunnen. In diesem können die Füllstandssonden in entsprechender Tiefe platziert werden. So sind sie vor vertikalen und horizontalen Strömungen geschützt. Auch eine Störung durch zufälligen Kontakt an die vibrierenden Steigleitungen ist ausgeschlossen.

Insgesamt zeigte das Monitoring der Eisengehalte im geförderten Grundwasser, dass diese sinken, wenn erstens die pro Zyklus eingestellten Fördermengen reduziert werden und zweitens das Verhältnis von Förder- zu Infiltrationsmenge auf 2 verringert wird.

Eine Reduktion auf ein Förder- zu Infiltrationsverhältnis von 120 zu 40 m<sup>3</sup> auf 80 zu 40 m<sup>3</sup> führte zu einer Absenkung auf unter 2 mg/l. Durch eine weitere Reduktion auf 60 zu 30 m<sup>3</sup> in Verbindung mit der Einstellung der Ablauffunktion auf 24 Stunden konnte eine weitere Absenkung auf unter 1,5 mg/l erzielt werden.

Dennoch sind die Werte höher als es erwartet werden kann. Es kann erwartet werden, dass der Eisengehalt unter 0,5 mg/l sinkt.

Die erfolgte Analyse des gegenwärtigen Betriebszustandes legt die Vermutung nahe, dass es zu Fremdwassereintritt aus dem zweiten in den ersten Grundwasserleiter kommt. Diese Vermutung beruht aus den Messungen der Eisengehalte in Abhängigkeit der geförderten Wassermengen. Durch den Potentialunterschied zwischen den beiden gespannten Aquiferen vermischt sich deren Wasser. Durch den in das erste Stockwerk eingebrachten Sauerstoff bildet sich dort die Reaktionszone aus. Weist dieses ein höheres Potential als das zweite auf, strömt das sauerstoffangereicherte Wasser wie durch ein Leck aus diesem heraus und dringt in das zweite ein. Dieser Sauerstoff fehlt dann in der Reaktionszone im ersten Stockwerk. Wird das dort aufbereitete Wasser dann gefördert, kann unaufbereitetes Grundwasser mit reduziertem Eisen(II) aus dem ersten Stockwerk nachfließen und mitgefördert werden. Durch die Förderung müsste zwar der Überdruck im ersten Stockwerk abnehmen, aber es ist unwahrscheinlich, dass durch den unbeabsichtigt ins zweite Stockwerk eingetretene Sauerstoff, aufbereitetes Wasser aus diesem dann ins erste Stockwerk vordringt und mitgefördert werden kann. Es würde sich wohl eher mit dem dort nachfließenden unaufbereiteten Wasser vermischen.

Besitzt der zweite Grundwasserleiter das höhere Potential, breitet sich der eingetragene Sauerstoff nur im ersten Grundwasserleiter aus. Nur hier bildet sich dann die Reaktionszone. Unaufbereitetes Wasser aus dem zweiten Stockwerk kann dann durch dessen Überdruck in die Reaktionszone im ersten Stockwerk vordringen und wird damit ebenfalls unbeabsichtigt mit gefördert.

Damit sind auch die Gehaltsspitzen in B 2 bei höheren Förder- und Infiltrationsmengen zu erklären, da dieser im Zuge der Sanierung tiefer gebohrt wurde. Das trifft möglicherweise auch für B 1 zu, daher wird für beide eine weitergehende Untersuchung dahingehend empfohlen, ob deren Filterrohrausbau bereits in den zweiten Grundwasserleiter ragt.

Bezüglich der Wasserqualität wäre darüber hinaus interessant, in diesem Zusammenhang auch die Frage zu klären, wie weit der Eisengehalt gesenkt werden muss, sodass es zu keinen sichtbaren, relevanten, oberirdischen Ausfällungen von Eisenoxiden und -hydroxiden mehr kommt. Laut Auskunft der entsprechenden Abteilung, gab es in letzter Zeit keine derartigen Probleme mehr.

Nach der Sanierung von B 2 wurde die Anlage mit einer Förder- zu Infiltrationsmenge von 100 zu 30 m<sup>3</sup> betrieben, was einem Verhältnis von 3,3 entspricht. Das heißt, es wurden 30 m<sup>3</sup> sauerstoffgesättigtes Grundwasser infiltriert und anschließend die 3,3-fache Wassermenge, also 100 m<sup>3</sup>, aus dem Brunnen gefördert. Möglicherweise ist durch die Förderung dieser großen Menge reduziertes, nicht aufbereitetes, eisenhaltiges Grundwasser zum Brunnenrohr geflossen, nachdem das aufbereitete Wasser bereits aus der Reaktionszone abgepumpt wurde. Reduziertes Eisen(II) ist erst in den unmittelbaren Bereich des Brunnenausbaus gelangt und wurde schließlich mit gefördert. Daraufhin eingebrachter Sauerstoff provozierte eine vorzeitige Verockerung in unmittelbarer Brunnennähe sowie im Rohrleitungssystem. In den Messungen konnte immer ein gewisser Anteil an Eisen(III) ermittelt werden. Teilweise war nach Umschaltung auf den jeweils anderen Brunnen, vermutlich durch den Druckstoß der Pumpe, das entnommene Probenwasser trüb und ockerfarben, was nachweislich ebenfalls auf Eisen(III) zurückgeführt werden konnte. Das lässt den Schluss zu, dass eine vorzeitige Verockerung des Brunnens durch falschen Betrieb gefördert wurde.

Die Messungen der Fördermengen in Abhängigkeit der Zeit ergaben, sowohl bei B 2 als auch bei B 1, eine Minderung der aktuellen Brunnenleistungen. Hier sollten folgende Maßnahmen ergriffen werden: Für B 1, der seit nunmehr knapp 3,5 Jahren im Einsatz ist, empfiehlt sich zunächst eine rein mechanische Reinigung mittels Bürsten. Weiter in den Ringraum reichende

Verockerungen können mit dem Hydropuls-Verfahren gelockert werden. Im Anschluss daran sollten diese z. B. unter Einsatz eines Kieswäschers, ausgetragen werden. Es wird unter Einhaltung des Minimierungsgebotes, eine chemische Reinigung mit pH-neutralen, anorganischen, umweltverträglichen Substanzen empfohlen. Diese kann auch durch die Prozessüberwachung mittels kontinuierlichen Leitfähigkeitsmessungen in Trinkwasserschutzzone III A angewendet werden, was jedoch einer vorherigen Genehmigung bedarf.

Bei B 2 ist es nur eine Frage der Zeit, bis der Grundwasserstand während der Förderung bis auf das Pumpenniveau absinkt. Bei maximaler Förderleistung von etwa 15 m<sup>3</sup>/h lag die Absenkung des Wasserspiegels bereits bei 10,44 m von etwa 6,26 m Grundwasserstand auf 16,7 m. Ab einer Tiefe von 18 bis 19 m befindet sich das Blindrohr, in dessen Bereich sich die Saugöffnung der Pumpe befindet. Somit verbleiben derzeit nur noch etwa 1,3 bis maximal 2,3 m an Wassersäule über der Pumpe.

## 7 Literaturverzeichnis

- Aqua Brunnen Service GmbH, 2009. *Unsere Aqua Brunnenservice Spezialverfahren*. [Online]  
Available at: Gernsheim: A.B.S. Aqua Brunnen Service Regenerierungstechnik.  
<http://aqua-brunnenservice.de/?uri=Spezialverfahren>  
[Zugriff am 11 02 2023].
- Bgr, o.D.. *Informationsgrundlagen Grundwasser*. [Online]  
Available at: Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoff.  
[https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Had/Was\\_had\\_abb\\_hy1000.html?nn=1542276](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Had/Was_had_abb_hy1000.html?nn=1542276)  
[Zugriff am 12 01 2023].
- Damrath, H. & Cord-Landwehr, C., 1998. *Wasserversorgung*. Stuttgart: Teubner Verlag.
- DVGW, 2023. *Trinkwasserverordnung - Garant für sauberes Wasser*. [Online]  
Available at: Bonn: Deutscher Verein des Gas- und Wassfaches.  
<https://www.dvgw.de/themen/wasser/trinkwasserverordnung>  
[Zugriff am 18 01 2023].
- Eichhorn, D., Etschel, H., Paul, F. & Luckner, L., 2003. *Untersuchungen zur Bewertung von Gerätetechnik auf die Wirksamkeit in der Kiesschüttung*, Dresden: Grundwasserforschungszentrum e. V..
- Erbrecht, R. et al., 1999. *Das große Tafelwerk*. Berlin: Volk und Wissen Verlag GmbH.
- Etschel, C. & Schmidt, M., 2001. Das Druckwellen - Impulsverfahren für die Regenerierung und Entwicklung von Brunnen. In: *bbr: Leitungsbau Brunnenbau Geothermie*. Bonn: WVGW, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, pp. 30 - 38.
- Eurofins Institut , 2017. *Prüfbericht Brunnenwasser*, Leipzig: Eurofins Institut Dr. Appelt Leipzig GmbH.
- Fa. BSL Bauservice & Logistik GmbH, 2022. *Fotodoku Reko*, Leipzig: [CD] BSL Bauservice & Logistik GmbH.
- Fa. Endress & Hauser AG, o. D.. *Technische Information Waterpilot FMX21 - Kompaktgerät zur Füllstands- und Pegelmessung*, Reinach, Schweiz: Endress & Hauser AG.
- Fa. Hydrotechnik GmbH, 2023. *Kabellichtlote*. [Online]  
Available at: Obergüntzburg: Hydrotechnik GmbH. <https://www.ht-hydrotechnik.com/de/produkte/handmessgeraete/kabellichtlot/>  
[Zugriff am 29 03 2023].
- Fa. IGewa GmbH, 2004. *Merkblatt Durchlässigkeitsbeiwert*. [Online]  
Available at: Waldkraiberg: IGewa GmbH Ingenieurbüro für Geotechnik und Wasser. <http://www.ib-igewa.de/merkblaetter/durchlaessigkeitsbeiwert/durchlaessigkeitsbeiwert.shtml>  
[Zugriff am 19 05 2023].
- Fa. KöhRA Frische GmbH, 2019. *Übersichtsplan Brunnenanlagen im Betriebsgelände der Firma KöhRA Frische GmbH, Brunnen 1 Bestand, Brunnen 2 Neubau 2019*. KöhRA: KöhRA Frische GmbH.

- Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2023. *Datenlogger*, Köhra: KÖHRA Frische GmbH.
- Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2023. *firmeninterne Wasseranalysen*, Köhra: KÖHRA Frische GmbH.
- Fa. Pigadi GmbH, 2023. *Pigadi Kompetenz im Brunnenbau*. [Online]  
Available at: Berlin: Pigadi GmbH.  
<https://pigadi.de/leistungsspektrum/hydrmechanische-regenerierung/>  
[Zugriff am 13 02 2023].
- Fa. Thiele Brunnenbau, 2011. *Bodenprofil und Brunnenrohr B 1/11*, Naunhof: Fa. Fritz Thiele Bohrungen und Brunnenbau.
- Fa. Thiele Brunnenbau, 2011. *Ergebnisbericht über den Pumpversuch am Feuerlöschbrunnen*, Naunhof: Fa. Fritz Thiele Bohrungen und Brunnenbau.
- Fa. Thiele Brunnenbau, 2011. *Ergebnisse Pumpversuch B 1/11, Mai 2011*. Naunhof: Fa. Fritz Thiele Bohrungen und Brunnenbau.
- Fa. Thiele Brunnenbau, 2019. *Bodenprofil und Brunnenrohr B 1/19*, Naunhof: Fa. Fritz Thiele Bohrungen und Brunnenbau.
- Fa. Thiele Brunnenbau, 2019. *Ergebnisse Pumpversuch B 1/19, Juni 2019*. Naunhof: Fa. Fritz Thiele Bohrungen und Brunnenbau.
- Fa. Thiele Brunnenbau, 2022. *Bodenprofil und Brunnenrohr SB 1/22*, Naunhof: Fa. Fritz Thiele Bohrungen und Brunnenbau.
- Fa. Thiele Brunnenbau, 2022. *Ergebnisse Pumpversuch SB 1/22, April 2022*. Naunhof: Fritz Thiele Bohrungen und Brunnenbau.
- Fa. TLM Hydropuls, 2014. *Hydropuls*. [Online]  
Available at: Markkleeberg: TLM Hydropuls GmbH.  
<https://www.hydropuls.com/generatoren/>  
[Zugriff am 20 02 2023].
- Fa. TLM Hydropuls, 2020. *Protokoll*, Markkleeberg: TLM Hydropuls GmbH.
- Fa. Winkelkemper GmbH, 2019. *Wasserproben vom 10.12.2019, Probeneingang und Analysen am 11.12.2019*, Wadersloh: Winkelkemper GmbH.
- Fa. Winkelkemper GmbH, 2020. *Fermanox Wasseraufbereitung*. [Online]  
Available at: Wadersloh: Winkelkemper GmbH. <https://www.fermanox-wasseraufbereitung.de/verfahren/trinkwasser/wasserwerke/probleme/brunnenverockerung.html>  
[Zugriff am 08 02 2023].
- Fa. Winkelkemper GmbH, 2023. *Fermanox Ereignisspeicher*, Wadersloh: s.n.
- Freistaat Sachsen, 2023. *Landesmessnetz Grundwasser*. [Online]  
Available at: Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft.  
<https://www.wasser.sachsen.de/grundwassermessnetze.html>  
[Zugriff am 01 02 2023].
- Freistaat Sachsen, 2023. *Proben, Daten, Archivadokumente, Karten, 3D-Modelle und Stellungnahmen*. [Online]  
Available at: Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Geologie. <https://www.geologie.sachsen.de/produkte-26776.html>  
[Zugriff am 01 03 2023].

- Friedle, M., 2003. *Weiterentwicklung der unterirdischen Wasseraufbereitung zur in - situ - Behandlung von stark reduzierten Grundwässern*. Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Band 171 Hrsg. München: Oldenbourg Industrieverlag.
- Gimbel, R., Jekel, M. & Ließfeld, R., 2004. *Wasseraufbereitung - Grundlagen und Verfahren*. München: Oldenbourg Industrieverlag GmbH.
- GLA, 1994. Bohrverfahren und Brunnenbau. In: Freiburg: Geologisches Landesamt Baden - Württemberg, pp. 97 - 102.
- Harris, D. C., 2014. *Lehrbuch der Quantitativen Analyse*. 8. Auflage Hrsg. Berlin: Springer - Verlag Berlin Heidelberg.
- Helmholtz-Gemeinschaft e.V., 2023. *Das tiefste Bohrloch*. [Online] Available at: Bonn: Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V.. <https://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/dastiefstebohrloch/#:~:text=Anmerkung%20Redaktion%3A%20Die%20Tiefenbohrung%20in,eine%20Tiefe%20von%2012.262%20Metern>. [Zugriff am 01 03 2023].
- Henning, A. - K., 2004. *Biologische Mechanismen bei der unterirdischen Aufbereitung von Grundwasser am Beispiel des Mangans*. 176 Hrsg. München: Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft.
- Internetchemie ChemLin, 2022. *Tabelle: elektrochemische Spannungsreihe*. [Online] Available at: Oldenburg: Internetchemie ChemLin GbR. <https://www.internetchemie.info/chemie-lexikon/daten/e/elektrochemische-spannungsreihe.php> [Zugriff am 15 01 2023].
- Kaluderovic, G., 2022. *Bodenentstehung und Bodenbildung*. [Vorlesungsskript] Merseburg: Hochschule.
- Klaassen, K., 2017. *Aluminium im Grundwasser Ostfrieslands*, Norden: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz.
- Kraume, M., 2022. *Transportvorgänge in der Verfahrenstechnik*. 3. Auflage Hrsg. Berlin: Springer Vieweg.
- Lernort Mint, 2022. *der pH - Wert von Regenwasser*. [Online] Available at: Hannover: Einbock GmbH. <https://www.lernort-mint.de/chemie/anorganische-chemie/saeure-base-reaktionen/der-ph-wert-von-regenwasser/> [Zugriff am 20 02 2023].
- Limbach Analytics, 2021. *Prüfbericht Brunnenwasseruntersuchung*, Leipzig: Limbach Analytics GmbH.
- Limbach Analytics, 2022. *Prüfbericht Brunnenwasseruntersuchung*, Leipzig: Limbach Analytics GmbH.
- Mortimer, C. E. & Müller, U., 2015. *Chemie: Das Basiswissen der Chemie*. 12. Auflage Hrsg. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Müller, T., o. D.. *Fermanox*. [Online] Available at: Berlin: Thomas Müller Umwelttechnik. <https://www.mueller->

- umwelttechnik.de/fermanox  
[Zugriff am 02 04 2023].
- Mutschmann & Stimmlmayer, 2019. *Taschenbuch der Wasserversorgung*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Napierala, 2019. *Bescheid: Befreiung vom Verbot der Grundwassererschließung in der Trinkwasserschutzzone III A für den Bau und Betrieb einer Fermanox - Wasseraufbereitungsanlage*. Borna: Landratsamt, Umweltamt Sachgebiert Wasser/Abwasser.
- Nolte, L. - p. & Rübesamen, U., 1991. Pflege, Regenerierung, Sanierung und Rückbau von Brunnenanlagen. *bbr: Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau*, 10/11, Überarbeitung 1999, pp. 3 - 25.
- Paul, K. F., 2007. Das Minimierungsgebot bei der chemischen Brunnenregenerierung. *bbr: Leistungsbau Brunnenbau Geothermie*, 09, pp. 60 - 69.
- Podbregar, N., 2020. *erste "Manganfresser"-Mikroben entdeckt*. [Online] Available at: Düsseldorf: MMCD NEW MEDIA.  
<https://www.scinexx.de/news/biowissen/erste-manganfresser-mikroben-entdeckt/>  
[Zugriff am 04 08 2023].
- Puhlmann, D., 2000. Brunnenalterung: Regenerieren oder Sanieren?. *bbr Leitungsbau Brunnenbau Geothermie*, 08, pp. 26 - 32.
- Rott, U., 1994. *Fermanox - Wasseraufbereitung unter besonderer Berücksichtigung umweltrelevanter Auswirkungen*, Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft.
- Rott, U. & Friedle, M., 2000. 25 Jahre unterirdische Wasseraufbereitung in Deutschland - Rückblick und Perspektiven. In: *gfw - Wasser und Abwasser*. Essen: Vulkan - Verlag GmbH, p. 99.
- Schrepfer, M., o. D.. *Aquaplus die Zukunft der Brunnenregenerierung*, Kronach: Aquaplus Brunnensanierung GmbH & co. KG.
- SMUL, 2007. *Fachbeitrag zum Landschaftsrahmenplan Westsachsen*, Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klima, Umweltschutz und Landwirtschaft.
- Spektrum der Wissenschaften Verlagsgesellschaft mbH, 2000. *Hydrogeologie*. [Online] Available at: Heidelberg: Spektrum der Wissenschaften Verlagsgesellschaft mbH.  
<https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/hydrogeologie/7223>  
[Zugriff am 19 03 2023].
- Tholen, M., 2012. *Arbeitshilfen für Brunnenbauer Brunnenausbau- und Brunnenbetriebstechniken*. Bonn: WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH.
- Umweltbundesamt, 2022. *Rechtliche Grundlagen, Empfehlungen*. [Online] Available at: Berlin: Umweltbundesamt.  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/rechtliche-grundlagen-empfehlungen-regelwerk>  
[Zugriff am 16 01 2023].
- Unternehmensberatung Babel, 2023. *Löslichkeit von Gasen in Wasser*. [Online] Available at: <https://www.unternehmensberatung-babel.de/industriegase->

[lexikon/industriegase-lexikon-n-bis-z/ostwald-koeffizient/index.html](#)

[Zugriff am 10 01 2023].

Würdemann, H., 2020. *Wasserversorgung Teil II*. [Vorlesungsskript] Merseburg: Hochschule.

Würdemann, H., 2023. *Besprechung Bachelorarbeit* [Interview] (19 01 2023).

## 8 Anhang

1.	Anhang: Pumpversuch Brunnen 2, B 1/11 .....	B
2.	Anhang: Pumpversuch Brunnen 1, B 1/19 .....	C
3.	Anhang: Pumpversuch Brunnen 2, SB 1/22 .....	E
4.	Anhang: Wasseranalysen fimenintern .....	F
5.	Anhang: Wasseranalyse eurofins 18.09.2017 .....	G
6.	Anhang: Wasseranalysen zur Förder- und Infiltrationsmengen – Untersuchungen .....	J
7.	Anhang: Hydropulsprotokoll .....	M
8.	Anhang: Ereignisspeicher Fermanox erste Betriebsphase .....	R
9.	Anhang: Ereignisspeicher Fermanox zweite Betriebsphase .....	Y
10.	Anhang Datenlogger .....	FF
11.	Anhang: Wasseranalyse durch Limbach Analytics 21.09.2022 .....	NN
12.	Anhang: Ausschnitte der Schichtenverzeichnisse umliegender Bohrungen.....	QQ

## 1. Anhang: Pumpversuch Brunnen 2, B 1/11

**Fa. Fritz Thiele Bohrungen + Brunnenbau****Inh. Gabriele Wegel, Brunnenbaumeister**

04683 Naunhof, Robert-Blum-Straße 2-8, Tele.: (034293) 29839, Fax: 31754

**Pumpversuch in Köhra, Leipziger Straße 32****Feuerlöschbrunnen 1/10**

Datum	Zeit	Zählerstand	Menge m <sup>3</sup> /h	Absenkgr.ab GOK (m)	Bemerkung
05.05.2011	09:25	501362,020		4,06	Ruhewasserspiegel
	09:40		3,60	5,08	<b>Pumpversuch an</b>
	09:45			5,08	Wasser trüb
	09:50		7,80	6,45	Wassermenge erhöht
	09:55		8,65	6,48	<b>Klarpumpen</b>
	10:00			6,50	
	10:10			6,52	
	10:20			6,55	
	10:30	501369,79		6,58	Wasser leicht trüb
	10:40	501372,18	14,34	8,20	Wassermenge erhöht
	10:50			8,25	
	11:00			8,30	
	11:10	501379,51		8,35	Wasser leicht trüb
	11:20	501383,01	21,00	10,17	Wassermenge erhöht
	11:30			10,25	
	11:40			10,30	
	11:50			10,33	
	12:00	501397,29	21,42	10,36	Wasser klar
	13:00	501418,80	21,51	10,43	
	14:00	501440,31	21,51	10,45	<b>Pumpversuch aus</b>
	14:01			5,60	<b>Anstiegsmessung</b>
	14:02			5,20	
	14:03			5,08	
	14:04			4,97	
	14:05			4,92	
	14:10			4,58	

Fa. Fritz Thiele  
 Bohrungen und Brunnenbau  
 Inh. Gabriele Wegel  
 Robert-Blum-Straße 2-8  
 04683 Naunhof  
 Tel. 034293/29839 • Fax 31754

(Fa. Thiele Brunnenbau, 2011)

## 2. Anhang: Pumpversuch Brunnen 1, B 1/19

**Fa. Fritz Thiele Bohrungen + Brunnenbau****Inh. Gabriele Wegel, Brunnenbaumeister**

04683 Naunhof, Robert-Blum-Straße 2-8, Tele.: (034293) 29839, Fax: 31754

**Pumpversuch in Köhra, Leipziger Straße 32****Feuerlöschbrunnen 1/19**

Datum	Zeit	Zählerstand	Menge m³/h	Absenkg.ab GOK (m)	Bemerkung
28.06.2019	09:30	539103,760		6,52	Ruhewasserspiegel
	09:40		7,50	7,23	<b>Pumpversuch an</b>
	09:50			7,21	Wasser grau trüb
	10:00			7,23	
	10:10			7,23	Wasser leicht trüb
	10:20			7,23	
	10:30	539110,85		7,23	Wasser fast klar
	10:40		15,00	7,75	Wassermenge erhöht
	10:50			7,79	Wasser grau trüb
	11:00			7,80	
	11:10			7,80	Wasser leicht trüb
	11:20			7,78	
	11:30	539125,89		7,78	Wasser klar
	11:40		29,75	9,42	Wassermenge erhöht
	11:50			9,56	
	12:00			9,60	Wasser grau trüb
	12:10			9,63	
	12:20			9,67	
	12:30	539156,09		9,70	Wasser leicht trüb
	12:40			9,73	
	12:50			9,75	
	13:00			9,77	
	13:10			9,79	
	13:20			9,81	Wasser klar
	13:30			9,83	
	13:40			9,83	
	13:50			9,83	
	14:00			9,83	
	14:10			9,83	
	14:20			9,83	
	14:30			9,83	
	14:40			9,83	
	14:50			9,83	
	15:00			9,83	

**Fa. Fritz Thiele Bohrungen + Brunnenbau**  
**Inh. Gabriele Wegel, Brunnenbaumeister**

04683 Naunhof, Robert-Blum-Straße 2-8, Tele.: (034293) 29839, Fax: 31754

	15:10			9,83	
	15:20			9,83	
	15:30	539245,40		9,83	<b>Pumpversuch aus</b>
	15:31			7,42	<b>Anstiegsmessung</b>
	15:32			7,28	
	15:33			7,21	
	15:34			7,14	
	15:35			7,09	
	15:40			6,92	
	15:45			6,84	
	15:50			6,79	
	15:55			6,76	
	16:00			6,71	
	16:05			6,66	
	16:10			6,62	
	16:15			6,58	
	16:20			6,55	
	16:25			6,52	
	16:30			6,52	

Fa. Fritz Thiele  
 Bohrungen und Brunnenbau  
 Inh. Gabriele Wegel  
 Robert-Blum-Straße 2-8  
 04683 Naunhof  
 Tel. (034293) 29839 Fax 31754

(Fa. Thiele Brunnenbau, 2019)

## 3. Anhang: Pumpversuch Brunnen 2, SB 1/22

**Fa. Fritz Thiele Bohrungen + Brunnenbau**  
**Inh. Gabriele Wegel, Brunnenbaumeister**  
 04683 Naunhof, Robert-Blum-Straße 2-8, Tele.: (034293) 29839, Fax: 31754

**Pumpversuch in Köhra, Leipziger Straße 32**  
**Brunnensanierung 1/22**

Datum	Zeit	Zählerstand	Menge m <sup>3</sup> /h	Absenkg.ab GOK (m)	Bemerkung
25.04.2022	12:25	539452,138		6,39	Ruhewasserspiegel
	12:30		10,01	9,50	<b>Pumpversuch an</b>
	12:35			9,56	Wasser trüb
	12:40			9,59	
	12:45			9,60	
	12:50			9,64	
	12:55			9,67	
	13:00			9,67	
	13:05	539458,65		9,67	Wasser leicht trüb
	13:10		15,70	11,40	Wassermenge erhöht
	13:15			11,67	
	13:20			11,73	Wasser trüb
	13:25			11,73	
	13:30			11,73	
	13:40			11,73	
	13:50			11,73	Wasser klar
	14:00			11,73	
	14:10			11,73	
	14:20			11,73	
	14:30			11,73	
	14:40	539481,95		11,73	<b>Pumpversuch aus</b>
	14:41			7,68	<b>Anstiegsmessung</b>
	14:42			7,08	
	14:43			6,92	
	14:44			6,85	
	14:45			6,81	
	14:50			6,65	
	14:55			6,58	
	15:00			6,52	
	15:05			6,52	
	15:10			6,52	

(Fa. Thiele Brunnenbau, 2022)

## 4. Anhang: Wasseranalysen fimenintern

Datum	Uhrzeit	pH-Wert	Mangan LCW 032 [mg/l]	Eisen LCK 321 [mg/l]	pH-Wert	Mangan LCW 032 [mg/l]	Eisen LCK 321 [mg/l]
		Brunnen 1			Brunnen 2		
11.12.2019		6,34	0,216	2,34	6,21	0,183	2,06
17.12.2019	08:20	6,53					
31.12.2019	08:15	6,37					
15.01.2020	11:30	6,31					
21.01.2020	10:20	6,46					
28.01.2020	11:55	6,42					
04.02.2020	10:15	6,56					
25.02.2020	09:40	6,35					
03.03.2020	09:45	6,3					
17.03.2020	07:45	6,19					
24.03.2020	10:00	6,11					
31.03.2020	09:25	6,16	0,404	2,25			
07.04.2020	12:00	6,20	0,32	2,04			
08.04.2020	13:30				6,16	0,262	0,103
09.04.2020	12:10	6,29	0,086	0,75			
14.04.2020	11:18		0,275	2,05			
15.04.2020	12:00				0,181	0,138	
21.04.2020	12:00	6,30	0,167	0,779			
28.04.2020	11:00				0,240	0,169	
05.05.2020	12:45		0,208	0,816			
12.05.2020	-				6,1	0,248	0,155
13.05.2020	10:55		0,321	1,17			
18.05.2020	-				6,1	0,241	0,183
26.05.2020	11:20				6,3	0,282	0,226
03.06.2020	11:40	6,41	0,264	0,902			
09.06.2020	13:40	6,215	0,31	1,15			
10.06.2020	12:10				6,447	0,270	0,251
16.06.2020	14:30	6,38	0,208	0,151			
23.06.2020	13:30				6,4	0,293	0,3
07.07.2020	10:10				6,12	0,292	0,114
14.07.2020	16:10	6,53	0,288	0,082			
16.07.2020	10:00	6,49	0,303	1,42			
21.07.2020	09:30				6,34	0,28	0,32
28.07.2020	-	6,43	0,269	1,43			
11.08.2020	-				6,39	0,309	2,14

Datum	Uhrzeit	pH-Wert	Mangan LCW 032 [mg/l]	Eisen LCK 321 [mg/l]	pH-Wert	Mangan LCW 032 [mg/l]	Eisen LCK 321 [mg/l]
25.08.2020	14:15	6,45	0,266	0,889			
01.09.2020	10:10				6,31	0,23	0,18
08.09.2020	11:30	6,3	0,285	1,05			
15.09.2020	14:15	6,45	0,297	1,84			
22.09.2020	11:00				6,17	0,059	0,288
06.10.2020	11:30	6,24	0,364	2,57			
20.10.2020	11:30	6,23	0,354	2,69			
27.10.2020	11:30	6,48	0,375	2,21			
05.11.2020	08:20				6,33	0,292	0,579
10.11.2020	10:20	6,2	0,285	1,08			
19.11.2020	13:45				6,07	0,043	0,138
24.11.2020	13:55	6,16	0,043	0,776			
02.12.2020	10:00				6,17	0,054	0,498
08.12.2020	07:45	6,30	0,065	2,25			
15.12.2020	07:50				6,18	0,287	0,444
22.12.2020	09:15	6,30	0,283	1,79			
29.12.2020	10:20				6,14	0,127	0,052
02.01.2021	10:00				6,22	0,265	0,968
05.01.2021	09:00	6,33	0,38	2,67			
12.01.2021	08:15				6,4	0,037	0,119
26.01.2021	10:40	6,37	0,364	2,9			
STOP FERMANOX Nach Sanierung							
02.09.2021		6,97	0,19	2,7			
05.07.2022	10:30	5,83	0,273	1,21			
30.08.2022	11:00				6,07	0,227	1,22
07.09.2022	08:00	5,97	0,178	1,55			
16.09.2022	13:30				6,08	0,371	1,45
21.09.2022	10:30	5,99	0,293	2,04			
27.09.2022	11:00				6,21	0,192	0,512
06.10.2022	10:55	6,00	0,309	2,17			
12.10.2022	12:00				6,02	0,189	0,544
18.10.2022	09:30				6,08	0,314	1,21
19.10.2022	13:30	5,98	0,314	1,83			
26.10.2022	10:15				6,25	0,289	0,738

Datum	Uhrzeit	pH-Wert	Mangan LCW 032 [mg/l]	Eisen LCK 321 [mg/l]	pH-Wert	Mangan LCW 032 [mg/l]	Eisen LCK 321 [mg/l]
02.11.2022	13:00	5,84	0,28	0,641			
07.11.2022	09:30				5,82	0,254	0,724
22.11.2022	10:00	6,15	0,23	0,497			
01.12.2022	10:00				5,9	0,274	0,586
07.12.2022	14:30	6,02	0,183	0,891			
13.12.2022	13:00				6,11	0,071	1,72
20.12.2022	11:00	6,01	0,194	1,47			
29.12.2022	13:40				5,97	0,277	0,492
03.01.2023	09:15	5,9	0,127	1,64			
10.01.2023	09:30				6,03	0,305	0,438
17.01.2023	13:00	5,99	0,121	1,84			
24.01.2023	09:15				6,00	0,330	0,593
01.02.2023	13:15	5,89	0,245	0,551			
08.02.2023	14:00				6,01	0,268	0,488
14.02.2023	09:35	5,94	0,316	1,97			
16.02.2023	08:50	5,91	0,398	1,10			
23.02.2023	14:30				5,99	0,601	0,703
01.03.2023	08:20	5,97	0,303	1,32			

(Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2023)

## 5. Anhang: Wasseranalyse eurofins 18.09.2017



Eurofins Institut Dr. Appelt Leipzig GmbH  
Taubchenweg 28  
D-04317 Leipzig  
Deutschland

Tel: +49 341 64 9 66 0  
Fax: +49 341 64 9 66 99

appelt-leipzig@eurofins.de  
www.eurofins.de

Eurofins Institut Dr. Appelt Leipzig GmbH - Taubchenweg 28 - D-04317 Leipzig

Kartoffelmeister Köhra Kartoffelschäl- u. Vertriebsges. mbH **Sachbearbeiter** Herr F. Malig  
Qualitätsmanagement  
Leipziger Str. 32  
04683 Köhra

Prüfberichtsdatum 18.09.2017  
Seite 1/4

Prüfbericht AR-17-LG-047455-01  
Probennummer 508-2017-00046670



<b>Auftraggeber</b>	Kartoffelmeister Köhra Kartoffelschäl- u. Vertriebsges. mbH
<b>Probenbezeichnung</b>	Brunnenwasser
<b>Verpackung</b>	Kunststoffbehälter
<b>Probennummer Kunde</b>	3
<b>Bruttogewicht/-volumen</b>	1000ml
<b>Probenahmedatum/ Uhrzeit</b>	07.09.17 / 08:05
<b>Probenahmestelle</b>	Brunnenwasser, Kugelhahn
<b>Art der Probenahme</b>	Trinkwasser
<b>Vorlauf</b>	3 L
<b>Probennehmer</b>	Frau Meike Rödiger
<b>Art der Probe</b>	Einzelprobe, Kaltwasser
<b>Zw. (DIN EN ISO 19458)</b>	Hausinstallation (b)
<b>In Anwesenheit von</b>	Frau Bernhardt
<b>Übergabe</b>	an Eurofins Institut Dr. Appelt am 07.09.2017 um 09:18 Uhr
<b>Temperatur PN</b>	11,9°C
<b>Probenahmевorschrift</b>	Trinkw. Chem.-physik. (DIN ISO 5667-5, 2011-02)
<b>Eingangdatum</b>	07.09.2017
<b>Beginn/Ende der Analyse</b>	07.09.2017 / 18.09.2017

### Prüfergebnisse

Physikalische Prüfungen			
Testcode / Methode	Einheit	Ergebnis	Spezifikation
<b>LG8L1 Elektrische Leitfähigkeit (#)</b>			
DIN EN 27888 (C8) 1993-11, SOP:59.15900.T, Leitfähigkeit (Membran)			
Leitfähigkeit	µS/cm	742	2790 TrinkwV
Temperatur des Leitfähigkeitswertes	°C	25	
Chemisch-Physikalische Prüfungen			
Testcode / Methode	Einheit	Ergebnis	Spezifikation
<b>LG8P1 pH-Wert (#)</b>			
DIN EN ISO 10523 (C5), 2012-04, SOP:75.17008.W, Potentiometrie			
pH-Wert		6,20	6,5 - 9,5 TrinkwV
Temperatur pH-Wert	°C	22,7	

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand und den Umfang der durchgeführten Untersuchungen.  
Eine - auch auszugsweise - Veröffentlichung des Berichtes bedarf einer schriftlichen Genehmigung.  
Eurofins Institut Dr. Appelt Leipzig GmbH - Taubchenweg 28 - D-04317 Leipzig  
Erlaubt/ersetzt in der Standart der Gesellschaft, Eurofins Institut Dr. Appelt Leipzig GmbH, Taubchenweg 28, D-04317 Leipzig,  
Ort/Standort der Gesellschaft in Leipzig - Amtsgericht Leipzig HGB 31711.

Geschäftsführer: Frank Barsch  
Ust-Id-Nr.: DE 301550770  
Nazi-Id-Nr. (B.L.2.200.500.00) Konti-Nr.: 152 003 604  
SWIFT-BIC: NOLADE21 XXX IBAN: DE52 2535 0000 0152 0006 04

Es gelten unsere AVB, die wir Ihnen auf Anfrage gerne zusenden oder unter  
<http://www.eurofins.de/lebenmittelkontakt/avb.aspx> zur Verfügung stellen.



Durch die DAKKS nach DIN EN ISO/IEC  
17025 akkreditiertes Prüflaboratorium

D. Appelt  
Akzeler. Prüfungsstelle  
D-PL-14038-01 EU



<b>AN215</b>	<b>Chlorid mg/l</b>			
DIN EN ISO 10304-1, , IC-EC				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Chlorid (Cl)	mg/l	42	250	TrinkwV
<b>AN223</b>	<b>Fluorid [Ionensens. Elektrode] mg/l</b>			
DIN 38405-D4, , Potentiometrie				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Fluorid	mg/l	<0,10	1,50	TrinkwV
<b>AN05Y</b>	<b>TOC (gesamter organischer Kohlenstoff) mg/l</b>			
DIN EN 1484, , Verbrennung				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
TOC	mg/l	1,1		
<b>ANIDS</b>	<b>Ammonium [CFA] mg/l</b>			
DIN EN ISO 11732 (F23), , Spektrophotometrie (CFA)				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Ammonium	mg/l	0,16	0,5	TrinkwV
<b>AN222</b>	<b>Nitrit [Photometrieautomat] mg/l</b>			
DIN ISO 15923-1, , Spektrophotometrie				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/l	<0,01	0,50	TrinkwV
<b>AN216</b>	<b>Nitrat mg/l</b>			
DIN EN ISO 10304-1, , IC-EC				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/l	<1,0	50	TrinkwV
<b>AN05U</b>	<b>Trübung quantitativ FNU</b>			
DIN EN ISO 7027, , Spektrophotometrie				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Trübung	FNU	1,7	1	TrinkwV
<b>AN0A9</b>	<b>Spektraler Absorptionskoeffizient 436 nm (Färbung)</b>			
DIN EN ISO 7887, , Spektrophotometrie				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Spektr. Absorptionskoeff. (436 nm) 1/m		0,3	0,5	TrinkwV

#### Elementanalytische Prüfungen

Testcode / Methode	Einheit	Ergebnis	Spezifikation	
<b>AN173</b>	<b>Arsen mg/l</b>			
DIN EN ISO 17294-2, , ICP-MS				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Arsen (As)	mg/l	<0,001	0,01	TrinkwV
<b>AN181</b>	<b>Chrom mg/l</b>			
DIN EN ISO 17294-2, , ICP-MS				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Chrom (Cr)	mg/l	<0,001	0,05	TrinkwV
<b>AN182</b>	<b>Eisen mg/l</b>			
DIN EN ISO 17294-2, , ICP-MS				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Eisen (Fe)	mg/l	2,43	0,20	TrinkwV
<b>AN189</b>	<b>Mangan mg/l</b>			
DIN EN ISO 17294-2, , ICP-MS				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Mangan (Mn)	mg/l	0,219	0,05	TrinkwV

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand und den Umfang der durchgeführten Untersuchungen. Eine - auch auszugsweise - Veröffentlichung des Berichtes bedarf einer schriftlichen Genehmigung.  
 Eurofins Institut Dr. Appel Leipzig GmbH · Tauscherweg 28 · D-34317 Leipzig  
 Erfüllungsort ist der Standort der Gesellschaft, Eurofins Institut Dr. Appel Leipzig GmbH, Tauscherweg 28, D-04317 Leipzig.  
 Gewissensstand der Gesellschaft ist Leipzig - Amtsgericht Leipzig, HRB 31711.

Gesellschaftsleiter: Frank Garsch  
 Ust ID-Nr.: DE 301550273  
 Handelsregister (HRG 2 250 500 00): Konto-Nr.: 152 003 904  
 SWIFT-BIC: WOLAG233XXX IBAN: DE44 2505 0000 0152 0036 04

Es gehen unsere -/Vb. die wir Ihnen auf Anfrage gerne zusenden oder unter <http://www.eurofins.de/leistungen/telekommunikation.aspx> zur Verfügung stehen.



Durch die DAKKS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflabor

**AN192 Nickel mg/l**

DIN EN ISO 17294-2, ICP-MS

Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.

Nickel (Ni)	mg/l	<0,001	0,02	TrinkwV
-------------	------	--------	------	---------

**AN177 Blei mg/l**

DIN EN ISO 17294-2, ICP-MS

Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.

Blei (Pb)	mg/l	<0,001	0,01	TrinkwV
-----------	------	--------	------	---------

**AN179 Cadmium mg/l**

DIN EN ISO 17294-2, ICP-MS

Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.

Cadmium (Cd)	mg/l	<0,0002	0,003	TrinkwV
--------------	------	---------	-------	---------

**AN172 Antimon mg/l**

DIN EN ISO 17294-2, ICP-MS

Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.

Antimon (Sb)	mg/l	<0,001	0,005	TrinkwV
--------------	------	--------	-------	---------

**AN180 Calcium mg/l**

DIN EN ISO 17294-2, ICP-MS

Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.

Calcium (Ca)	mg/l	128		
--------------	------	-----	--	--

**AN186 Kupfer mg/l**

DIN EN ISO 17294-2, ICP-MS

Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.

Kupfer (Cu)	mg/l	<0,001	2	TrinkwV
-------------	------	--------	---	---------

**AN188 Magnesium mg/l**

DIN EN ISO 17294-2, ICP-MS

Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.

Magnesium (Mg)	mg/l	12,5		
----------------	------	------	--	--

**AN200 Selen mg/l**

DIN EN ISO 17294-2, ICP-MS

Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.

Selen (Se)	mg/l	<0,001	0,01	TrinkwV
------------	------	--------	------	---------

**Prüfungen mittels Ionenchromatographie**

Testcode / Methode	Einheit	Ergebnis	Spezifikation	
<b>AN217 Sulfat mg/l</b>				
DIN EN ISO 10304-1, IC-EC				
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.				
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/l	270	250	TrinkwV

**Sensorische Prüfungen**

Testcode / Methode	Einheit	Ergebnis	Spezifikation
<b>LG8G2 Geruch (#)</b>			
DEV B 1/2, SOP:59.83005.T, Organoleptik			
Geruch		neutral	

Testcode / Methode	Einheit	Ergebnis	Spezifikation
<b>AN01P Gesamthärte ber. mmol/l</b>			
DIN EN ISO 17294-2, Berechnung			
Unterauftragsvergabe an Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf, welches für diesen Test akkreditiert ist.			
Gesamthärte	mmol/l	3,78	

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand und den Umfang der durchgeführten Untersuchungen.

Eine - auch auszugsweise - Veröffentlichung des Berichtes bedarf einer schriftlichen Genehmigung.

Eurofins Institut Dr. Appel Leipzig GmbH - Teubchenweg 28 - D-04317 Leipzig

Erfüllungsort ist der Standort der Gesellschaft, Eurofins Institut Dr. Appel Leipzig GmbH, Teubchenweg 28, D-04317 Leipzig.

Gerichtstand der Gesellschaft ist Leipzig - Amtsgericht Leipzig HGB 31711.

Geschäftsführer: Frank Biersch

U.N. 33 AF, DE 301955276

NordLB IBL 2 250 506 000 Konto-Nr. 152 003 804

SWIFT-BIC: NOLADE2HXXX IBAN: DE82 2505 0060 0152 0036 04

Es gelten unsere AVB, die wir Ihnen auf Anfrage gerne zusenden oder unter:

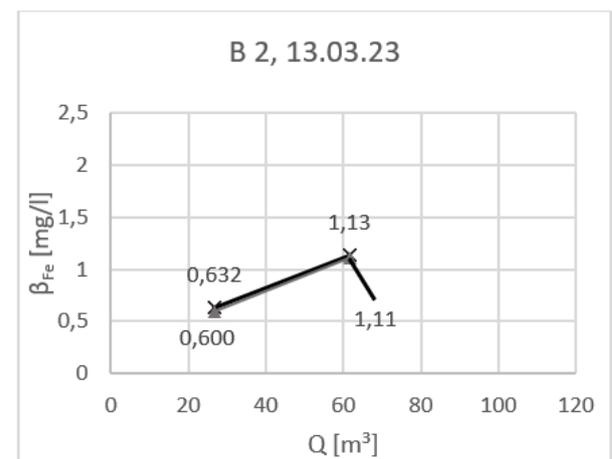
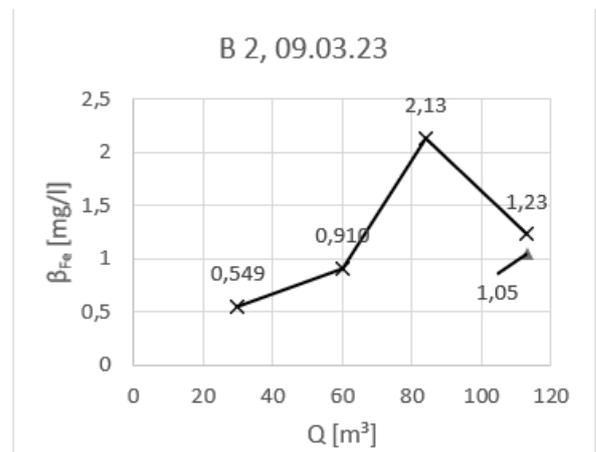
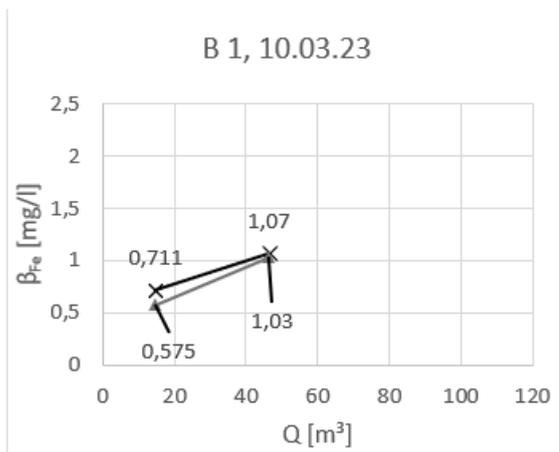
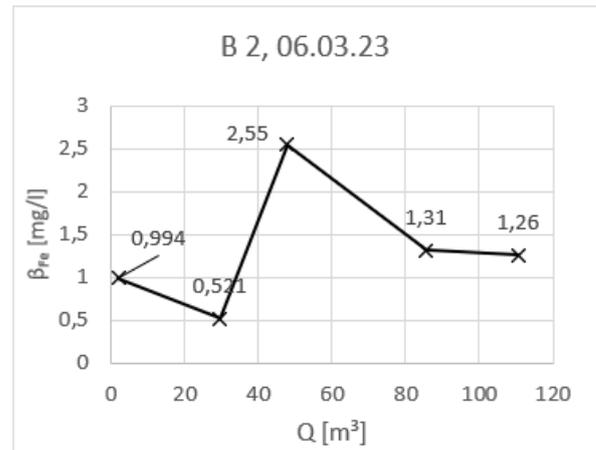
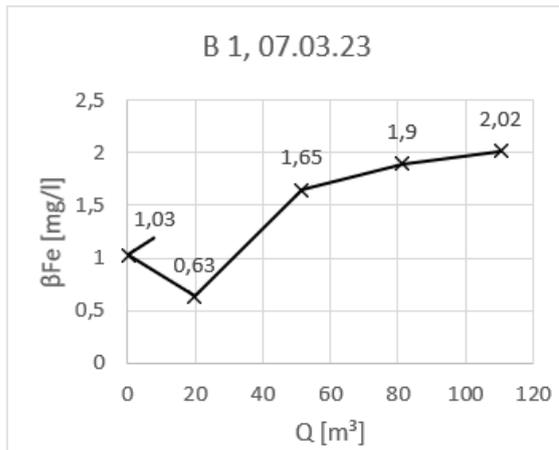
http://www.eurofins.de/leben-wasser/produkte/020.aspx zur Verfügung stehen.


 Deutsche  
 Akkreditierungsstelle  
 D-PL-1403E 1-03

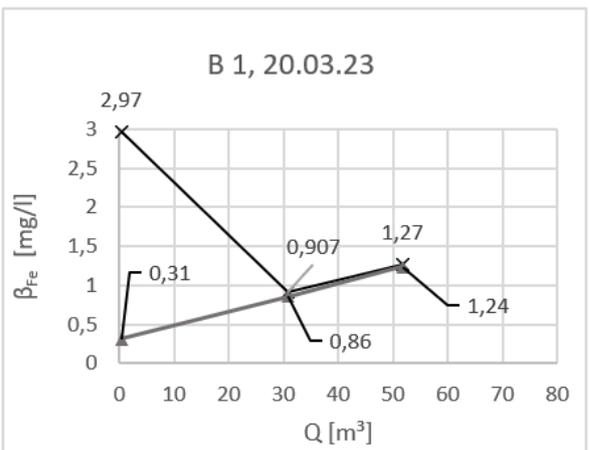
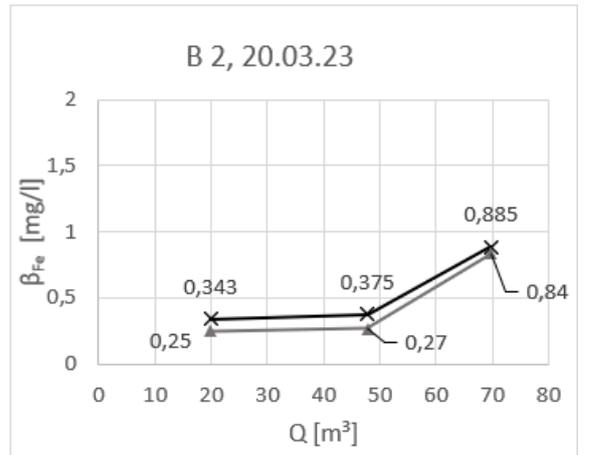
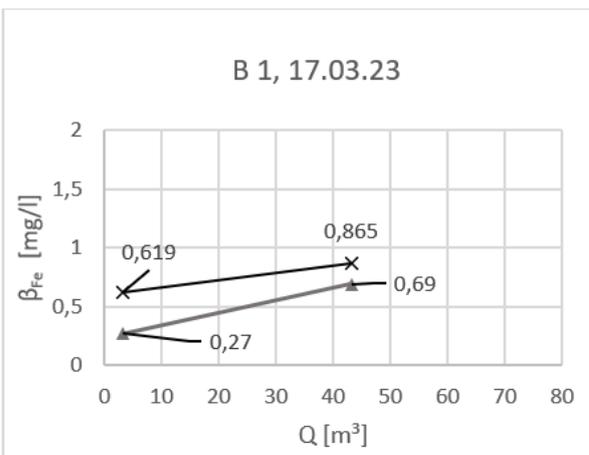
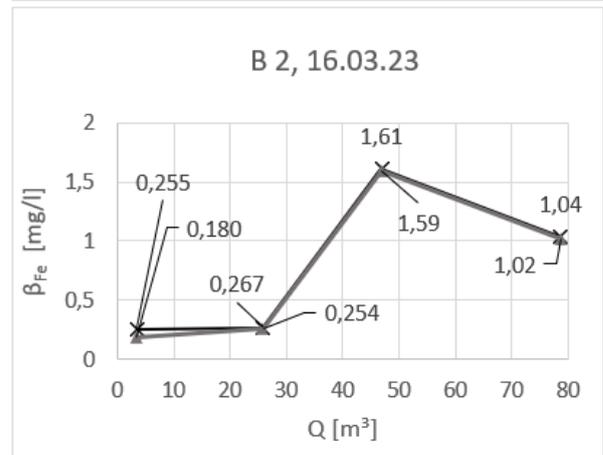
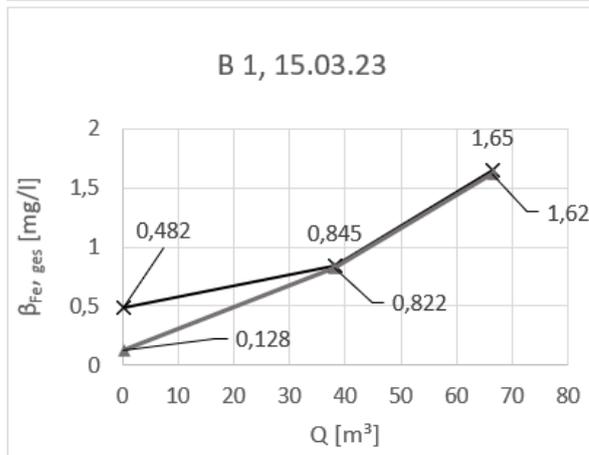
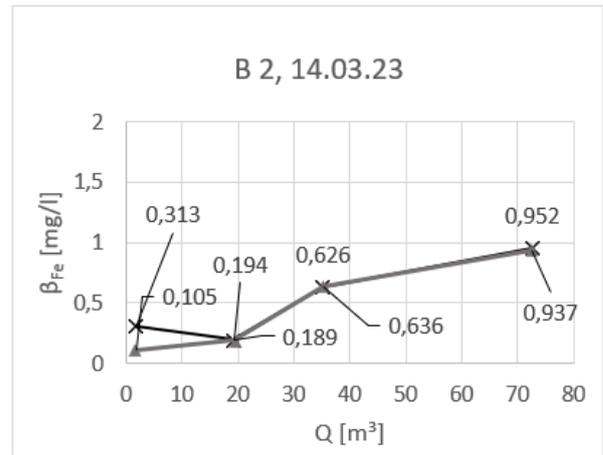
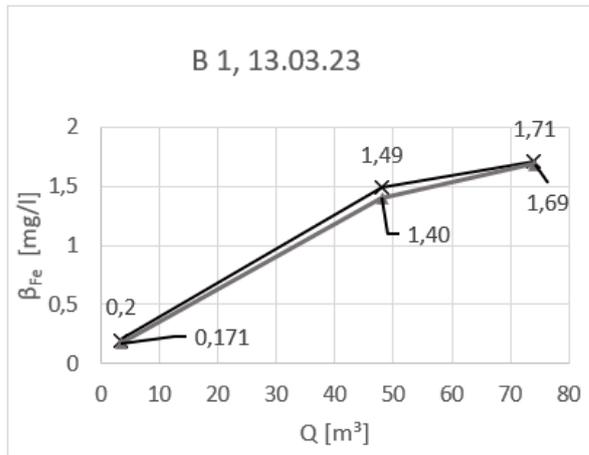
Durch die DAKKS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.

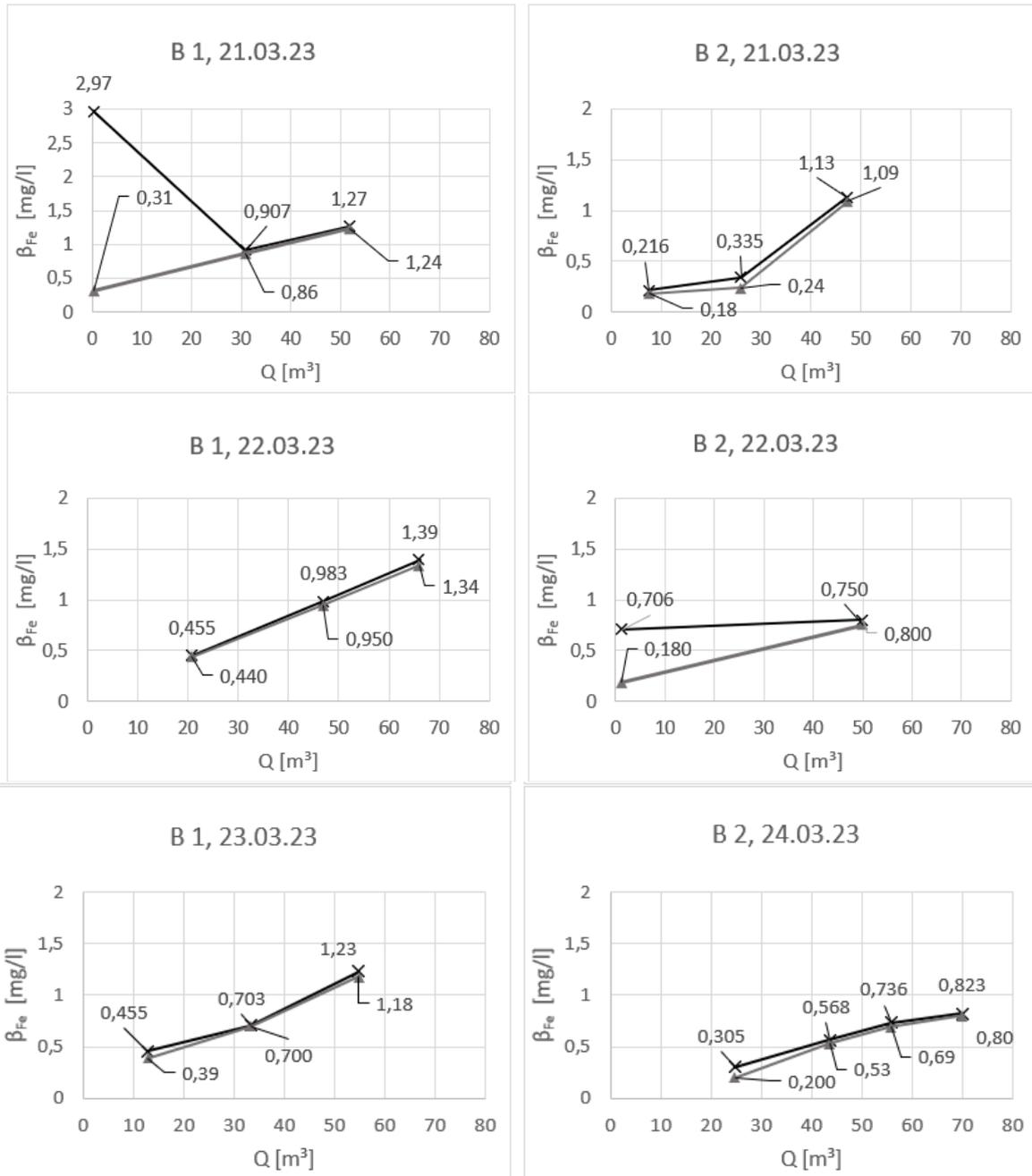
## 6. Anhang: Wasseranalysen zur Förder- und Infiltrationsmengen – Untersuchungen

Eisengehalte in Abhängigkeit der Fördermenge – Förder- und Infiltrationsmenge 120/40 m<sup>3</sup>



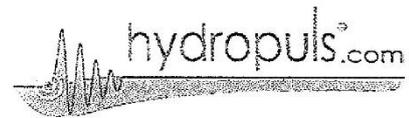
Eisengehalte in Abhängigkeit der Fördermenge – Förder- und Infiltrationsmenge 80/40 m<sup>3</sup>



Eisengehalte in Abhängigkeit der Fördermenge – Förder- und Infiltrationsmenge 60/30 m<sup>3</sup>

(eigene Darstellung)

## 7. Anhang: Hydropulsprotokoll



### Abschlussprotokoll

Projekt:

Brunnen 1/11, Köhra-Frische GmbH

Zeitraum:

22.10.2020

Arbeiten:

Regenerierung mittels hydropuls®

Pumptest vor und nach Anwendung des Verfahrens

TV-Befahrung vor und nach Anwendung des Verfahrens

Auftraggeber:

Köhra-Frische GmbH

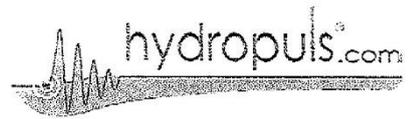
Leipziger Str. 32

04683 Köhra / Belgershain



## protokoll

22.10.2020



## Brunnen- und Ausbaudaten

Datum	12.-14.10.2020 und 19.10.2020	
Standort, Brunnen, Baujahr	04683 Köhra/Belgershain, Leipz. Str.32; Br.1/11;11.05.2011	
Auftraggeber	Köhra-Frische GmbH	
Ausbaumaterial	PVC	
Fördermenge vor hydropuls		
Ringraum - Durchmesser [mm]	324 mm	
Brunnen - Durchmesser [mm]	200 mm; SW 0,75 mm mit PVC Tresse; Filtersand 0,7-1,2 mm	
GW-Ruhe h (m unter 0-Punkt)	6,93 m (22.10.2020; 8:45Uhr); 4,06 m (11.05.2011)	
Differenz GOK zu 0-Punkt [m]	0-Punkt-Position: Kante Brunnenstube	
Filterstrecke	BSK50SV500 (m unter 0-Punkt)	Ausbauzeichnung (m unter GOK)
Brunnen - Tiefe [m]	19,00 m	19,00 m
Filterstrecke 1 [m]	12,90 - 18,60 m	12,00 - 18,00 m
Filterstrecke 2 [m]	-	-
Filterstrecke 3 [m]	-	-
Filterstrecke 4 [m]	-	-
Sumpfrohr [m] +0,1 diff. side- downview	18,60 -19,76 m	-
Aufklöpfung [m] +0,1 diff. side- downview	19,60 - 19,76 m	-

Impulsgenerator-typ: GID35P

Volumen: 80 ml

Nummer: G16719



## protokoll

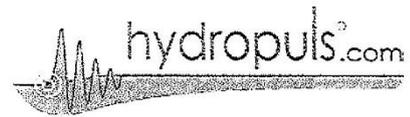
22.10.2020



	Tag	Uhrzeit	Brunnen	Arbeitsablauf	Bemerkung
1.	22.10.20	8:30-9:00	Br.1/11	Baustelleneinrichtung	
2.	-	09:00-9:20	Br.1/11	TV-Befahrung	0 m bis 19,00 m
3.	-	9:20-9:40	Br.1/11	Pumptest	SQ5, 8 m³/h
4.	-	9:40-10:00	Br.1/11	Einbau Airlift	auf 19,00 m eingebaut (inkl. Fußstück und Einblaßstück);
5.	-	10:00-10:10	Br.1/11	Sumpf reinigen	
6.	-	10:20-12:30	Br.1/11	hydropuls Verfahren, bei gleichzeitigem Abfördern mit Airlift	GID35P 20-40 bar, gesamte Filterstrecke; 1Flasche N2 300 bar 50 L; Austrag dunkelrot bis rotbraun, im weiteren Verlauf gräulich
7.	-	12:30-12:35	Br.1/11	Sumpf reinigen	
8.	-	12:35-12:50	Br.1/11	Ausbau Airlift	
9.	-	12:50-14:30	Br.1/11	Klarpumpen	SQ5, 8 m³/h
10.	-	14:30-15:00	Br.1/11	TV-Befahrung	
11.	22.10.20	15:00-15:30	Br.1/11	Baustellenberäumung	
12.					
13.					
14.					
15.					
16.					
17.					
18.					
19.					
20.					
21.					
22.					
23.					
24.					

## protokoll

22.10.2020



Pumptest vor - hydropuls	1.	2.	3.	4.
Datum	22.10.2020			
Zeit von - bis	09:20 - 9:40			
<i>Kunde oder eigene Datenaufnahme</i>				
GW-Ruhe h (m unter 0-Punkt)	6,93 m			
Pumpentyp	SQ5			
Einbautiefe Pumpe [m]	19,60 m			
Absenkung $\Delta h$ [m]	3,98 m			
MAGFLOfluid-flow measurement Q [m <sup>3</sup> /h]				
EMR Durchflussmessung Q [l/s]	8,00 m <sup>3</sup> /h			
Zeitmessung [s]				
Durchflussmessung Q [l/s]				
Q spezifisch Q/ $\Delta h$ [m <sup>3</sup> /hm]	2,01 m <sup>3</sup> /hm			

Pumptest nach - hydropuls	1.	2.	3.	4.
Datum	22.10.2020	22.10.2020		
Zeit von - bis	12:00 - 12:30	12:50 - 14:30		
<i>Kunde oder eigene Datenaufnahme</i>				
GW-Ruhe h (m unter 0-Punkt)	6,93 m	6,93 m		
Pumpentyp	Airlift	SQ5		
Einbautiefe der Pumpe [m]	19,60 m	19,60 m		
Absenkung $\Delta h$ [m]	1,30 m	1,42 m		
MAGFLOfluid-flow measurement Q [m <sup>3</sup> /h]	7,50 m <sup>3</sup> /h	8,00 m <sup>3</sup> /h		
EMR Durchflussmessung Q [l/s]				
Zeitmessung [s]				
Durchflussmessung Q [l/s]				
Q spezifisch Q/ $\Delta h$ [m <sup>3</sup> /hm]	5,77 m <sup>3</sup> /hm	5,63 m <sup>3</sup> /hm		



## bemerkungen

22.10.2020

Am 22.10.2020 führten wir eine Regenerierung an einem Feuerlöschbrunnen (Br.1/11) am Standort 04683 Belgershain (Köhra), Leipziger Str.32 – Firma Köhra-Frische GmbH, durch.  
Folgende Arbeitsschritte waren dafür notwendig:

- TV-Inspektion vor und nach der Regenerierung
- Pumpstest vor und nach der Regenerierung
- Durchführung der Regenerierung mit dem hydropuls-Verfahren bei gleichzeitigem Abfördern mit einem Airlift (Luftheberverfahren)
- Klarpumpen nach der Regenerierung zur Sicherstellung der TV-Inspektion nach der Regenerierung

Festgestellter Zustand:

Durch die TV-Inspektionen vor der Regenerierung wurde festgestellt, dass die Filterbereiche durch Ablagerungen kaum zu erkennen waren. Die Filterschlitzte waren gänzlich verschlossen und wiesen Ablagerungen oder Verkrustungen auf (vgl. Anlage 1). Im Brunnen 1/11 befand nur eine geringe Auflandung mit einer Mächtigkeit von 0,16 m (vergl. Protokoll S.1). Die Filterbereiche waren mit einer rötlich braunen bis gelben Verockerung zugesetzt.

Während der Regenerierung des Brunnens wurde die Auflandung von 0,16 m beseitigt. Die Filterbereiche sind frei von Verkrustungen und Ablagerungen. Der festgestellte Austrag war zu Beginn Eisenoxid und im weiteren Verlauf meist Feinsand und Schluff. Zu Beginn der Bearbeitung war der Austrag dunkelrot bis rotbraun gefärbt (vergl. Trichterbilder Anlage 2). Im Laufe der Regenerierung wechselte die Farbe von rotbraun zu braungrau.

Vor der Regenerierung mittels hydropuls betrug die Absenkung 3,98 m bei einer Pumpleistung von 8,00 m<sup>3</sup>/h. Daraus ergibt sich ein Qspez. von 2,01 m<sup>3</sup>/hm.

Nach der Regenerierung mittels hydropuls betrug die Absenkung 1,42 m bei einer Pumpleistung von 8,00 m<sup>3</sup>/h. Daraus ergibt sich ein Qspez. von 5,63 m<sup>3</sup>/hm.

Somit konnte eine Leistungssteigerung von 180 % erzielt werden.

Wir empfehlen eine Wiederholung der Regenerierung in zu definierenden zeitlichen Abständen (z.B. aller 2-3 Jahre), um die Leistung des Brunnens auf einem hohen Niveau zu halten.

Markkleeberg, 23.10.2020

T. Fischer  
Geschäftsführer



Dr. Ingo Sahling  
Bearbeiter




Seite 4

TLM hydropuls GmbH, Hauptstraße 103, D-04416 Markkleeberg, Tel.: +49-(0)341-4617848

(Fa. TLM Hydropuls, 2020)

## 8. Anhang: Ereignisspeicher Fermanox erste Betriebsphase

FERMANOX-Ereignisspeicher der Köhra - Frische GmbH,  
ausgelesen am 18.02.2021

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
22	31	31.03.2020 14:45	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	0
36	32	31.03.2020 21:01	Rücklauf fertig	25	18,3
21	34	31.03.2020 21:01	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	18,3
36	35	01.04.2020 03:19	Rücklauf fertig	25	
22	37	01.04.2020 21:00	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	36,9
36	38	02.04.2020 03:22	Rücklauf fertig	25	
21	39	02.04.2020 15:16	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	40	02.04.2020 21:38	Rücklauf fertig	25	
22	42	03.04.2020 15:16	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	16,6
36	43	03.04.2020 21:42	Rücklauf fertig	25	
21	44	04.04.2020 12:24	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	45	04.04.2020 18:46	Rücklauf fertig	25	
22	47	05.04.2020 12:23	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	12,4
36	48	05.04.2020 18:48	Rücklauf fertig	25	
21	49	07.04.2020 10:04	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	50	07.04.2020 16:23	Rücklauf fertig	25	
22	51	08.04.2020 09:57	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	52	08.04.2020 16:20	Rücklauf fertig	25	
21	53	09.04.2020 11:06	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	54	09.04.2020 17:27	Rücklauf fertig	25	
22	55	12.04.2020 07:26	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	56	12.04.2020 13:48	Rücklauf fertig	25	
21	57	14.04.2020 07:55	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	58	14.04.2020 14:15	Rücklauf fertig	25	
22	59	14.04.2020 14:18	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	60	14.04.2020 20:42	Rücklauf fertig	25	
21	61	15.04.2020 14:43	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	62	15.04.2020 21:04	Rücklauf fertig	25	
22	63	16.04.2020 14:21	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	64	16.04.2020 20:45	Rücklauf fertig	25	
21	65	18.04.2020 08:40	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	66	18.04.2020 15:02	Rücklauf fertig	25	
22	67	20.04.2020 08:23	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	68	20.04.2020 14:48	Rücklauf fertig	25	
21	69	21.04.2020 09:29	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	70	21.04.2020 15:52	Rücklauf fertig	25	
22	71	22.04.2020 09:28	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	72	22.04.2020 15:54	Rücklauf fertig	25	
21	73	23.04.2020 10:21	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	74	23.04.2020 16:44	Rücklauf fertig	25	
22	75	24.04.2020 06:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	76	24.04.2020 13:20	Rücklauf fertig	25	
21	77	25.04.2020 10:09	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	78	25.04.2020 16:33	Rücklauf fertig	25	
22	79	27.04.2020 07:08	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	80	27.04.2020 13:34	Rücklauf fertig	25	
21	81	28.04.2020 08:56	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	82	28.04.2020 15:19	Rücklauf fertig	25	
22	83	28.04.2020 15:22	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	84	28.04.2020 21:48	Rücklauf fertig	25	
21	85	29.04.2020 14:58	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	86	29.04.2020 21:22	Rücklauf fertig	25	
22	87	02.05.2020 06:20	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	89	02.05.2020 12:45	Rücklauf fertig	25	
21	90	02.05.2020 12:45	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	52,3
36	91	02.05.2020 19:09	Rücklauf fertig	25	
22	92	04.05.2020 11:50	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	93	04.05.2020 18:17	Rücklauf fertig	25	
21	94	05.05.2020 09:14	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	96	05.05.2020 15:37	Rücklauf fertig	25	
22	97	05.05.2020 15:37	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50,3
36	98	05.05.2020 22:03	Rücklauf fertig	25	
21	99	06.05.2020 14:55	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	100	06.05.2020 21:18	Rücklauf fertig	25	
22	101	07.05.2020 13:24	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	102	07.05.2020 19:50	Rücklauf fertig	25	
21	103	09.05.2020 08:31	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	
36	105	09.05.2020 14:53	Rücklauf fertig	25	58
22	106	09.05.2020 14:53	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	58
36	107	09.05.2020 21:19	Rücklauf fertig	25	
21	108	11.05.2020 12:34	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	109	11.05.2020 18:56	Rücklauf fertig	25	
22	110	12.05.2020 09:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	111	12.05.2020 16:18	Rücklauf fertig	25	
21	112	13.05.2020 06:13	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	113	13.05.2020 12:35	Rücklauf fertig	25	
22	114	13.05.2020 13:57	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	115	13.05.2020 20:21	Rücklauf fertig	25	
21	116	14.05.2020 10:52	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	117	14.05.2020 17:12	Rücklauf fertig	25	
22	118	15.05.2020 10:55	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	119	15.05.2020 17:19	Rücklauf fertig	25	
21	120	16.05.2020 07:39	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	121	16.05.2020 13:59	Rücklauf fertig	25	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
22	122	18.05.2020 06:35	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	124	18.05.2020 12:59	Rücklauf fertig	25	
21	125	18.05.2020 12:59	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	56,7
36	126	18.05.2020 19:20	Rücklauf fertig	25	
22	127	19.05.2020 09:58	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	128	19.05.2020 16:21	Rücklauf fertig	25	
21	129	20.05.2020 11:18	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	131	20.05.2020 17:38	Rücklauf fertig	25	
22	132	20.05.2020 17:38	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	56,7
36	133	21.05.2020 00:00	Rücklauf fertig	25	
21	134	22.05.2020 13:29	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	135	22.05.2020 19:48	Rücklauf fertig	25	
22	136	23.05.2020 09:57	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	137	23.05.2020 16:19	Rücklauf fertig	25	
21	138	25.05.2020 07:44	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	139	25.05.2020 14:04	Rücklauf fertig	25	
22	140	25.05.2020 22:03	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	141	26.05.2020 04:26	Rücklauf fertig	25	
21	142	26.05.2020 13:41	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	143	26.05.2020 20:00	Rücklauf fertig	25	
22	144	27.05.2020 10:52	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	145	27.05.2020 17:15	Rücklauf fertig	25	
21	146	28.05.2020 11:29	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	147	28.05.2020 17:49	Rücklauf fertig	25	
22	148	29.05.2020 11:02	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	149	29.05.2020 17:26	Rücklauf fertig	25	
21	150	30.05.2020 06:20	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	151	30.05.2020 12:39	Rücklauf fertig	25	
22	152	31.05.2020 06:42	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	153	31.05.2020 13:05	Rücklauf fertig	25	
21	154	02.06.2020 08:02	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	
36	156	02.06.2020 14:23	Rücklauf fertig	25	65,4
22	157	02.06.2020 14:23	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	65,4
36	158	02.06.2020 20:47	Rücklauf fertig	25	
21	159	03.06.2020 08:46	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	160	03.06.2020 15:07	Rücklauf fertig	25	
22	161	04.06.2020 06:18	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	163	04.06.2020 12:43	Rücklauf fertig	25	
21	164	04.06.2020 12:43	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	55,4
36	165	04.06.2020 19:05	Rücklauf fertig	25	
22	166	05.06.2020 07:29	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	167	05.06.2020 13:53	Rücklauf fertig	25	
21	168	05.06.2020 14:52	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	169	05.06.2020 21:14	Rücklauf fertig	25	
22	170	06.06.2020 09:33	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	171	06.06.2020 15:57	Rücklauf fertig	25	
21	172	08.06.2020 07:03	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	173	08.06.2020 13:24	Rücklauf fertig	25	
22	174	08.06.2020 13:30	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	175	08.06.2020 19:54	Rücklauf fertig	25	
21	176	09.06.2020 10:34	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	177	09.06.2020 16:54	Rücklauf fertig	25	
22	178	10.06.2020 06:11	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	179	10.06.2020 12:34	Rücklauf fertig	25	
21	180	10.06.2020 14:11	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	181	10.06.2020 20:31	Rücklauf fertig	25	
22	182	11.06.2020 11:07	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	183	11.06.2020 17:29	Rücklauf fertig	25	
21	184	12.06.2020 05:26	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	185	12.06.2020 11:45	Rücklauf fertig	25	
22	186	12.06.2020 12:13	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	187	12.06.2020 18:36	Rücklauf fertig	25	
21	188	13.06.2020 08:04	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	189	13.06.2020 14:25	Rücklauf fertig	25	
22	190	15.06.2020 06:13	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	192	15.06.2020 12:39	Rücklauf fertig	25	
21	193	15.06.2020 12:39	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	64,2
36	194	15.06.2020 18:59	Rücklauf fertig	25	
22	195	16.06.2020 06:50	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	197	16.06.2020 13:13	Rücklauf fertig	25	51,8
21	198	16.06.2020 13:13	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	51,8
36	199	16.06.2020 19:34	Rücklauf fertig	25	
22	200	17.06.2020 08:22	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	202	17.06.2020 14:44	Rücklauf fertig	25	53,7
21	203	17.06.2020 14:44	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	53,7
36	204	17.06.2020 21:04	Rücklauf fertig	25	
22	205	18.06.2020 10:29	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	206	18.06.2020 16:52	Rücklauf fertig	25	
21	207	19.06.2020 05:14	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	
36	209	19.06.2020 11:35	Rücklauf fertig	25	56,5
22	210	19.06.2020 11:35	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	56,5
36	211	19.06.2020 17:58	Rücklauf fertig	25	
21	212	20.06.2020 06:25	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	
36	214	20.06.2020 12:46	Rücklauf fertig	25	61,1
22	215	20.06.2020 12:46	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	61,1
36	216	20.06.2020 19:09	Rücklauf fertig	25	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
21	217	22.06.2020 11:05	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	218	22.06.2020 17:25	Rücklauf fertig	25	
22	219	23.06.2020 07:08	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	220	23.06.2020 13:30	Rücklauf fertig	25	
21	221	23.06.2020 14:28	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	222	23.06.2020 20:47	Rücklauf fertig	25	
22	223	24.06.2020 09:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	224	24.06.2020 16:16	Rücklauf fertig	25	
21	225	25.06.2020 06:26	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	226	25.06.2020 12:45	Rücklauf fertig	25	
22	227	25.06.2020 13:31	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	228	25.06.2020 19:53	Rücklauf fertig	25	
21	229	26.06.2020 08:41	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	230	26.06.2020 15:00	Rücklauf fertig	25	
22	231	26.06.2020 15:26	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	232	26.06.2020 21:49	Rücklauf fertig	25	
21	233	27.06.2020 09:55	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	234	27.06.2020 16:15	Rücklauf fertig	25	
22	235	29.06.2020 08:24	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	237	29.06.2020 14:46	Rücklauf fertig	25	56,8
21	238	29.06.2020 14:46	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	56,8
36	239	29.06.2020 21:05	Rücklauf fertig	25	
22	240	30.06.2020 10:28	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	242	30.06.2020 16:51	Rücklauf fertig	25	54,2
21	243	30.06.2020 16:51	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	54,2
36	244	30.06.2020 23:09	Rücklauf fertig	25	
22	245	01.07.2020 11:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	246	01.07.2020 18:15	Rücklauf fertig	25	
21	247	02.07.2020 09:13	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	248	02.07.2020 15:31	Rücklauf fertig	25	
22	249	02.07.2020 17:04	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	250	02.07.2020 23:26	Rücklauf fertig	25	
21	251	03.07.2020 09:00	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	252	03.07.2020 15:18	Rücklauf fertig	25	
22	253	03.07.2020 15:33	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	254	03.07.2020 21:55	Rücklauf fertig	25	
21	255	04.07.2020 09:58	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	256	04.07.2020 16:17	Rücklauf fertig	25	
22	257	06.07.2020 06:58	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	259	06.07.2020 13:20	Rücklauf fertig	25	61,6
21	260	06.07.2020 13:20	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	61,6
36	261	06.07.2020 19:39	Rücklauf fertig	25	
22	262	07.07.2020 08:57	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	263	07.07.2020 15:19	Rücklauf fertig	25	
21	264	07.07.2020 16:03	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	265	07.07.2020 22:21	Rücklauf fertig	25	
22	266	08.07.2020 12:01	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	267	08.07.2020 18:23	Rücklauf fertig	25	
21	268	09.07.2020 10:10	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	269	09.07.2020 16:29	Rücklauf fertig	25	
22	270	10.07.2020 05:12	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	271	10.07.2020 11:35	Rücklauf fertig	25	
21	272	10.07.2020 12:08	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	273	10.07.2020 18:26	Rücklauf fertig	25	
22	274	11.07.2020 06:23	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	276	11.07.2020 12:45	Rücklauf fertig	25	50,7
21	277	11.07.2020 12:45	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50,7
36	278	11.07.2020 19:02	Rücklauf fertig	25	
22	279	13.07.2020 09:23	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	281	13.07.2020 15:47	Rücklauf fertig	25	56
21	282	13.07.2020 15:47	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	56
36	283	13.07.2020 22:05	Rücklauf fertig	25	
22	284	14.07.2020 09:27	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	285	14.07.2020 15:49	Rücklauf fertig	25	
21	286	14.07.2020 15:54	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	287	14.07.2020 22:12	Rücklauf fertig	25	
22	288	15.07.2020 08:51	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	
36	289	15.07.2020 16:29	Rücklauf fertig	30	
21	290	16.07.2020 05:48	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	
36	292	16.07.2020 13:22	Rücklauf fertig	30	
22	293	16.07.2020 13:22	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	69,2
36	294	16.07.2020 20:55	Rücklauf fertig	30	
21	295	17.07.2020 08:30	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	60
36	296	17.07.2020 15:50	Rücklauf fertig	30	
22	297	18.07.2020 07:30	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	60
36	298	18.07.2020 14:54	Rücklauf fertig	30	
21	299	20.07.2020 06:32	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	60
36	300	20.07.2020 13:52	Rücklauf fertig	30	
22	301	20.07.2020 15:24	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	60
36	302	21.07.2020 00:02	Rücklauf fertig	35	
21	303	21.07.2020 12:20	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	304	21.07.2020 21:12	Rücklauf fertig	35	
22	305	22.07.2020 09:03	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	306	22.07.2020 18:04	Rücklauf fertig	35	
21	307	23.07.2020 05:23	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	308	23.07.2020 14:14	Rücklauf fertig	35	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
22	309	23.07.2020 14:41	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	310	23.07.2020 23:37	Rücklauf fertig	35	
21	311	24.07.2020 09:50	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	312	24.07.2020 18:40	Rücklauf fertig	35	
22	313	25.07.2020 06:40	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	314	25.07.2020 15:57	Rücklauf fertig	35	
21	315	27.07.2020 06:10	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	316	27.07.2020 15:01	Rücklauf fertig	35	
22	317	27.07.2020 15:37	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	318	28.07.2020 00:31	Rücklauf fertig	35	
21	319	28.07.2020 11:49	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	320	28.07.2020 20:40	Rücklauf fertig	35	
22	321	29.07.2020 06:59	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	322	29.07.2020 16:03	Rücklauf fertig	35	
21	323	30.07.2020 05:08	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	324	30.07.2020 15:44	Rücklauf fertig	35	
22	325	31.07.2020 05:40	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	327	31.07.2020 14:42	Rücklauf fertig	35	
21	328	31.07.2020 14:42	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	76,1
36	329	01.08.2020 00:01	Rücklauf fertig	35	
22	330	03.08.2020 05:12	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	332	03.08.2020 14:15	Rücklauf fertig	35	
21	333	03.08.2020 14:15	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	82,5
36	334	03.08.2020 23:46	Rücklauf fertig	35	
22	335	04.08.2020 12:04	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	336	04.08.2020 21:01	Rücklauf fertig	35	
21	337	05.08.2020 09:25	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	341	05.08.2020 21:04	Rücklauf fertig	35	
22	344	06.08.2020 13:53	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	345	06.08.2020 22:45	Rücklauf fertig	35	
21	349	07.08.2020 10:32	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
0	350	07.08.2020 10:35	Notbetrieb 1 ein		314,800
		12.08.2020 08:39	Notbetrieb 1 aus		
36	351	07.08.2020 09:58	Rücklauf fertig	35	
0	360	12.08.2020 08:44	Notbetrieb 1 ein	35	918,3
		24.08.2020 13:03	Notbetrieb 1 aus		
36	362	12.08.2020 17:40	Rücklauf fertig	35	48,4
36	366	24.08.2020 22:08	Rücklauf fertig	35	
22	367	24.08.2020 22:08	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	42,3
36	368	25.08.2020 07:10	Rücklauf fertig	35	
21	369	25.08.2020 11:46	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	370	25.08.2020 20:53	Rücklauf fertig	35	
22	371	26.08.2020 06:45	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	372	26.08.2020 15:49	Rücklauf fertig	35	
21	373	27.08.2020 05:10	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	376	27.08.2020 13:53	Rücklauf fertig	35	
22	377	27.08.2020 13:53	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	77,7
36	378	27.08.2020 22:36	Rücklauf fertig	35	
21	379	28.08.2020 10:34	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	380	28.08.2020 19:15	Rücklauf fertig	35	
22	381	29.08.2020 07:44	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	382	29.08.2020 16:41	Rücklauf fertig	35	
21	383	31.08.2020 08:48	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	385	31.08.2020 17:29	Rücklauf fertig	35	
22	386	31.08.2020 17:29	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	72
36	387	01.09.2020 02:20	Rücklauf fertig	35	
21	388	01.09.2020 15:17	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70
36	389	02.09.2020 00:02	Rücklauf fertig	35	
22	390	02.09.2020 14:05	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	80
36	391	03.09.2020 00:17	Rücklauf fertig	40	
21	392	03.09.2020 15:13	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	80
36	393	04.09.2020 01:09	Rücklauf fertig	40	
22	394	04.09.2020 13:06	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
36	395	04.09.2020 23:16	Rücklauf fertig	40	
21	396	05.09.2020 13:30	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	80
36	397	05.09.2020 23:27	Rücklauf fertig	40	
22	398	07.09.2020 12:30	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
36	399	07.09.2020 22:44	Rücklauf fertig	40	
21	400	08.09.2020 10:52	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	80
36	401	08.09.2020 20:48	Rücklauf fertig	40	
22	402	09.09.2020 07:11	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
36	403	09.09.2020 17:31	Rücklauf fertig	40	
21	404	10.09.2020 09:16	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	80
36	405	10.09.2020 19:13	Rücklauf fertig	40	
22	406	11.09.2020 06:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
36	407	11.09.2020 17:55	Rücklauf fertig	40	
21	408	12.09.2020 06:58	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	80
36	409	12.09.2020 16:55	Rücklauf fertig	40	
22	410	14.09.2020 08:57	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
1	421	14.09.2020 14:20	Notbetrieb 2 ein	40,0	37,1
		15.09.2020 07:12	Notbetrieb 2 aus		
36	422	15.09.2020 00:11	Rücklauf fertig	40	22,1
1	436	15.09.2020 10:34	Notbetrieb 2 ein	40	83,1
		16.09.2020 10:13	Notbetrieb 2 aus		
36	437	16.09.2020 00:49	Rücklauf fertig	40	
36	454	16.09.2020 13:25	Rücklauf fertig	35	70,4

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
21	455	16.09.2020 13:25	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	35	70,4
36	461	17.09.2020 01:49	Rücklauf fertig	35	
22	462	17.09.2020 13:13	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	35	70
36	463	17.09.2020 23:32	Rücklauf fertig	30	
21	464	18.09.2020 11:09	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	60
36	465	18.09.2020 21:19	Rücklauf fertig	30	
22	466	19.09.2020 07:15	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	60
36	478	19.09.2020 17:37	Rücklauf fertig	30	
21	479	21.09.2020 08:12	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	60
36	481	21.09.2020 16:49	Rücklauf fertig	25	
22	482	21.09.2020 16:49	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	73,5
36	483	22.09.2020 01:26	Rücklauf fertig	25	
21	484	22.09.2020 11:13	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	50
36	485	22.09.2020 19:45	Rücklauf fertig	25	
22	486	22.09.2020 19:45	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	25	50
36	487	23.09.2020 04:19	Rücklauf fertig	25	
1	494	23.09.2020 10:31	Notbetrieb 2 ein	20	95,5
		24.09.2020 11:20	Notbetrieb 2 aus		
36	496	23.09.2020 17:19	Rücklauf fertig	20	
21	503	24.09.2020 11:23	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25	40
36	504	24.09.2020 18:19	Rücklauf fertig	20	
22	505	25.09.2020 05:15	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	20	40
1	529	25.09.2020 07:40	Notbetrieb 2 ein	20	171,3
		28.09.2020 11:02	Notbetrieb 2 aus		
36	531	25.09.2020 14:26	Rücklauf fertig	20	
1	542	28.09.2020 15:29	Notbetrieb 2 ein	20	1927,9
		23.10.2020 14:29	Notbetrieb 2 aus		
36	544	28.09.2020 22:14	Rücklauf fertig	20	19,1
36	555	23.10.2020 15:09	Rücklauf fertig	20	
21	556	23.10.2020 15:09	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	20	35,2
36	557	23.10.2020 21:36	Rücklauf fertig	20	
22	558	24.10.2020 09:46	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	20	40
36	559	24.10.2020 16:16	Rücklauf fertig	20	
21	560	26.10.2020 06:27	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	20	40
	561	26.10.2020 11:25	Entnahme zu hoch	20	52,4
		26.10.2020 12:58			
36	562	26.10.2020 12:58	Rücklauf fertig	20	
22	563	26.10.2020 12:58	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	20	52,4
36	564	26.10.2020 19:25	Rücklauf fertig	20	
21	565	27.10.2020 05:49	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	20	40
36	567	27.10.2020 12:20	Rücklauf fertig	20	
22	568	27.10.2020 12:20	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	20	51,8
36	569	27.10.2020 18:46	Rücklauf fertig	20	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
21	570	28.10.2020 05:37	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	20	40
36	572	28.10.2020 12:04	Rücklauf fertig	20	
22	573	28.10.2020 12:04	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	20	41,9
36	574	28.10.2020 18:27	Rücklauf fertig	20	
21	575	29.10.2020 07:07	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	20	40
36	577	29.10.2020 13:36	Rücklauf fertig	20	
22	578	29.10.2020 13:36	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	20	60,7
36	579	29.10.2020 20:00	Rücklauf fertig	20	
21	580	30.10.2020 10:11	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	20	40
36	582	30.10.2020 16:36	Rücklauf fertig	20	
22	583	30.10.2020 16:36	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	20	60,7
36	584	30.10.2020 23:00	Rücklauf fertig	20	
21	585	31.10.2020 09:07	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	20	40
36	587	31.10.2020 15:31	Rücklauf fertig	20	
22	588	31.10.2020 15:31	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	20	43,5
36	589	31.10.2020 21:56	Rücklauf fertig	20	
21	590	02.11.2020 06:39	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	20	40
36	592	02.11.2020 13:06	Rücklauf fertig	20	
22	593	02.11.2020 13:06	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	20	50,8
36	595	03.11.2020 14:45	Rücklauf fertig	20	
21	596	03.11.2020 14:47	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	20	40
36	597	03.11.2020 21:09	Rücklauf fertig	20	
22	598	04.11.2020 12:01	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	20	60
36	599	04.11.2020 21:43	Rücklauf fertig	30	
21	600	05.11.2020 10:37	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	60
36	601	05.11.2020 20:11	Rücklauf fertig	30	
22	602	06.11.2020 06:39	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	60
36	603	06.11.2020 19:32	Rücklauf fertig	40	
21	604	07.11.2020 08:51	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	80
36	605	07.11.2020 21:38	Rücklauf fertig	40	
22	606	09.11.2020 10:04	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
36	607	09.11.2020 22:52	Rücklauf fertig	40	
21	608	10.11.2020 07:57	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	80
36	610	10.11.2020 20:45	Rücklauf fertig	40	
22	611	10.11.2020 20:45	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	93,3
36	612	11.11.2020 13:03	Rücklauf fertig	50	
21	613	12.11.2020 07:13	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	614	13.11.2020 00:46	Rücklauf fertig	50	
22	615	13.11.2020 09:12	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100
36	616	14.11.2020 02:44	Rücklauf fertig	50	
21	617	14.11.2020 09:01	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	618	15.11.2020 02:23	Rücklauf fertig	50	
22	619	16.11.2020 14:35	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	620	17.11.2020 08:07	Rücklauf fertig	50	
21	621	18.11.2020 08:32	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	622	19.11.2020 01:49	Rücklauf fertig	50	
22	623	19.11.2020 12:39	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100
36	624	20.11.2020 05:58	Rücklauf fertig	50	
21	625	20.11.2020 15:30	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	626	21.11.2020 08:39	Rücklauf fertig	50	
22	627	23.11.2020 09:20	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100
36	628	24.11.2020 02:35	Rücklauf fertig	50	
21	629	24.11.2020 13:07	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	630	25.11.2020 06:20	Rücklauf fertig	50	
22	631	26.11.2020 07:31	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100
36	632	27.11.2020 00:45	Rücklauf fertig	50	
21	633	27.11.2020 10:22	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	634	28.11.2020 03:33	Rücklauf fertig	50	
22	635	28.11.2020 13:07	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100
36	636	29.11.2020 06:22	Rücklauf fertig	50	
21	637	01.12.2020 07:10	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	638	02.12.2020 00:13	Rücklauf fertig	50	
22	639	02.12.2020 08:51	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100
36	640	03.12.2020 01:56	Rücklauf fertig	50	
21	641	03.12.2020 12:07	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	642	04.12.2020 05:25	Rücklauf fertig	50	
22	643	04.12.2020 15:55	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100
36	644	05.12.2020 09:08	Rücklauf fertig	50	
21	645	07.12.2020 08:59	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	646	08.12.2020 02:25	Rücklauf fertig	50	
22	647	08.12.2020 10:39	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100
36	648	09.12.2020 03:39	Rücklauf fertig	50	
21	649	09.12.2020 12:19	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	650	10.12.2020 05:36	Rücklauf fertig	50	
22	651	10.12.2020 15:58	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100
36	652	11.12.2020 09:10	Rücklauf fertig	50	
21	653	12.12.2020 08:42	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	654	13.12.2020 01:53	Rücklauf fertig	50	
22	655	14.12.2020 14:13	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	100
36	656	15.12.2020 07:18	Rücklauf fertig	50	
21	657	15.12.2020 21:54	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	50	100
36	658	16.12.2020 15:00	Rücklauf fertig	50	
22	660	17.12.2020 09:01	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	50	80
36	661	17.12.2020 22:46	Rücklauf fertig	40	
21	662	18.12.2020 11:06	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	80
36	663	19.12.2020 00:46	Rücklauf fertig	40	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
22	664	21.12.2020 08:10	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
36	666	21.12.2020 15:23	Rücklauf fertig	20,5	
21	667	21.12.2020 15:23	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	20,5	50,3
36	668	22.12.2020 03:53	Rücklauf fertig	40	
22	669	23.12.2020 03:51	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
36	670	23.12.2020 09:18	Rücklauf fertig	16,4	
21	672	23.12.2020 11:22	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	16,4	20
36	673	23.12.2020 23:55	Rücklauf fertig	40	
22	674	26.12.2020 08:37	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
1	676	26.12.2020 11:00	Notbetrieb 2 ein	40	11,1
		28.12.2020 08:03	Notbetrieb 2 aus		
36	680	28.12.2020 09:01	Rücklauf fertig	10	
21	681	28.12.2020 09:22	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	10	20
36	682	28.12.2020 22:48	Rücklauf fertig	40	
22	683	29.12.2020 10:08	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	60
36	732	29.12.2020 11:57	Rücklauf fertig	5	
21	733	29.12.2020 11:57	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	5	13
36	734	30.12.2020 01:19	Rücklauf fertig	40	
22	735	30.12.2020 15:13	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
36	736	30.12.2020 16:55	Rücklauf fertig	5	
21	741	01.01.2021 08:30	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	5	2
36	742	01.01.2021 21:55	Rücklauf fertig	40	
22	743	02.01.2021 10:03	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	80
1	754	02.01.2021 10:25	Notbetrieb 2 ein	40	29,6
		04.01.2021 08:02	Notbetrieb 2 aus		
36	755	02.01.2021 23:47	Rücklauf fertig	40	
21	785	04.01.2021 08:37	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	2,2	5,2
1	786	04.01.2021 10:57	Notbetrieb 2 ein	40	391,1
		12.01.2021 08:13	Notbetrieb 2 aus		
36	787	05.01.2021 00:21	Rücklauf fertig	40	
1	793	12.01.2021 08:14	Notbetrieb 2 ein	0	243,4
		15.01.2021 13:14	Notbetrieb 2 aus		
1	800	15.01.2021 13:16	Notbetrieb 2 ein	0	570,9
		26.01.2021 08:34	Notbetrieb 2 aus		
1	808	26.01.2021 10:56	Notbetrieb 2 ein	0	306,3
		01.02.2021 10:02	Notbetrieb 2 aus		
21	816	01.02.2021 10:02	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	0	0
36	817	01.02.2021 10:04	Rücklauf fertig	0	
22	818	04.02.2021 10:01	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	205,8
36	819	04.02.2021 10:01	Rücklauf fertig	0	
21	820	04.02.2021 10:01	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	0	0
36	821	04.02.2021 10:01	Rücklauf fertig	0	
22	823	09.02.2021 08:52	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	824	09.02.2021 08:52	Rücklauf fertig	0	
21	825	09.02.2021 08:52	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	0	0
36	826	09.02.2021 08:52	Rücklauf fertig	0	
22	828	12.02.2021 08:35	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	829	12.02.2021 08:35	Rücklauf fertig	0	
21	830	12.02.2021 08:35	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	0	0
36	831	12.02.2021 08:35	Rücklauf fertig	0	
22	833	16.02.2021 10:37	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	834	16.02.2021 10:37	Rücklauf fertig	0	
21	835	16.02.2021 10:37	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	0	0
36	836	16.02.2021 10:37	Rücklauf fertig	0	

## 9. Anhang: Ereignisspeicher Fermanox zweite Betriebsphase

FERMANOX-Ereignisspeicher der Köhrra - Frische GmbH,  
ausgelesen am 20.02.2023

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	10	27.11.2021 13:41	Rücklauf fertig	0	
22	12	30.11.2021 14:38	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	13	30.11.2021 14:38	Rücklauf fertig	0	
36	15	30.11.2021 14:38	Rücklauf fertig	0	
22	16	03.12.2021 13:41	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	295,1
36	17	03.12.2021 13:41	Rücklauf fertig	0	
36	19	03.12.2021 13:41	Rücklauf fertig	0	
22	21	07.12.2021 07:10	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	22	07.12.2021 07:10	Rücklauf fertig	0	
36	24	07.12.2021 07:10	Rücklauf fertig	0	
22	25	09.12.2021 13:41	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	268,1
36	26	09.12.2021 13:41	Rücklauf fertig	0	
36	28	09.12.2021 13:41	Rücklauf fertig	0	
22	30	13.12.2021 08:10	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	31	13.12.2021 08:10	Rücklauf fertig	0	
36	33	13.12.2021 08:10	Rücklauf fertig	0	
22	34	15.12.2021 13:41	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	287,7
36	35	15.12.2021 13:41	Rücklauf fertig	0	
36	37	15.12.2021 13:41	Rücklauf fertig	0	
22	38	18.12.2021 13:41	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	289,1
36	39	18.12.2021 13:41	Rücklauf fertig	0	
36	41	18.12.2021 13:41	Rücklauf fertig	0	
22	43	21.12.2021 14:38	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	44	21.12.2021 14:38	Rücklauf fertig	0	
36	46	21.12.2021 14:38	Rücklauf fertig	0	
22	48	25.12.2021 10:53	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	49	25.12.2021 10:53	Rücklauf fertig	0	
36	51	25.12.2021 10:53	Rücklauf fertig	0	
22	53	29.12.2021 11:52	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	54	29.12.2021 11:52	Rücklauf fertig	0	
36	56	29.12.2021 11:52	Rücklauf fertig	0	
22	58	01.01.2022 11:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	59	01.01.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
36	61	01.01.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
22	63	05.01.2022 06:53	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	64	05.01.2022 06:53	Rücklauf fertig	0	
36	66	05.01.2022 06:53	Rücklauf fertig	0	
22	68	07.01.2022 08:20	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	69	07.01.2022 08:20	Rücklauf fertig	0	
36	71	07.01.2022 08:20	Rücklauf fertig	0	
22	73	10.01.2022 13:10	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	74	10.01.2022 13:10	Rücklauf fertig	0	
36	76	10.01.2022 13:10	Rücklauf fertig	0	
22	78	12.01.2022 11:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	79	12.01.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
36	81	12.01.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
22	82	15.01.2022 11:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	262,3
36	83	15.01.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
36	85	15.01.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
22	87	19.01.2022 09:11	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	88	19.01.2022 09:11	Rücklauf fertig	0	
36	90	19.01.2022 09:11	Rücklauf fertig	0	
22	92	21.01.2022 13:19	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	93	21.01.2022 13:19	Rücklauf fertig	0	
36	95	21.01.2022 13:20	Rücklauf fertig	0	
22	97	25.01.2022 07:17	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	98	25.01.2022 07:17	Rücklauf fertig	0	
36	100	25.01.2022 07:17	Rücklauf fertig	0	
22	101	27.01.2022 11:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	230,7
36	102	27.01.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
36	104	27.01.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
22	106	31.01.2022 06:47	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	107	31.01.2022 06:48	Rücklauf fertig	0	
36	109	31.01.2022 06:48	Rücklauf fertig	0	
22	110	02.02.2022 11:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	221,9
36	111	02.02.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
36	113	02.02.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
22	114	05.02.2022 11:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	221,3
36	115	05.02.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
36	117	05.02.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
22	119	09.02.2022 11:58	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	120	09.02.2022 11:58	Rücklauf fertig	0	
36	122	09.02.2022 11:58	Rücklauf fertig	0	
22	124	12.02.2022 07:47	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	125	12.02.2022 07:47	Rücklauf fertig	0	
36	127	12.02.2022 07:47	Rücklauf fertig	0	
22	129	15.02.2022 15:41	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	130	15.02.2022 15:41	Rücklauf fertig	0	
36	132	15.02.2022 15:41	Rücklauf fertig	0	
22	134	18.02.2022 09:23	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	135	18.02.2022 09:23	Rücklauf fertig	0	
36	137	18.02.2022 09:23	Rücklauf fertig	0	
22	139	21.02.2022 11:53	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	140	21.02.2022 11:53	Rücklauf fertig	0	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	142	21.02.2022 11:53	Rücklauf fertig	0	
22	144	24.02.2022 05:58	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	145	24.02.2022 05:58	Rücklauf fertig	0	
36	147	24.02.2022 05:58	Rücklauf fertig	0	
22	148	26.02.2022 11:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	212,1
36	149	26.02.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
36	151	26.02.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
22	153	02.03.2022 07:24	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	154	02.03.2022 07:24	Rücklauf fertig	0	
36	156	02.03.2022 07:24	Rücklauf fertig	0	
22	157	04.03.2022 11:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	202,2
36	158	04.03.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
36	160	04.03.2022 11:54	Rücklauf fertig	0	
22	162	07.03.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	163	07.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	165	07.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	166	10.03.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	302,4
36	167	10.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	169	10.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	171	14.03.2022 10:02	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	172	14.03.2022 10:02	Rücklauf fertig	0	
36	174	14.03.2022 10:02	Rücklauf fertig	0	
22	175	16.03.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	203,7
36	176	16.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	178	16.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	179	19.03.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	230,2
36	180	19.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	182	19.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	183	22.03.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	223,5
36	184	22.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	186	22.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	187	25.03.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	325
36	188	25.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	190	25.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	192	29.03.2022 06:32	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	193	29.03.2022 06:32	Rücklauf fertig	0	
36	195	29.03.2022 06:32	Rücklauf fertig	0	
22	196	31.03.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	291,5
36	197	31.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	199	31.03.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	201	04.04.2022 04:42	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	202	04.04.2022 04:43	Rücklauf fertig	0	
36	204	04.04.2022 04:43	Rücklauf fertig	0	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
22	205	06.04.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	291,5
36	206	06.04.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	208	06.04.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	209	09.04.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	260,6
36	210	09.04.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	212	09.04.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	213	12.04.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	203
36	214	12.04.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	216	12.04.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	218	16.04.2022 08:18	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	219	16.04.2022 08:18	Rücklauf fertig	0	
36	221	16.04.2022 08:18	Rücklauf fertig	0	
22	223	19.04.2022 13:43	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	224	19.04.2022 13:43	Rücklauf fertig	0	
36	226	19.04.2022 13:43	Rücklauf fertig	0	
22	228	22.04.2022 05:57	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	229	22.04.2022 05:57	Rücklauf fertig	0	
36	231	22.04.2022 05:57	Rücklauf fertig	0	
22	233	25.04.2022 08:49	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	234	25.04.2022 08:49	Rücklauf fertig	0	
36	236	25.04.2022 08:49	Rücklauf fertig	0	
22	237	27.04.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	221,8
36	238	27.04.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	240	27.04.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	241	30.04.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	252,3
36	242	30.04.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	244	30.04.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	246	04.05.2022 05:14	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	247	04.05.2022 05:14	Rücklauf fertig	0	
36	249	04.05.2022 05:14	Rücklauf fertig	0	
22	250	06.05.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	289,9
36	251	06.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	253	06.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	254	09.05.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	219,1
36	257	09.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	258	12.05.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	342,5
36	259	12.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	261	12.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	262	15.05.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	201,7
36	263	15.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	265	15.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	266	18.05.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	325,5
36	267	18.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	269	18.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	270	21.05.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	317,2
36	271	21.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	273	21.05.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	275	24.05.2022 15:26	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	276	24.05.2022 15:26	Rücklauf fertig	0	
36	278	24.05.2022 15:26	Rücklauf fertig	0	
22	280	27.05.2022 16:20	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	281	27.05.2022 16:20	Rücklauf fertig	0	
36	283	27.05.2022 16:20	Rücklauf fertig	0	
22	285	31.05.2022 06:45	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	199,9
36	286	31.05.2022 06:45	Rücklauf fertig	0	
36	288	31.05.2022 06:45	Rücklauf fertig	0	
22	289	02.06.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	313,3
36	290	02.06.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	292	02.06.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	293	05.06.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	241,9
36	294	05.06.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	296	05.06.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	297	08.06.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	268,5
36	298	08.06.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
36	300	08.06.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
22	301	11.06.2022 15:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	312
36	304	11.06.2022 15:09	Rücklauf fertig	0	
35	305	14.06.2022 10:13	Stromlos	0	175
		15.06.2022 12:40			
36	307	15.06.2022 12:41	Rücklauf fertig	0	
22	317	15.06.2022 12:57	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	0	176,1
36	323	15.06.2022 23:39	Rücklauf fertig	30	
21	324	16.06.2022 15:03	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	325	17.06.2022 01:33	Rücklauf fertig	30	
22	326	17.06.2022 12:52	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	327	17.06.2022 23:29	Rücklauf fertig	30	
21	328	20.06.2022 05:11	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	329	20.06.2022 15:39	Rücklauf fertig	30	
21	333	21.06.2022 14:57	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	107,2
36	334	22.06.2022 01:28	Rücklauf fertig	30	
22	335	22.06.2022 12:12	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	336	22.06.2022 22:39	Rücklauf fertig	30	
21	337	23.06.2022 10:35	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	338	23.06.2022 21:08	Rücklauf fertig	30	
22	339	24.06.2022 09:19	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	340	24.06.2022 19:50	Rücklauf fertig	30	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
21	341	25.06.2022 08:20	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	342	25.06.2022 19:05	Rücklauf fertig	30	
22	343	27.06.2022 10:03	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	344	27.06.2022 20:28	Rücklauf fertig	30	
21	345	28.06.2022 09:03	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	346	28.06.2022 19:37	Rücklauf fertig	30	
22	347	29.06.2022 09:03	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	348	29.06.2022 19:37	Rücklauf fertig	30	
21	349	30.06.2022 09:44	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	350	30.06.2022 20:16	Rücklauf fertig	30	
22	351	01.07.2022 08:15	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	352	01.07.2022 18:45	Rücklauf fertig	30	
21	353	02.07.2022 07:20	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	354	02.07.2022 17:46	Rücklauf fertig	30	
22	355	04.07.2022 10:21	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	356	04.07.2022 21:00	Rücklauf fertig	30	
21	357	05.07.2022 09:41	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	358	05.07.2022 20:10	Rücklauf fertig	30	
22	359	06.07.2022 08:43	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	360	06.07.2022 19:20	Rücklauf fertig	30	
21	361	07.07.2022 09:27	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	362	07.07.2022 20:22	Rücklauf fertig	30	
22	363	08.07.2022 08:49	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	364	08.07.2022 19:40	Rücklauf fertig	30	
21	365	09.07.2022 09:27	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	366	09.07.2022 20:09	Rücklauf fertig	30	
22	367	11.07.2022 13:34	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	368	12.07.2022 00:14	Rücklauf fertig	30	
21	369	12.07.2022 13:37	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	370	13.07.2022 00:13	Rücklauf fertig	30	
22	371	13.07.2022 13:13	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	372	13.07.2022 23:50	Rücklauf fertig	30	
21	373	14.07.2022 11:56	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	374	14.07.2022 22:36	Rücklauf fertig	30	
22	375	15.07.2022 10:10	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	376	15.07.2022 20:39	Rücklauf fertig	30	
21	377	16.07.2022 08:15	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	378	16.07.2022 19:02	Rücklauf fertig	30	
22	379	18.07.2022 09:33	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	380	18.07.2022 20:18	Rücklauf fertig	30	
21	381	19.07.2022 09:45	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	382	19.07.2022 20:17	Rücklauf fertig	30	
22	383	20.07.2022 09:07	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	384	20.07.2022 19:55	Rücklauf fertig	30	
21	385	21.07.2022 08:03	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	386	21.07.2022 18:33	Rücklauf fertig	30	
22	387	22.07.2022 06:04	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	388	22.07.2022 16:23	Rücklauf fertig	30	
21	389	23.07.2022 05:54	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	390	23.07.2022 16:13	Rücklauf fertig	30	
22	391	25.07.2022 11:18	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	392	25.07.2022 21:48	Rücklauf fertig	30	
21	393	26.07.2022 11:19	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	394	26.07.2022 21:52	Rücklauf fertig	30	
22	395	27.07.2022 10:39	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	396	27.07.2022 21:12	Rücklauf fertig	30	
21	397	28.07.2022 09:41	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	398	28.07.2022 20:14	Rücklauf fertig	30	
22	399	29.07.2022 08:21	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	400	29.07.2022 18:53	Rücklauf fertig	30	
21	401	30.07.2022 06:25	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	402	30.07.2022 17:07	Rücklauf fertig	30	
22	403	01.08.2022 08:38	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	404	01.08.2022 19:21	Rücklauf fertig	30	
21	405	02.08.2022 08:01	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	406	02.08.2022 18:34	Rücklauf fertig	30	
22	407	03.08.2022 05:19	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	408	03.08.2022 15:38	Rücklauf fertig	30	
21	409	03.08.2022 15:46	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	410	04.08.2022 02:22	Rücklauf fertig	30	
22	411	04.08.2022 13:26	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	412	04.08.2022 23:53	Rücklauf fertig	30	
21	413	05.08.2022 12:49	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	414	05.08.2022 23:10	Rücklauf fertig	30	
22	415	06.08.2022 10:46	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	416	06.08.2022 21:38	Rücklauf fertig	30	
21	417	08.08.2022 13:21	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	418	08.08.2022 23:52	Rücklauf fertig	30	
22	419	09.08.2022 12:51	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	420	09.08.2022 23:14	Rücklauf fertig	30	
21	421	10.08.2022 12:42	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	422	10.08.2022 23:25	Rücklauf fertig	30	
22	423	11.08.2022 13:28	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	424	12.08.2022 00:01	Rücklauf fertig	30	
21	425	12.08.2022 14:20	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	426	13.08.2022 00:43	Rücklauf fertig	30	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
21	430	15.08.2022 16:00	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	106,3
36	431	16.08.2022 02:43	Rücklauf fertig	30	
22	432	16.08.2022 14:24	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	433	17.08.2022 00:50	Rücklauf fertig	30	
21	434	17.08.2022 14:09	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	435	18.08.2022 00:51	Rücklauf fertig	30	
22	436	18.08.2022 12:34	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	437	18.08.2022 22:56	Rücklauf fertig	30	
21	438	19.08.2022 10:27	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	439	19.08.2022 21:05	Rücklauf fertig	30	
22	440	20.08.2022 09:01	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	441	20.08.2022 19:37	Rücklauf fertig	30	
21	442	22.08.2022 13:00	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	443	22.08.2022 23:33	Rücklauf fertig	30	
22	444	23.08.2022 11:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	445	23.08.2022 21:40	Rücklauf fertig	30	
21	446	24.08.2022 10:27	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	447	24.08.2022 21:01	Rücklauf fertig	30	
22	448	25.08.2022 08:54	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	449	25.08.2022 19:29	Rücklauf fertig	30	
21	450	26.08.2022 06:55	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	451	26.08.2022 17:22	Rücklauf fertig	30	
22	452	27.08.2022 05:37	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	453	27.08.2022 16:05	Rücklauf fertig	30	
21	454	29.08.2022 07:49	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	100
36	455	29.08.2022 18:24	Rücklauf fertig	30	
22	456	30.08.2022 06:14	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	100
36	457	30.08.2022 22:00	Rücklauf fertig	45	
21	458	31.08.2022 08:25	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	45	150
36	459	31.08.2022 19:01	Rücklauf fertig	30	
22	460	01.09.2022 11:27	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	120
36	461	01.09.2022 21:55	Rücklauf fertig	30	
21	462	02.09.2022 12:35	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	120
36	463	02.09.2022 23:01	Rücklauf fertig	30	
22	464	05.09.2022 06:18	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	120
36	465	05.09.2022 16:40	Rücklauf fertig	30	
21	466	06.09.2022 08:34	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	120
36	467	06.09.2022 19:03	Rücklauf fertig	30	
22	468	07.09.2022 09:28	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	120
36	469	07.09.2022 19:58	Rücklauf fertig	30	
21	470	08.09.2022 12:30	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	30	120
36	471	08.09.2022 23:16	Rücklauf fertig	30	
22	474	10.09.2022 05:07	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	30	120

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	475	10.09.2022 18:56	Rücklauf fertig	40	
21	476	12.09.2022 12:17	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	477	13.09.2022 02:16	Rücklauf fertig	40	
22	478	13.09.2022 13:30	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	479	14.09.2022 03:40	Rücklauf fertig	40	
21	480	14.09.2022 15:07	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	481	15.09.2022 05:10	Rücklauf fertig	40	
22	482	16.09.2022 06:03	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	483	16.09.2022 20:03	Rücklauf fertig	40	
21	484	17.09.2022 06:42	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	485	17.09.2022 21:04	Rücklauf fertig	40	
22	486	19.09.2022 11:47	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	487	20.09.2022 01:54	Rücklauf fertig	40	
21	488	20.09.2022 14:28	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	489	21.09.2022 04:24	Rücklauf fertig	40	
22	490	22.09.2022 05:38	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	491	22.09.2022 19:15	Rücklauf fertig	40	
22	495	23.09.2022 19:07	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	136
36	496	24.09.2022 08:50	Rücklauf fertig	40	
21	497	26.09.2022 10:04	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	498	27.09.2022 00:04	Rücklauf fertig	40	
22	499	27.09.2022 10:56	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	500	28.09.2022 00:45	Rücklauf fertig	40	
21	501	28.09.2022 14:14	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	502	29.09.2022 04:40	Rücklauf fertig	40	
22	503	29.09.2022 16:26	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	504	30.09.2022 06:25	Rücklauf fertig	40	
21	505	01.10.2022 11:43	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	506	02.10.2022 01:46	Rücklauf fertig	40	
22	507	04.10.2022 07:31	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	508	04.10.2022 21:12	Rücklauf fertig	40	
21	509	05.10.2022 08:40	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	510	05.10.2022 22:40	Rücklauf fertig	40	
22	511	06.10.2022 12:29	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	512	07.10.2022 02:24	Rücklauf fertig	40	
21	513	07.10.2022 13:49	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	514	08.10.2022 03:40	Rücklauf fertig	40	
22	515	10.10.2022 06:34	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	516	10.10.2022 20:25	Rücklauf fertig	40	
21	517	11.10.2022 07:32	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	518	11.10.2022 21:35	Rücklauf fertig	40	
22	519	12.10.2022 08:37	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	520	12.10.2022 22:59	Rücklauf fertig	40	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
21	521	13.10.2022 10:00	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	522	14.10.2022 00:12	Rücklauf fertig	40	
22	523	14.10.2022 11:32	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	524	15.10.2022 01:32	Rücklauf fertig	40	
21	525	15.10.2022 10:23	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	526	16.10.2022 00:17	Rücklauf fertig	40	
22	527	17.10.2022 14:52	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	528	18.10.2022 04:46	Rücklauf fertig	40	
21	529	19.10.2022 05:33	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	530	19.10.2022 18:58	Rücklauf fertig	40	
22	531	20.10.2022 08:44	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	532	20.10.2022 22:48	Rücklauf fertig	40	
21	533	21.10.2022 09:31	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	534	21.10.2022 23:04	Rücklauf fertig	40	
22	535	22.10.2022 11:09	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	536	23.10.2022 00:55	Rücklauf fertig	40	
21	537	24.10.2022 14:38	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	538	25.10.2022 04:33	Rücklauf fertig	40	
22	539	26.10.2022 04:58	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	540	26.10.2022 18:34	Rücklauf fertig	40	
21	541	27.10.2022 08:01	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	542	27.10.2022 22:01	Rücklauf fertig	40	
22	543	28.10.2022 13:10	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	544	29.10.2022 02:56	Rücklauf fertig	40	
21	545	30.10.2022 07:24	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	546	30.10.2022 21:40	Rücklauf fertig	40	
22	547	01.11.2022 10:27	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	548	02.11.2022 00:06	Rücklauf fertig	40	
21	549	02.11.2022 10:59	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	550	03.11.2022 01:04	Rücklauf fertig	40	
22	551	03.11.2022 13:41	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	552	04.11.2022 04:05	Rücklauf fertig	40	
21	553	04.11.2022 15:06	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	554	05.11.2022 05:14	Rücklauf fertig	40	
22	556	07.11.2022 07:40	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	557	07.11.2022 21:55	Rücklauf fertig	40	
21	558	08.11.2022 08:41	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	559	08.11.2022 22:35	Rücklauf fertig	40	
22	560	09.11.2022 10:55	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	561	10.11.2022 01:00	Rücklauf fertig	40	
21	562	10.11.2022 13:00	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	563	11.11.2022 03:08	Rücklauf fertig	40	
22	564	11.11.2022 13:36	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	565	12.11.2022 04:01	Rücklauf fertig	40	
21	566	14.11.2022 06:52	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	567	14.11.2022 20:53	Rücklauf fertig	40	
22	568	15.11.2022 09:28	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	569	16.11.2022 00:24	Rücklauf fertig	40	
21	570	16.11.2022 12:21	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	571	17.11.2022 02:56	Rücklauf fertig	40	
22	572	17.11.2022 13:48	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	575	18.11.2022 05:27	Rücklauf fertig	40	
21	576	18.11.2022 16:13	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	580	19.11.2022 08:11	Rücklauf fertig	40	
22	581	21.11.2022 07:26	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	583	22.11.2022 02:26	Rücklauf fertig	40	
21	584	22.11.2022 08:45	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	586	23.11.2022 04:36	Rücklauf fertig	40	
22	587	23.11.2022 06:16	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	589	24.11.2022 03:46	Rücklauf fertig	40	
21	590	24.11.2022 07:20	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	592	25.11.2022 04:31	Rücklauf fertig	40	
22	593	25.11.2022 07:08	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	595	26.11.2022 06:15	Rücklauf fertig	40	
21	596	26.11.2022 06:38	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	598	27.11.2022 09:22	Rücklauf fertig	40	
22	599	28.11.2022 08:26	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	602	29.11.2022 15:26	Rücklauf fertig	40	
21	603	29.11.2022 15:26	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	163,2
36	605	30.11.2022 21:47	Rücklauf fertig	40	
22	606	01.12.2022 06:32	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	609	02.12.2022 22:14	Rücklauf fertig	40	
21	610	02.12.2022 22:14	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	224,2
36	613	05.12.2022 18:23	Rücklauf fertig	40	
22	614	05.12.2022 18:23	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	188,5
4	615	05.12.2022 18:24	Druck zu niedrig	0	0
		07.12.2022 11:39			
7	616	06.12.2022 13:31	Entnahme zu hoch	13	120,1
		00.00.00 00:00			
7	618	07.12.2022 11:40	Entnahme zu hoch	25,8	266
1	622	07.12.2022 11:41	Notbetrieb 2 ein	24,2	271,4
		09.12.2022 07:29	Notbetrieb 2 aus		
0	625	09.12.2022 07:29	Notbetrieb 1 ein	0,6	9,7
		09.12.2022 09:01	Notbetrieb 1 aus		
36	634	09.12.2022 09:06	Rücklauf fertig	25,9	
21	635	09.12.2022 09:06	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	25,9	266

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	636	09.12.2022 22:06	Rücklauf fertig	40	
22	637	10.12.2022 07:53	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	638	10.12.2022 20:48	Rücklauf fertig	40	
21	639	12.12.2022 07:51	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	641	12.12.2022 21:02	Rücklauf fertig	40	
22	642	12.12.2022 21:02	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	121,8
36	649	13.12.2022 10:53	Rücklauf fertig	40	
21	650	13.12.2022 14:26	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	651	14.12.2022 03:30	Rücklauf fertig	40	
22	652	14.12.2022 08:33	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	653	14.12.2022 21:47	Rücklauf fertig	40	
21	654	15.12.2022 05:46	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	662	18.12.2022 05:04	Rücklauf fertig	40	
22	663	18.12.2022 05:04	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	277,9
36	666	19.12.2022 22:59	Rücklauf fertig	40	
21	667	20.12.2022 05:44	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	668	20.12.2022 18:54	Rücklauf fertig	40	
22	669	21.12.2022 10:28	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	670	21.12.2022 23:43	Rücklauf fertig	40	
21	671	23.12.2022 09:09	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	672	23.12.2022 22:18	Rücklauf fertig	40	
22	673	25.12.2022 06:50	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	674	25.12.2022 20:22	Rücklauf fertig	40	
21	675	28.12.2022 06:50	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	87,5
36	676	28.12.2022 19:54	Rücklauf fertig	40	
22	677	29.12.2022 10:13	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	678	29.12.2022 23:21	Rücklauf fertig	40	
21	679	30.12.2022 12:18	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	680	31.12.2022 01:16	Rücklauf fertig	40	
22	681	01.01.2023 00:00	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	102,6
36	682	01.01.2023 13:36	Rücklauf fertig	40	
21	683	03.01.2023 04:49	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	684	03.01.2023 17:54	Rücklauf fertig	40	
22	685	04.01.2023 05:13	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	686	04.01.2023 18:11	Rücklauf fertig	40	
21	687	05.01.2023 08:04	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	688	05.01.2023 21:10	Rücklauf fertig	40	
22	689	06.01.2023 09:39	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	690	06.01.2023 22:41	Rücklauf fertig	40	
21	691	09.01.2023 05:02	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	695	09.01.2023 18:15	Rücklauf fertig	40	
22	696	10.01.2023 05:49	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	697	10.01.2023 18:50	Rücklauf fertig	40	

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
21	698	11.01.2023 07:15	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	699	11.01.2023 20:26	Rücklauf fertig	40	
22	700	12.01.2023 09:06	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	701	12.01.2023 22:06	Rücklauf fertig	40	
21	702	13.01.2023 10:55	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	703	14.01.2023 00:07	Rücklauf fertig	40	
22	704	15.01.2023 05:49	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	705	15.01.2023 19:18	Rücklauf fertig	40	
21	706	17.01.2023 05:27	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	707	17.01.2023 18:37	Rücklauf fertig	40	
22	708	18.01.2023 07:06	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	709	18.01.2023 20:06	Rücklauf fertig	40	
21	710	19.01.2023 09:36	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	711	19.01.2023 22:49	Rücklauf fertig	40	
22	712	20.01.2023 10:15	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	713	20.01.2023 23:19	Rücklauf fertig	40	
21	714	22.01.2023 05:08	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	715	22.01.2023 18:26	Rücklauf fertig	40	
22	716	24.01.2023 05:33	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	717	24.01.2023 18:38	Rücklauf fertig	40	
21	718	25.01.2023 06:39	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	719	25.01.2023 19:47	Rücklauf fertig	40	
22	720	26.01.2023 09:14	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	727	26.01.2023 13:40	Rücklauf fertig	13	
21	729	26.01.2023 13:42	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	13	40,6
36	734	27.01.2023 02:58	Rücklauf fertig	40	
22	735	27.01.2023 13:34	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	736	28.01.2023 02:32	Rücklauf fertig	40	
21	737	30.01.2023 07:09	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	738	30.01.2023 20:23	Rücklauf fertig	40	
22	739	31.01.2023 09:46	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	740	31.01.2023 22:46	Rücklauf fertig	40	
21	741	01.02.2023 11:44	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	742	02.02.2023 01:07	Rücklauf fertig	40	
22	743	03.02.2023 05:12	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	744	03.02.2023 11:24	Rücklauf fertig	18,4	
21	745	04.02.2023 05:11	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	18,4	120
36	746	04.02.2023 18:21	Rücklauf fertig	40	
22	919	06.02.2023 09:32	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	920	06.02.2023 22:28	Rücklauf fertig	40	
21	921	07.02.2023 11:20	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	922	08.02.2023 00:28	Rücklauf fertig	40	
22	986	08.02.2023 13:23	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120

ID	Nr.	Von	Ereignis	Rücklauf [m³]	Förderung [m³]
36	987	09.02.2023 02:42	Rücklauf fertig	40	
21	988	10.02.2023 05:37	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	989	10.02.2023 18:41	Rücklauf fertig	40	
22	990	11.02.2023 06:12	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	991	11.02.2023 19:11	Rücklauf fertig	40	
21	992	13.02.2023 11:58	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	993	14.02.2023 01:09	Rücklauf fertig	40	
22	994	14.02.2023 14:08	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	995	15.02.2023 03:35	Rücklauf fertig	40	
21	996	16.02.2023 08:07	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120
36	997	16.02.2023 21:22	Rücklauf fertig	40	
22	998	17.02.2023 09:31	Umschaltung: Förderbr. 1 auf Förderbr. 2	40	120
36	999	17.02.2023 22:28	Rücklauf fertig	40	
21	###	20.02.2023 06:04	Umschaltung: Förderbr. 2 auf Förderbr. 1	40	120

(Fa. KÖHRA Frische GmbH, 2023)

## 10. Anhang Datenlogger

Legende		Res - Reserve				I2 - Überspannungsschutz				P - Pumpe									
		ZW - Zähler Werk				ZF - Zähler Fermanox				R - Rücklauf									
$\Delta t$ [h]	Time	Res	I2	P1	P2	R1	R2	ZW	ZF	Q <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q̇ <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	F1 [cm]	F2 [cm]
	17.08.2022 11:35	0	1	0	1	1	0	0	1									-1400	-1400
0,07	17.08.2022 11:39	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0,9		0		0		-544	-1179
0,02	17.08.2022 11:40	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0,2		0		0		-544	-1179
0,02	17.08.2022 11:41	0	1	1	1	1	0	0	1	0		0,3		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	1	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	1	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	1	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	1	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	1	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,00	17.08.2022 11:41	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-545	-1179
0,01	17.08.2022 11:42	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0,1		0		0		-545	-1179
0,03	17.08.2022 11:44	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0,2		0		0		-546	-1179
2,31	17.08.2022 14:02	0	1	0	1	0	0	0	0	0		16,8	7,29	0,2	0,09	0		-1180	-1180
0,00	17.08.2022 14:02	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1180	-1180
0,00	17.08.2022 14:02	0	1	0	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
0,00	17.08.2022 14:02	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
22,41	18.08.2022 12:26	0	1	1	0	0	0	0	0	30	1,34	0		0		100	4,46	-424	-1180
0,00	18.08.2022 12:26	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-424	-1180
0,00	18.08.2022 12:26	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1179
21,88	19.08.2022 10:19	0	1	0	0	0	0	0	0	0		100	4,57	30	1,37	0		-546	-1179
0,00	19.08.2022 10:19	0	1	1	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-546	-1179
0,00	19.08.2022 10:19	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-546	-1179
22,58	20.08.2022 08:54	0	1	1	0	0	0	0	0	30	1,33	0		0		100	4,43	-1209	-1179
0,00	20.08.2022 08:54	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1179
0,00	20.08.2022 08:54	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1179

$\Delta t$ [h]	Time	Res	I2	P1	P2	R1	R2	ZW	ZF	Q <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q̇ <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	F1 [cm]	F2 [cm]
51,98	22.08.2022 12:53	0	1	0	1	0	0	0	0	0		100	1,92	30	0,58	0		-549	-1179
0,00	22.08.2022 12:53	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-549	-1179
0,00	22.08.2022 12:53	0	1	1	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-549	-1180
0,00	22.08.2022 12:53	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-549	-1180
22,14	23.08.2022 11:01	0	1	1	0	0	0	0	0	30	1,36	0		0		100	4,52	-150	-1177
0,00	23.08.2022 11:01	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-150	-1177
0,00	23.08.2022 11:01	0	1	0	0	1	0	0	0	0		0		0		0		-150	-1177
0,00	23.08.2022 11:01	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-150	-1177
23,31	24.08.2022 10:20	0	1	0	1	0	0	0	0	0		100	4,29	30	1,29	0		-535	-1179
0,00	24.08.2022 10:20	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-535	-1179
0,00	24.08.2022 10:20	0	1	0	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-535	-1179
0,00	24.08.2022 10:20	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-535	-1179
22,44	25.08.2022 08:46	0	1	1	0	0	0	0	0	30	1,34	0		0		100	4,46	-171	-1179
0,00	25.08.2022 08:46	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-171	-1179
0,00	25.08.2022 08:46	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1201	-1179
22,02	26.08.2022 06:47	0	1	0	0	0	0	0	0	0		100	4,54	30	1,36	0		-551	-1179
0,00	26.08.2022 06:47	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-551	-1179
22,70	27.08.2022 05:29	0	1	1	0	0	0	0	0	30	1,32	0		0		100	4,41	-1189	-1179
0,00	27.08.2022 05:29	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1189	-1179
0,00	27.08.2022 05:29	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1190	-1179
50,20	29.08.2022 07:41	0	1	0	0	1	0	0	0	0		100	1,99	30		0		-1180	-1179
0,00	29.08.2022 07:41	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
0,00	29.08.2022 07:41	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
22,42	30.08.2022 06:06	0	1	1	0	0	0	0	0	30	1,34	0		0		100	4,46	-1209	-1179
0,00	30.08.2022 06:06	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1179
0,00	30.08.2022 06:06	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1179
26,18	31.08.2022 08:17	0	1	0	0	0	0	0	0	0		150	5,73	45	1,72	0		-551	-1179
0,00	31.08.2022 08:17	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-551	-1179
27,03	01.09.2022 11:19	0	1	1	0	0	0	0	0	30	1,11	0		0		120	4,44	-1209	-1179
0,00	01.09.2022 11:19	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1179

$\Delta t$ [h]	Time	Res	I2	P1	P2	R1	R2	ZW	ZF	Q <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q̇ <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	F1 [cm]	F2 [cm]
0,00	01.09.2022 11:19	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1179
25,13	02.09.2022 12:27	0	1	0	0	1	0	0	0	0		120	4,77	30	1,19	0		-1180	-1179
0,00	02.09.2022 12:27	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
0,00	02.09.2022 12:27	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
65,72	05.09.2022 06:10	0	1	1	0	0	0	0	0	30	0,46	0		0		120	1,83	-1209	-1182
0,00	05.09.2022 06:10	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1182
0,00	05.09.2022 06:10	0	1	0	0	1	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1184
0,00	05.09.2022 06:10	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1184
26,27	06.09.2022 08:26	0	1	0	1	0	0	0	0	0		120	4,57	30	1,14	0		-1180	-1179
0,00	06.09.2022 08:26	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
0,00	06.09.2022 08:26	0	1	1	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
0,00	06.09.2022 08:26	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
24,89	07.09.2022 09:20	0	1	1	0	0	0	0	0	30	1,21	0		0		120	4,82	-1312	-1180
0,00	07.09.2022 09:20	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1312	-1180
0,00	07.09.2022 09:20	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1314	-1172
27,04	08.09.2022 12:22	0	1	0	0	0	0	0	0	0		120	4,44	30	1,11	0		-1180	-1179
0,00	08.09.2022 12:22	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
23,55	09.09.2022 11:55	0	1	1	1	1	1	0	1	30	1,27	0		0		86,5	3,67	-1314	-1180
0,00	09.09.2022 11:55	0	1	1	1	1	0	0	1	0		0,1		0		0		-1314	-1180
0,00	09.09.2022 11:55	0	1	0	1	1	0	0	1	0		0		0		0		-1314	-1180
0,01	09.09.2022 11:56	0	1	1	1	1	1	1	1	0		0		0,1	9,47	0,1	9,47	-1180	-1179
0,00	09.09.2022 11:56	0	1	1	1	0	1	1	1	0,1		0		0		0		-1180	-1179
0,00	09.09.2022 11:56	0	1	1	0	0	1	1	1	0		0		0		0		-1180	-1179
17,05	10.09.2022 04:59	0	1	1	0	0	0	1	0	0		0		0		33,6	1,97	-1209	-1165
0,00	10.09.2022 04:59	0	1	0	0	0	0	1	0	0		0		0		0		-1209	-1165
0,00	10.09.2022 04:59	0	1	0	1	1	0	1	0	0		0		0,1		0		-1209	-1165
55,17	12.09.2022 12:09	0	1	0	0	0	0	0	0	0		120	2,18	39,9	0,72	0		-1180	-1179
0,00	12.09.2022 12:09	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
25,22	13.09.2022 13:22	0	1	1	0	0	0	0	0	40	1,59	0		0		120	4,76	-1305	-1190
0,00	13.09.2022 13:22	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1305	-1190

$\Delta t$ [h]	Time	Res	I2	P1	P2	R1	R2	ZW	ZF	Q <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q̇ <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	F1 [cm]	F2 [cm]
0,00	13.09.2022 13:22	0	1	0	1	0	0	0	0	0		0		0		0		-1199	-1182
0,00	13.09.2022 13:22	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1199	-1182
25,61	14.09.2022 14:59	0	1	0	1	0	0	0	0	0		120	4,69	40	1,56	0		-1180	-1179
0,00	14.09.2022 14:59	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
0,00	14.09.2022 14:59	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1179	-1179
38,93	16.09.2022 05:55	0	1	1	0	0	0	0	0	40	1,03	0		0		120	3,08	-1209	-1177
0,00	16.09.2022 05:55	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1177
0,00	16.09.2022 05:55	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1179
24,67	17.09.2022 06:35	0	1	0	0	0	0	0	0	0		120	4,87	40	1,62	0		-1180	-1179
0,00	17.09.2022 06:35	0	1	0	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1179	-1179
0,00	17.09.2022 06:35	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1179	-1179
53,08	19.09.2022 11:39	0	1	1	0	0	0	0	0	40	0,75	0		0		120	2,26	-1209	-1184
0,00	19.09.2022 11:39	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1184
0,00	19.09.2022 11:39	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1182
26,68	20.09.2022 14:20	0	1	0	0	1	0	0	0	0		120	4,50	40	1,50	0		-1179	-1179
0,00	20.09.2022 14:20	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1179	-1179
0,00	20.09.2022 14:20	0	1	1	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1179	-1179
0,00	20.09.2022 14:20	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1179	-1179
39,16	22.09.2022 05:30	0	1	1	0	0	0	0	0	40	1,02	0		0		120	3,06	-1209	-1185
0,00	22.09.2022 05:30	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1185
0,00	22.09.2022 05:30	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1310	-1184
23,70	23.09.2022 05:12	0	1	0	0	0	0	0	0	0		120	5,06	40	1,69	0		-1179	-1179
0,00	23.09.2022 05:12	0	1	0	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
0,00	23.09.2022 05:12	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
13,79	23.09.2022 18:59	0	1	1	0	0	0	0	0	40	2,90	0		0		135,8	9,85	-1314	-1172
0,00	23.09.2022 18:59	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1314	-1172
0,00	23.09.2022 18:59	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1314	-1172
62,95	26.09.2022 09:57	0	1	0	0	1	0	0	0	0		120	1,91	40	0,64	0		-1180	-1179
0,00	26.09.2022 09:57	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
0,00	26.09.2022 09:57	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179

$\Delta t$ [h]	Time	Res	I2	P1	P2	R1	R2	ZW	ZF	Q <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q̇ <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	F1 [cm]	F2 [cm]
24,86	27.09.2022 10:48	0	1	1	0	0	0	0	0	40	1,61	0		0		120	4,83	-1209	-1185
0,00	27.09.2022 10:48	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1185
0,00	27.09.2022 10:48	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1209	-1185
27,31	28.09.2022 14:07	0	1	0	1	0	0	0	0	0		120	4,39	40	1,46	0		-1180	-1179
0,00	28.09.2022 14:07	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
0,00	28.09.2022 14:07	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0		0		0		-1180	-1179
26,19	29.09.2022 16:18	0	1	1	0	0	0	0	0	40	1,53	0		0		120	4,58	-1314	-1165
0,00	29.09.2022 16:18	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		-1314	-1165
0,00	29.09.2022 16:18	0	1	0	0	1	0	0	0	0		0		0		0		-1314	-1165
0,00	29.09.2022 16:18	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0		0		0		-1314	-1165
															1,68				

Legende

Res - Reserve

I2 - Überspannungsschutz

P - Pumpe

ZW - Zähler Werk

ZF - Zähler Fermanox

R - Rücklauf

$\Delta t$ [h]	Time (Sommerzeit)	Res	on	P1	P2	R1	R2	ZW	ZF	Q <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> ]	Q <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	F1 [cm]	F2 [cm]
	13.12.2022 10:17	0	1	0	1	1	0	1	1									-486	-1179
5,03	13.12.2022 15:19	0	1	0	0	1	0	0	0	0				4				-1180	-1179
0,00	13.12.2022 15:19	0	1	0	0	0	0	0	0	0				0				-1180	-1179
0,00	13.12.2022 15:19	0	1	1	0	0	0	0	0	0				0				-1180	-1179
0,00	13.12.2022 15:19	0	1	1	0	0	1	0	0	0				0				-1180	-1179
18,11	14.12.2022 09:25	0	1	1	0	0	0	0	0	40	2,21			0				-1314	-1202
0,00	14.12.2022 09:25	0	1	0	0	0	0	0	0	0				0				-1314	-1202
0,00	14.12.2022 09:25	0	1	0	1	1	0	0	0	0				0				-1314	-1172
21,22	15.12.2022 06:39	0	1	0	0	0	0	0	0	0				40				-1180	-1177
0,00	15.12.2022 06:39	0	1	1	0	0	1	0	0	0				0				-1180	-1179
71,29	18.12.2022 05:56	0	1	1	0	0	0	0	1	40	0,56			0				-1312	-1206
0,00	18.12.2022 05:56	0	1	0	0	0	0	0	1	0				0				-1312	-1206
0,00	18.12.2022 05:56	0	1	0	1	1	0	0	1	0				0				-1312	-1206
48,68	20.12.2022 06:37	0	1	0	0	0	0	0	0	0				40				-1180	-1177
0,00	20.12.2022 06:37	0	1	0	0	0	1	0	0	0				0				-1180	-1177
0,00	20.12.2022 06:37	0	1	1	0	0	1	0	0	0				0				-1180	-1177
28,72	21.12.2022 11:20	0	1	1	0	0	0	0	0	40	1,39			0				-1312	-1064
0,00	21.12.2022 11:20	0	1	0	0	0	0	0	0	0				0				-1312	-1064
0,00	21.12.2022 11:20	0	1	0	0	1	0	0	0	0				0				-1312	-1064
0,00	21.12.2022 11:20	0	1	0	1	1	0	0	0	0				0				-1312	-1064
46,68	23.12.2022 10:01	0	1	0	1	0	0	0	0	0				40				-1180	-1179
0,00	23.12.2022 10:01	0	1	0	0	0	0	0	0	0				0				-1180	-1179
0,00	23.12.2022 10:01	0	1	1	0	0	0	0	0	0		0	0,00	0		0	0	-1180	-1179
0,00	23.12.2022 10:01	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1179
45,69	25.12.2022 07:42	0	1	1	0	0	0	0	0	40	0,88	0	0,00	0		0	0	-1312	-164
0,00	25.12.2022 07:42	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1312	-164

$\Delta t$ [h]	Time (Sommerzeit)	Res	on	P1	P2	R1	R2	ZW	ZF	Q <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> ]	Q <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	F1 [cm]	F2 [cm]
0,00	25.12.2022 07:42	0	1	0	0	1	0	0	0	0		0	0,00	0		0		-1311	-1106
0,00	25.12.2022 07:42	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1311	-1106
72,00	28.12.2022 07:43	0	1	0	1	0	0	0	1	0		0	0,00	40	0,56	0	0	-476	-1179
0,00	28.12.2022 07:43	0	1	0	0	0	0	0	1	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-476	-1179
0,00	28.12.2022 07:43	0	1	0	0	0	1	0	1	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-476	-1179
0,00	28.12.2022 07:43	0	1	1	0	0	1	0	1	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-476	-1179
27,38	29.12.2022 11:05	0	1	1	0	0	0	0	0	40	1,46	0	0,00	0	0,00	0	0	-1314	-1210
0,00	29.12.2022 11:05	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1314	-1210
0,00	29.12.2022 11:05	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1314	-1210
26,08	30.12.2022 13:11	0	1	0	0	1	0	0	0	0		0	0,00	40	1,53	0	0	-1180	-1179
0,00	30.12.2022 13:11	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1179
0,00	30.12.2022 13:11	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0	0,00	0		0	0	-1180	-1179
35,69	01.01.2023 00:52	0	1	1	0	0	0	0	0	40		0	0,00	0	0,00	0	0	-479	-1179
0,00	01.01.2023 00:52	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-479	-1179
0,00	01.01.2023 00:52	0	1	0	0	1	0	0	0	0		0	0,00	0		0	0	-479	-1179
0,00	01.01.2023 00:52	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-479	-1179
52,82	03.01.2023 05:41	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	0,00	40		0	0	-1180	-1179
0,00	03.01.2023 05:41	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1179
24,40	04.01.2023 06:05	0	1	1	0	0	0	0	0	40	1,64	0	0,00	0	0,00	0	0	-1209	-237
0,00	04.01.2023 06:05	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1209	-237
0,00	04.01.2023 06:05	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1209	-237
26,84	05.01.2023 08:56	0	1	0	1	0	0	0	0	0		0	0,00	40	1,49	0	0	-1180	-1179
0,00	05.01.2023 08:56	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1179
0,00	05.01.2023 08:56	0	1	0	0	0	1	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1179
0,00	05.01.2023 08:56	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1179
25,59	06.01.2023 10:31	0	1	1	0	0	0	0	0	40	1,56	0	0,00	0		0	0	-1312	-491
0,00	06.01.2023 10:31	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1312	-491
0,00	06.01.2023 10:31	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0	0,00	0		0	0	-1312	-491

$\Delta t$ [h]	Time (Sommerzeit)	Res	on	P1	P2	R1	R2	ZW	ZF	Q <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q̇ <sub>f</sub> B 2 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>i</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> ]	Q̇ <sub>f</sub> B 1 [m <sup>3</sup> /h]	F1 [cm]	F2 [cm]
67,39	09.01.2023 05:54	0	1	0	0	1	0	0	0	0		0	0,00	40	0,59	0	0	-1180	-1177
0,00	09.01.2023 05:54	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1177
0,00	09.01.2023 05:54	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0	0,00	0		0	0	-1180	-1177
4,89	09.01.2023 10:48	0	1	1	0	1	1	1	0	14,8	3,03	0	0,00	0,1	0,02	0	0	-1314	-1206
0,00	09.01.2023 10:48	0	1	1	1	1	1	1	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1314	-1206
0,00	09.01.2023 10:48	0	1	1	1	1	0	1	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1314	-1206
0,00	09.01.2023 10:48	0	1	0	1	1	0	1	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1314	-1206
0,07	09.01.2023 10:52	0	1	1	1	1	0	1	1	0		0	0,00	0,2	3,05	0	0	-1180	-1177
0,00	09.01.2023 10:52	0	1	1	1	1	1	1	1	0,1		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1177
0,00	09.01.2023 10:52	0	1	1	0	0	1	1	1	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1177
19,83	10.01.2023 06:41	0	1	1	0	0	0	0	0	25,2	1,27	0	0,00	0		0	0	-1296	-1176
0,00	10.01.2023 06:41	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1296	-1176
0,00	10.01.2023 06:42	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0	0,00	0		0	0	-1314	-1191
25,43	11.01.2023 08:07	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	0,00	40	1,57	0	0	-1180	-1179
0,00	11.01.2023 08:07	0	1	1	0	0	0	0	0	0		0	0,00	0		0	0	-1180	-1179
0,00	11.01.2023 08:07	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1179
25,86	12.01.2023 09:58	0	1	0	0	0	0	0	0	40	1,55	0	0,00	0		0	0	-1312	-1207
0,00	12.01.2023 09:58	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0	0,00	0		0	0	-1312	-842
25,81	13.01.2023 11:47	0	1	0	0	1	0	0	0	0		0	0,00	40	1,55	0	0	-1180	-1179
0,00	13.01.2023 11:47	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1179
0,00	13.01.2023 11:47	0	1	0	0	0	1	0	0	0		0	0,00	0		0	0	-1180	-1179
0,00	13.01.2023 11:47	0	1	1	0	0	1	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1179
42,91	15.01.2023 06:42	0	1	1	0	0	0	0	0	40	0,93	0	0,00	0		0	0	-1312	-1192
0,00	15.01.2023 06:42	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1312	-1192
0,00	15.01.2023 06:42	0	1	0	1	1	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1312	-1192
47,63	17.01.2023 06:19	0	1	0	1	0	0	0	0	0		0	0,00	40	0,84	0	0	-1180	-1177
0,00	17.01.2023 06:19	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	#DIV/0!	0		0	#DIV/0!	-1180	-1177
0,00	17.01.2023 06:19	0	1	0	0	0	1	0	0	0				0		0	#DIV/0!	-1180	-1177

## 11. Anhang: Wasseranalyse durch Limbach Analytics 21.09.2022



**Limbach Analytics GmbH**  
Labor Leipzig



Auftragsnummer 55022002613  
EB-01

Limbach Analytics GmbH, Labor Leipzig, Strümpfelstraße 42, 04289 Leipzig  
KÖHRA- Frische GmbH

Leipziger Str. 32  
04683 Köhra

**Ihr Ansprechpartner**  
**Stefanie Bilsing**

Tel.: 0341-863808-34  
Fax: 0341-863808-69  
s.bilsing@analytics-leipzig.de

Leipzig, 21.09.2022

## Prüfbericht

Art des Auftrages	Brunnenwasseruntersuchung
Kundennummer	94-DE-550
Auftragsnummer	55022002613
Probennummer	55022002613-001
Entnahmeort	KÖHRA- Frische GmbH, Leipziger Str. 32, 04683 Köhra
Entnahmestelle	Brunnen 2
Probenbezeichnung	Brunnenwasser B1
Probenart	Brunnenwasser
Probenehmer	Hendrik Hein (Limbach Analytics GmbH)
Probenahmedatum	08.09.2022 12:30
Probeneingang	08.09.2022 13:15
Untersuchungsbeginn, -ende	08.09.2022 - 21.09.2022
Probenahmetechnik	Zweck a nach DIN EN ISO 19458:2006-12, DIN ISO 5667-5:2011-02

**Durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiertes Prüflaboratorium nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018,  
Registrierungsnummer: D-PL-20185-01-01 bis -08. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.**

Limbach Analytics GmbH  
Edwin-Reis-Straße 6-10  
68229 Mannheim

Geschäftsführer:  
Dr. Gerold Appelt  
Dr. Jürgen Grochowski

Sitz der Gesellschaft: Mannheim  
Registergericht:  
Amtsgericht Mannheim HRB 720967  
Ust-IdNr.: DE298564631

HypoVereinsbank  
IBAN: DE77 6702 0190 0023 0917 71  
BIC: HYVEDEMM489

Seite 1 von 3



Parameter	Prüfverfahren	Einheit	Prüfergebnis
Elektrische Leitfähigkeit (bei 25 °C)	DIN EN 27888 - C 8:1993-11	µS/cm	819
pH-Wert	DIN EN ISO 10523 - C 5:2012-04		6,28
Cadmium <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	< 0,0001
Chrom gesamt <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	< 0,0005
Kupfer <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	0,002
Eisen <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	1,2
Mangan <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	0,24
Nickel <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	0,004
Blei <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	< 0,001
Antimon <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	< 0,001
Selen <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	< 0,001
Ammonium <sup>(1)</sup>	DIN 38406 - E 5:1983-10	mg/l	< 0,05
Chlorid <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 10304-1 - D 20:2009-07	mg/l	46
Fluorid <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 10304-1 - D 20:2009-07	mg/l	< 0,10
Nitrat <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 10304-1 - D 20:2009-07	mg/l	< 1,0
Nitrit <sup>(1)</sup>	DIN EN 26777 - D 10:1993-04	mg/l	< 0,005
Sulfat <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 10304-1 - D 20:2009-07	mg/l	359
TOC	DIN EN 1484: 2019-04	mg/l	0,85
Trübung	DIN EN ISO 7027 - C 2: 2000-04	NTU	5,23
Arsen <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	0,0009

**Mikrobiologische Untersuchungen**

Temperatur bei PN	DIN 38404 - C 4: 2005-07	°C	13,0
Koloniezahl bei 22 °C (nach DIN 6222)	EN ISO 6222 K5: 1999-05	KBE/ml	0
Koloniezahl bei 36 °C (nach DIN 6222)	EN ISO 6222 K5: 1999-05	KBE/ml	2
intestinale Enterokokken	DIN EN ISO 7899 K15: 2000-11	KBE/100ml	0
Clostridium perfringens	DIN EN ISO 14189 (K24): 2016-11	KBE/100 ml	0
Escherichia coli	DIN EN ISO 9308-1 K12: 2017-09	KBE/100ml	0
coliforme Bakterien	DIN EN ISO 9308-1 K12: 2017-09	KBE/100 ml	0

**Gesamthärte**

Härtebereich <sup>(1)</sup>			hart
Gesamthärte <sup>(1)</sup>	berechnet	mmol/l	3,98
Gesamthärte <sup>(1)</sup>	berechnet	°dH	22,3
Calcium <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	138
Magnesium <sup>(1)</sup>	DIN EN ISO 17294-2 - E 29:2017-01	mg/l	13

<sup>(1)</sup> Leistung eines anderen Standortes der Limbach Analytics GmbH

PNProbenahme, mod.modifiziert



**Limbach Analytics GmbH**  
Labor Leipzig



Auftragsnummer 55022002613  
EB-01

Stefanie Bilsing  
staatl. gepr. Dipl.-Lebensmittelchemikerin

Dieser Prüfbericht wurde von einem autorisierten Mitarbeiter der Limbach Analytics GmbH, Labor Leipzig, validiert, erstellt und ist auch ohne Unterschrift gültig.

(Limbach Analytics, 2022)

## 12. Anhang: Ausschnitte der Schichtenverzeichnisse umliegender Bohrungen

Schichtenverzeichnis Fuchshainer Str. 42a, Köhra, 610 m nordwestlich

Grund- und Stammdaten

TK25:4741 B...39...2016 Gt Koh 39/2016 Rechts: 330273.48 Hoch: 5680732.71 Teufe: 50.00

Grunddaten Archivhinweise Messungen/Hinweise

Aufschlußkurzbezeichnung B...39...2016 Rechtswert 330273.48 Hochwert 5680732.71

Blattschnitte: TK25: 4741 TK 1:10000:4741-NW Einheitsblatt 1:10000:7727

Staat/Bundesland SN  Freistaat Sachsen  
Ort/Ortsteil Koh....  Köhra

Art der Koordinatenfindung  Koordinatensystem 0  
Höhe d. Aufschlußansatzpunktes 136.80 m Art d. Höhenfindung  Höhen Bezugssystem 1   
Endteufe 50.00 m

Aufschlußneigung 0° Aufschlußrichtung 0° Sohle bei 86.80 m  
Stratigr. Zuordnung des Endhorizontes PZPU...  Unterperm (Rotliegendes)  
Zweck der Aufschlußarbeiten GT  Geothermische Nutzung / Erdwärme  
Auftraggeber 9999  Firma / Körperschaft nicht in Liste enthalten; Schlüssel ist noch zu vergeben  
Fachliche Leitung 7599  
Bohrmeister

Bohr-/Aufschlußverfahren RSB  Druckspülbohrung, Rotary-Spülbohrung, Rechtsspülbohrung  
Bohr-Firma 7599  SBS Sächsischer Brunnen- und Spezialtiefbau GmbH, Albrechtshain  
Beginn 19.04.2016 Ende 20.04.2016 der Aufschlußarbeiten  
Bezeichnung des Projektes der Aufschlußarbeiten  
EWS f. EPF Fuchshainer Str. 42a, Köhra, Flstck. 80/2

LFULG-Ident: 590257 Bohranzeige-Ident

Ansicht

Schichtenverzeichnis

TK25:4741 B...39...2016 Gt Koh 39/2016 Rechts: 330273.48 Hoch: 5680732.71 Teufe: 50.00

Schicht von: 2.50 bis: 10.50

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante 10.50 m u.AP Schichtmächtigkeit 8.00 m  
Gestein SKLSs2..s3.....k2k1..... Schicht einfügen Schicht splitten  
Mittelsand, grobsandig, mittelkiesig, feinkiesig

TK25:4741 B...39...2016 Gt Koh 39/2016 Rechts: 330273.48 Hoch: 5680732.71 Teufe: 50.00

Schicht von: 10.50 bis: 22.00

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante 22.00 m u.AP Schichtmächtigkeit 11.50 m  
Gestein SKLSs1..s3k1.....s2..... Schicht einfügen Schicht splitten  
Feinsand, grobsandig, mittelsandig, schwach feinkiesig

TK25:4741 B...39...2016 Gt Koh 39/2016 Rechts: 330273.48 Hoch: 5680732.71 Teufe: 50.00

Schicht von: 22.00 bis: 25.00

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante 25.00 m u.AP Schichtmächtigkeit 3.00 m  
Gestein SKLST..... Schicht einfügen Schicht splitten  
Ton

## Schichtenverzeichnis Tannenweg 16, Köhra, 300 m nordöstlich

Grund- und Stammdaten

TK25:4741 B...1...2011 Gt Koh 1/2011 Rechts: 330909.25 Hoch: 5680739.74 Teufe: 60.00

Grunddaten Archivhinweise Messungen/Hinweise

Aufschlußkurzbezeichnung B...1...2011 Rechtswert 330909.25 Hochwert 5680739.74

Blattschnitte: TK25: 4741 TK 1:10000:4741-NW Einheitsblatt 1:10000:7727

Staat/Bundesland SN  Freistaat Sachsen  
 Ort/Ortsteil Koh...  Köhra

Art der Koordinatenfindung K  Koordinatensystem 0  
 Höhe d. Aufschlußansatzpunktes 135.50 m Art d. Höhenfindung K  Höhen Bezugssystem 1   
 Endteufe 60.00 m

Aufschlußneigung 0° Aufschlußrichtung 0° Sohle bei 75.50 m  
 Stratigr. Zuordnung des Endhorizontes KZB....  Tertiär  
 Zweck der Aufschlußarbeiten GT  Geothermische Nutzung / Erdwärme  
 Auftraggeber 9999  Firma / Körperschaft nicht in Liste enthalten; Schlüssel ist noch zu vergeben  
 Fachliche Leitung 7599 Bohrmeister

Bohr-/Aufschlußverfahren ILH  Imlochhammerbohrung  
 Bohr-Firma 7599  SBS Sächsischer Brunnen- und Spezialtiefbau GmbH, Albrechtshain  
 Beginn 14.01.2011 Ende 20.01.2011 der Aufschlußarbeiten  
 Bezeichnung des Projektes der Aufschlußarbeiten  
 Erdwärme, Tannenweg 16, Belgershain OT Köhra

LZULG-Ident: 615624 Bohranzeige-Ident

Ansicht

TK25:4741 B...1...2011 Gt Koh 1/2011 Rechts: 330909.25 Hoch: 5680739.74 Teufe: 60.00

Schicht von: 14.50 bis: 20.50

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante 20.50 m u.AP Schichtmächtigkeit 6.00 m  
 Gestein SKLs3k1s2..... Schicht einfügen Schicht splitten

Grobsand, stark feinkiesig, mittelsandig

wasserführend

TK25:4741 B...1...2011 Gt Koh 1/2011 Rechts: 330909.25 Hoch: 5680739.74 Teufe: 60.00

Schicht von: 20.50 bis: 21.50

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante 21.50 m u.AP Schichtmächtigkeit 1.00 m  
 Gestein SKLsusc..... Schicht einfügen Schicht splitten

Schluff, stark kohleführend

Braunkohlenschluff

TK25:4741 B...1...2011 Gt Koh 1/2011 Rechts: 330909.25 Hoch: 5680739.74 Teufe: 60.00

Schicht von: 21.50 bis: 28.00

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante 28.00 m u.AP Schichtmächtigkeit 6.50 m  
 Gestein SKLs3k1s2.....s1..... Schicht einfügen Schicht splitten

Grobsand, stark feinkiesig, mittelsandig, feinsandig

wasserführend

Schichtenverzeichnis

TK25.4741 B...1...2011 Gt Koh 1/2011 Rechts: 330909.25 Hoch: 5680739.74 Teufe: 60.00

Schicht von: 28.00 bis: 28.50

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante  m u.AP Schichtmächtigkeit  m

Gestein SKLSuscc..... Schicht einfügen Schicht splitten

Schluff, stark kohleführend

Braunkohlenschluff

Schichtenverzeichnis

TK25.4741 B...1...2011 Gt Koh 1/2011 Rechts: 330909.25 Hoch: 5680739.74 Teufe: 60.00

Schicht von: 30.50 bis: 32.00

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante  m u.AP Schichtmächtigkeit  m

Gestein SKLSus..sd.....t..... Schicht einfügen Schicht splitten

Schluff, sandig, tonig

Schichtenverzeichnis

TK25.4741 B...1...2011 Gt Koh 1/2011 Rechts: 330909.25 Hoch: 5680739.74 Teufe: 60.00

Schicht von: 28.50 bis: 30.50

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante  m u.AP Schichtmächtigkeit  m

Gestein SKLss3kls2..... Schicht einfügen Schicht splitten

Grobsand, stark feinkiesig, mittelsandig

wasserführend

Schichtenverzeichnis

TK25.4741 B...1...2011 Gt Koh 1/2011 Rechts: 330909.25 Hoch: 5680739.74 Teufe: 60.00

Schicht von: 32.00 bis: 34.00

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante  m u.AP Schichtmächtigkeit  m

Gestein SKLSuscc..... Schicht einfügen Schicht splitten

Schluff, stark kohleführend

Braunkohlenschluff

Kohlebohrung ASW DD, RW330.760,45, 315 m südöstlich

Grund- und Stammdaten

TK25:4741 B...72....1927 Brk Koh 72/1927 Rechts: 330760.45 Hoch: 5680086.33 Teufe: 56.30

Grunddaten Archivhinweise Messungen/Hinweise

**Aufschlußkurzbezeichnung** B...72....1927 **Rechtswert** 330760.45 **Hochwert** 5680086.33

**Blattschnitte:** TK25: 4741 TK 1:10000:4741-SW Einheitsblatt 1:10000:7727

**Staat/Bundesland** SN Freistaat Sachsen  
**Ort/Ortsteil** Koh.... Köhra

**Art der Koordinatenfindung** M Koordinatensystem 0  
**Höhe d. Aufschlußansatzpunktes** 141.10 m **Art d. Höhenfindung** M Höhen Bezugssystem 4  
**Endteufe** 56.30 m

**Aufschlußneigung** 0° **Aufschlußrichtung** 0° **Sohle bei** 84.80 m

**Stratigr. Zuordnung des Endhorizontes** PZ..... Paläozoikum

**Zweck der Aufschlußarbeiten** BRK Braunkohleerkundung

**Auftraggeber** 2019 VEB BKK Braunkohlenkombinat Bitterfeld

**Fachliche Leitung** 7982 **Bohrmeister**

**Bohr-/Aufschlußverfahren** T Trockenbohrung

**Bohr-Firma** 7982 Bohrfirma Julius Kröber K. G., Leipzig

**Beginn** 25.01.1927 **Ende** 05.02.1927 **der Aufschlußarbeiten**

**Bezeichnung des Projektes der Aufschlußarbeiten** Kohlebohrung ASW Dresden, Köhra

**LfULG-Ident:** 386881 **Bohranzeige-Ident**

Ansicht

TK25:4741 B...72....1927 Brk Koh 72/1927 Rechts: 330760.45 Hoch: 5680086.33 Teufe: 56.30

**Schicht** von: 9.00 bis: 10.60

Standardangaben Erweitert

**Teufe Schichtunterkante** 10.60 m u.AP **Schichtmächtigkeit** 1.60 m

**Gestein** SKLSSd...l..... Schicht einfügen Schicht splitten

Sand, lehmig

TK25:4741 B...72....1927 Brk Koh 72/1927 Rechts: 330760.45 Hoch: 5680086.33 Teufe: 56.30

**Schicht** von: 10.60 bis: 12.50

Standardangaben Erweitert

**Teufe Schichtunterkante** 12.50 m u.AP **Schichtmächtigkeit** 1.90 m

**Gestein** SKLST...us..... Schicht einfügen Schicht splitten

Ton, schluffig

TK25:4741 B...72....1927 Brk Koh 72/1927 Rechts: 330760.45 Hoch: 5680086.33 Teufe: 56.30

**Schicht** von: 12.50 bis: 14.60

Standardangaben Erweitert

**Teufe Schichtunterkante** 14.60 m u.AP **Schichtmächtigkeit** 2.10 m

**Gestein** SKLSSd...l..... Schicht einfügen Schicht splitten

Sand, lehmig

TK25:4741 B...72....1927 Brk Koh 72/1927 Rechts: 330760.45 Hoch: 5680086.33 Teufe: 56.30

**Schicht** von: 14.60 bis: 27.30

Standardangaben Erweitert

**Teufe Schichtunterkante** 27.30 m u.AP **Schichtmächtigkeit** 12.70 m

**Gestein** SKLSSd...t..... Schicht einfügen Schicht splitten

Sand, tonig

TK25:4741 B...72....1927 Brk Koh 72/1927 Rechts: 330760.45 Hoch: 5680086.33 Teufe: 56.30

**Schicht** von: 27.30 bis: 31.40

Standardangaben Erweitert

**Teufe Schichtunterkante** 31.40 m u.AP **Schichtmächtigkeit** 4.10 m

**Gestein** SKLSke...t.us..... Schicht einfügen Schicht splitten

Kies, tonig, schwach schluffig

TK25.4741 B...72....1927 Brk Koh 72/1927 Rechts: 330760.45 Hoch: 5680086.33 Teufe: 56.30

Schicht von: 31.40 bis: 32.60

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante 32.60 m u.AP Schichtmächtigkeit 1.20 m

Gestein SKLSt..... Schicht einfügen Schicht splitten

Ton

TK25.4741 B...72....1927 Brk Koh 72/1927 Rechts: 330760.45 Hoch: 5680086.33 Teufe: 56.30

Schicht von: 32.60 bis: 34.50

Standardangaben Erweitert

Teufe Schichtunterkante 34.50 m u.AP Schichtmächtigkeit 1.90 m

Gestein SKLSt..... Schicht einfügen Schicht splitten

Ton

(Freistaat Sachsen, 2023)

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der ausgewiesenen Hilfsmittel angefertigt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach anderen gedruckten oder im Internet verfügbaren Werken entnommen sind, habe ich durch genaue Quellenangaben kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt. Die Freigabe zur Veröffentlichung in der Bibliothek wird nicht erteilt. Die Zustimmung zur Plagiatsprüfung wird erteilt.

Merseburg, 04.08.2023

Alexander Köber