

04.21

Lizenziert für Herrn Dr. Michael Kerth.
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.

30. Jahrgang
August 2021
Seiten 113 – 156

altlasten spektrum

Herausgegeben vom
Ingenieurtechnischen Verband für Altlastenmanagement
und Flächenrecycling e.V. (ITVA)

www.ALTLASTENDigital.de



Organ des ITVA

Methode zur Abschätzung der Sanierungs- laufzeit von biologischen In-situ-Verfahren

Raphael Werner, Thomas Held

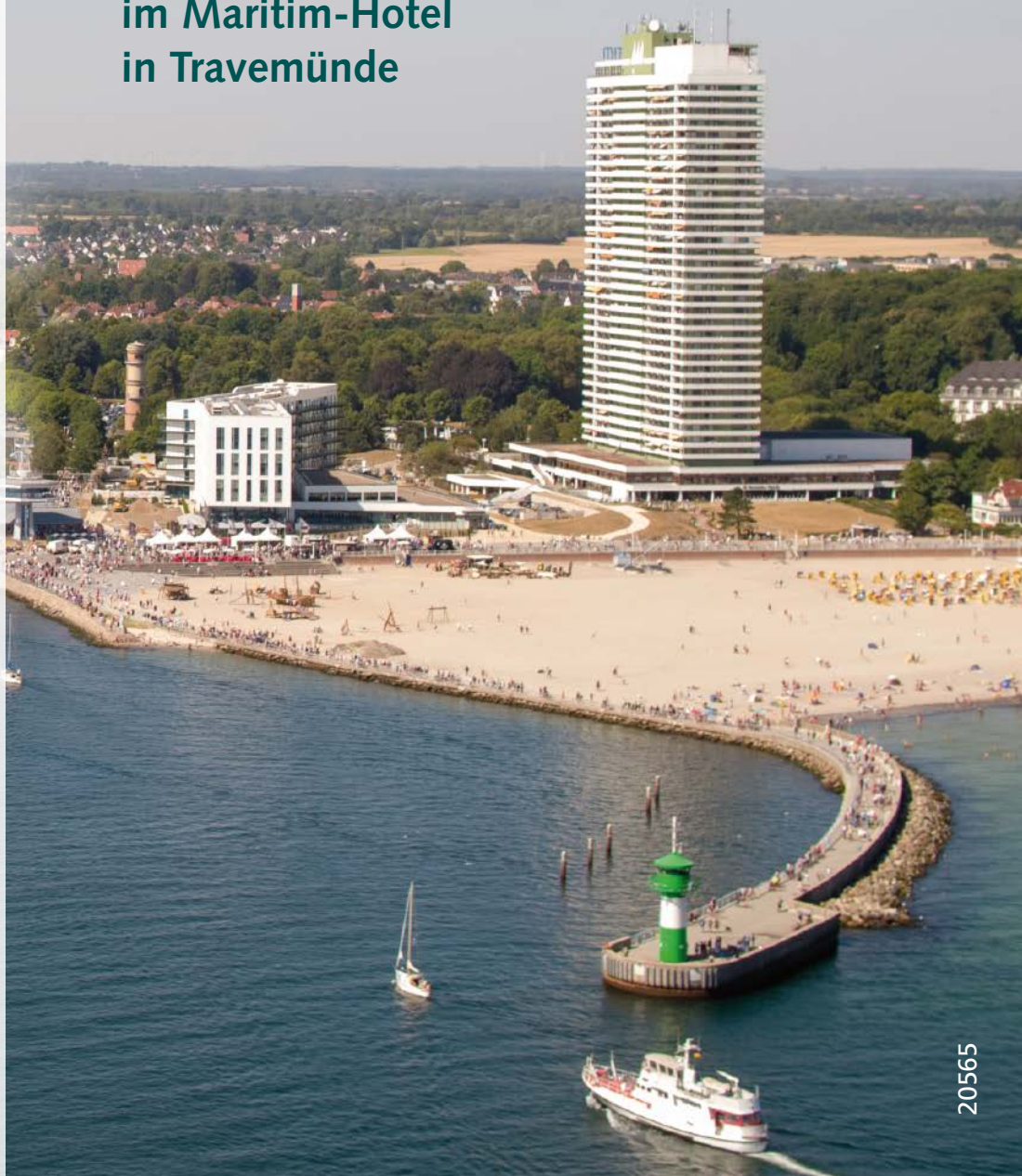
LCKW-Grundwasserschaden Marktbrunnen Bad Salzuflen: Sanierung im Grenzbereich zwischen Süß- und Salz- wasser

Michael Kerth, Ilka DelbancoIm

Haufwerke und AwSV – Einstufung des Wasser- gefährdungspotentials mineralischer Gemische

Heike Kieserling

Altlastensymposium vom 9.–11. März 2022 im Maritim-Hotel in Travemünde



ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG

20565

LCKW-Grundwasserschaden Marktbrunnen Bad Salzuflen: Sanierung im Grenzbereich zwischen Süß- und Salzwasser

Michael Kerth und Ilka Delbanco

1. Einleitung

Auf dem Markt von Bad Salzuflen befindet sich der historische, heute 4,1 m tiefe Marktbrunnen, der inmitten der durch die historische Solegewinnung und Salzsiederei geprägten Altstadt ein nur gering mineralisiertes Grundwasser führt, das zwischen Ende des 16. und Anfang des 20. Jahrhunderts für die Trinkwasserversorgung der umliegenden Gebäude genutzt wurde [1].

Bei einer Untersuchung des Brunnenwassers 2003 im Zusammenhang mit der Errichtung eines neuen Brunnen-Denkmals (Abbildung 1) und der Überlegung, diesen Brunnen mit dem Wasser des Marktbrunnens zu

speisen, wurde eine erhebliche LCKW-Verunreinigung des Brunnenwassers (Summe LCKW 2.100 µg/l mit Tetrachlorethen als vorherrschender Verbindung) festgestellt. Dies war Anlass für eine Recherche nach möglichen LCKW-Eintragspunkten im Umfeld und entsprechende weitergehende Untersuchungen.

2. Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse

Der Marktbrunnen liegt nach [2] innerhalb des Verbreitungsgebietes quartärzeitlicher, z. T. schwach bindiger, Sande und Kiese (mit eingeschalteten Lehm-Horizonten) des Salztals (Niederterrassen-Sedimente), deren Mächtigkeit hier maximal 10 m beträgt und die bereichsweise von Auenlehm/-sand sowie einer anthropogenen Auffüllung überlagert werden. Unterlagert werden die Sande und Kiese von z. T. quarzitischen Ton-, Silt- und Sandsteinen des Oberen Keupers.

Das Verbreitungsgebiet der Niederterrassen-Sedimente endet wenige Zehner Meter östlich an einem Geländeanstieg. Östlich davon ist nur noch eine geringmächtige, teilweise sandige Quartärüberdeckung vorhanden bzw. es stehen unmittelbar die Gesteine des Oberen Keupers an.

Innerhalb des Niederterrassen-Grundwasserleiters ist eine generell nach Süden, dem Verlauf der Salze grundsätzlich folgende Grundwasserfließrichtung vorhanden (Abbildung 2). Direkt östlich des Marktbrunnens zeigt sich hingegen eine gegen den Hang ansteigende Grundwasseroberfläche, d. h. hier strömt das Grundwasser vom Hang kommend in den zentralen Bereich des Niederterrassen-Grundwasserleiters. Nicht bekannt ist, inwieweit der in den 1980er Jahren erfolgte Ausbau der Salze, bei der im Umfeld des Marktbrunnens auf der Ostseite der Salze eine dauerhafte Einspundung erfolgte, die Grundwasserfließrichtung beeinflusst hat.

Im Salztal steigt als Teil eines großräumigen und tiefgreifenden Strömungssystems [3] im Bereich der Altstadt Bad Salzuflen in einer Störungszone („Salztal-Störung“) hoch Chlorid-haltiges Grundwasser (Salzwasser bzw. Sole) auf, das aus dem Festgestein (Keuper) in das überlagernde Lockergestein (Niederterrassensedimente) übertritt und dort zu einer großflächigen Versalzung des oberflächennahen Grundwassers in der Niederterrasse führt [4]. Das Druckpotential der Sole



Abbildung 1: Marktbrunnen-Denkmal, das sich nicht direkt über dem historischen Marktbrunnen befindet, sondern um einige Meter versetzt zu diesem errichtet wurde. Das Denkmal wurde 2003 durch den Künstler Bonifatius Stirnberg aus Aachen gestaltet.

LCKW-Grundwasserschaden Marktbrunnen Bad Salzuflen

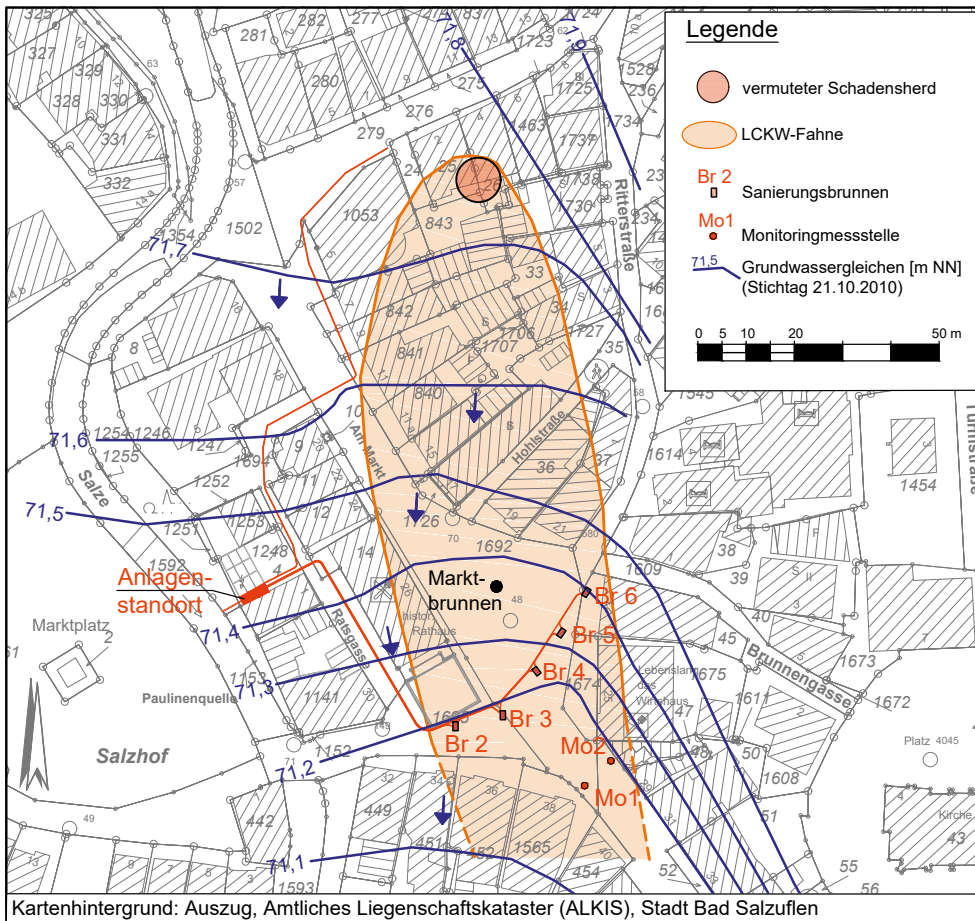


Abbildung 2: Plan des Untersuchungsgebietes am Marktbrunnen in Bad Salzuflen mit Darstellung der Grundwassergleichen der Stichtagsmessung vom 21.10.2010 (vor Beginn der Grundwassersanierung), der LCKW-Schadstofffahne und der baulichen Einrichtungen der Sanierungsanlage sowie der Lage des vermuteten Schadensherdes.

liegt hierbei über dem freien Grundwasserspiegel des oberen Niederterrassen-Grundwasserleiters. Auf dem weniger als 100 m westlich des Marktbrunnens liegenden „Salzhof“ wurde seit dem Mittelalter bis in das 19. Jahrhundert Sole aus einer Salzquelle, dem sogenannten „Hauptsoot“, gewonnen und hieraus Salz gesiedet [5]. Bei der „Salzquelle“ handelte es sich vermutlich um einen flachen Brunnen, aus dem die Sole geschöpft wurde.

Vertikalprofile der elektrischen Leitfähigkeit in Messstellen mit vollkommener Verfilterung des Niederterrassen-Grundwasserleiters im Nahbereich des Marktbrunnens zeigen dabei einen Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit von wenigen Tausend $\mu\text{S}/\text{cm}$ oberflächennah auf fast 100.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ an der Sohle des Grundwasserleiters, d. h. eine Übersichtung der Sole durch deutlich geringer mineralisiertes „Süßwasser“.

Diese Übersichtung von Süßwasser über Sole kann durch einen seitlichen Zufluss von Süßwasser aus den quartären Deckschichten, die auf dem Keuper-Hang am östlichen Rand der Niederterrassen-Sedimente auflagern, erklärt werden. Dabei ist davon auszugehen, dass dieser Zufluss stark von der Witterung bzw. dem Niederschlagsgeschehen abhängig ist. Das zufließende, leichtere Süßwasser schwimmt dann in Form einer „Süßwasserlinse“ auf der Sole auf, welche eine höhere Dichte aufweist (Abbildung 3).

Nach durchgeführten Tritium-Untersuchungen weist das Grundwasser aus den Keuper-Messstellen Tritium-

um-Konzentrationen unter der Nachweisgrenze von 0,6 TU auf und ist damit, zumindest soweit messtechnisch erfassbar, älter als 150 Jahre. Die zwischen 4,1 und 7,3 TU liegenden Tritium-Befunde des Grundwassers aus den Quartär-Messstellen können als Mischung einer jungen Grundwasserkomponente mit unterschiedlichen Anteilen einer Tritium-freien alten Grundwasserkomponente, vermutlich dem aus dem Keuper-Grundwasserstockwerk in das quartäre Grundwasserstockwerk übergetretenen, hoch mineralisierten Grundwasser, interpretiert werden.

3. Räumliche Verteilung der LCKW im Umfeld des Marktbrunnens

Die seit Feststellung der LCKW-Belastung im Wasser des Marktbrunnens durchgeführten Untersuchungen am Marktbrunnen selbst, in Hausbrunnen (bzw. Kellerschächten, die der Wasserhaltung dienen), in Bohrungen und Messstellen sowie in Direct-Push-Sondierungen zeigen in der zweidimensionalen Betrachtung eine LCKW-Fahne, die von einem Grundstück etwa 100 m nördlich des Marktbrunnens ausgeht und die sich mit der Grundwasserfließrichtung nach Süden ausbreitet (Abbildung 2). Dabei konnte bei den bisher durchgeführten Untersuchungen die räumlich eng begrenzt unter einem Gebäude zu vermutende Schadensquelle noch nicht final lokalisiert, sondern lediglich durch Untersuchungen im Umfeld des Gebäudes auf den Bereich dieses Gebäudes eingegrenzt werden.

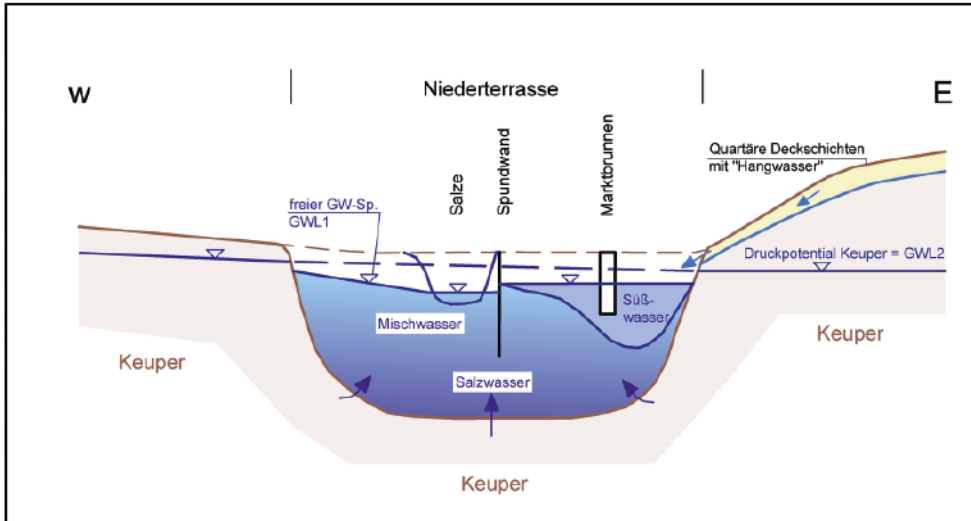


Abbildung 3: Schematischer Schnitt durch das Salztal auf Höhe des Marktbrunnens.

In einer räumlichen Betrachtungsweise zeigt sich, dass sich innerhalb der Fahne die LCKW-Belastung auf die oberflächennah vorhandene „Süßwasser-Linse“ beschränkt. Tiefere Abschnitte des Niederterrassen-Grundwasserleiters weisen eine sehr geringe bis keine LCKW-Belastung auf. Im Keuper-Festgestein verfilterte Messstellen zeigen ebenfalls keine LCKW-Belastung. In einer Abstromebene auf Höhe des Marktbrunnens wurden im Vorfeld der Errichtung von Sanierungsbrunnen Direct-Push-Sondierungen durchgeführt und sowohl die elektrische Leitfähigkeit als auch die LCKW-Konzentration ermittelt (Tabelle 1). Dabei zeigt sich, dass hohe LCKW-Konzentrationen mit niedrigen elektrischen Leitfähigkeiten und niedrige LCKW-Konzentrationen mit hohen elektrischen Leitfähigkeiten korrelieren. Die höchsten LCKW-Konzentrationen treten dabei in der Direct-Push-Sondierung 104 auf, die sich somit im zentralen Bereich der Fahne befindet. Isotopenuntersuchungen an den LCKW zeigen, dass insgesamt nur ein geringer biologischer Schadstoffabbau auftritt, der vermutlich in der durch anoxische bis anaerobe Verhältnisse gekennzeichneten Grenzschicht zwischen Süß- und Salzwasser erfolgt.

4. Sanierungsmaßnahme

Insbesondere vor dem Hintergrund der Lage der LCKW-Belastung innerhalb der Schutzzone IIIa (Weitere qualitative Schutzzone) des (zurzeit in einem Neufestsetzungsverfahren befindlichen) Heilquellenschutzgebietes Bad Oeynhausens – Bad Salzuflen wurde durch den Kreis Lippe als zuständiger Unterer Boden- und Wasserbehörde eine Sanierung des Schadens für notwendig erachtet. Da der Verursacher bisher nicht rechtssicher ermittelt werden konnte, wurde die Stadt Bad Salzuflen als Eigentümerin des Bereichs, in dem sich die höchsten Grundwasserbelastungen nachweisen lassen (d. h. dem Umfeld des Marktbrunnens) zur Durchführung weitergehender Maßnahmen verpflichtet.

Als zeitnah zu realisierendes Sanierungsziel wurde die möglichst weitgehende Unterbindung einer Abdrift der LCKW mit dem Grundwasser über den Marktplatz nach Süden zwischen der zuständigen Unteren Bodenschutzbehörde und der Stadt als Sanierungspflichtiger festgelegt. Die Festlegung gesonderter Sanierungsziele für das genutzte Heilwasser war nicht erforderlich, da sich nachweislich der vorliegenden Untersuchungsergebnisse die Belastung auf die „Süßwasserlinse“ in den Niederterrassen-Sedimenten beschränkt. Trotz Vorhandensein von Hausbrunnen bzw. Pumpensümpfen war eine Trinkwassernutzung wegen der generell hohen Salzgehalte nicht anzunehmen. Dementsprechend war auch diesbezüglich kein eigenständiges Sanierungsziel festzulegen. Eine Gefährdung über LCKW-Belastungen der Innenraumluft konnte durch entsprechende Untersuchungen ausgeschlossen werden.

Im Rahmen der Machbarkeitsuntersuchung als Teil der Sanierungsuntersuchung erfolgte die Prüfung unterschiedlicher Sanierungsverfahren, darunter auch das Verfahren der In-situ chemischen Oxidation (ISCO) und der anaeroben mikrobiologischen Dechlorierung der LCKW.

Gegen die Anwendung des ISCO-Verfahrens sprachen vor allem der hohe Oxidationsmittelbedarf des anstehenden

Bezeichnung	DP 107	DP 106	DP 105	DP 104	DP 103
Tiefe	elektrische Leitf. [µS/cm]	elektrische Leitf. [µS/cm]	elektrische Leitf. [µS/cm]	elektrische Leitf. [µS/cm]	elektrische Leitf. [µS/cm]
3,5 m	41.700	40.300	14.900	2.150	1.275
4,0 m	53.000	52.200	28.000	4.590	1.636
4,5 m	55.200	54.600	38.500	4.770	2.190
5,0 m	63.000	59.600	41.400	4.780	3.440
Tiefe	LCKW [µg/l]	LCKW [µg/l]	LCKW [µg/l]	LCKW [µg/l]	LCKW [µg/l]
3,5 m	42	27	324	341	39
4,0 m	20	12	119	655	78
4,5 m	18	9	24	781	111
5,0 m	22	11	16	753	152

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung der LCKW-Konzentrationen [µg/l] und der elektrischen Leitfähigkeit [µS/cm] vor Beginn der Grundwasserförderung in Direct-Push-Sondierungen in einer Abstromebene auf Höhe des Marktbrunnens, die für die Errichtung der Sanierungsbrunnen festgelegt wurde.

henden Bodens, der Einsatz von wassergefährdenden und ggf. brandverstärkenden Chemikalien in einem eng bebauten Bereich mit Zugänglichkeit des Grundwassers für die Bewohner, mögliche chemische Reaktionen zwischen Oxidationsmittel und Sole sowie eine mögliche Schädigung von Holzbestandteilen in den Fundamenten der historischen Gebäude.

Bei einer anaeroben mikrobiellen Dechlorierung ist grundsätzlich die Bildung des hochtoxischen Vinylchlorids als Zwischenprodukt nicht auszuschließen. Außerdem ist vor dem Hintergrund der hohen Sulfatgehalte die Bildung von Schwefelwasserstoff bei einer Anaerobisierung ebenfalls nicht auszuschließen. Bei der gegebenen Zugänglichkeit des Grundwassers für die Bewohner und der fehlenden Abdichtung der Gebäude gegenüber der Bodenluft wurden diese Gesichtspunkte als Ausschlusskriterien gewertet.

Bei der zeitlichen Planung der Sanierungsmaßnahme war außerdem zu berücksichtigen, dass für den Altstadtbereich und damit auch den hier interessierenden Bereich eine Neugestaltung als verkehrsberuhigte Zone/Fußgängerzone vorgesehen und zum Zeitpunkt der Sanierungsuntersuchung und -planung bereits fest terminiert war. Dementsprechend musste die gesamte in den Untergrund eingreifende Sanierungsinfrastruktur (Sanierungsbrunnen, Leitungen usw.) rechtzeitig vor dieser Neugestaltung errichtet werden.

Als insbesondere unter den engen, aus der geplanten Neugestaltung resultierenden, zeitlichen Vorgaben einzig sicher geeignetes und wirksames Verfahren zur Erreichung des Sanierungsziels wurde im vorliegenden Fall daher nur das Fassen, Behandeln und Ableiten des belasteten Grundwassers („Pump & Treat“-Verfahren) identifiziert. Dabei war es Ziel der Maßnahme, die LCKW-Belastungen in der „Süßwasserlinse“ zu fassen und dabei möglichst wenig hoch mineralisiertes, salzhaltiges Wasser mit zu fördern. Die Abreinigung des geförderten Wassers sollte dabei über eine zweistufige Aktivkohlefilteranlage (Arbeits- und Polizeifilter) erfolgen und das gereinigte Wasser in den angrenzenden Vorfluter, die Salze, eingeleitet werden.

Durchgeführte Modellrechnungen ergaben, dass eine gezielte Fassung der „Süßwasserlinse“ nur dann möglich ist, wenn in der rund 75 m breiten Fahne insgesamt fünf flache Sanierungsbrunnen errichtet und jeweils mit einer Förderrate von etwa 0,25 m³/h betrieben werden. Die fünf Sanierungsbrunnen in der Abstromebene sind mit „Brunnen 2“ bis „Brunnen 6“ benannt.

Da allen Beteiligten klar war, dass für den durchaus nicht unwahrscheinlichen Fall einer über lange Zeiträume noch andauernden, gleichbleibenden Emission aus der Schadensquelle zur Vermeidung einer sehr lange zu betreibenden Pump & Treat-Sanierung ergänzende Maßnahmen an der Schadensquelle bzw. in deren Nahbereich erforderlich werden können, wurde von vorneherein ein weiterer „Brunnen 1“ im Nahbereich der vermuteten Schadensquelle angedacht, aber noch nicht realisiert. Bis zu diesem Brunnenstandort

sind bereits alle erforderlichen Leerrohre verlegt, so dass dieser Brunnen bei Bedarf ohne Eingriff in die neugestalteten Flächen errichtet werden kann.

Die beiden östlichsten Brunnen (Brunnen 5 und 6), in deren Bereich die höchste Mächtigkeit der Süßwasserlinse und auch die höchsten LCKW-Belastungen festgestellt worden waren, wurden mit einer geteilten Filterstrecke ausgestattet, die durch ein Vollrohr mit Hinterfüllung einer Tonsperre und Einbau eines Packers getrennt wurde. Hierdurch sollte gewährleistet werden, dass bei hydraulischen Zuständen mit hoher Mächtigkeit der Süßwasserlinse diese vollständig gefasst werden, jedoch bei geringer Mächtigkeit der Süßwasserlinse die Förderung auf die obere Filterstrecke beschränkt werden kann.

Im direkten Unterstrom der Sanierungsbrunnen wurden zwei Monitoring-Messstellen errichtet, deren Anordnung allerdings vor allem durch die enge örtliche Bebauung bestimmt wurde. Diese werden während der derzeit laufende, zweijährigen Einfahrphase regelmäßig monatlich beprobt und auf LCKW untersucht. Aufbauend auf die Sanierungsuntersuchung wurde ein Sanierungsplan erstellt und durch den Kreis Lippe für verbindlich erklärt. Eine der Nebenbedingungen in der Verbindlichkeitserklärung regelt die Begrenzung der Salzfracht in dem Ablaufwasser der Sanierungsanlage, das in den Vorfluter Salze eingeleitet wird. Die Salze weist zwar, wie der Name schon andeutet, bereits einen erhöhten Salzgehalt durch natürliche Salzquellen im Salztal auf, wird aber darüber hinaus durch Einleitungen von Sole durch das Staatsbad Salzuflen zusätzlich belastet. Weitere Salzbelastungen waren zu vermeiden. Dementsprechend wurde festgelegt, dass die Einleitung aus der Sanierungsanlage eine bestimmte Salzfracht, gemessen als „Leitfähigkeitsfracht“, nicht überschreiten darf. Die Einhaltung dieser „Leitfähigkeitsfracht“ ist dabei ständig zu überwachen, bei drohender Überschreitung wäre die Förderung zu drosseln und bei Erreichen des Grenzwertes die Sanierungsanlage abzuschalten.

Technisch gesehen waren einerseits die hohen Salzgehalte und damit verbunden die sehr starke Korrosivität gegenüber Metallen, andererseits die niedrigen Förderraten (0,25–1,0 m³/h, stufenlos regulierbar) besondere Herausforderungen. Hinzu kam der durch die enge Altstadtbebauung nur begrenzt zur Verfügung stehende Platz für den Aufbau der Sanierungsanlage. Um spezifisches Know-how der Anbieter von Sanierungstechnologien nutzen zu können und den Bietern unterschiedliche technische Lösungsansätze zu ermöglichen, wurde die Sanierungsmaßnahme funktional ausgeschrieben. Die fachlich-technische Bewertung der Angebote erfolgte auf Grundlage vorzulegender Referenzen vergleichbarer Projekte (insbesondere auch im Hinblick auf hohe Salzgehalte bzw. korrosive Wässer), beispielhafter Anlagendokumentationen und Bedienungsanleitungen und einer Konzeption für die Realisierung der hier zu errichtenden Sanierungsanlage. Berücksichtigt wurde außerdem die zugesagte

LCKW-Grundwasserschaden Marktbrunnen Bad Salzuflen

Parameter	Einheit	Br. 2	Br. 3	Br. 4	Br. 5 oben	Br. 5 unten	Br. 6 oben	Br. 6 unten
Hydrogencarbonat	mg/l	850	830	690	610	1.200	320	1.100
Chlorid	mg/l	11.400	12.100	8.920	8.270	25.500	2.670	22.000
Sulfat	mg/l	1.160	1.300	907	817	2.680	295	2.420
Calcium	mg/l	792	834	726	718	1.750	348	1.720
Magnesium	mg/l	186	193	165	164	386	85	371
Natrium	mg/l	6.550	6.900	4.840	4.240	15.500	1.380	13.200
Ionensumme	mg/l	20.088	21.327	15.558	14.209	45.816	4.778	39.711
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
cis 1,2-Dichlorethen	µg/l	25,9	25,6	90,0	116,0	<0,5	29,7	<0,5
Trichlorethen	µg/l	8,2	8,6	36,4	46,0	<0,5	9,4	<0,5
Tetrachlorethen	µg/l	80,7	117,0	204,0	296,0	12,4	183,0	36,7
Summe LCKW	µg/l	114,8	151,6	330,4	458,0	12,4	222,1	36,7

Tabelle 2: Tabellarische Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit (Hauptionen) [mg/l] und der LCKW-Belastung [µg/l] in den Sanierungsbrunnen vor Beginn des Regelbetriebes. Probenahme im Juli 2020.

Servicequalität (z. B. Datenzugriff und -übermittlung, Reaktionszeit Servicetechniker usw.). Unter Zugrundelegung vorgenannter Kriterien wurde eine Leistungspunktzahl für jedes Angebot ermittelt. Die Gesamtwertung der Angebote erfolgte mit der erweiterten Richtwertmethode [6], bei der das wirtschaftlichste Angebot durch Bildung des Quotienten aus Leistungspunktzahl und Preis ermittelt wird.

5. Bisherige Betriebserfahrungen

Die allgemeine Grundwasserbeschaffenheit und die LCKW-Belastung in den Sanierungsbrunnen im Juli 2020 sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Diese Untersuchungsergebnisse bestätigen die in Kap. 3 dargestellte hydrogeologische Modellvorstellung.

Der Vergleich der LCKW-Konzentrationen und der LCKW-Zusammensetzung in den Brunnen, aus denen gefördert wird, zwischen Dezember 2020 (Abbildung 4) und Mai 2021 (Abbildung 5) zeigt bei den besonders belasteten Brunnen 4, 5 oben und 6 oben keine relevanten Veränderungen. In dem am westlichen Rand der Fahne gelegenen Brunnen 2 liegt dagegen die Belastung im Mai deutlich niedriger als im Dezember. Dieser Rückgang in Brunnen 2 war erwartet worden, da die Modellierung im Vorfeld der Sanierung wahrscheinlich gemacht hatte, dass die Belastung in diesem Brunnen i. W. auf ein „Verschmieren“ der Fahne an ihrem westlichen Rand in Folge verschiedener, in der Vergangenheit (vor Bekanntwerden der LCKW-Belastung) erfolgter Wasserhaltungsmaßnahmen zurückzuführen ist.

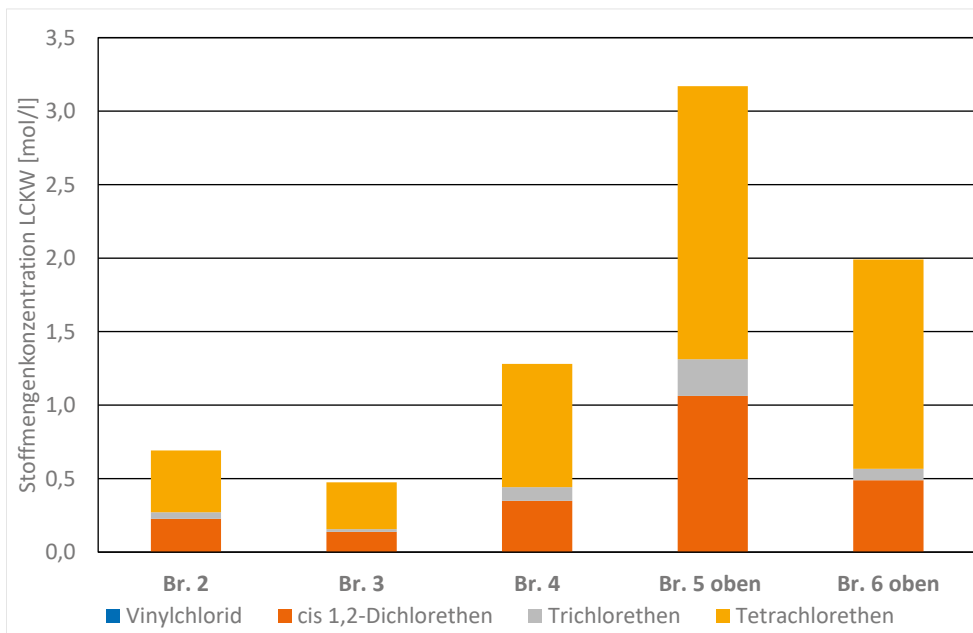


Abbildung 4: Darstellung der LCKW-Gehalte (Einzel- und Gesamtkonzentrationen) [mg/l] in den Sanierungsbrunnen bei der Probenahme am 14.12.2020.

LCKW-Grundwasserschaden Marktbrunnen Bad Salzuflen

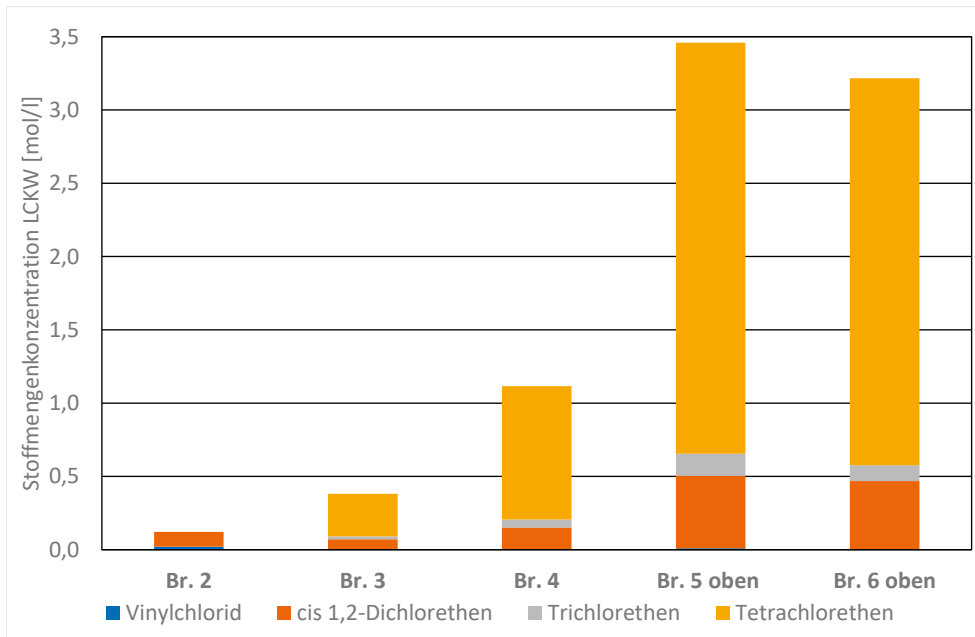


Abbildung 5: Darstellung der LCKW-Gehalte (Einzel- und Gesamtkonzentrationen) [mol/l] in den Sanierungsbrunnen bei der Probenahme am 19.05.2021.

Während der hier betrachteten ersten 6 Monate der Pump & Treat-Sanierung zeigt sich sehr deutlich, dass die Grundwasserstände in allen Brunnen innerhalb weniger Tage auf Niederschlagsereignisse bzw. -perioden (bzw. Mitte Februar 2021 auf die Schneeschmelze) mit einem Anstieg reagieren. Exemplarisch ist dies in Abbildung 6 für die Brunnen 5 oben und 6 oben dargestellt. Die elektrischen Leitfähigkeiten des Förderwassers in diesen beiden Brunnen reagieren ebenfalls, wenn auch stark gedämpft, auf solche Niederschlagsereignisse bzw. -perioden bzw. die Schneeschmelze mit einem leichten Absinken (Abbildung 7). In den weiter westlich gelegenen Brunnen ist zwar ein Anstieg der Grundwasserstände festzustellen, aber keine Reaktion der elektrischen Leitfähigkeiten. Diese Beobachtun-

gen können so interpretiert werden, dass es, wie in Kap. 2 dargestellt, innerhalb weniger Tage nach Niederschlagsereignissen bzw. -perioden bzw. nach einer Schneeschmelze zu einem Zufluss von gering mineralisiertem Wasser aus dem östlich anschließenden Hangbereich in den Bereich der Brunnen 5 und 6 kommt, aber nicht darüber hinaus zu den westlich gelegenen, stärker versalzten Brunnen. Die hohen Salzgehalte in den unteren (abgepackerten) Filterstrecken der Brunnen 5 und 6, aber auch in den westlichen gelegenen Brunnen 2, 3 und 4, führen dazu, dass die Ergebnisse der Wasserstandsmessungen mittels fest installierter Drucksonden wegen der hohen Dichte und damit dem erhöhten Druck auf der Sonde deutliche Abweichungen zu Handlotungen zei-

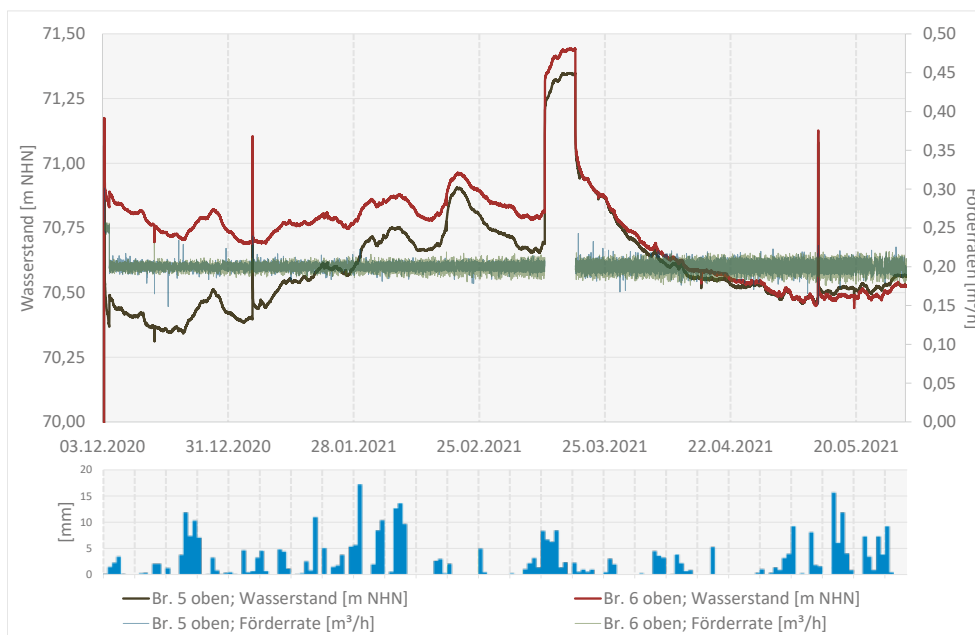


Abbildung 6: Diagramm der Wasserstände [m NHN] und Förderraten [m³/h] der Brunnen 5 oben und 6 oben sowie Tagessummen der Niederschläge für den Zeitraum Anfang Dezember 2020 bis Ende Mai 2021. Die kurzzeitigen „Zacken“ in den Wasserstandsdaten beruhen auf Wartungsarbeiten, die Unterbrechung der Datenreihen im März 2021 ist durch einen Stillstand der Anlage aufgrund von Reparaturarbeiten bedingt.

LCKW-Grundwasserschaden Marktbrunnen Bad Salzuflen

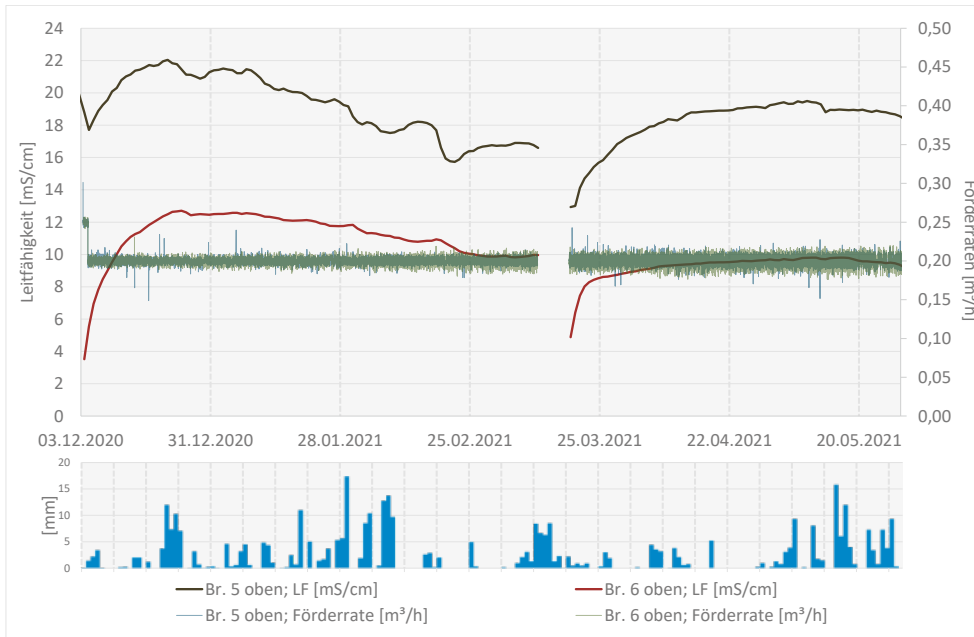


Abbildung 7: Diagramm der elektrischen Leitfähigkeiten [mS/cm] und Förderraten [m³/h] der Brunnen 5 oben und 6 oben sowie Tagessummen der Niederschläge für den Zeitraum Anfang Dezember 2020 bis Ende Mai 2021. Die Unterbrechung der Datenreihen im März 2021 ist durch einen Stillstand der Anlage aufgrund von Reparaturarbeiten bedingt.

gen, d.h. die Wasserstände, die sich rechnerisch aus den Ergebnissen der Drucksondenmessungen ergeben, liegen mindestens einige Zentimeter höher als die realen Wasserstände entsprechend den Ergebnissen der Handlotungen.

Eine Kompensation kann dabei immer nur für einen bestimmten Wasserstand erfolgen, es sei denn, man würde den Proportionalitätsfaktor zwischen Druck und Wassersäule über der Sonde anpassen, was bei den handelsüblichen Messsystemen aber nicht vorgesehen ist. Die Salzgehalte insbesondere in den Brunnen 2, 3 und 4 unterliegen aber auch zeitlichen Schwankungen, so dass dieser Proportionalitätsfaktor ständig an diese Schwankungen angepasst werden müsste. Für die Überwachung des laufenden Sanierungsbetriebs sind die erzielten „relativen“ Wasserstandsinformationen aber ausreichend, so dass keine weiteren Anstrengungen zur Kompensation der genannten Effekte unternommen wurden.

Trotz der vorgenannten messtechnischen Einschränkungen zeigt sich, dass das Absenken des Wasserspiegels in den oberen Filterstrecken der Brunnen 5 und 6 durch die Förderung nur einen sehr geringen Effekt auf den Wasserspiegel in den unteren, abgepackten Filterstrecken hat, d.h. bei Förderung liegt der Wasserstand in den unteren Filterstrecken einige Dezimeter höher als in den oberen Filterstrecken. Die wahrscheinliche Erklärung hierfür ist ein sehr deutlicher Vertikalgradient im Grundwasserleiter in Folge der aus dem tieferen Untergrund in der Salztalstörung aufsteigenden, ein höheres Druckniveau aufweisenden Sole [3].

6. Fazit und Ausblick

Der hier betrachtete Schadensfall weist mit einer auf Salzwasser aufschwimmenden Süßwasserlinse komplexe hydrogeologische Verhältnisse auf, wie sie an-

sonsten generell nur im Bereich von Meeresküsten auftreten [7]. Analog zu der vorsichtigen Grundwasserbewirtschaftung in Küstengebieten muss die Förderung des LCKW-belasteten Süßwassers hier so ausgerichtet und zeitlich angepasst werden, dass einerseits eine Abdrift LCKW-belasteten Grundwassers über die Brunnengalerie hinaus möglichst weitgehend verhindert wird, andererseits aber die Mitförderung von Salzwasser möglichst gering gehalten wird. Dies erfordert eine laufende Überwachung und Anpassung des Sanierungsbetriebs.

Im Einzelnen kann auf Grundlage des bisher 6-monatigen Sanierungsbetriebs folgendes Fazit gezogen werden:

- Die hohen Salzgehalte im Grundwasser, die teilweise über der Konzentration von Meerwasser liegen, stellen eine Herausforderung für die Anlagentechnik, insbesondere auch die Pumpen, dar. Die zunächst eingesetzten Schlauchquetschpumpen mussten wegen sehr schnell auftretender Metallkorrosion in Folge von Mikrorissen der Schläuche durch trocken aufgestellte, selbst ansaugende Saugpumpen ersetzt werden, deren wasserberührte Teile ausschließlich aus Kunststoff bestehen.
- Mit der installierten Brunnengalerie kann das LCKW-belastete Süßwasser vollständig „abgeschöpft“ werden. Nachweislich kontinuierlich sinkender LCKW-Gehalte in den abstromig der Brunnengalerie angeordneten Monitoring-Messstellen kann eine Abdrift von LCKW über die Brunnengalerie hinaus damit sicher unterbunden werden.
- Der Anlagenbetrieb muss auch unter Berücksichtigung der begrenzt zulässigen Einleitung von Salz in die Vorflut kontinuierlich an die zeitlich variable Süß-/Salzwassergrenze und an die ggf. sich verändernden LCKW-Belastungen in den einzelnen

Brunnen angepasst werden. Die Überwachung erfolgt dementsprechend über ein Messwerterfassungssystem, auf das Online zugegriffen werden kann. Beim Erreichen von kritischen Schwellenwerten werden Warnmeldungen per Mail versendet und beim Erreichen der vorgegebenen Grenzwerte für die Salzfracht schaltet sich die Anlage selbstständig ab. Kritische Schwellenwerte bzw. der vorgegebene Grenzwert wurden im bisherigen Betrieb aber nicht erreicht.

- Es bleibt abzuwarten, ob die zufließende LCKW-Fracht in den kommenden ein bis zwei Jahren zeitlich konstant ist oder nach und nach abnimmt. Innerhalb der ersten 6 Monate der Pump & Treat-Sanierung ist dabei bisher keine Abnahme der LCKW-Gehalte zu beobachten. Bei gleichbleibender LCKW-Fracht soll zur Vermeidung sehr langer Zeiträume für eine Pump & Treat-Sanierung in einem weiteren Bearbeitungsschritt der Schadensherd final lokalisiert und möglichst gezielt saniert werden.
- Ein Vergleich der im Zeitraum 2006–2017 im Rahmen der Gefährdungsabschätzung und der Sanierungsuntersuchung erhobenen Daten zur Mächtigkeit der Süßwasserlinse mit den Daten, die zu Beginn des Regelbetriebs der Sanierung im Dezember 2020 erhoben wurden, macht wahrscheinlich, dass die drei Dürrejahre 2018, 2019 und 2020 generell zu einem „Schrumpfen“ der Süßwasserlinse geführt haben. Die Sanierung begann also zu einem Zeitpunkt mit sehr niedrigen Grundwasserständen und sehr geringer Mächtigkeit der Süßwasserlinse. Die Betriebserfahrungen zeigen aber, dass sich die Süßwasserlinse nach Grundwasserneubildungsereignissen bzw. -perioden offensichtlich schnell wieder „regeneriert“. Es bleibt abzuwarten, wie das Gesamtsystem auf die kontinuierliche Entnahme von Grundwasser mit geringer Mineralisation reagiert.

7. Danksagung

Dem AAV NRW, insbesondere Herrn Dr. Engelbert Müller, und der Stadt Bad Salzuflen, insbesondere Herrn Jan-Philipp Feldmeier, danken wir für die stets angenehme und konstruktive Zusammenarbeit in dem Projekt und die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Untersuchungsergebnisse.

8. Literaturverzeichnis

- [1] Meyer, F. (2001): Bad Salzuflen und seine Marktbrunnen. Eine fast „unendliche“ Geschichte über geschleifte, verschmähte und nicht realisierte Brunnenmonumente. In: Heimatland Lippe 94. Jahrgang. S. 155–158.
- [2] Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (1977): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, 1:25 000 Blatt 3918 Bad Salzuflen. Krefeld.
- [3] Leichtle, T., Schaeben, H. u. Stolpe, H. (1980): Beitrag zur Hydrodynamik von Süß- und Mineralwässern in Ostwestfalen. In: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft H. 131. S. 269–277.
- [4] Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (1984): Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen, 1:50 000 Blatt L 3918 Herford. Krefeld.
- [5] Stadt Bad Salzuflen (2021): Stadtrundgang. Station 1 – Salzhof/ Paulinenquelle. Abrufbar unter: <https://www.stadt-bad-salzuflen.de/a-stadtrundgang-station-1>.
- [6] Ferber, T. (2015): Bewertungskriterien und -matrizen im Vergebungsverfahren. Wie erziele ich ein optimales Zuschlagsergebnis? Köln.
- [7] Wiederhold, H. u. Elbracht, J. (2013): Salzwasserintrusion – Gefahr für unser Trinkwasser? In: GMT Geowissenschaftliche Mitteilungen H. 52. S. 6–13.

Autorenschaft

Dr. Michael Kerth und Ilka Delbanco
Dr. Kerth + Lampe Geo-Infometric GmbH,
Walter-Bröker-Ring 17, 32756 Detmold
Tel. 0 52 31 / 3 08 21-0
m.kerth@dr-kerth-lampe.de