Anwendungskonzept

Unser Zeichen:	20.T.003.A
Vorhaben:	Immobilisierung einer PFAS-Belastung im Grundwasser – Standort Rodenbach
Maßnahme:	Einsatz von Nano- und Mikropartikeln
Empfänger:	Peschla + Rochmes GmbH Hertelsbrunnenring 7 67657 Kaiserslautern
Ersteller:	Intrapore GmbH Katernberger Straße 107 45327 Essen

Inhaltsverzeichnis

I. Vorbemerkungen 3
II. Standortinformationen 4
III. Partikeleinsatz 6
IV. Partikelbeschreibung 12
V. Arbeitsplan 12
VI. Kosten 15
VII. Zeithorizont 16

I. Vorbemerkungen

Auf dem Betriebsgelände der Firma GEWE Reifengroßhandel GmbH in Rodenbach ist es 2008 im Zuge einer Brandbekämpfung zu einem Eintrag von Löschmittelzusätzen (Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen / PFAS) in den Untergrund gekommen. Die Schadstoffgruppe der PFAS zeichnet sich durch gute Wasserlöslichkeit und sehr schlechte mikrobielle Abbaubarkeit aus.

Zur Sanierung des PFAS-Schadens wurde der verunreinigte Boden bis zur Felsunterlage in rd. 3 m Tiefe abgetragen und durch Sandboden ersetzt. Das Gelände wurde anschließend mit Wohnhäusern überbaut. Infolge der guten Löslichkeit der PFAS wurden diese bereits vor der Bodensanierung durch die ungesättigte Bodenzone (Kluftnetz der Festgesteinsunterlage) bis zum Grundwasser, welches ab rd. 10 m ansteht, verlagert und haben sich darin ausgebreitet. Um eine weitere Ausbreitung in Richtung der Vorflut (Bruchbach) sowie einer nahegelegenen Trinkwassergewinnung zu unterbinden, wurde eine hydraulische Sicherung implementiert. Im Rahmen dieser Sicherung werden in 8 Förderbrunnen rd. 50 m³ Grundwasser pro Stunde gefördert, abgereinigt und in den Bruchbach eingeleitet. Bedingt durch die großen Wassermengen bei vergleichsweise geringen Schadstoffaustragsraten ist diese Maßnahme sehr kostenintensiv.

Infolgedessen wird eine Immobilisierung der Schadstoffe durch den Einsatz von Nano- und Mikropartikeln erwogen, die die hydraulische Maßnahme zunächst ergänzen und später ersetzen soll.

Die folgenden Ausführungen skizzieren die prinzipielle Vorgehensweise sowie den technischen und finanziellen Rahmen einer solchen Anwendung bis einschließlich des Pilotversuchsstadiums. Die konkrete Kostenkalkulation für eine Partikel-Vollanwendung kann dann auf Basis der Pilotversuchsergebnisse erfolgen.

Die Intrapore GmbH wurde vor diesem Hintergrund von Peschla & Rochmes aufgefordert, ein Anwendungskonzept zu erstellen. Das vorliegende Konzept beruht auf Informationen, die durch die Peschla + Rochmes GmbH übermittelt wurden.

II. Standortinformationen

Rodenbach liegt ca. 9 km nordwestlich von Kaiserslautern in der Westpfalz. Das ehemalige GEWE-Betriebsgelände befindet sich im Südwesten der Ortsgemeinde Rodenbach auf einem Niveau von rd. 220 m ü. NHN. Im Süden verläuft der Bruchbach, dahinter liegt der Reichswald (Pfalz).
Naturräumlich gehört das Gelände zur St. Ingbert - Kaiserslauterner Senke, einer Niederung, in der sich auf der Festgesteinsunterlage Bruch- und Moorlandschaften entwickelt haben.

Der Bodenaufbau wird im Wesentlichen durch Buntsandsteinserien aus der Trias gebildet. Hierbei handelt es sich um rotbraune, feinkörnige und grobkörnige bis konglomeratische Sedimentabfolgen, die kieselig oder auch tonig gebunden sein können.

Darauf lagern in unterschiedlichen Mächtigkeiten quartäre Lockersedimente (z.B. Auensande).

Innerhalb des Festgesteins befindet sich Kluftgrundwasser, welches in verschiedene Einheiten unterteilt wird. Die oberste Einheit wird lokal durch den ungespannten Kluftgrundwasserleiter GWL 2 gebildet (GWL 1 ist örtlich nur im Nahbereich des Baches ausgebildet). Darunter folgt der gespannte Kluftgrundwasserleiter GWL 3. Die Gewinnung von Trinkwasser erfolgt ausschließlich aus den tiefer liegenden GWL und nicht aus GWL 2.

Das Grundwasser im GWL 2 strömt am Standort im Allgemeinen in südöstliche Richtung. Im Bereich des Bruchbaches dreht die Grundwasserfließrichtung auf Osten und im weiteren Abstrom dann in nordöstliche Richtung.

Lokal können zeitweilig auch abweichende Grundwasserfließrichtungen beobachtet werden, da z.B. die Grundwasserförderung zur Trinkwasserproduktion in Br. 4 in Intervallen stattfindet.

Die Durchlässigkeit des Aquifers im Bereich des GWL 2 liegt nach Erkenntnissen aus Kurzpumpversuchen in einem Bereich von 2,6 x 10^{-4} bis 7,9 x 10^{-7} m/s.

Das Grundwasser des GWL 2 ist lokal mit PFAS verunreinigt. Die Konzentrationen im Herdbereich liegen aktuell noch in einer Größenordnung von ca. 10.000 ng/l und nehmen dann in Fließrichtung bis auf wenige ng/l bzw. bis unter die Bestimmungsgrenze ab. Im GWL 3 wurden bislang durchweg Konzentrationen < 60 ng/l gemessen.

Die Schadstoffkonzentrationen unterliegen Schwankungen und scheinen bei hohen Grundwasserständen anzusteigen, was auf einen Schadstoffvorrat im Schwankungsbereich hindeutet.

Begleitkontaminanten (LCKW, BTEX, MKW, PAK o.Ä.) liegen nicht vor.

III. Partikeleinsatz

Für die Immobilisierung der PFAS ist eine Injektion von kolloidaler Aktivkohle geplant, um eine adsorptive Zone im Aquifer zu erzeugen, die vom schadstoffhaltigen Grundwasser durchströmt wird. Im Verlaufe der Passage der Wässer durch diese Zone werden die Schadstoffe auf den Partikeln adsorptiv fixiert und dem Grundwasser dauerhaft entzogen.

Als Lage der Barriere bietet sich der abstromige Fahnenabschnitt im Bereich der Grundwassermessstellen K1 und V6 an.
K1 und V6 sind jeweils bis 20 m Tiefe ausgebaut und erschließen beide den schadstoffbelasteten GWL 2. Die in der Nähe von GWM V6 gelegenen Messstellen V4 (Ausbautiefe 70 m) und V5 (Ausbautiefe 50 m) erschließen tiefere Grundwasserleiter.

Eine Übersicht über den GWM-Bestand am Standort bietet die nachfolgende Abbildung.

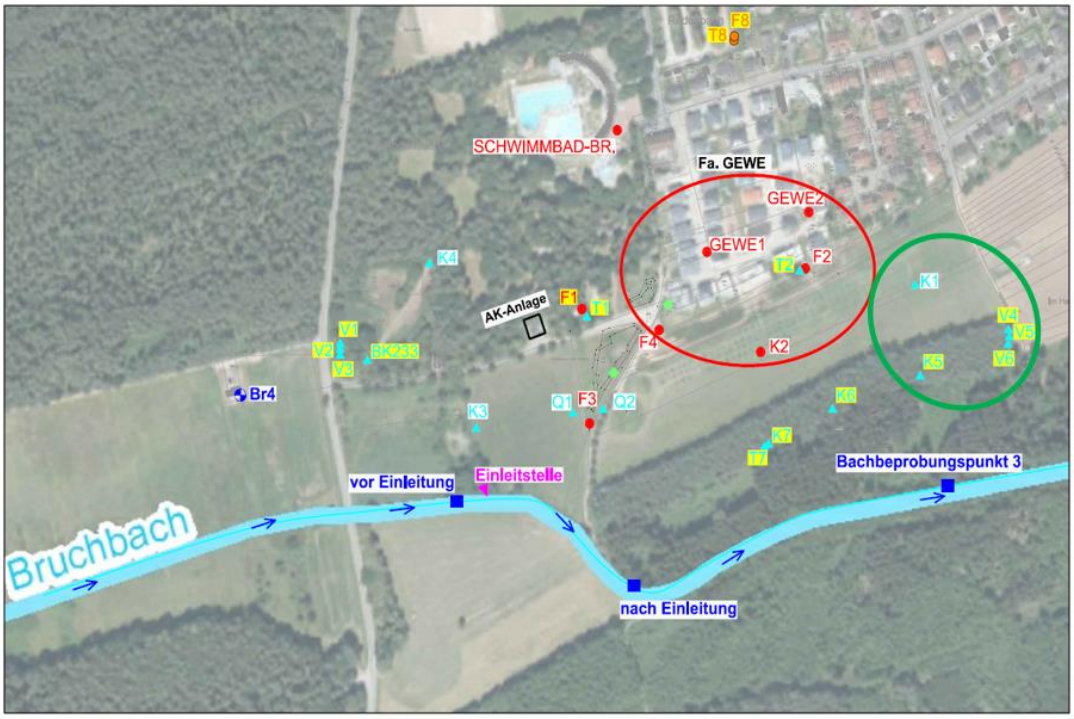

Abbildung: PFAS-Kontaminationsschwerpunkt (rot umrandet) und vorgeschlagener Abstrombereich für den Pilotversuch (grün umrandet). Kartengrundlage: Detaillageplan Grundwassermessstellen, Projekt: Brandschaden Fa. GEWE, Rodenbach. Monitoringbericht Mai bis Dezember 2019, Peschla + Rochmes GmbH.

Für das Ausführungssetup bestehen verschiedene Optionen.

Variante 1:

In der ersten Variante wird GWM K1 als Injektionspegel genutzt. Die Injektion erfolgt packerunterstützt mit einem Druck, der nur geringfügig oberhalb des hydrostatischen Druckes liegt (ca. 3-5 bar). Die Partikel werden vor der Injektion mit einer Mobilitätsbeschichtung versehen, um die Reichweite zu erhöhen. Durch die Injektion wird im Bereich um K1 herum eine adsorptive Barriere angelegt. Nach irreversibler Anlagerung der Partikel an die Festgesteinsmatrix kann die GWM K1 beprobt werden, um die Adsorptionswirkung nachzuweisen. Begleitend erfolgen Messungen in GWM V6. Die beiden GWM liegen rd. 100 m voneinander entfernt. Es liegen Hinweise darauf vor, dass GWM V6, obwohl in der allgemeinen südöstlichen Abstromrichtung gelegen, nicht oder zumindest nicht immer im direkten Abstrom von K1 liegt. So herrschen bei Tiefstwasserständen (Situation 09/2020) lokal auch nördliche GW-Abflussrichtungen, vermutlich da sich die Entnahme dann stärker auswirkt. Bei hohen GW-Ständen (Situation 03/2020) können neben den südöstlichen auch südliche bis südwestliche Abstromrichtungen vorliegen, so dass dann möglicherweise eher GWM K5 im Abstrom von K1 zu liegen kommt.

Die beiden Situationen sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

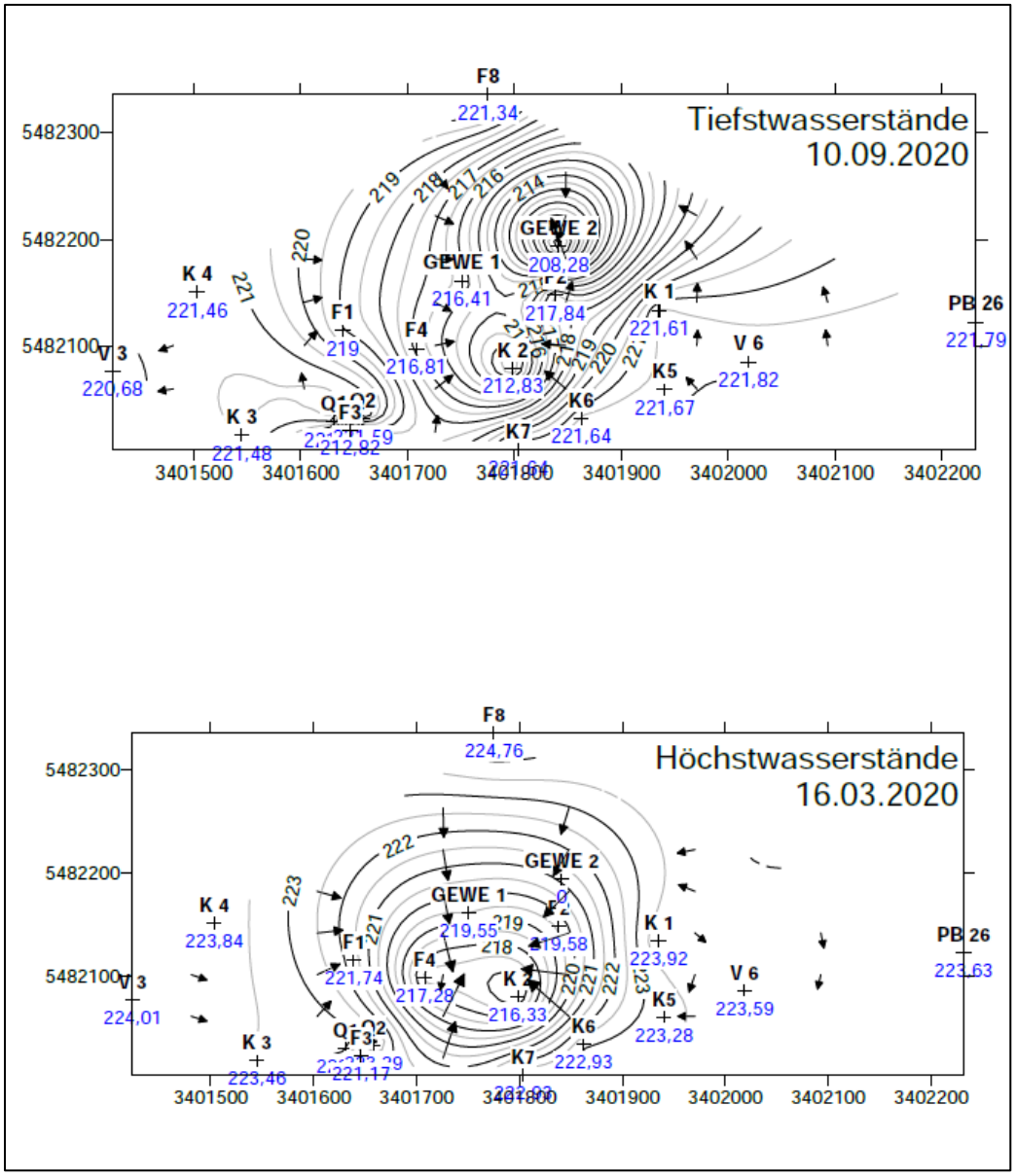

Abbildung: Grundwassergleichen, Stand 03/2020 und 09/2020.
Quelle: Peschla + Rochmes GmbH.

Die wechselnden Abflussverhältnisse legen nahe, dass die Fließrichtungsmessungen, die vor Beginn der Pilotinjektion geplant sind, während der Monitoringphase zu unterschiedlichen GW-Ständen wiederholt werden sollten und eine kontinuierliche Überwachung der GW-Druckspiegelverhältnisse am Standort sinnvoll und erforderlich ist.

Der Vorteil dieser Variante liegt im Wesentlichen darin begründet, dass keine zusätzlichen Injektions- und Monitoringpegel (Brunnenbohrungen in das Festgestein bis 20 m Tiefe) benötigt werden.

Für das Monitoring stehen neben dem Brunnen K1 allerdings bislang nur die beiden GWM V6 und K5 zur Verfügung, die sich in einem größeren Abstand zur Injektion und nicht oder zumindest nicht immer im Abstrom befinden.

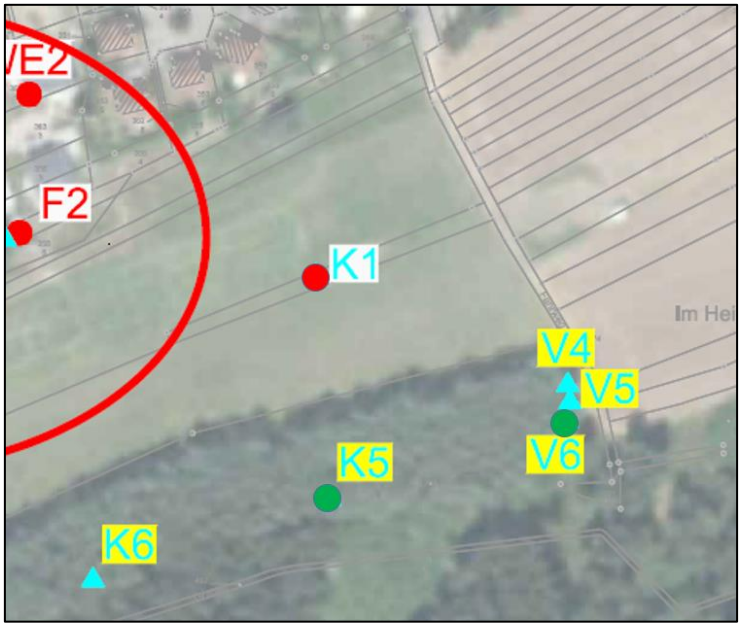

Abbildung: Variante 1. Injektion in K1 (rot), Monitoring in V6 und K5 (grün).

Diese Variante wurde für die Kalkulation der Angebotskosten zugrunde gelegt.

Variante 2:

In dieser Variante wird ca. 5-10 m südöstlich von K1 eine Reihe (3-5 Stück) von zusätzlichen Injektionspegeln (DN 50, 20 m tief) eingebaut. Über die Injektion der kolloidalen Aktivkohle wird hier eine lineare Adsorptionsbarriere angelegt. Im Südosten der Adsorptionsbarriere wird, ebenfalls in rd. 5-10 m Entfernung, ein zusätzlicher Monitoringpegel installiert. Die Injektion verläuft wie in Variante 1 (packerunterstützt, mit 3-5 bar Druck). Die Suspension wird gleichmäßig auf die Injektionspegel aufgeteilt.

Dieses Setup bietet aufgrund der geringeren Abstände zwischen den Messstellen und der Injektionszone eine gute Überwachbarkeit. Durch Trübesensor-Messungen in den benachbarten Injektionspegeln bzw. in K1 und/oder dem neuen Abstrompegel kann die Reichweite der Partikelausbreitung überprüft werden. Es ist jedoch zu beachten, dass bei den zu erwartenden wechselnden Fließrichtungen auch die Barriere aus unterschiedlichen Richtungen angeströmt wird und der neue Monitoringpegel nicht durchgehend im Abstrom der Adsorptionsbarriere liegen könnte.

Die Variante hat den Nachteil, dass zusätzlicher Brunnenbau erforderlich wird. Die Kosten hierfür könnten vorab nur grob abgeschätzt werden. Informationen darüber, ob evtl. zusätzlich Kampfmittelfreimessungen erforderlich werden, liegen nicht vor.

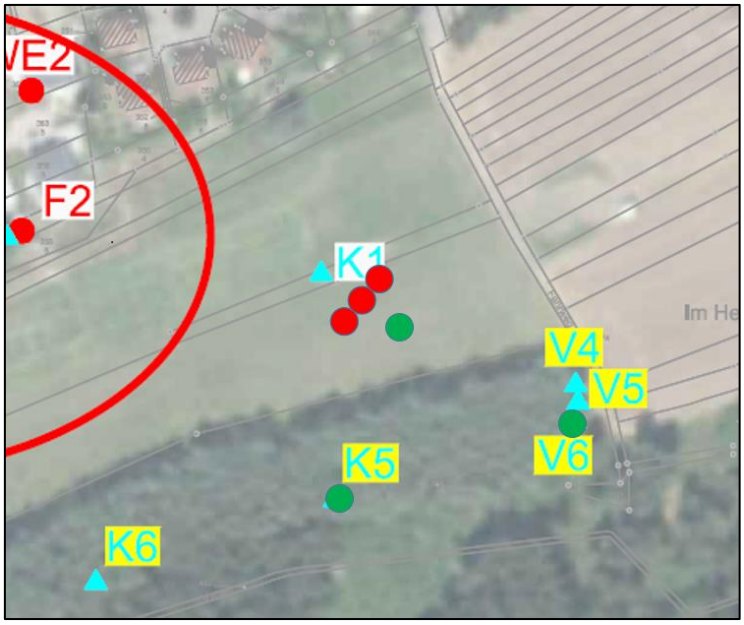

Abbildung: Variante 2. Injektion in neu zu errichtende Injektionspegel (rot), Monitoring in neuem Monitoring-Pegel, ggf. V6 und K5 (grün).

In beiden Varianten kann es sinnvoll sein, die GW-Förderung aus den beiden der GWM K1 nächstgelegen Förderbrunnen GEWE2 (2,16 m^3/h) und F2 (2,88 m^3/h) vorübergehend auszusetzen, um eine sicherungsbedingte Umkehr der Grundwasserfließrichtung (wie sie für niedrige GW-Stände bereits dokumentiert wurde) zu vermeiden und für den Zeitraum des Pilotversuches (Injektion + Monitoring, ca. 7 Monate) im Testfeld möglichst einheitliche und konstante Abstromverhältnisse zu ermöglichen. Ein vorübergehender Verzicht der GW-Entnahme in den ausgewählten Förderbrunnen ist vorab mit der zuständigen Fachbehörde abzustimmen.

Sollten sich während des Stillstandes Hinweise auf eine Ausdehnung der PFAS-Fahne über den Injektionsbereich hinaus ergeben, so ist die GW-Förderung wiederaufzunehmen. Ein entsprechendes Rückfallszenario (inkl. Monitoring) ist im Rahmen des Ausführungskonzeptes zu erarbeiten.

IV. Partikelbeschreibung

Eine PFAS Sanierung stellt höchste Ansprüche an die verwendeten in situ Materialien. Mit der Intraplex® Aktivkohle (Patentnummern DE10314489, DE102005054666) bietet Intrapore eine kolloidal stabilisierte Suspension an, die direkt in den kontaminierten Aquifer injiziert wird. Die Reichweite der Suspension während der Injektion kann über die Zugabe von speziellen Beschichtungen dem Bedarf angepasst werden. Nach der Injektion beschichtet die Aktivkohle irreversibel die Aquifermatrix, und die PFAS werden dauerhaft adsorbiert. Die mikronisierte Aktivkohle in der Suspension wurde in nationalen und internationalen FuE Projekte zusammen mit dem UFZ Leipzig für die PFAS Adsorption optimiert. Sie verfügt über eine extrem hohe Oberfläche von 1.800 m^2/g, die zudem speziell für die PFAS Adsorption konditioniert wurde. Das Material wurde in groß angelegten Feldversuchen erfolgreich angewendet und wird von den Behörden wasserrechtlich genehmigt. Die Standzeit typischer Intraplex® Adsorptionsbarrieren liegt im Bereich mehrerer Jahre bis Jahrzehnte.

V. Arbeitsplan

Folgende Arbeitsschritte sind im Zuge eines Partikeleinsatzes am Standort durchzuführen:

1. Injektionsplanung

1.1. Auswertung vorliegender Daten und Befunde der Standorterkundung zur Feststellung von im Sinne einer Partikelanwendung evtl. vorliegenden Kenntnisdefiziten.

Bewertung des bestehenden Grundwassermessstellennetzes hinsichtlich seiner Eignung für die Durchführung der im Folgenden skizzierten Maßnahmen und der Partikelinjektion.

1.2. Erstellung des Ausführungskonzeptes und Erarbeitung der Unterlagen für die wasserrechtliche Genehmigung.

2. Injektionsvorbereitung

2.1. Intrasense® in situ-Messungen:

- Eignungsprüfung GWM: Kamerabefahrung in den 3 GWM zur Prüfung des Ausbaus und möglicher Verblockungen der Filterstrecke im Vorwege von in situ-Messungen.
- Erfassung des lokalen Grundwasserabstroms durch in situ-Fließrichtungsmessungen (horizontale und vertikale Richtungen, Geschwindigkeiten) in 3 GWM (K1, K5 und V6), 4 Messungen je GWM. Ziel: Ableitung des lokalen Abstroms in der Fläche und über die Teufe, Feststellung von Abstromanisotropien, Ableitung ggf. bestehender bevorzugter Schadstoffverlagerungspfade. Diese Messungen sollten im weiteren Projektverlauf bei wechselnden GW-Ständen wiederholt werden.
- Durchführung tiefenorientierter Multiparameter-Messungen (MPS) zur in situ-Erfassung physikochemischer Parameter (pH, RedOx-Potenzial, elektrische Leitfähigkeit, O_2-Gehalt, Temperatur) in 3 GWM zur Charakterisierung der lokalen Aquiferbedingungen, Feststellung ggf. vorliegender Anisotropien innerhalb des Grundwasserleiters. Insgesamt 12 Messungen (4 je GWM).

2.2. Flächenhafte, zeitlich hoch aufgelöste Erfassung der lokalen Grundwasserhydraulik durch Einsatz von Grundwasserdruckspiegelloggern zur Ableitung der Hydrodynamik, Einbindung der Befunde in das regionale hydraulische Umfeld. Nach Datenlage sind am Standort bereits Datenlogger eingebaut. Leistungen zum Einbau und Betrieb weiterer Datenlogger durch die Intrapore GmbH sind aus diesem Grund in der Kostentabelle für den Bedarfsfall als Eventualposition angegeben.

2.3. Erstellung eines konzeptionellen Standortmodells zur Zusammenfassung aller für die Partikelanwendung am Standort relevanten Daten und Befunde zu Untergrundaufbau, Hydraulik, bevorzugten Grundwasserabstrombereichen und Schadstoffverlagerungspfaden. Ableitung von Schadstoffzustrombereichen, Partikelanwendungszonen und Monitoringebenen, ggf. Empfehlung von Pegelstandorten zur Verdichtung des lokalen GWM-Netzes. Optional Darstellung als interaktives 3D-Modell.

3. Pilotversuch: Im Ergebnis der Untersuchungen Durchführung eines Pilotversuchs im Feld. Ziel: Nachweis der Partikelwirkung auf die GW-Belastungen im natürlichen System unter Standzeit- und Monitoringaspekten, ggf. Anpassung von Anwendungsparametern (Injektionsvolumina, Injektionsraten, Partikelkonzentrationen, Monitoringumfang). Für die folgende Kostenermittlung erfolgte eine grobe Abschätzung auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Informationen.

4. Wirkungsmonitoring. Die Kosten für Wirkungsmonitoring sind nicht im Angebot enthalten, diese können sinnvoll erst nach Vorliegen der o.g. Untergrund- und Analyseparameter angegeben werden. Die Entnahme von Grundwasserproben und chemische Analysen sind als Eventualpositionen im Angebot aufgeführt. Einzelheiten zum Monitoringkonzept werden im Rahmen der Ausführungsplanung erarbeitet.

5. Dokumentation, Abschlussbericht, Präsentation der Ergebnisse und Erarbeitung von Perspektiven für die Vollanwendung.

VI. Kosten

Pos.	Leistung / Gegenstand	EP [€]	Anzahl	Einheit	GP [€]
1	**Injektionsplanung**				
1.1	Auswertung Standortdaten	1.850,00	1	pauschal	1.850,00
1.2	Erstellung Ausführungskonzept (Anlage WE-Genehmigungsantrag)	3.950,00	1	pauschal	3.950,00
2	**Injektionsvorbereitung**				
2.1	**Intrasense® in situ-Messungen**				
2.1.1	An-/Abtransport von Gerät, Material und Personal (2 Pers. inkl. Fahrtzeit)	1.150,00	1	mal	1.150,00
2.1.2	Kamerabefahrung GWM	150,00	3	Stck.	450,00
2.1.3	intraSense® Messung Grundwasserströmung (Richtung/Geschwindigk., je Kampagne)				
2.1.3.1	Einbau Messgerät in GWM	25,00	3	mal	75,00
2.1.3.2	Einhängen und justieren auf Messhorizont	15,00	12	mal	180,00
2.1.3.3	intraSense® in situ-Messung Grundwasserströmung	250,00	12	Stck.	3.000,00
2.1.3.4	tiefenorientierte Datenerfassung pH, Redox, Lf, O_2, T (Multiparametersonde)	45,00	12	Stck.	540,00
2.1a	weitere intraSense®-Messkampagne	4.945,00	1	mal	optional
2.2	**Erfassung GW-Druckspiegel**				
2.2.1	An-/Abtransport von Gerät, Material und Personal (1 Pers. inkl. Fahrtzeit)	950,00	1	mal	E.P.
2.2.2	Instal./Inbetriebnahme/Deinstal. Sonden / Datenlogger	45,00	1	Stück	E.P.
2.2.3	Kontinuierl. Druckdatenaufnahme, je Monat (geschätzt 12 Monate)	40,00	1	Stück	E.P.
2.2.4	Datenauslesung je Logger monatlich	15,00	1	mal	E.P.
2.2.5	Datenauswertung je Logger (einmalig)	120,00	1	pauschal	E.P.
2.3	**Datenauswertung / Erstellung konzept. Standortmodell**	4.850,00	1	pauschal	4.850,00
	Optional: Darstellung als interaktives 3D-Modell	8.000,00	1	pauschal	E.P.
3	**Pilotversuch Partikelinjektion**				
3.1	**Standortvorbereitung & Anlagenerrichtung**				
3.1.1	An-/Abtransport von Gerät, Material und Personal (3 Pers. inkl. Fahrtzeit)	1.870,00	1	mal	1.870,00
3.1.2	H&S-Plan	350,00	1	pauschal	350,00
3.1.3	Baustellensicherung	auf Nachweis	1	pauschal	E.P.
3.1.4	Anlagenerrichtung und -abbau	1.000,00	1	pauschal	1.000,00
3.1.5	Verbrauchsmaterial	500,00	1	pauschal	500,00
3.2	**Intrapore**				
3.2.1	Herstellung Suspension (AK-Partikel zur PFAS-Adsorption)	650,00	18	m^3	11.700,00
3.2.2	Herstellung Suspension (3 Pers., 5 Tage)	175,00	40	h geschätzt	7.000,00
3.2.3	Injektionsmonitoring (Trübesensor, MPS)	250,00	2	Wochen	500,00
3.2.4	Dokumentation/Bautagebuchführung	250,00	1	pauschal	250,00
3.2.5	Dekontamination Ausrüstung	250,00	1	mal	250,00
3.3.5	Übernachtungskosten 3 Pers. + Verpflegungskostenmehraufwand	330,00	4	mal	1.320,00
4	**Monitoring**				
4.1	**Probenahme**				
4.1.1	An-/Abtransport von Gerät, Material und Personal (1 Pers.)	950,00	1	mal	E.P.
4.1.2	Probenentnahme GW	60,00	1	mal	E.P.
4.2	**Laboranalytik**				
4.2.1	Laboranalytik PFAS	110,00	1	Stück	E.P.
5	**Dokumentation, Besprechungen, Stundensätze**				
5.1	Berichterstellung: Dokumentation / Auswertung inkl. Empfehlungen zum weiteren Vorgehen	4.920,00	1	pauschal	4.920,00
5.2	Besprechungen vor Ort (1 MA bis zu 2,5 h, inkl. An-/Abfahrt)	1.150,00	1	mal	E.P.
5.3	Ergebnispräsentation online (bis zu 2,5 h, inkl. Vor- Nachbereitung)	580,00	1	mal	E.P.
5.4	km-Pauschale PKW	0,50	1	km	E.P.
5.5	km-Pauschale Messfahrzeug	0,75	1	km	E.P.
5.6	Stundensatz Techniker / Zeichner	60,00	1	h	E.P.
5.7	Stundensatz Geologe/Ingenieur	75,00	1	h	E.P.
5.8	Stundensatz Projektleiter	100,00	1	h	E.P.
		Gesamtkosten Euro (netto)			45.705,00
	Projektkoordination (5% der Projektsumme)				2.285,25
		Mehrwertsteuer (16%)			7.678,44
		Gesamtkosten Euro (brutto)			**55.668,69**

VII. Zeithorizont

Der Zeitbedarf zur Umsetzung der skizzierten Arbeitsschritte einschließlich eines Pilotversuches zur PFAS-Immobilisierung ist wie folgt anzunehmen:

Pos.	Aktivität // Monate	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	**Injektionsplanung**												
	Auswertung Standortdaten	■											
	Erstellung Anwendungskonzept		■	■									
2.	**Injektionsvorbereitungen**												
	Intrasense®- in situ Messungen	■	■					opt.			opt.		
	Erfassung GW-Druckspiegel	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Ausführungsplanung Pilottest, Standortmodell			■									
3.	**Feldanwendung**					■							
4.	**Monitoring**					■	■	■	■	■	■	■	■
5.	**Dokumentation, Abschlussbericht**												■

Der Zeitaufwand für eine Vollanwendung ist abhängig von den Ergebnissen aus dem Pilotversuch und kann derzeit nicht belastbar abgeschätzt werden; er ist im Zeitplan nicht berücksichtigt.

Intrapore GmbH

Dr. Julian Bosch
Geschäftsführer

Heinz Peter Thelen
Projektleiter