

Umweltforschung in Baden-Württemberg

Abschlussbericht

**Konstruktion und Implementierung von
Passiven-InSitu-Adsorptions-Reaktoren (PISAR)
zur Sanierung von schadstoffbelastetem Grundwasser**

von

Manfred Brenner

HPC HARRESS PICKEL CONSULT AG Kirchzarten

Förderkennzeichen: L75 27001

Laufzeit: 01.07.2007 - 30.06.2008

Die Arbeiten dieses Projekts wurden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg durchgeführt.

Mai 2009

INHALT:		Seite
1	Zusammenfassung	4
2	Vorbemerkungen, Aufgabenstellung	6
3	Grundlagen.....	6
3.1	Allgemeine Standortangaben.....	6
3.2	Geologisch-hydrogeologischer Überblick.....	8
3.3	Bisherige Untersuchungen.....	10
4	Sanierungskonzeption	12
4.1	Sickerwasserstockwerk	12
4.2	Schwebender Grundwasserleiter (1. GWL), innovativer Teil	12
4.3	Bodenluft	13
5	Genehmigung	14
6	Sanierungsdurchführung.....	15
6.1	Brunnenbau.....	15
6.2	Passiver In-Situ Adsorptions-Reaktor PISAR.....	18
6.3	Inbetriebnahme.....	19
6.3.1	PISAR 19	
6.3.2	Bodenluftabsaugung	19
6.3.3	Sickerwasserentnahme	19
6.4	Sanierungsüberwachung	19
6.4.1	Anlagenüberwachung.....	19
6.4.2	Monitoring	20
7	Untersuchungsergebnisse	21
7.1	Geologische Verhältnisse/Bodenmaterial	21
7.2	Chemische Analysen	21
7.2.1	Zulauf PISAR	21
7.2.2	Ablauf PISAR	23
7.2.3	Bodenluftabsaugung	24
7.2.4	Sickerwasserfassung	25
7.2.5	Hauptgrundwasserleiter	26
8	Bewertung und Diskussion	27

TABELLEN:

Tabelle 1:	Koordinaten und Höhen der Brunnen P1 bis P5.....	18
Tabelle 2:	Inbetriebnahme der PISARen	19
Tabelle 3:	Monitoringprogramm zur Überwachung der Sanierungsauswirkungen.....	20
Tabelle 4:	Zusammenfassung der Bohrprofile der Greiferbohrungen.....	21
Tabelle 5:	Zulaufkonzentrationen PISAR.....	21
Tabelle 6:	Geschätzter Schadstoffaustrag über die PISAR.....	22
Tabelle 7:	Ablaufkonzentrationen PISAR.....	24
Tabelle 8:	Geschätzter Schadstoffeintrag in den Hauptgrundwasserleiter über die PISAR.....	24
Tabelle 9:	Untersuchungen des Zulaufs auf DOC.....	28
Tabelle 10:	Reinigungsleistung der PISARen	30

ABBILDUNGEN:	Seite
Abbildung 1: Übersichtslageplan	7
Abbildung 2: Schadensbereiche am Standort.....	11
Abbildung 3: Schematischer Profilschnitt durch den Standort.....	9
Abbildung 4: Prinzipskizze PISAR für den Standort Color Metal.....	13
Abbildung 5: Detaillageplan mit Sanierungseinrichtungen	14
Abbildung 6: Exemplarisches Bohrprofil und Ausbauplan von P1	16
Abbildung 7: Tracertest P5/KB14	17
Abbildung 8: Verlauf der LHKW-Konzentration im Zulauf der PISAR.....	22
Abbildung 9: Verlauf der LHKW-Konzentration im Ablauf der PISAR	23
Abbildung 10: LHKW-Austrag über die Bodenluft	25
Abbildung 11: Verlauf der Sickerwasserfassung.....	26
Abbildung 12: Konzentrationsentwicklung im Hauptgrundwasserleiter	27
Abbildung 13: Ablaufbeprobung PISAR an unterschiedlichen Stellen.....	29

ANHANG:

- 1 Quellen- und Literaturverzeichnis
- 2 Abkürzungsverzeichnis

1 Zusammenfassung

Auf dem Betriebsgelände der Firma Color Metal in Heitersheim, Grissheimer Weg 5, kam es in Folge des Umgangs mit Lösemitteln, ausgehend von zwei Sickergruben im Norden des Standortes, zu einem Eintrag von LHKW in den Boden, was zu einer Schädigung des Schutzgutes Grundwasser führte. Das Betriebsgelände liegt innerhalb der Trinkwasserschutzzone III.

Die Firma Color Metal GmbH hat sich am 13.12.06 im Rahmen einer öffentlich-rechtlichen Sanierungsvereinbarung verpflichtet, die Untergrundverunreinigungen zu sanieren. Die HPC HARRES PICKEL CONSULT AG (vormals Ingenieurgesellschaft Dr. Eisele mbH) wurde mit der Durchführung der Sanierungsmaßnahmen beauftragt. Als Sanierungsverfahren war eine Kombination von klassischen Sanierungsverfahren (Bodenluftabsaugung sowie pump & treat) und eines innovativen Sanierungsverfahrens (Passive In-Situ Adsorptions-Reaktoren, PISARen) vorgesehen. Für den innovativen Teil wurden vom Land Baden-Württemberg unter der Zuwendungs-Nr. L75 27001 Mittel in Höhe von 100.000 EUR für Forschungs- und Untersuchungszwecke zur Verfügung gestellt. Gegenstand des vorliegenden Berichts ist die Beschreibung, Umsetzung sowie die Ergebnisse des innovativen Sanierungsverfahrens PISAR.

Der Untergrund am Standort kann vereinfacht in drei Einheiten untergliedert werden:

- bis ca. 10 m u. Gel: Sickerwasserstockwerk aus vorwiegend bindigen Sedimenten mit eingeschalteten einzelnen sandig-kiesigen Lagen, die Sickerwasser führen können; sehr hohe LHKW-Belastungen im Nahbereich der Sickergruben (bis mehrere 10.000 µg/l LHKW)
- bis ca. 12 m u. Gel.: Schwebender Grundwasserleiter aus vorwiegend sandigen, kiesigen und schluffigen Sedimenten mit einem Grundwasserflurabstand von ca. 9 m u. Gel.; hohe LHKW-Belastungen auf einer Fläche von ca. 2.200 m² (ca. 5.000 µg/l LHKW)
- bis ca. 17 m u. Gel.: Hauptgrundwasserleiter aus vorwiegend kiesigen und sandigen Sedimenten, Grundwasserflurabstand ca. 14 m, wird durch eine ca. 1,5 m mächtige tonige Schlufflage von dem schwebenden Stockwerk getrennt, großflächig mittlere Belastungen durch LHKW (ca. 150 µg/l LHKW)

Ziel des Innovativen Sanierungsverfahrens PISAR war:

- Absenkung des hydraulischen Potentials mittels 5 PISAR-Brunnen auf ein Minimum im Schwebenden Grundwasserleiter zur Verminderung des Schadstoffaustrags über Sickerwasser in den Hauptgrundwasserleiter
- Ausnutzung des hydraulischen Gradienten zwischen Schwebendem und Hauptgrundwasserleiter zur in-situ Reinigung des belasteten Grundwassers
- Schaffung von freiem Porenraum im Schwebenden Grundwasserleiter durch größtmögliche Entwässerung des Porenraums, um hier effektiv mittels Bodenluftabsaugung LHKW auszutragen

Von Oktober bis Dezember 2007 wurden die fünf Brunnen für den Einbau der PISARen erstellt. Dabei wurde über jeden Brunnen der Schwebende Grundwasserleiter mit dem Hauptgrundwasserleiter verbunden. Zwischen den beiden Stockwerken wurde auf Höhe des Stauers ein Vollrohr mit Ringraumabdichtung eingebaut. Im Inneren des Vollrohrs befindet sich eine Verjüngung („Landing“), in welche nach Fertigstellung der PISAR eingeklinkt wird. Zwei der Bohrungen (P1 und P5) wurden fehlerhaft ausgebaut, wodurch die Funktion dieser PISARen nur eingeschränkt möglich war. Die Bohrungen wurden auf Kosten der Bohrfirma überbohrt und anschließend korrekt ausgebaut.

Unmittelbar nach Fertigstellung wurde in jeden Brunnen ein mit Aktivkohle befüllter PISAR eingebaut. Damit wurde die direkte hydraulische Verbindung zwischen Schwebendem Grundwasserleiter und Hauptgrundwasserleiter gekappt, so dass nun das Wasser des Schwebenden Grundwasserleiters erst den Aktivkohlereaktor durchströmen muss, bevor es in den Hauptgrundwasserleiter übertritt.

Durch die PISARen war es möglich, das Grundwasser des Schwebenden Stockwerks ohne Einsatz von Energie an Ort und Stelle zu reinigen und in den Hauptgrundwasserleiter zu infiltrieren. Über die PISARen konnten über 99 % der Schadstoffe aus dem Grundwasser entfernt werden. Allerdings wurde bislang noch nicht zuverlässig erreicht, den Prüfwert (10 µg/l) im Ablauf der PISARen dauerhaft zu unterschreiten. Die Ursache für die Prüfwertüberschreitungen im Ablauf konnte bislang nicht eindeutig ermittelt werden. Insgesamt wurden über die PISARen seit Sanierungsbeginn rund 21 kg LHKW aus dem Grundwasser entfernt.

Durch die PISARen konnten die hydraulischen Potentiale im zuvor meistens gespannten Schwebende Grundwasserleiter deutlich abgesenkt werden, so dass nun ein zusammenhängender freier Porenraum entstand, über welchen Bodenluft abgesaugt werden konnte. Über die Bodenluft wurden seit Mai 2008 knapp 160 kg LHKW ausgetragen. Davon stammen über 85 % aus den Schwebenden Grundwasserleiter.

In sämtlichen Messstellen im Abstrom des Hauptgrundwasserleiters wurde seit Sanierungsbeginn eine deutliche Abnahme der LHKW-Konzentrationen beobachtet. Die LHKW-Schadstoffemission konnte seit Sanierungsbeginn um etwa 2/3 g/d auf derzeit ca. 11 g/d reduziert werden.

Damit kann der Verlauf der Sanierung als erfolgreich bezeichnet werden. Die Funktion der PISARen wurde belegt.

Weiteres Vorgehen

Im Hinblick auf die Ursache der temporären Prüfwertüberschreitungen im Ablauf der PISAR gibt es weiteren Entwicklungsbedarf. Hierfür wurden Vorschläge für weitere Untersuchungen zur Eingrenzung und entsprechende Umbaumaßnahmen unterbreitet.

2 Vorbemerkungen, Aufgabenstellung

Die Firma Color Metal GmbH hat sich im Rahmen einer öffentlich-rechtlichen Sanierungsvereinbarung vom 13.12.06 verpflichtet, Untergrundverunreinigungen durch leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW) auf dem Betriebsgelände Grissheimer Weg 7 in 79423 Heitersheim zu sanieren. Am 12.07.2007 wurde die HPC HARRESS PICKEL CONSULT AG (vormals Ingenieurgesellschaft Dr. Eisele mbH) von der Firma Color Metal mit der Durchführung der Sanierungsmaßnahmen beauftragt. Dazu war eine Kombination von klassischen Sanierungsverfahren (Bodenluftabsaugung sowie pump & treat) und einem innovativen Sanierungsverfahren (Passiver In-Situ Adsorptions-Reaktor, PISAR) vorgesehen. Für den innovativen Teil des Sanierungsvorhabens wurden am 05.07.2007 vom Land Baden-Württemberg unter der Zuwendungs-Nr. L75 27001 Mittel in Höhe von 100.000 EUR für Forschungs-, Entwicklungs- und Untersuchungszwecke zur Verfügung gestellt. Gegenstand des vorliegenden Berichts ist die Beschreibung, Umsetzung sowie die Ergebnisse des innovativen Sanierungsverfahrens mit Hilfe von PISAR.

3 Grundlagen

3.1 Allgemeine Standortangaben

Name/Bezeichnung:	Color Metal
Lage:	ca. 1 km westlich des Ortskerns von Heitersheim (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 5)
Stadt/Landkreis/Adresse:	Heitersheim, Griessheimer Weg
Flurstücks-Nr.:	7059/9
Flächengröße:	ca. 4 200 m ²
Rechts-/Hochwert:	3411300 / 5321290
Höhe:	ca. 229 m ü. NN
Morphologie:	Südlicher Schwemmfächer des Sulzbaches
Versiegelung/bebaute Fläche:	Versiegelungsgrad ca. 90 %
Auffüllmächtigkeit:	ca. 3 m
Frühere Nutzung:	metallverarbeitender Betrieb
Aktuelle Nutzung:	metallverarbeitender Betrieb
Geplante Nutzung:	metallverarbeitender Betrieb
Zulässige Nutzung:	Mischgebiet
Umfeldnutzung:	Mischgebiet
Hydrogeologischer Standorttyp:	Geringleiter über Porengrundwasserleiter mit schwebendem Grundwasser; unterliegend Geringleiter, Flurabstand 8-9 m bzw. 13-14 m
Vorfluter:	Sulzbach
klimatische Wasserbilanz:	ca. 50 mm/a (Übersichtskarten LGRB)
Grundwasserneubildung:	Aufgrund der überwiegenden Versiegelung < 10 mm/a
Vorbehaltsgebiete:	innerhalb Trinkwasserschutzzone III

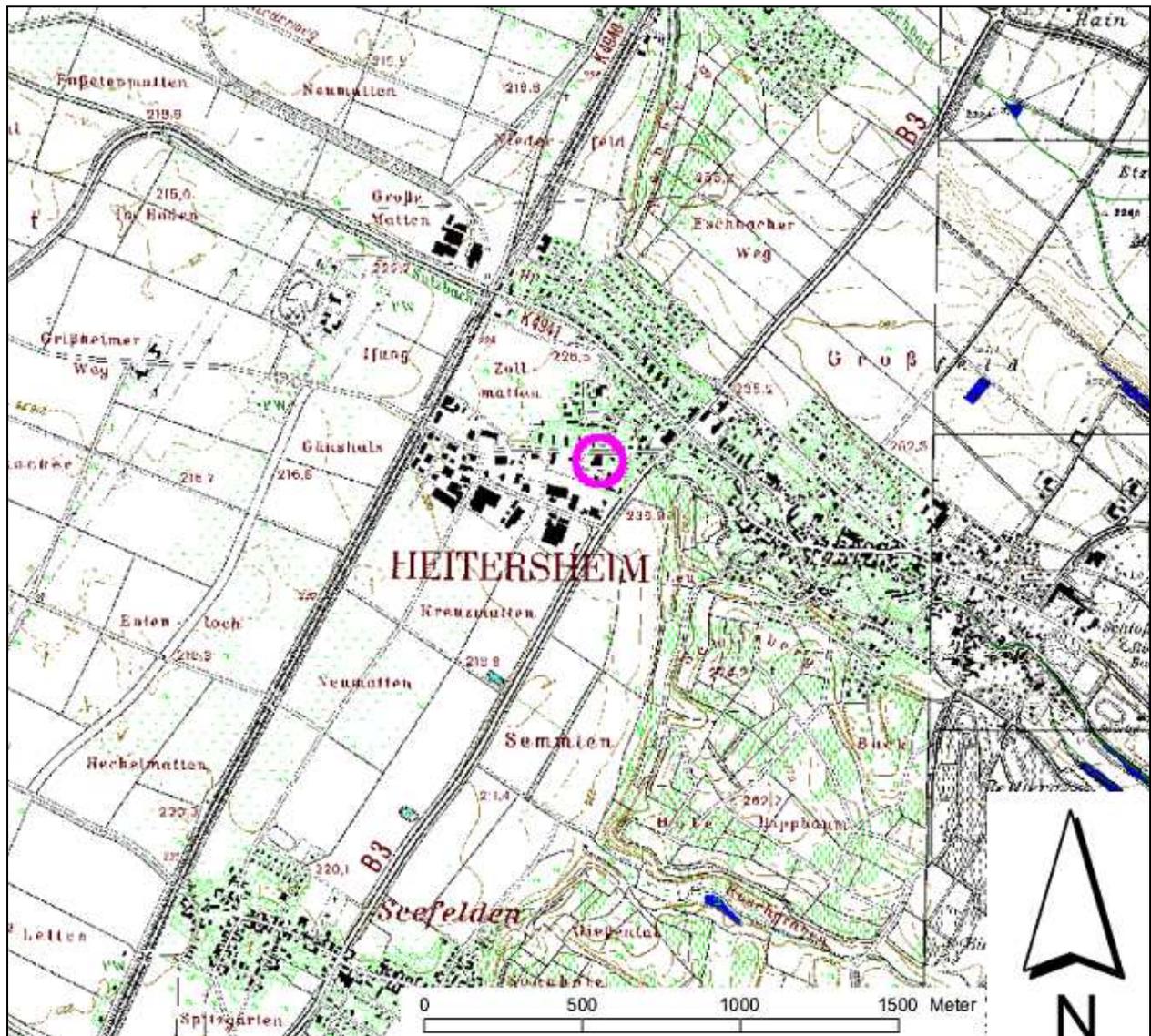


Abbildung 1: Übersichtslageplan

3.2 Geologisch-hydrogeologischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen Rhein und Schwarzwald am Rande der hügeligen Vorbergzone des südlichen Oberrheingrabens. Der geologische Untergrund wird geprägt von quartären, fluvioglazialen Sedimenten, die den präquartären Untergrund, welcher beim Absinken des Oberrheingrabens in ein Mosaik aus Bruchschollen, mesozoischer und tertiärer Gesteine zerlegt wurde, diskordant überlagern. Im Osten werden die jüngeren quartären Ablagerungen entlang einer Störung durch ältere, vorwiegend bindige Sedimente der Vorbergzone begrenzt.

Das Untersuchungsgebiet liegt ca. 270 m südwestlich des Sulzbaches innerhalb des Sulzbachschwemmfächers, welcher hier einen heterogenen Aufbau aus tonigen, schluffigen, sandigen und kiesigen Lagen aufzeigt. Hauptgrundwasserleiter und -speicher sind quartäre Kiese, die im Untersuchungsgebiet ab ca. 12 - 13 muGOK anstehen und eine mittlere Mächtigkeit am Standort von ca. 5 m erreichen. Die Grundwasserflurabstände liegen i. d. R. zwischen 13 und 14 m u. Gel.. Damit ist hier überwiegend von freien Grundwasserverhältnissen auszugehen. Pumpversuche ergaben für diesen Grundwasserleiter eine durchschnittliche Transmissivität von rund $1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Das Grundwasser strömt in westlicher bis westsüdwestlicher Richtung mit einem hydraulischen Gradienten von ca. 3 %.

Getrennt durch eine bis zu ca. 1,5 m mächtige, tonig-schluffige Abfolge ist über diesem tieferen Grundwasserleiter innerhalb einer bis ca. 2,5 m mächtigen kiesig-sandigen Abfolge im Umfeld des Standortes ein schwebendes, i. d. R. gespanntes Grundwasserstockwerk ausgebildet. Die Transmissivität ist in diesem Stockwerk mit rund $6,8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ deutlich geringer als im tieferen Grundwasserleiter. Auch hier herrscht eine südwestliche bis westliche Fließrichtung vor. Der Gradient ist aber mit ca. 0,5 % erheblich flacher als im Hauptgrundwasserleiter.

Im Hangenden folgt eine heterogene Abfolge, die geprägt wird von schluffig-tonigen Sedimenten, in die sandig-kiesige Lagen eingeschaltet sind. Generell ist diese Abfolge als Grundwassergeringleiter anzusprechen. In den sandig-kiesigen Lagen ist insbesondere im Norden des Standortes häufig Sicker- bzw. Schichtwasser anzutreffen.

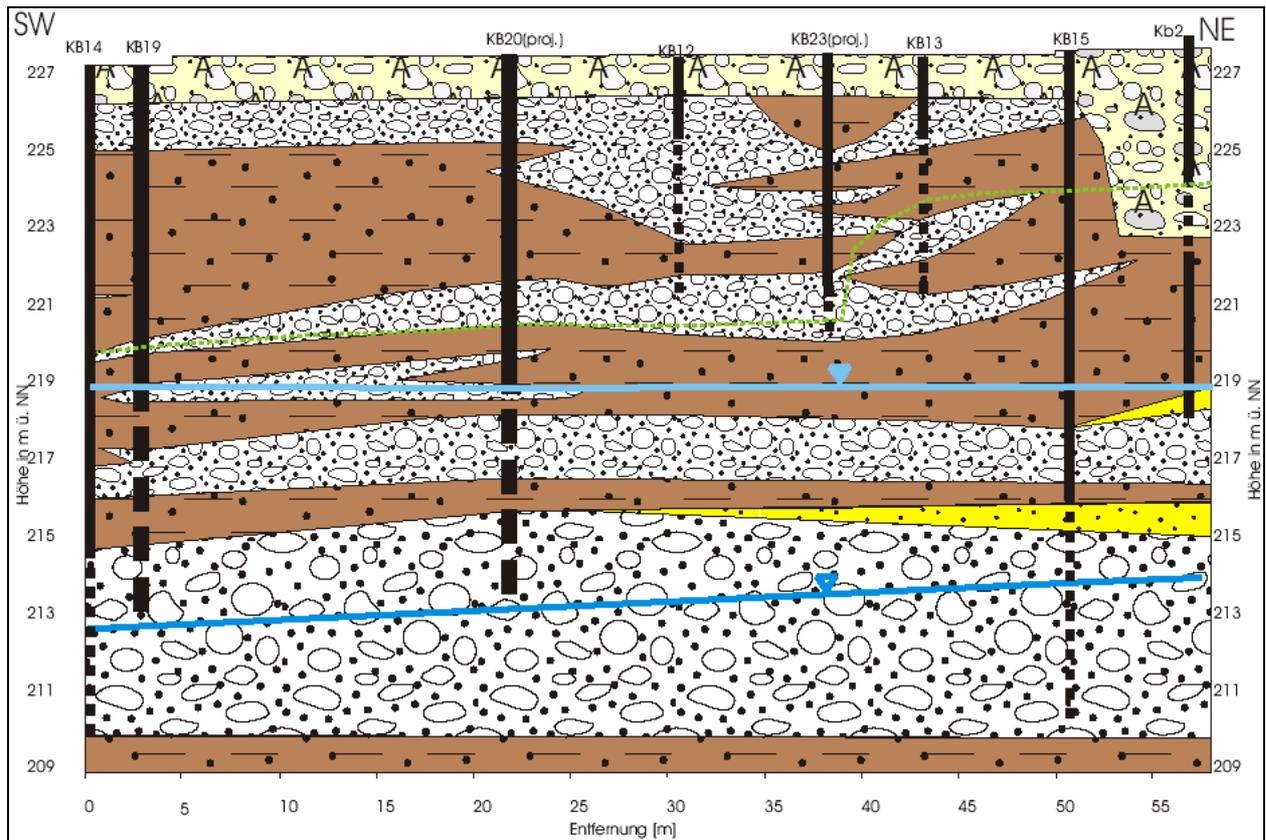


Abbildung 2: Schematischer Profilschnitt durch den Standort

Die Mittlere Höhe des Jahresniederschlags beträgt ca. 700 mm.

3.3 Bisherige Untersuchungen

Die Verunreinigungen durch LHKW gehen offensichtlich von zwei Sickergruben im Norden des Betriebsgeländes Color Metal aus (vgl. Abbildung 5), von denen die nördliche (Sickergrube 1) teilweise bis in den öffentlichen Straßenbereich (Gehweg) des Grissheimer Wegs reicht. Weder der Zeitraum, noch die LHKW-Menge, die über diesen Weg entsorgt wurde, ist genauer bekannt.

Die technischen Untersuchungen haben gezeigt, dass die LHKW-Belastungen im Sicker- bzw. Grundwasser mit der Tiefe abnehmen. Im Sickerwasserstockwerk wurden während der Erkundung im Umfeld der ehem. Sickergruben durchschnittlich ca. 7.500 µg/l LHKW gemessen (ca. 60 % PCE, 10 % TCE, 30 % DCEC). Im Schwebenden Stockwerk nahmen die Grundwasserkonzentration auf durchschnittlich rund 4.400 µg/l (ca. 75 % PCE, 5 % TCE, 15 % DCEC, 5 % DCM) ab, während im Hauptgrundwasserleiter die mittlere LHKW-Konzentration nur ca. 150 µg/l (ca. 75 % PCE, 5 % TCE, 10 % DCEC, 10 % DCM) betrug. Weiterhin wurde beobachtet, dass mit zunehmender Tiefe eine laterale Ausbreitung des Schadensbildes einhergeht. Während sich im Sickerwasserstockwerk hohe Konzentrationen auf das nähere Umfeld der Sickergruben (ca. 500 m² Fläche) beschränken, wurden im Schwebenden Stockwerk auf mindestens ca. 2.200 m² Fläche erhöhte LHKW-Konzentrationen nachgewiesen. Ebenso wurde in weiten Teilen des Betriebsgeländes im Hauptgrundwasserleiter LHKW-Verunreinigungen nachgewiesen.

Auf Grundlage der bisherigen Messergebnisse in Boden, Bodenluft und Grundwasser wurde unter Gleichgewichtsbedingungen die LHKW-Masse im Dreiphasensystem (Boden-, Bodenluft-, Sicker/Grundwasser) überschlägig auf rund 100 kg bilanziert. Eine Quantifizierung der LHKW-Menge, welche sich im Ungleichgewicht in Form von Phase im Untergrund befindet, ist nicht möglich. Daher kann das tatsächliche Schadstoffpotential im Untergrund nur abgeschätzt, nicht aber berechnet werden. Dass LHKW-Phase zumindest im Bereich der Sickergruben vorhanden ist bzw. vorhanden war, geht aus dem Bericht zur Sanierungsuntersuchung vom November 1997 hervor. Ebenso deuten die großen LHKW-Frachten, welche über das Grundwasser vom Standort abströmen (jährlich ca. 12 kg), auf eine deutlich größere Schadstoffmenge im Untergrund als sich aus der Gleichgewichtsberechnung ergibt. Als plausibel wurde geschätzt, dass die LHKW-Menge, welche als Phase vorhanden ist, etwa das 10fache der unter Gleichgewichtsbedingungen im Dreiphasensystem bestimmten Masse beträgt. Demzufolge war davon auszugehen, dass noch bis zu über ca. 1.000 kg LHKW am Standort den Untergrund verunreinigen.

Es konnte nicht ausgeschlossen werden, dass LHKW-Phase sich bis in das Schwebende Grundwasserstockwerk ausgebreitet hat. Auf Grund der vergleichsweise geringen LHKW-Konzentrationen im Hauptgrundwasserleiter ist es dagegen sehr unwahrscheinlich, dass LHKW-Phase bis in dieses wasserwirtschaftlich genutzte Grundwasserstockwerk vorgedrungen ist. Vielmehr kann davon ausgegangen werden, dass die hier gemessenen Verunreinigungen weitgehend über einen Sickerwasserstrom aus dem Schwebenden Stockwerk durch den schluffig-tonigen Grundwasserstauer hindurch in den Hauptgrundwasserleiter erfolgt (ein diffusiver Schadstoffeintrag wird als vernachlässigbar gering eingestuft). Dies ist auch rechnerisch über das Darcy-Gesetz nachvollziehbar. Bei einer mittleren Mächtigkeit des Stauers von ca. 1 m, einem Durchlässigkeitsbeiwert von $1,6 \times 10^{-8}$ m²/s (Annahme, entspricht der Durchlässigkeit eines tonigen Schluffs) sowie einer Druckhöhe von 2,5 m errechnet sich ein Sickerwasservolumenstrom von rund 7,5 m³ je Tag auf einer Fläche von 2.200 m² (entspricht einer Sickerrate von ca. 4×10^{-5} l/s je m²). Wird dieser Volumenstrom mit der mittleren LHKW-Konzentration (ca. 4.400 µg/l) im Schwebenden Stockwerk multipliziert, ergibt sich eine Schadstofffracht von rund 33 g/d LHKW, welche mit dem Sickerwasserzutritt aus dem Schwebenden Stockwerk in den Hauptgrundwasserleiter eingetragen wird.

Dies entspricht in etwa der Schadstofffracht, die über den Hauptgrundwasserleiter vom Standort abströmt. Im Hauptgrundwasserleiter wird dieser stark belastete Sickerwasserstrom durch unbelastetes Grundwasser aus dem Zustrom auf rund 150 µg/l verdünnt. Untersuchungen zur Bestimmung der Durchlässigkeit des Stauers wurden bislang nicht durchgeführt.

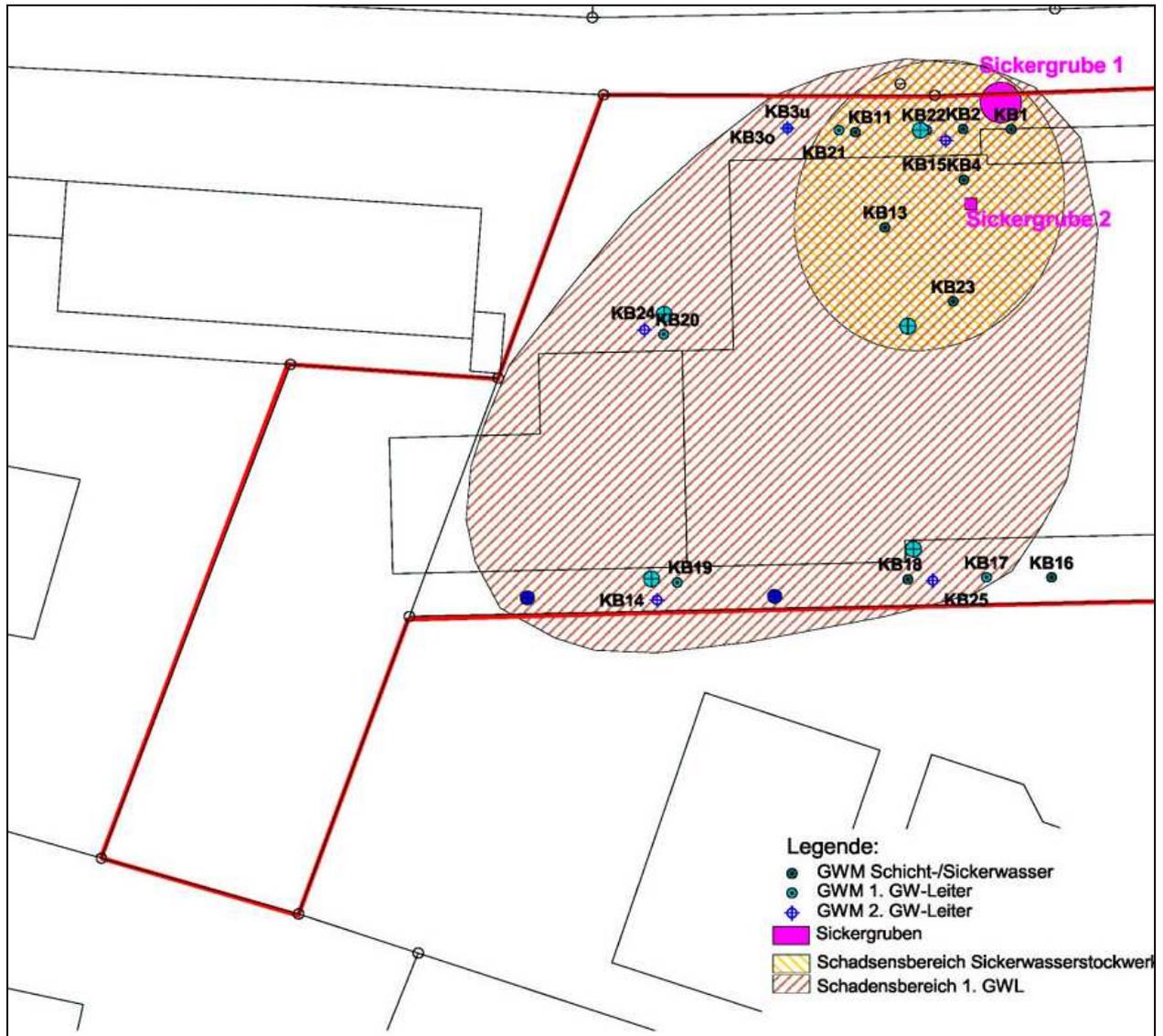


Abbildung 3: Schadensbereiche am Standort

4 Sanierungskonzeption

4.1 Sickerwasserstockwerk

Geplant war, Sickerwasser aus drei bestehenden Grundwassermessstellen mittels Schlauchquetschpumpen (Anm.: hierfür gibt es auch einen anderen Namen, der mir aber gerade nicht einfällt) zu Tage zu fördern. Dadurch soll ein Übertritt von stark belastetem Sickerwasser in die darunter liegenden Stockwerke verringert werden sowie die Effektivität der geplanten Bodenluftabsaugung (vgl. Abschnitt 4.3) erhöht werden. Das geförderte Grundwasser wird über zwei in Reihe geschaltete Aktivkohlefilter (WAK 70) gereinigt und anschließend in die Kanalisation eingeleitet. Nach Überschreiten des Reinigungsendwertes (10 µg/l, siehe Abschnitt 5) nach dem ersten Filter ist die Kohle dieses Filters auszutauschen und die Reihenfolge der Reihenschaltung zu wechseln. Je Brunnen wird von einem Volumenstrom von ca. 0,01 l/s ausgegangen.

4.2 Schwebender Grundwasserleiter (1. GWL), innovativer Teil

Anstatt das Grundwasser aus dem Schwebenden Grundwasserleiter zu Tage zu fördern und oberirdisch abzureinigen, soll hier das innovative passive in-situ Reinigungsverfahren (PISAR, **P**assiver **I**n-**S**itu **A**dsorptions-**R**eaktor) angewandt werden. Dabei wird der hydraulische Potentialunterschied zwischen Schwebendem Stockwerk (1. GWL) und Hauptgrundwasserleiter (2. GWL) dazu genutzt, ohne den Einsatz von Energie das belastete Wasser des 1. GWL direkt in den fünf neuen Brunnen zu reinigen und in den 2. GWL einzuleiten. Dazu wird an der Basis des 1. GWL ein Aktivkohlereaktor (PISAR) eingesetzt. Nach dem Durchströmen der Aktivkohle tritt das gereinigte Wasser im freien Gefälle in den 2. GWL über. Nach Überschreiten des Reinigungsendwertes von 10 µg/l nach dem Reaktordurchfluss wird ein Austausch der Kohle des Reaktors vorgenommen. Je Sanierungsbrunnen wird eine mittlere Durchflussrate von max. ca. 0,05 l/s erwartet. Während des Austausches wird für etwa 15 Minuten keine Grundwasserreinigung stattfinden, was angesichts der schon bestehenden Vorbelastung des 2. GWL und der geringen Schadstofffracht jedoch nicht erheblich ist, und von den Fachbehörden toleriert wird.

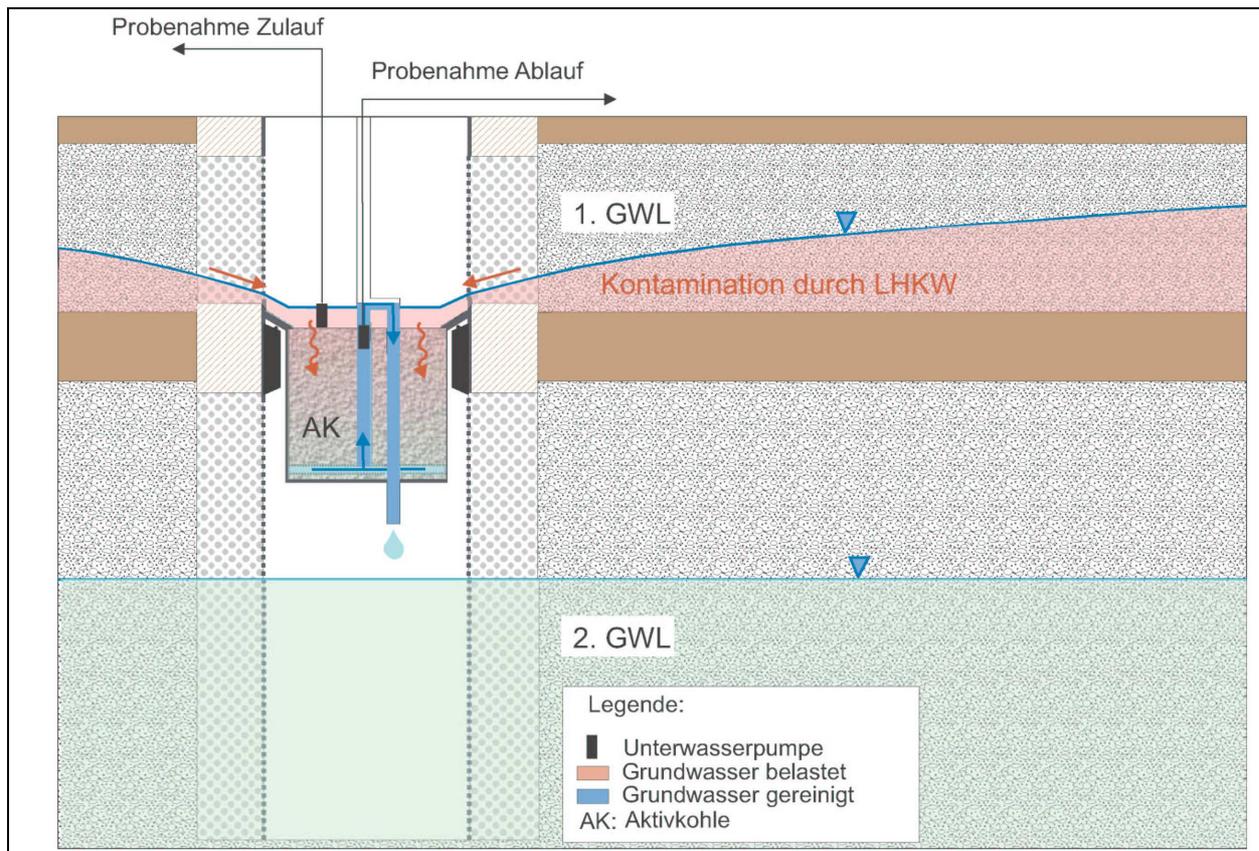


Abbildung 4: Prinzipskizze PISAR für den Standort Color Metal

Durch die PISAR-Brunnen wird das hydraulische Potential im gesamten Schwebenden Stockwerk auf ein Minimum reduziert, so dass der vertikale Volumenstrom belasteten Grundwassers durch die bindige Trennschicht aus dem Schwebenden in den Hauptgrundwasserleiter deutlich reduziert wird. Daneben wird durch die hydraulische Entspannung des Schwebenden Stockwerks ein freier Porenraum geschaffen, wodurch auch in diesem vormals vollständig gesättigten Bereich nun ein effektiver Schadstoffaustrag über Bodenluftabsaugung ermöglicht wird.

4.3 Bodenluft

Es ist vorgesehen, sowohl aus dem Sickerwasserstockwerk als auch aus dem über die PISAR-Bohrungen weitgehend entwässerten Schwebenden Grundwasserleiter Bodenluft abzusaugen. Insgesamt sind elf Pegel (Sickerwasserstockwerk: KB1, KB4, KB11, KB13, KB18 und KB23; Schwebender Grundwasserleiter: KB17, KB19, KB20, KB22, und P1) vorgesehen.

Die Bodenluftanlage setzt sich zusammen aus:

- Wasserabscheider mit Pumpe
- 2 Luftaktivkohlefilter (je Filter ca. 200 l)
- Seitenkanalverdichter

Die beiden Luftaktivkohlefilter werden in Reihe geschaltet. Nach Überschreiten des Reinigungsendwertes von 5 mg/m³ nach dem ersten Filter ist die Kohle dieses Filters auszutauschen und die Reihenfolge der Reihenschaltung zu wechseln.

Dieser Teil der Sanierungsanlage wird im Norden des Standortes in einem Container untergebracht. Es wird von einer Sanierungsdauer von ca. 10 Jahren ausgegangen.

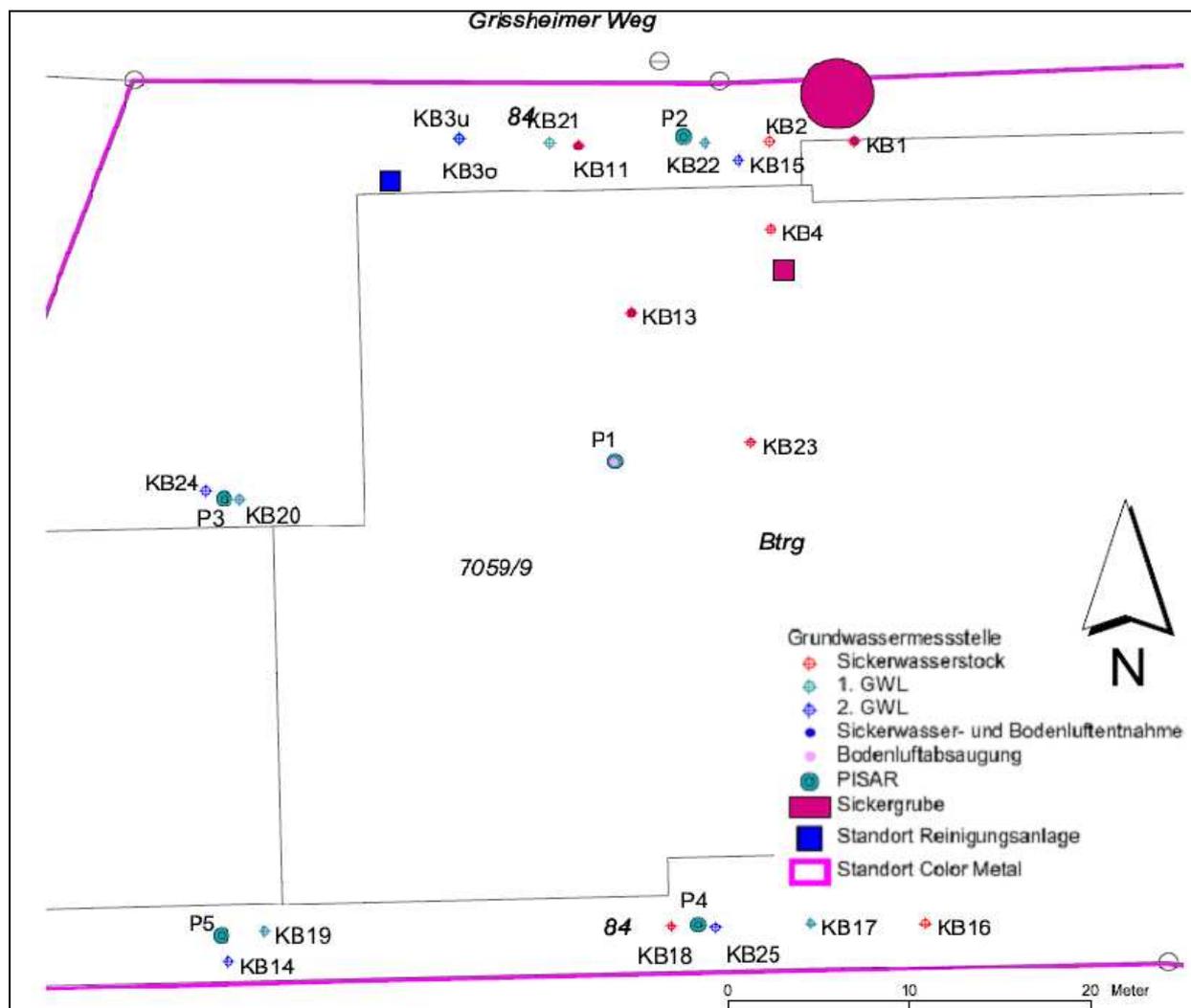


Abbildung 5: Detaillageplan mit Sanierungseinrichtungen

5 Genehmigung

Am 25.07.2007 wurde eine wasserrechtliche Erlaubnis zur Durchführung der Sanierungsmaßnahmen beim Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald eingereicht. Die Wasserrechtliche Erlaubnis zur Fassung von belastetem Grundwasser aus dem Schwebenden Grundwasserleiter und dessen Abreinigung mittels des Einsatzes von fünf Brunnen, die jeweils mit einem PISAR ausgestattet sind sowie zur Entnahme von belastetem Sickerwasser aus drei Aufschlüssen, wurde am 20.12.2007 zugestimmt.

Als Reinigungsendwert wurde für Grund- und Sickerwasser ein Grenzwert von 10 µg/l LHKW festgelegt.

6 Sanierungsdurchführung

6.1 Brunnenbau

Auf dem Gelände waren für den Einbau der PISARen fünf Brunnenbohrungen vorgesehen. Die Lage der Bohransatzpunkte geht aus Abbildung 5 hervor. Für die übrigen Sanierungsmaßnahmen wurden bestehende Messstellen am Standort genutzt.

Mit der Ausführung der Bohrarbeiten wurde nach einer beschränkten Ausschreibung die Hettmannsperger Spezialtiefbau GmbH, Karlsruhe beauftragt. In Abstimmung mit der Fachbehörde wurde mit den Bohrarbeiten am 10.10.2007 begonnen. Die Bohrungen wurden als verrohrte Trockenbohrung mit einem Durchmesser von 700 mm und vollständigem Kerngewinn mittels Greiferbaggers ausgeführt. Die Endtiefe lag bei allen Bohrungen bei rund 15 m u. Gel..

Der Ausbau der Bohrungen erfolgte mittels DN 350 Voll- und Filterrohren. Die Schlitzweite der Filterrohre beträgt 1 mm. In jeder Bohrung wurden jeweils zwei Filterstrecken eingebaut. Verfiltert wurde im Sickerwasserstockwerk (ca. 8-10 m u. Gel.) und im Hauptgrundwasserleiter (ca. 12-15 m u. Gel.). Im Bereich der dazwischen liegenden Stauschicht wurden Vollrohre und eine Ringraumabdichtung (Quellton bzw. Zement-Bentonit-Suspension) eingebaut.

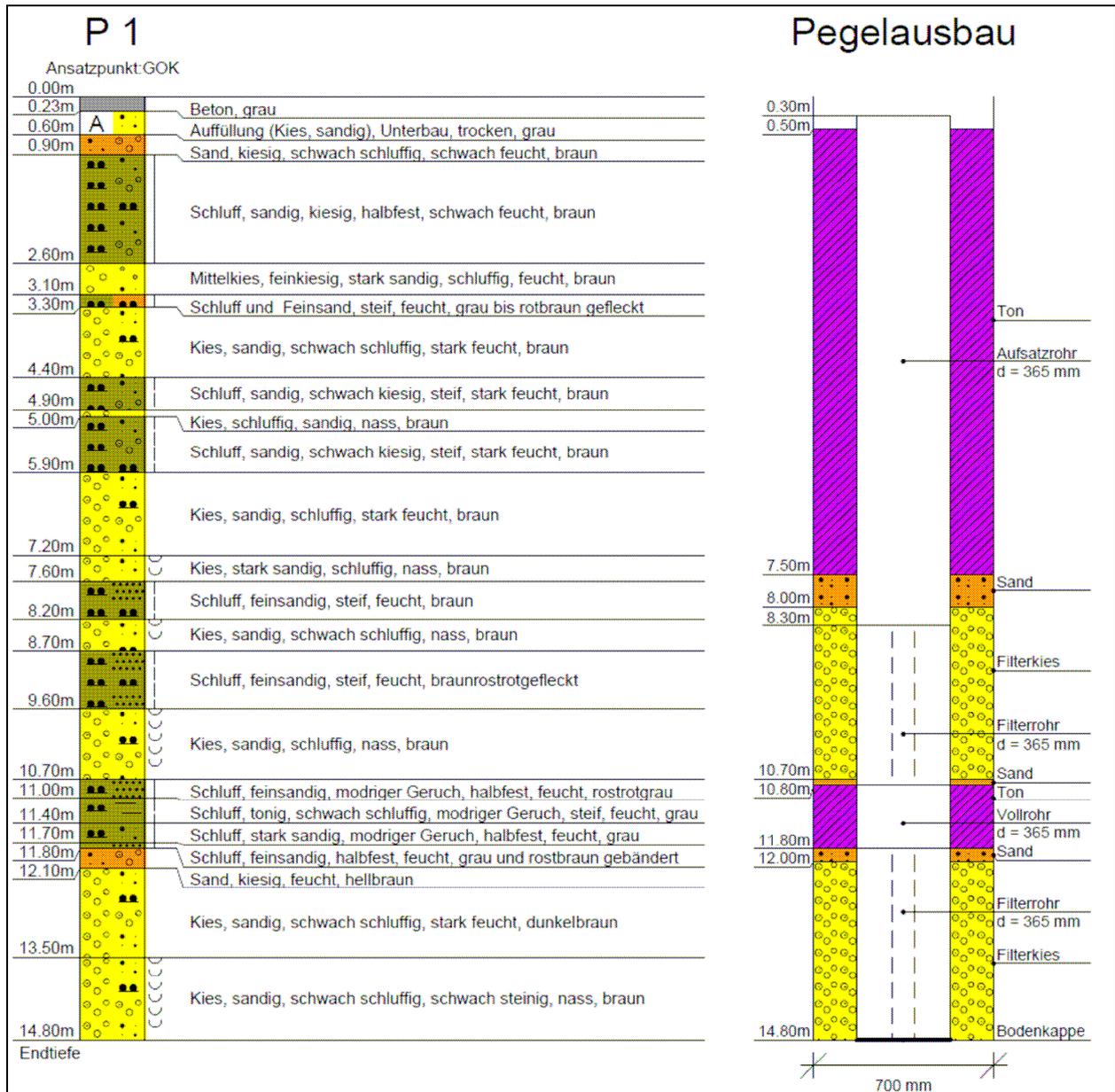


Abbildung 6: Exemplarisches Bohrprofil und Ausbauplan von P1

Die Bohrarbeiten wurden durch einen Gutachter vor Ort überwacht. Der endgültige Ausbau wurde im Verlauf der Ausführung anhand der tatsächlichen geologischen Verhältnisse vor Ort festgelegt. Ein exemplarischer Ausbauplan sowie Bohrprofil der neuen Bohrungen P1 ist in Abbildung 6 dargestellt.

Unmittelbar nach Fertigstellung wurde in jeden Brunnen ein Passiver In-Situ Adsorptions-Reaktor (PISAR) eingesetzt, um anschließend einen Übertritt von ungereinigtem Wasser in das tiefere Stockwerk zu verhindern. Dabei wurde bei den Bohrungen P1 und P5 eine unzureichende Funktion festgestellt.

Bei P1 verstürzten im Zuge des Ausbaus an der Basis der Bohrung ca. 70 cm. Der durch den Gutachter vorgegebene Bereich der Vollrohrstrecke auf Höhe des Grundwasserstauers wurde anschließend durch die Bohrfirma nicht eingehalten, sondern ca. 70 cm zu hoch eingebaut. Damit war eine zuverlässige Funktion des PISAR nicht möglich. Die Messstelle wurde auf Kosten der Bohrfirma überbohrt und anschließend korrekt ausgebaut.

Bei P5 wurde nach dem Einbau des PISARs kein Durchfluss von Grundwasser durch den Reaktor beobachtet. Um die Ursache zu überprüfen, wurde durch die HPC AG die Vollrohrstrecke in dieser Bohrung verschlossen und in den schwebenden Grundwasserleiter ein Tracer (NaCl-Lösung) eingegeben. Gleichzeitig wurde in der knapp ein Meter entfernten Messstelle KB15 im Hauptgrundwasserleiter kontinuierlich Grundwasser entnommen und die elektrische Leitfähigkeit gemessen.

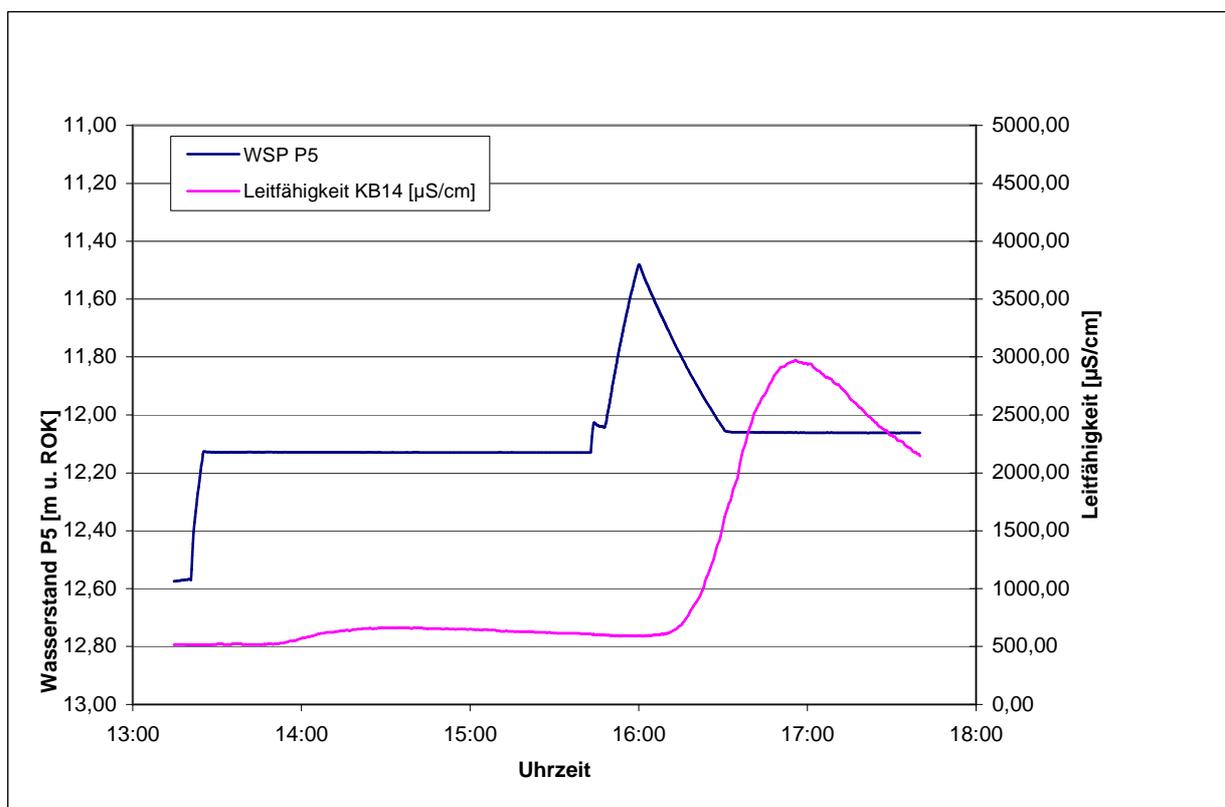


Abbildung 7: Tracertest P5/KB14

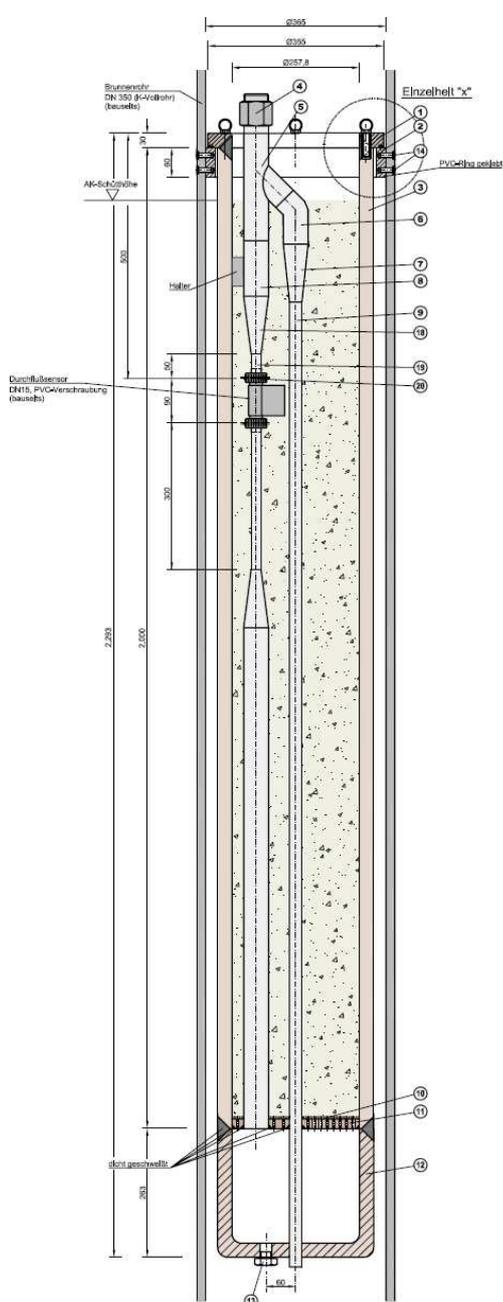
Der Verlauf des Tests zeigte etwa 30 Minuten nach Eingabe des Tracers in P5 (Schwebendes Stockwerk) eine deutliche Zunahme der Leitfähigkeit in KB15 (Hauptgrundwasserleiter) von ca. 600 µS auf 3.000 µS/cm. Damit lag der Verdacht nahe, dass die Ringraumabdichtung auf Höhe des Grundwasserstauers in P5 nicht richtig funktioniert und beide Stockwerke über den Ringraum der Bohrung hydraulisch miteinander verbunden sind. Eine anschließende Befahrung der Bohrung mittels Gamma-Logs durch die Terratec Geophysical Services zeigte, dass die Tonsperre in dieser Messstelle etwa 1 m zu tief eingebaut wurde und damit nicht optimal auf Höhe des Vollrohres lag. Auch diese Messstelle wurde auf Kosten der Bohrfirma überbohrt und anschließend korrekt ausgebaut.

Nach Fertigstellung wurden die Bohrungen nach Lage und Höhe eingemessen (vgl. Tabelle 1).

	Rechtswert	Hochwert	Höhe [ROK]	Höhe [GOK]
P1	3399124,3	5304915,3	227,09	227,30
P2	3399128,1	5304933,9	227,27	227,48
P3	3399102,8	5304913,2	226,87	227,27
P4	3399128,9	5304888,9	226,68	226,87
P5	3399102,7	5304888,3	226,83	226,99

Tabelle 1: Koordinaten und Höhen der Brunnen P1 bis P5

6.2 Passiver In-Situ Adsorptions-Reaktor PISAR



Die Konstruktion der PISARen erfolgte aus dem Material HD-PE durch die Firma Fischer in Gundelfingen. Der Volumenstrom des Grundwassers durch den PISAR kann über einen in der Steigleitung eingebauten Durchflusssensor gemessen werden. Allerdings beträgt die Auflösung des Volumenstroms technisch bedingt 0,01 l/s, so dass Volumenströme < 0,01 l/s nicht mehr aufgelöst werden können. Jeder PISAR fasst ca. 90 l Aktivkohle. Das Volumen wurde so bemessen, dass bei einem Maximaldurchsatz von 0,05 l/s die Verweilzeit des Grundwassers im Filter ca. 20 Minuten beträgt. Eingesetzt wurde Aktivkohle vom Typ Hydriffin CC 8 x 30 des Herstellers Donau Carbon.

Funktionsweise des PISARs: Belastetes Grundwasser fließt aus dem Schwebenden Stockwerk in den PISAR und durchsickert in vertikaler Richtung die Aktivkohle. Über einen Überlauf wird gewährleistet, dass die Aktivkohle immer wassergesättigt ist. Die Beladefront innerhalb der Aktivkohle wandert somit von oben nach unten durch die Aktivkohle. Gereinigtes Grundwasser verlässt die Aktivkohle an der Basis durch ein Filtersieb und steigt anschließend über eine Steigleitung vertikal wieder nach oben. Nach Passage des Durchflusssensors fließt das saubere Wasser vertikal nach unten und wird an der Basis des Reaktors in den Hauptgrundwasserleiter eingeleitet. Der Ablauf jedes Reaktors kann bei Bedarf verschlossen werden, so dass der PISAR ähnlich wie ein Packer zur hydraulischen Stockwerkstrennung eingesetzt werden kann.

Insgesamt wurden sechs Reaktoren konstruiert, so dass beim Kohlewechsel der beladene Reaktor gegen einen mit frischer Kohle gefüllten ausgetauscht werden konnte.

6.3 Inbetriebnahme

6.3.1 PISAR

Unmittelbar nach Fertigstellung jeder Bohrung wurde jeweils der Reaktor eingesetzt. Der Reaktor wird dabei in einen im Vollrohr des Brunnens eingebauten „Landing“ eingeklinkt. Eine zwischen PISAR und Landing eingebaute Dichtung sorgt für eine hydraulische Trennung beider Stockwerke, so dass sämtliches Grundwasser aus dem schwebenden Stockwerk erst nach Passage der Aktivkohle in den Hauptgrundwasserleiter übertreten kann. In der nachfolgenden Tabelle sind die Inbetriebnahmedaten der PISARen aufgeführt:

	Inbetriebnahmedatum	Bemerkung
P1	20.12.2007	Inbetriebnahme nach dem Überbohren
P2	16.10.2007	
P3	23.10.2007	
P4	16.10.2007	
P5	05.12.2007	Inbetriebnahme nach dem Überbohren

Tabelle 2: Inbetriebnahme der PISARen

6.3.2 Bodenluftabsaugung

Die Bodenluftabsaugung wurde am 26.05.2008 in Betrieb genommen. Dabei wurde zunächst nur aus P1 (Schwebender Grundwasserleiter) abgesaugt und die Reaktion in den anderen Messstellen des Schwebenden Grundwasserleiters beobachtet. In allen Messstellen war ein Unterdruck zu beobachten, so dass nachgewiesen werden konnte, dass der zuvor gespannte Grundwasserleiter in Folge des Einsatzes der fünf PISARen entspannt und somit eine Wegsamkeit für Bodenluft hergestellt wurde. Am 27.05.2008 wurden auch die übrigen Absaugpegel (Sickerwasserstockwerk: KB1, KB4, KB11, KB13, KB18 und KB23; Schwebender Grundwasserleiter: KB17, KB19, KB20, KB22, und P1) hinzugeschaltet.

6.3.3 Sickerwasserentnahme

Am 31.07.2008 wurde die Sickerwasserentnahme aus den Messstellen KB1, KB11 und KB13 gestartet.

6.4 Sanierungsüberwachung

Das Monitoringprogramm zur Überwachung des Sanierungsverlaufes wurde gemeinsam mit dem Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald festgelegt.

6.4.1 Anlagenüberwachung

Sämtliche Sanierungskomponenten sollten monatlich beprobt und auf die relevanten Schadstoffe LHKW untersucht werden:

- Zu- und Ablauf P1, P2, P3 P4 und P5
- Zu- und Abluft der Bodenluftabsaugung
- Zu- und Ablauf Sickerwasser

Zu- und Ablaufproben der PISARen wurden mittels eines Teflon-Schöpfhebers entnommen, während die weiteren Grundwasserproben mittels Unterwasserpumpe entnommen wurden. In Anlehnung an die Vorgaben der LUBW wurden bei sämtlichen Grundwasserproben die Vor-Ort-Parameter elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Temperatur, Sauerstoffgehalt sowie Redox-Potential begleitend gemessen und dokumentiert. Bodenluftproben wurden mittels Seitenkanalverdichter in Glasviolen entnommen.

6.4.2 Monitoring

Folgende Grundwasserprobenahmen sowie Untersuchungen auf LHKW waren zur Kontrolle der Sanierungsauswirkung vorgesehen:

Stockwerk	Messstelle	Probenahmeturnus		
		Monatlich	Vierteljährlich	Halbjährlich
Hauptgrundwasserleiter	KB14	X	X	X
	KB24	X	X	X
	KB3u	-	X	X
	KB25	-	X	X
	111/021-6	-	-	X
Schwebender Grundwasserleiter	KB3o	-	-	X
	KB21	-	-	X
Sickerwasser-Stockwerk	KB1	-	-	X
	KB2	-	-	X
	KB4	-	-	X
	KB16	-	-	X
	KB18	-	-	X
	KB23	-	-	X

Tabelle 3: Monitoringprogramm zur Überwachung der Sanierungsauswirkungen

Daneben sollten Bodenluftproben aus den Messstellen KB1, KB4, KB13, KB16, KB17, KB18, KB19, KB20, KB23 sowie P1 halbjährlich entnommen und auf LHKW untersucht werden.

7 Untersuchungsergebnisse

7.1 Geologische Verhältnisse/Bodenmaterial

Die Bohrungen erschlossen entsprechend den früheren Befunden zusammenfassend folgendes Bohrprofil:

	Einheit	P1	P2	P3	P4	P5
Basis anthropogene Auffüllung	m. u. Gel.	0,6	0,8	1,7	0,9	2,0
Basis Sickerwasserstockwerk	m. u. Gel.	8,2	7,5	8,4	9,2	7,6
Basis Schwebender Grundwasserleiter	m. u. Gel.	10,7	10,7	11,4	10,9	12,0
Basis Stauer	m. u. Gel.	11,8	11,9	12,6	12,0	12,8
Endtiefe im Hauptgrundwasserleiter (Basis nicht erbohrt)	m. u. Gel.	14,8	14,7	15,5	15,2	16,3

Tabelle 4: Zusammenfassung der Bohrprofile der Greiferbohrungen

7.2 Chemische Analysen

7.2.1 Zulauf PISAR

In dem nachfolgenden Diagramm (Abbildung 8) ist der Verlauf der Zustromkonzentration der einzelnen PISARen graphisch dargestellt.

In allen Brunnen wurde zu Beginn zunächst ein Anstieg der Zulaufkonzentrationen beobachtet. Ab etwa Mai 2008 zeigten die Konzentrationen aller Brunnen einen abnehmenden Trend. Die höchsten Gehalte wurden stets in P4 mit einem Mittelwert von ca. 35.000 µg/l gemessen, während die niedrigsten Werte in P2 mit im Mittel ca. 1.300 µg/l beobachtet wurden (vgl. Tabelle 5).

	LHKW-Konzentration [µg/l]			mittlerer Anteil in %		
	Mittelwert	Maximum	Minimum	PCE	TCE	DCEC
Zulauf P1	6.346	25.283	241	88,8%	0,9%	10,2%
Zulauf P2	1.308	6.761	98	85,7%	1,7%	12,0%
Zulauf P3	6.173	18.367	1.210	97,4%	0,4%	2,2%
Zulauf P4	35.250	82.084	4.704	94,5%	1,0%	4,5%
Zulauf P5	4.616	13.316	189	94,3%	0,8%	4,9%

Tabelle 5: Zulaufkonzentrationen PISAR

Hauptkontaminant der LHKW war jeweils Tetrachlorethen (PCE) mit einem Anteil von stets über ca. 85 %, daneben trat untergeordnet cis-1,2-Dichlorethen (DCEC) bis max. ca. 12 % sowie Trichlorethen (TCE) mit max. ca. 2 % auf. Andere LHKW waren, wenn überhaupt, nur in Spuren nachweisbar.

Eine exakte Bilanzierung der Schadstofffrachten, die den PISARen zuströmt, ist nicht möglich, da die Volumenströme in allen Reaktoren < 0,01 l/s nach einem Betrieb von wenigen Tagen unterschritten und nicht mehr aufgelöst werden können. Wird ein Volumenstrom von 0,01 l/s je Reaktor angesetzt ergeben sich folgende Schadstoffmengen, die bis April 2009 über die PISARen ausgetragen wurden:

PISAR	Zugeströmte Schadstoffmenge (bis April 2009)
P1	2,3 kg LHKW
P2	0,5 kg LHKW
P3	2,4 kg LHKW
P4	14,2 kg LHKW
P5	1,9 kg LHKW
Gesamt:	21,3 kg LHKW

Tabelle 6: Geschätzter Schadstoffaustrag über die PISAR

Insgesamt wurden über die PISAR bis April 2009 maximal ca. 21 kg LHKW ausgetragen.

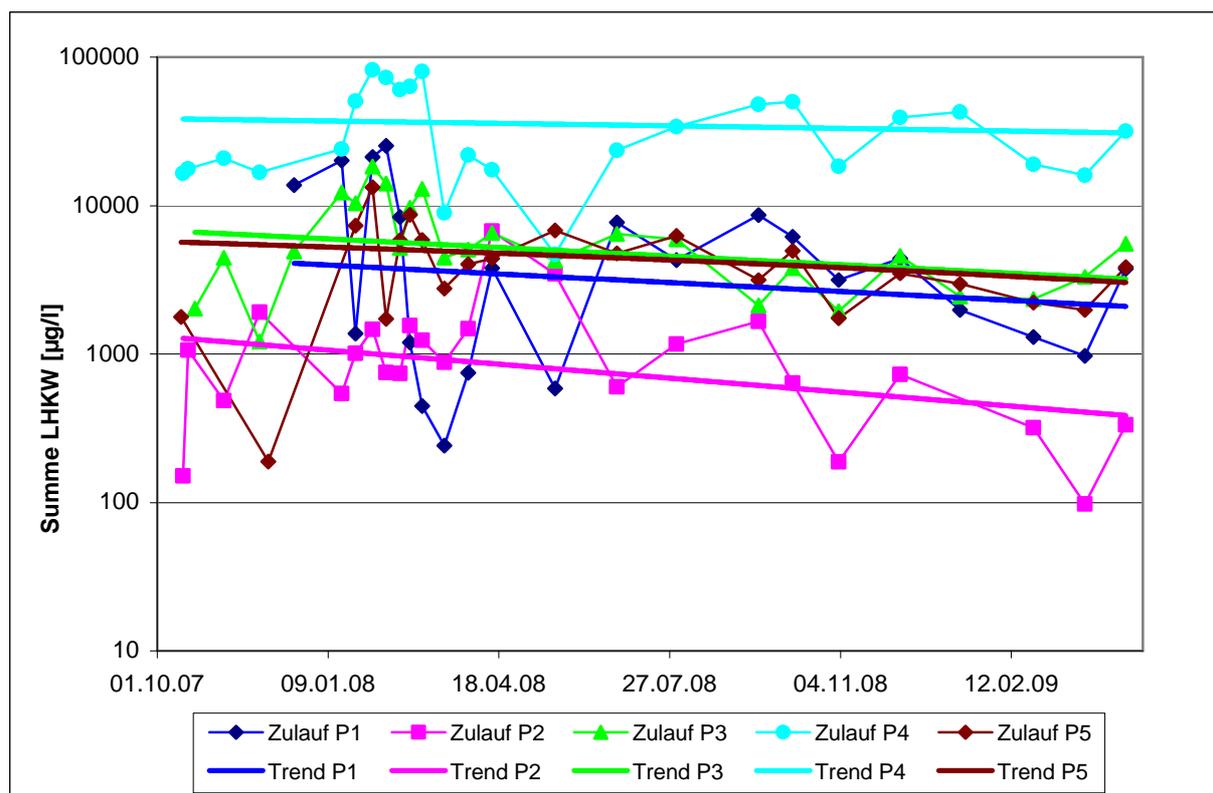


Abbildung 8: Verlauf der LHKW-Konzentration im Zulauf der PISAR

7.2.2 Ablauf PISAR

In dem nachfolgenden Diagramm (Abbildung 9) ist der Verlauf der Ablaufkonzentration der einzelnen PISAR graphisch dargestellt.

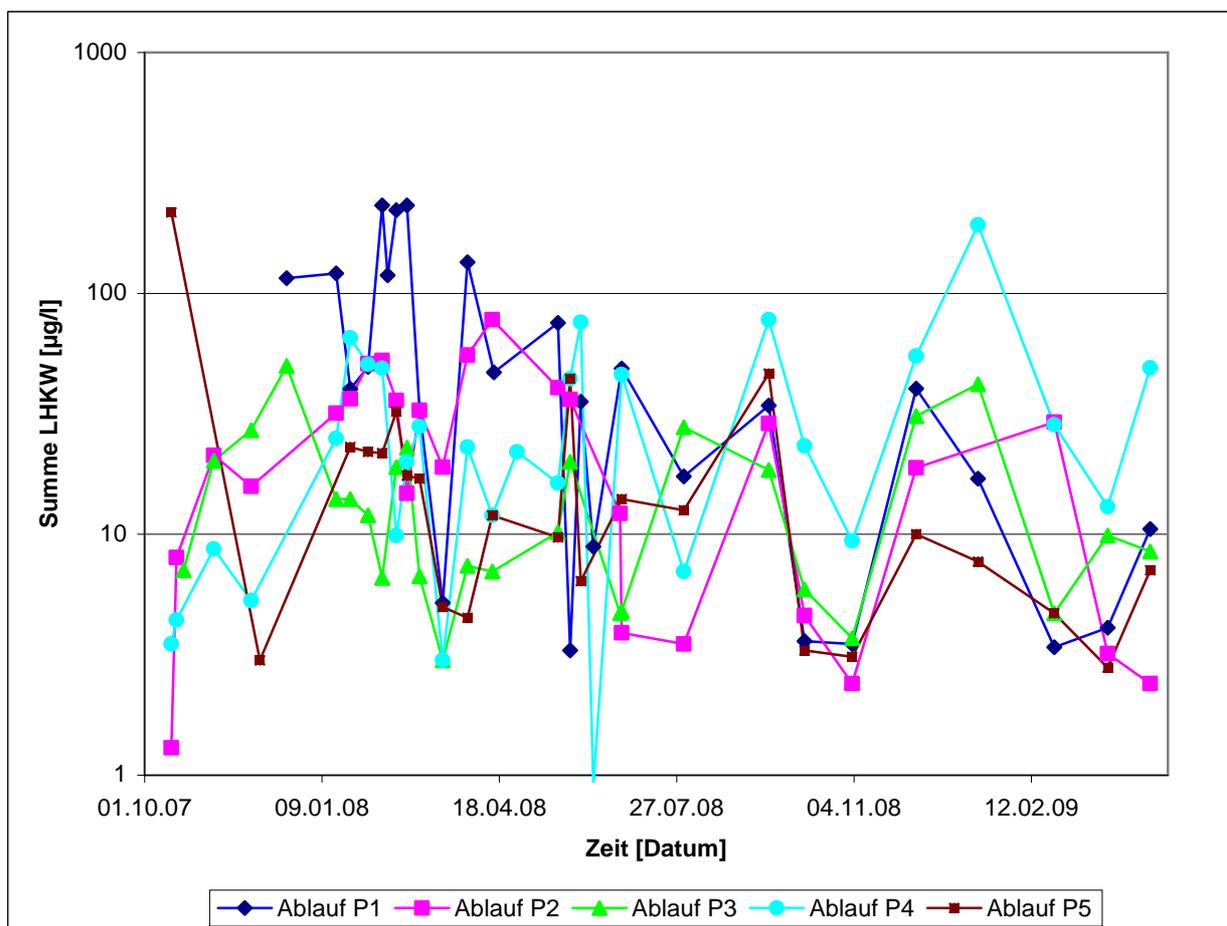


Abbildung 9: Verlauf der LHKW-Konzentration im Ablauf der PISAR

In allen Brunnen wurden zu Beginn sehr häufig Überschreitungen der zulässigen Ablaufkonzentration von 10 µg/l beobachtet. Selbst unmittelbar nach einem Aktivkohlewechsel (z. B. P1 am 15.01.08) wurden anschließend nicht erklärbar leicht erhöhte Gehalte an LHKW im Ablauf festgestellt. Ab etwa Mai 2008 zeigten die Ablaufkonzentrationen deutlich seltener Prüfwertüberschreitungen. Als mögliche Ursache der Prüfwertüberschreitungen trotz ausreichender Verweildauer (> 1 h) des Wassers im Reaktor wurde vermutet, dass die Diffusion der LHKW durch das HDPE-Rohr eine Rolle spielen kann, wodurch bereits gereinigtes Grundwasser beim Aufsteigen in der Steigleitung wieder Schadstoffe aufnimmt (vgl. Kapitel 8). Hohe LHKW-Gehalte wurden insbesondere in P4 und P1 gemessen (vgl. auch Tabelle 7).

	LHKW-Konzentration [$\mu\text{g/l}$]			mittlerer Anteil in %		
	Medianwert	Maximum	Minimum	PCE	TCE	DCEC
Ablauf P1	38	232	3	94,8 %	0,9 %	2,2 %
Ablauf P2	20	78	1	91,0 %	2,3 %	5,9 %
Ablauf P3	10	50	3	92,3 %	3,3 %	4,2 %
Ablauf P4	23	193	1	94,9 %	0,8 %	0,7 %
Ablauf P5	11	217	3	93,3 %	2,4 %	4,1 %

Tabelle 7: Ablaufkonzentrationen PISAR

Im Ablauf wurde in allen Reaktoren fast ausschließlich PCE mit einem Anteil von stets über ca. 91 % nachgewiesen, daneben trat untergeordnet cis-1,2-Dichlorethen (DCEC) bis max. ca. 6 % sowie Trichlorethen (TCE) mit max. ca. 3 % auf. Andere LHKW waren, wenn überhaupt, nur in Spuren nachweisbar.

Allerdings ist die Schadstoffmenge, die durch die PISAR-Reaktoren nicht zurückgehalten wird, vergleichsweise gering. Wird wie in Kapitel 7.2.1 ein Volumenstrom von 0,01 l/s je PISAR angesetzt, ergeben sich folgende Schadstoffmengen, die im Zeitraum Oktober 2007 bis April 2009 durch die PISAR in den Hauptgrundwasserleiter gelangten:

PISAR	Abgeströmte Schadstoffmenge (bis April 2009)
P1	0,018 kg LHKW
P2	0,010 kg LHKW
P3	0,008 kg LHKW
P4	0,017 kg LHKW
P5	0,004 kg LHKW
Gesamt:	0,057 kg LHKW

Tabelle 8: Geschätzter Schadstoffeintrag in den Hauptgrundwasserleiter über die PISAR

Insgesamt wurden im Beobachtungszeitraum von 19 Monaten ca. 57 g LHKW über die fünf PISAR in den Hauptgrundwasserleiter eingeleitet. Dies entspricht einer mittleren Schadstofffracht von $< 0,1 \text{ g/d}$ ($E_{\text{max}}W$ für LHKW = 20 g/d) im Gesamtablauf.

7.2.3 Bodenluftabsaugung

Am 26.05.2008 wurde mit der Bodenluftabsaugung begonnen. Im Sickerwasserstockwerk wurde aus den Messstellen KB1, KB4, KB11, KB13, KB18 und KB23, im Schwebenden Grundwasserleiter aus KB17, KB19, KB20, KB22, und P1 abgesaugt. Bisher konnten nahezu 160 kg LHKW über die Bodenluft aus dem Untergrund entfernt werden. In der nachfolgenden Grafik sind die Austragsmengen an LHKW über die Bodenluftabsaugung dargestellt.

Etwa 85 % der ausgetragenen LHKW stammen aus dem durch die PISAR entwässerten Schwebenden Grundwasserstockwerk, während aus dem Sickerwasserstockwerk lediglich etwa 15 % der LHKW entstammen.

Die LHKW setzen sich zu etwa 99 % aus PCE und ca. 1 % TCE zusammen. Andere LHKW wurden allenfalls in Spuren nachgewiesen.

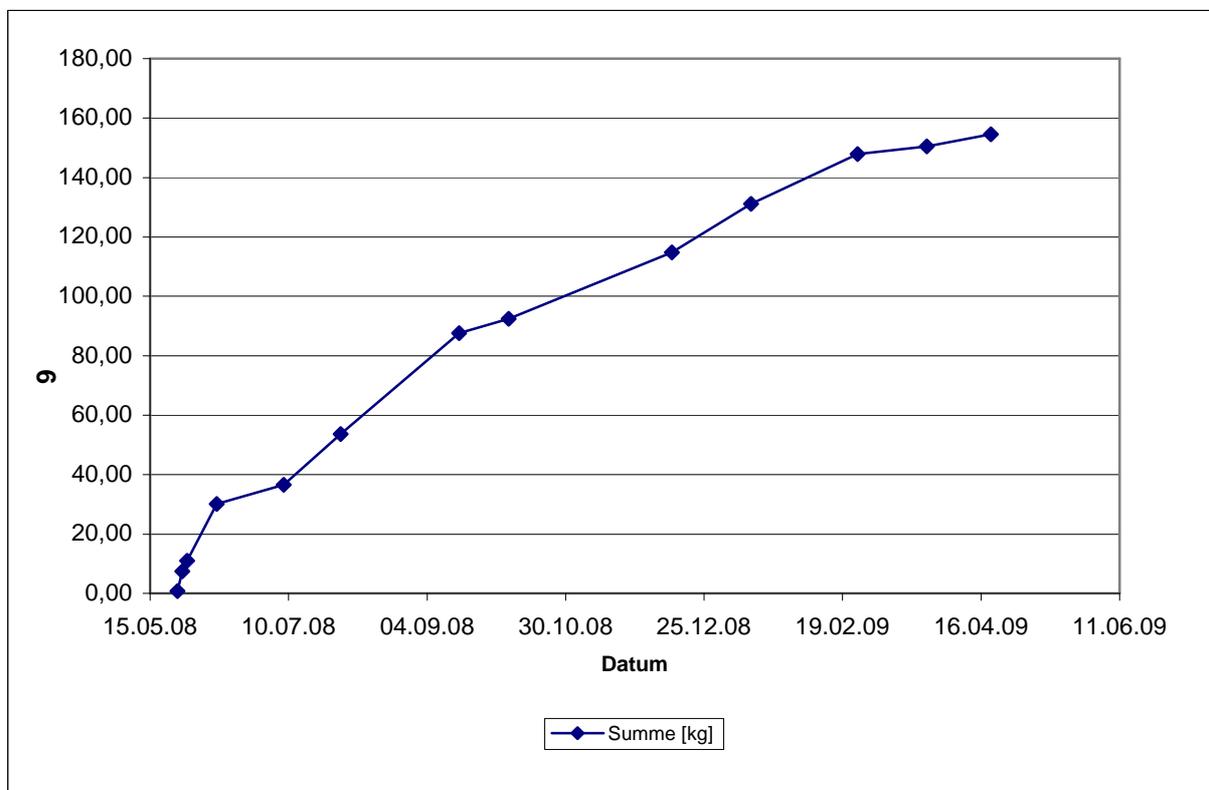


Abbildung 10: LHKW-Austrag über die Bodenluft

7.2.4 Sickerwasserfassung

Die Anlage zur Entnahme von Sickerwasser wurde im Juli 2008 installiert. Eine effektive Sickerwasserförderung aus den Messstellen KB1, KB11 und KB13 fand erst ab dem 17.09.2008 statt. Die Gesamtentnahmemenge lag auf Grund der geringen Durchlässigkeiten im Mittel insgesamt unter 0,01 l/s.

Insgesamt wurden starke Konzentrationsschwankungen im Zulauf der Anlage festgestellt. Ebenso zeigte auch die mittlere Förderrate erhebliche Schwankungen. Der Schadstoffaustrag über das Sickerwasser ist auf Grund des geringen Volumenstroms mit ca. 0,5 kg seit September 2008 als nur gering einzustufen. Allerdings erfolgt die Entnahme von Sickerwasser im Wesentlichen unter dem Aspekt der Entwässerung des Untergrundes, wodurch die Effektivität der Bodenluftabsaugung aus diesem Stockwerk gesteigert werden soll.

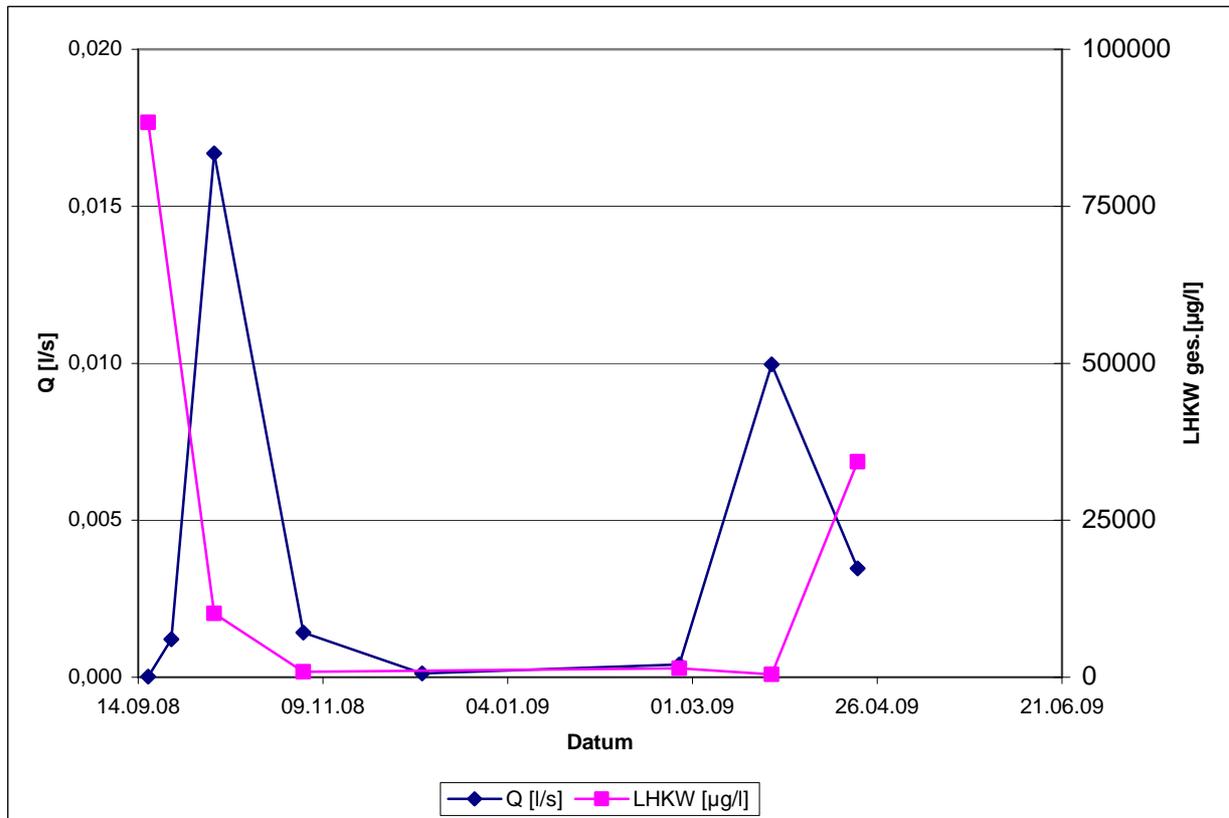


Abbildung 11: Verlauf der Sickerwasserfassung

7.2.5 Hauptgrundwasserleiter

Zur Überprüfung der Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen wurden gemäß dem Monitoring-Programm (vgl. Abschnitt 6.4.2) regelmäßig Proben aus Messstellen im Abstrom des Standortes aus dem Hauptgrundwasserleiter entnommen. Der Verlauf der Konzentrationsentwicklung in KB14, KB24 und 111-021/6 ist im nachfolgenden Diagramm dargestellt.

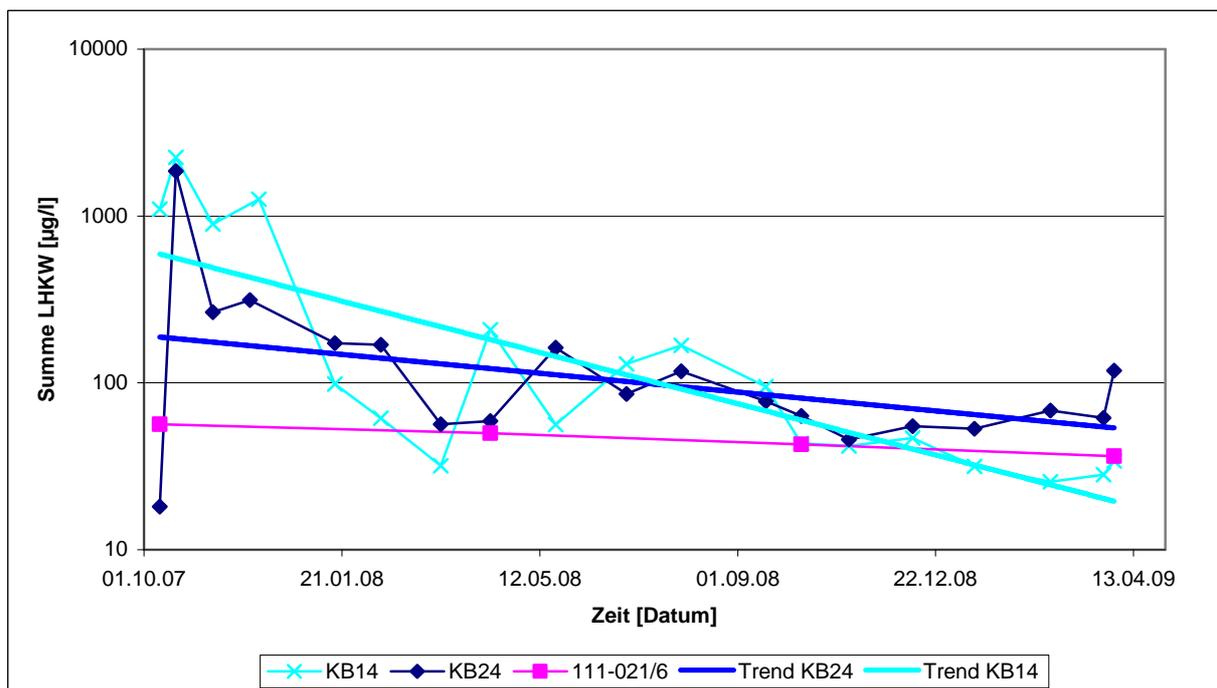


Abbildung 12: Konzentrationsentwicklung im Hauptgrundwasserleiter

In allen drei Beobachtungsmessstellen im Hauptgrundwasserleiter ist seit Sanierungsbeginn eine deutliche Abnahme der Schadstoffgehalte zu beobachten.

8 Bewertung und Diskussion

Im Zuge der Bohrarbeiten für die PISAR-Brunnen wurde offensichtlich, dass eine sehr sorgfältige Ausführung durch die Bohrfirma erforderlich ist. Die Brunnen müssen optimal an die Standortgegebenheiten angepasst und ausgebaut werden.

Insbesondere zu Beginn der Sanierung wurde häufig der Einleitgrenzwerte für LHKW (10 µg/l) im Ablauf der PISARen nicht ganz erreicht. Die Verweildauer des belasteten Grundwassers im Aktivkohlefilter beträgt bei einem Durchfluss von 0,01 l/s mehr als eine Stunde. Es kann damit ausgeschlossen werden, dass die teilweise erhöhten Ablaufwerte auf eine zu schnelle Durchströmung des Reaktors zurückzuführen sind.

Um zu überprüfen, ob möglicherweise andere, bislang unbekannte Wasserinhaltsstoffe zu einem Fouling der Aktivkohle führen, wurden drei Grundwasserproben auf den Summenparameter DOC (Dissolved Organic Carbon, gelöster organischer Kohlenstoff) untersucht (vgl. nachfolgende Tabelle).

Probenbezeichnung	Datum	DOC [mg/l]
P2 Zulauf	30.11.2007	0,60
P3 Zulauf	30.11.2007	< 0,10
P4 Zulauf	30.11.2007	0,19
P5 Zulauf	05.12.2007	1,10

Tabelle 9: Untersuchungen des Zulaufs auf DOC

Der DOC-Gehalt liegt typischerweise in Grundwässern im Bereich zwischen 0,5 und 1 mg/l, in Bereichen mit Mooren bis etwa 60 mg/l. Der höchste DOC-Gehalt am Standort wurde in P5 mit 1,1 mg/l gemessen. Die DOC-Gehalte zeigten somit keine besonderen Auffälligkeiten und dürften nicht zu einem nennenswerten Fouling der Aktivkohle führen.

Im nächsten Schritt wurde überprüft, ob ggf. eine Schadstoffdiffusion durch die HD-PE-Steigleitung ursächlich für LHKW-Einträge in bereits gereinigtes Grundwasser sein kann. Wie aus Abbildung 4 ersichtlich, erfolgt die Probenahme des gereinigten Grundwassers am Top der Steigleitung des Reaktors vor dem Übertritt in den Überlauf. Außerhalb der Steigleitung befindet sich je nach Beladezustand der Aktivkohle bereits mit LHKW belastetes Grundwasser, aus dem theoretisch Schadstoffe durch die HD-PE-Steigleitung ins gereinigte Wasser diffundieren könnten. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden am 25.09.2008 an zwei PISAR-Reaktoren (P4 und P5) jeweils Proben am Top sowie an der Basis der Steigleitung entnommen.

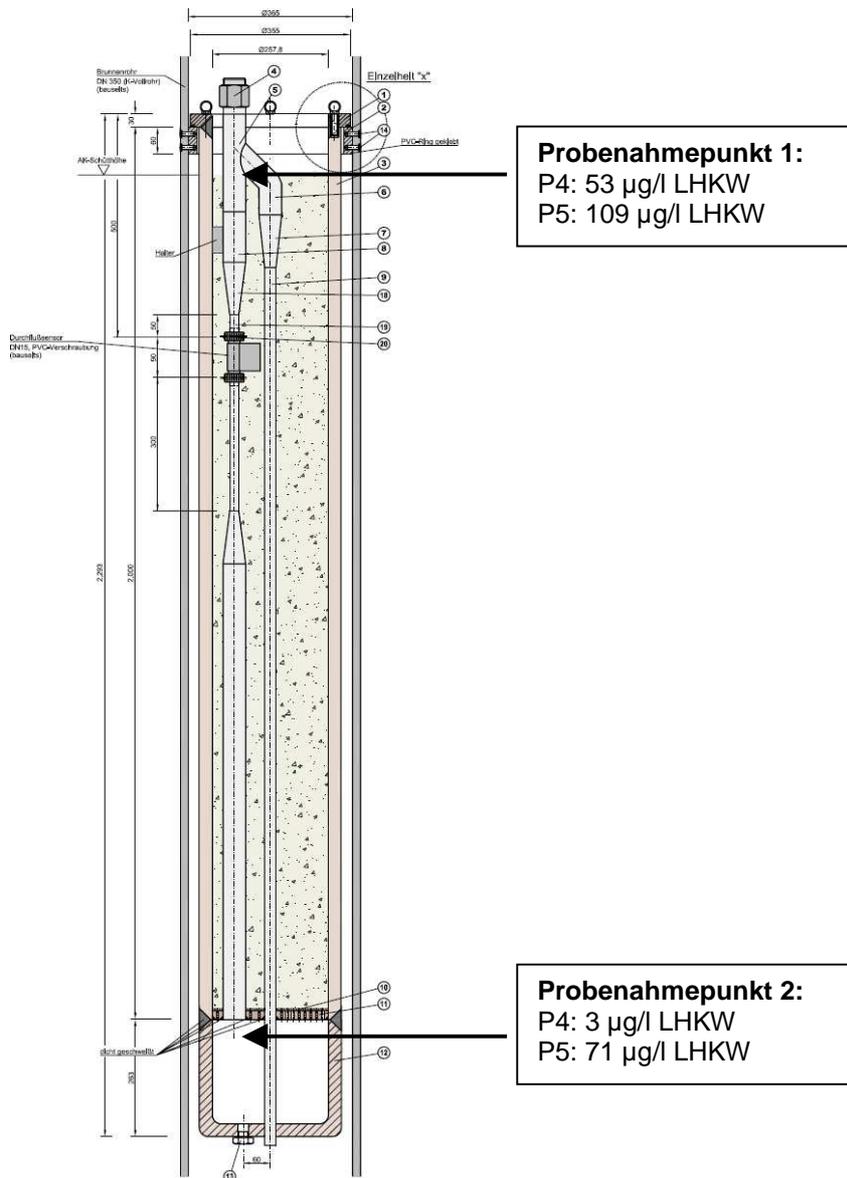


Abbildung 13: Ablaufbeprobung PISAR an unterschiedlichen Stellen

Im Prinzip wurde an beiden Probenahmestellen gereinigtes Wasser nach Passage der Aktivkohle beprobt. Bei Probenahmepunkt 2 erfolgte die Probenahme unmittelbar nach Passage der Aktivkohle, während bei Probenahmepunkt 1 vom gereinigten Wasser eine zusätzliche Wegstrecke um ca. 1,8 m nach oben innerhalb der Steigleitung zurückgelegt wurde. Beide Proben vom Probenahmepunkt 2 zeigten deutlich geringere Schadstoffgehalte, während bei Probenahmepunkt 1 etwa 40 µg/l bzw. 50 µg/l höhere Gehalte nachgewiesen wurden. Folgende Ursachen können zur Kontamination des gereinigten Grundwassers während des Aufstiegs durch die Steigleitung führen:

- Schadstoffdiffusion durch die Steigleitung
- Undichtigkeiten im Bereich der Wasseruhr, welche mit Flanschen und Viton-Dichtringen an der Steigleitung befestigt ist

Eine Druckprüfung der Steigleitung ergab keine Hinweise auf Undichtigkeiten, so dass davon auszugehen war, dass als maßgeblicher Störfaktor die Schadstoffdiffusion anzusehen ist. Auf tel.

Anfrage bestätigte Prof. Dr. Peter Grathwohl (Universität Tübingen), dass grundsätzlich eine Diffusion von LHKW durch HD-PE-Materialien nicht auszuschließen ist.

Daraufhin wurden an 2 PISAR-Reaktoren die HD-PE-Rohre im Inneren der Reaktoren gegen diffusionsdichte Leitungen aus Polyvinylidenfluorid (PVDF) ersetzt. Am 29.01.2009 wurde in P4 im Zuge eines Aktivkohlewechsels ein entsprechend umgebauter Reaktor eingesetzt. Die nachfolgend entnommenen Ablaufproben zeigten allerdings bislang noch keine Reduzierung der Ablaufkonzentration unter 10 µg/l (25.02.2009: 28,5 µg/l; 27.03.2009: 13 µg/l; 20.04.2009: 49 µg/l). Im Zuge des nächsten Aktivkohlewechsels (voraussichtlich Juni 2009) sollen an diesem Reaktor erneut an den in Abbildung 13 beschriebenen Probenahmepunkten Proben entnommen und auf LHKW überprüft werden. Sollte auch hier in Punkt 2 deutlich niedrigere Werte als in Punkt 1 gemessen werden, ist vorgesehen die Wasseruhr (Material PVC) aus der Steigleitung zu entfernen und ebenfalls durch PVDF-Rohr zu ersetzen.

Eine überschlägige Bilanzierung der Schadstoffmenge, die im Beobachtungszeitraum von 19 Monaten über den Ablauf der 5 PISAR in den Hauptgrundwasserleiter gelangte, beträgt (auf der sicheren Seite liegend, bei Annahme eines Volumenstroms von 0,01 l/s je PISAR) maximal ca. 57 g LHKW. Dies entspricht einer mittleren Schadstofffracht von < 0,1 g/d ($E_{\max}W$ für LHKW = 20 g/d) im Gesamtablauf aller PISARen. Diese Schadstofffracht dürfte zu keiner messbaren Erhöhung der LHKW-Konzentrationen im Hauptgrundwasserleiter führen.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass über die PISARen im Mittel über 99 % der Schadstofffracht aus dem belasteten Grundwasser entfernt wird (vgl. Tabelle 10). Der PISAR mit den höchsten Zulaufkonzentrationen erreicht sogar eine Reinigungsleistung von ca. 99,9 %.

	mittlere Zulaufkonzentration [µg/l]	mittlere Ablaufkonzentration [µg/l]	Reinigungsleistung
P1	6346	68	98,9 %
P2	1081	28	97,5 %
P3	6173	16	99,7 %
P4	35250	34	99,9 %
P5	4249	24	99,4 %
Mittelwert			99,1 %

Tabelle 10: Reinigungsleistung der PISARen

Insgesamt wurden bis April 2009 über die 5 PISARen etwa 21 kg LHKW ausgetragen. Dabei wurden etwa 760 kg Aktivkohle verbraucht. Durch den passiven Charakter des PISAR-Verfahrens wurden gegenüber einer klassischen pump & treat Variante bis April 2009 etwa 82.000 kWh Strom eingespart. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist, dass keine zusätzlichen Stellflächen für Anlagentechnik verbraucht werden, was insbesondere in Anbetracht der beengten Verhältnisse am Standort zu einer hohen Akzeptanz beim Auftraggeber führte. Ebenso ist das Verlegen und Frostsichern von Leitungen nicht erforderlich.

Die Sanierungsmaßnahmen zeigten zeitnah nach Sanierungsbeginn einen positiven Effekt auf die Konzentrationsentwicklung im Hauptgrundwasserleiter. In allen Messstellen wird seither eine deutliche Abnahme der LHKW-Belastungen beobachtet. Anhand der Sanierungsmaßnahmen konnte die LHKW-Emission von etwa 33 g/d (Stand Erkundungen 2004) auf aktuell ca. 11 g/d um etwa 2/3 reduziert werden. Der bisherige Verlauf der Sanierung ist somit als erfolgreich einzustufen.

Projektleiter

Projektbearbeiter

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Thomas Osberghaus'.A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Manfred Brenner'.

Thomas Osberghaus
Dipl.-Geologe

Manfred Brenner
Dipl.-Geologe

ANHANG

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999. BGBl I Nr. 36 S. 1554
- [2] Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten – Informationsblatt für den Vollzug. Stand 09.09.2004
- [3] Gesetz zum Schutz des Bodens vom 17. März 1998. BGBl. I Nr. 16 S. 502
- [4] Hipp/Rech/Turian: Das Bundes-Bodenschutzgesetz mit Bodenschutz- und Altlastenverordnung; Leitfaden. – 1. Aufl. – München; Berlin: Rehm, 2000
- [5] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Fortschreibung des Priorisierungsverfahrens zur Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg für den Pfad Boden-Oberflächengewässer. Entwurf, Karlsruhe, Stand 11.10.2004
- [6] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Die Amtsermittlung bei altlastverdächtigen Flächen nach § 9 Abs.1 BBodSchG (orientierende Untersuchung) - Hinweise für den Verwaltungsvollzug -; Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Band 39
- [7] Umweltministerium Baden-Württemberg: Verwaltungsvorschrift für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial vom 14.03.2007. GABI. Nr. 4 S. 172
- [8] Umweltministerium Baden-Württemberg: Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial. 13.04.2004
- [9] Sozialministerium und Umweltministerium Baden-Württemberg: Verwaltungsvorschrift über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen. Erlass vom 16.09.93 in der Fassung vom 01.03.98 mit Hinweisen der Landesanstalt für Umweltschutz, Stand 30.04.98. *Die VwV ist seit Ende 2005 nicht mehr gültig, jedoch wird insbesondere die einzelfallbezogene Mindestanforderung weiterhin angewendet.*
- [10] Umweltbundesamt (Hrsg.): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten. – Berlin: Erich Schmidt. Grundwerk, 1999.
- [11] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen, Bayerisches Staatsministerium des Innern, 5. Auflage, München
- [12] Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), 22. Auflage, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München, 2003
- [13] Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall) Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, vom 14.05.1993 (BBanz. Nr. 99a)
- [14] Hötzl/Giurgea: Oberflächenabdichtungen für Deponien – Stand der Technik. Hamburger Berichte, Deponietechnik 2004
- [15] Henken-Mellies: Die Bedeutung der Rekultivierungsschicht für die Wirksamkeit von Deponie-Oberflächenabdichtungen. Deponieseminar 3/2003
- [16] Gerdes: Alternative Oberflächenabdichtungssysteme. Neues aus Abfallrecht und Abfallwirtschaft, Landesamt für Naturschutz und Umwelt Schleswig-Holstein, 30.11.2000

Abkürzungsverzeichnis

AKW	Aromatische Kohlenwasserstoffe (s. auch BTEX)	MTBE	Methyl-Tertiär-Butylether
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene	m u. GOK	Meter unter Geländeoberkante
AP	Ansatzpunkt	m u. POK	Meter unter Pegeloberkante
As	Arsen	m ü. NN	Meter über Normalnull
BaP	Benzo(a)pyren (Einzelparameter der PAK)	MW	Mittelwasser
Ben	Benzol	μ	„Mikro“, 10 ⁻⁶
BG	Bestimmungsgrenze	n	„Nano“, 10 ⁻⁹
BN	Beweisniveau	Nap	Naphthalin (Einzelparameter der PAK)
BRI	Brutto-Rauminhalt	Ni	Nickel
BS	Baggerschurf	NN	Normalnull
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf	O ₂	Sauerstoff
BTEX	Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX-Aromaten)	OCP	Organochlorpestizide (Pflanzenschutzmittel)
Cd	Cadmium	OdB	Ort der Beurteilung
Cr	Chrom	OK	Oberkante
Cr VI	Chromat	OU	Orientierende Untersuchung
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
C _{SiWa}	Sickerwasserkonzentration	PAK-16	16 PAK-Einzelparameter nach EPA
Cu	Kupfer	PAK-15	PAK-16 ohne Naphthalin
Cyan. ges.	Cyanide gesamt	Pb	Blei
DCEC	Cis-1.2-Dichlorethen	PBSM	Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan	PCB	Polychlorierte Biphenyle
DK	Dieseldieselkraftstoff	PCDD	Polychlorierte Dibenzodioxine
DOC	Gelöster organischer Sauerstoff	PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
DU	Detailuntersuchung	PCE	Tetrachlorethen
EOX	Extrahierbare organisch gebundene Halogene	PCM	Tetrachlormethan
E _{max} -Wert	Maximaler Emissionswert	PCP	Pentachlorphenol
ET	Endtiefe	Per	Tetrachlorethen
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe	pH	pH-Wert
GFS	Geringfügigkeitsschwelle	POK	Pegeloberkante
GOK	Geländeoberkante	PP	Pumpprobennahme
GR	Glührückstand	PV	Pumpversuch
GV	Glühverlust	Redox	Redoxpotenzial
GW	Grundwasser	RC	Recycling
GWL	Grundwasserleiter	RKB	Rammkernbohrung
GWM	Grundwassermessstelle	RKS	Rammkernsondierung
GWN	Grundwasserneubildung	SBV	Schädliche Bodenveränderung
H-B	Hintergrundwert Boden	SG	Schürfgrube
HCB	Hexachlorbenzol	SM	Schwermetalle
HCH	Hexachlorcyclohexan	SPR	Simultane Pumprate
γ-HCH	Gamma-Hexachlorcyclohexan = Lindan	Stk.	Stück
HEL	Heizöl (leicht)	SWM	Sickerwassermessstelle
Hg	Quecksilber	T	Temperatur
HU	Historische Untersuchung	TC	Gesamter Kohlenstoff
H-W	Hintergrundwert Wasser	TCE	Trichlorethen
IMPv	Immissionspumpversuch	TK	Topographische Karte
KPv	Kurzpumpversuch	TI	Thallium
KRB	Kleinrammbohrung	TM	Trockenmasse (entspricht Trockensubstanz)
KW (GC)	Kohlenwasserstoffe (Gaschromatograph)	TOC	Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff
Lf	Elektr. Leitfähigkeit	TR	Trockenrückstand
LHKW	Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe	Tri	Trichlorethen
MHW	Mittleres Hochwasser	TS	Trockensubstanz
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe	VC	Vinylchlorid
MNW	Mittleres Niedrigwasser	VK	Vergaserkraftstoff
MP	bei Wasserstandsmessungen: Messpunkt	WA	Wiederanstieg
MP	bei Proben: Mischprobe	WGK	Wassergefährdungsklasse
		Zn	Zink