

## Tracerversuch

### zur Bestimmung der Grundwasser-Fließverhältnisse am Altstandort *ehemalige Großwäscherei Ferster* in Bornheim-Roisdorf

**Auftraggeber:** AAV Altlastensanierungs- und Altlastenaufbereitungsverband NRW

**Auftragnehmer:** Institut für Wasserbau, VEGAS, Universität Stuttgart

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. (FH) Oliver Trötschler,  
Dipl. Geoök. Tobias Heitmann,  
Dr.-Ing. Norbert Klaas

**Ausführungszeitraum:** 17.03.2009 – 23.07.2009

### Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung .....	1
2	Beschreibung des Standorts .....	2
3	Durchgeführte Untersuchungen am Standort .....	3
3.1	Kurzpumpversuche .....	3
3.2	Verdünnungsversuch .....	4
3.3	Tracerversuche .....	4
4	Die wichtigsten Ergebnisse der Tracer-Untersuchungen .....	6
4.1	Ergebnisse des Markierungsversuchs .....	6
4.2	Hydraulische Abstomsicherung .....	8
5	Zusammenfassung der Tracerversuche .....	10
6	Unterlagen und verwendete Literatur .....	12

# 1 Veranlassung

Auf dem Altstandort der ehemaligen Großwäscherei Ferster werden seit 1993 Maßnahmen zur Sanierung der wasserungesättigten Bodenzone (Bodenluftabsaugung) und zur Grundwassersanierung (pump & treat) durchgeführt. Seit Beginn der Maßnahmen wurden mit der Bodenluftabsaugung ca. 5 t CKW und mit der hydraulischen Maßnahme ca. 1,5 t CKW gefördert. Die Grundwassersanierung wurde bis Ende 2009 mit zwei Nass-Aktivkohleanlagen im Bereich des Altstandortes und im nahen Unterstrom durchgeführt. Die Grundwassersanierung in nahen Unterstrom wurde Ende 2009 wegen der inzwischen stark gesunkenen Schadstoffgehalte eingestellt.

Aufgrund der im Bereich des Altstandortes stagnierenden Schadstoffbelastungen wurden im Jahre 2005 im Bereich des Kernschadens Direct-Push Untersuchungen durchgeführt, um die Schadstoffsituation erneut zu untersuchen. Dabei wurden lokal massive Schadstoffbelastungen festgestellt, so dass man sich zu unterstützenden In-situ-Maßnahmen entschloss, um die Sanierungsdauer zu verkürzen.

Im Jahre 2007 wurde eine innovative In-situ-Maßnahme zum reduktiven Abbau von CKW durchgeführt, um die Quellstärke des Schadensherds deutlich zu reduzieren.

Hierzu wurden bis zu Tiefen von ca. 22 m unter GOK zehn Injektionspegel (Manschettenrohre) sowie zur Überwachung des Abstroms aus dem Herdbereich fünf Multilevel-Überwachungspegel (CMT-Messstellen) in einer Kontrollebene installiert, die außerhalb des vermeintlichen Schadensherds angeordnet wurde.

Die Injektion der Eisensuspension erfolgte in der Zeit vom 15. August bis 10. September 2007. Insgesamt wurden dabei ca. 3000 kg Eisen (ca. 1000 kg Nano-Eisen und ca. 2000 kg feinstes Mikro-Eisen) als wässrige Suspension mit einer Konzentration von ca. 90 g/l Eisen injiziert. Die Injektion der ca. 34 m<sup>3</sup> Eisensuspension erfolgte über zehn Injektionspegel in den Aquifer in einer Tiefe von ca. 16 - 22 m u. GOK, wobei die injizierbaren Volumina pro Injektionspunkt teilweise unterschiedlich waren.

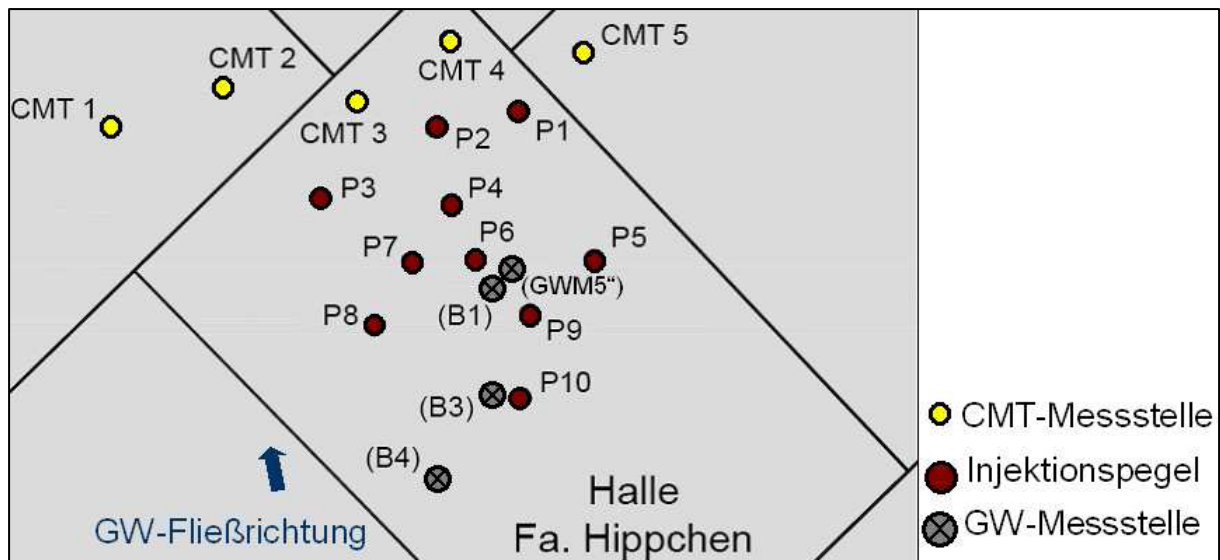
Die ursprünglich im Herdbereich angestrebte Schadstoffreduktion wurde nur teilweise erreicht, so dass auch weiterhin ein akuter Handlungsbedarf zur Fortführung der Sanierung besteht. Auf Vorschlag von VEGAS wurde beschlossen, einen Tracerversuch zur Bestimmung der Fließverhältnisse zwischen Injektionsfeld und CMT-Messebene durchzuführen, um damit die Datenlage zur Bewertung der aktuellen Schadstoffsituation zu verbessern.

Die Durchführung des Tracerversuchs erfolgte durch VEGAS auf der Grundlage einer wasserrechtlichen Erlaubnis [7] durch die zuständige untere Wasserbehörde (Rhein-Sieg-Kreis, Amt für Technischen Umweltschutz). Die hydraulischen Voruntersuchungen und der Tracerversuch wurden im Zeitraum 17.03.09 – 23.07.09 durchgeführt.

## 2 Beschreibung des Standorts

Das Gelände der ehemaligen Großwäscherei „Ferster“, Bonner Straße 15a, 53332 Bornheim, Gemarkung Bornheim-Roisdorf (Flur 13, Flurstück 1298), befindet sich am Rande der mittelhessischen Niederterrasse, die vorwiegend aus Kiesen und Sanden besteht. Die schadstoffbelasteten Bereiche wurden im Vorfeld der In-situ-Sanierungsmaßnahme (Nano-/Mikro-Fe-Injektion) durch MIP-Sondierungen sowohl vertikal wie horizontal abgegrenzt. Der Sanierungsbereich umfasste eine Fläche von ca. 130 m<sup>2</sup>. Die verunreinigte gesättigte Bodenzone wurde zwischen 16 und 22 m u. GOK lokalisiert [1].

Am unterstromigen Rand des Schadenszentrums wurde die Kontrollmessebene der 5 CMT-Messstellen eingerichtet (s. Abbildung 1). Etwa im Zentrum des Schadens und auch der späteren Fe-Injektionen befinden sich die Grundwassermessstellen B1 (2“) = 7024-75 und B1“neu“ (GWM5“) = 7024-82.



**Abbildung 1: Lageplan des Standorts mit den Injektionsstellen der Fe-Injektion und den CMT-Messstellen, nach [3]**

Die hydraulischen Kennwerte des Untersuchungsgebiets sind entsprechend [2, 3] in Tabelle 1 zusammengestellt. Das Ruhepotenzial des Aquifers im Bereich der Niederterrasse des Rheins liegt bei ca. 15,5 m u. GOK.

Der Aquifer kann als Porengrundwasserleiter mit guter hydraulischer Leitfähigkeit charakterisiert werden ( $k_f = 1 - 5 \times 10^{-3}$  m/s, Angabe Herr Schäfer, Dr. Tillmanns & Partner). Unter Annahme einer effektiven Porosität von 0,25 und einem Gradienten von 2‰ ergibt sich eine geschätzte Abstandsgeschwindigkeit von ca. 0,5-2,5 m/d.

**Tabelle 1: Hydraulische Kennwerte des Untersuchungsgebiets**

Grundwasserspiegel	44,5 - 45,5 m NN
Grundwässermächtigkeit	> 7 m
Mittlere hydraulischer Durchlässigkeit $k_f$ (Angaben Standortingenieursbüro Dr. Tillmanns & Partner)	$1-5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
Effektive Porosität $n_{\text{eff}}$	Annahme 0,25
Mittlere Transmissivität T	$7 - 20 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
Mittlerer hydraulischer Gradient $\Delta h/\Delta L$	0,0005-0,002
Grundwasserfließrichtung (nach Isohypsenplänen)	270° - 315°

### 3 Durchgeführte Untersuchungen am Standort

Angesichts des sehr geringen hydraulischen Gradienten im Grundwasser und der zum Teil widersprüchlichen Daten, sollten die hydraulischen Bedingungen (Fließrichtung, Abstandsgeschwindigkeit) am Standort geklärt werden. Dazu wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- (1) Kurzpumpversuche zur Auswahl des Zugabebrunnens
- (2) Verdünnungsversuch zur Bestimmung der Zugabetiefe im Zugabebrunnen
- (3) Tracerversuch mit zweimaliger Aufgabe des konservativen Markierungsstoffs Uranin.

#### 3.1 Kurzpumpversuche

Im zentralen Bereich des ehemaligen Nano-Eisen-Injektionsfeldes gelegenen Tracer-Zugabestellen kamen die Grundwassermessstelle B1neu GWM5" (7024-82) oder die Messstelle B1 2", (7024-75) für die Zugabe des Tracers in Frage. Zur Vorauswahl wurden in diesen Brunnen Kurzpumpversuche zur Bestimmung der hydraulischen Anbindung und Durchlässigkeit durchgeführt. Dabei wurde an beiden Messstellen nacheinander Grundwasser über eine Dauer von 30 min gefördert und die Absenkung im jeweiligen Förderbrunnen, bzw. der nahe gelegenen nicht bepumpten Grundwassermessstelle als Beobachtungsmessstelle bestimmt. Analog wurde nach Ausschalten der Grundwasserförderung der Wiederanstieg bestimmt. Aus den Daten kann unter dem Ansatz eines ungespannten Aquifers die hydraulische Durchlässigkeit bestimmt werden.

## 3.2 Verdünnungsversuch

Aufgrund der hydraulisch guten Anbindung des GWM5“ Brunnens wurde dieser als Zugabebrunnen ausgewählt und vor der Tracerzugabe die optimale Zugabestelle über einen Tracerabklingversuch [8] (Verdünnungsversuch) ermittelt. Mittels eines Dirac-Impulses, also ein „schlagartigen“ Zugabe wurde Tracerfarbstoff (Uranin) hochkonzentriert (100 mg in 100 ml) zugegeben. Eine Grundwasserförderpumpe (MP1, 2“) diente der Durchmischung des Tracerfarbstoffs im Brunnenraum über einen Zeitraum von ca. 30 min. Über Einhängen von Lichtleitern auf sieben unterschiedlichen Tiefen konnte die lokale hydraulische Anbindung des 5“-Brunnens mit vertikaler Auflösung bestimmt werden. Die vergleichsweise hohe Filtergeschwindigkeit im oberen Bereich des Grundwasserleiters (16 – 17 m) führte zur Entscheidung, den Tracer dort zuzugeben.

## 3.3 Tracerversuche

Als Tracer wurde Uranin ( $C_{20}H_{10}O_5Na_2$ ) eingesetzt, wobei die Tracerkonzentration unterstromig der in hydraulischen Vorversuchen ausgewählten Zugabestelle GWM5“ (7024-82) und an der CMT-Messstellenebene CMT1 – CMT5 durch Lichtleiterfluorometer in verschiedenen Ebenen kontinuierlich erfasst und dokumentiert wurde. Im 14-tägigen Rhythmus wurden ab Mai 2009 (48 Tage nach Versuchsbeginn) zusätzlich Grundwasserproben an den CMT-Messstellen genommen und auf Uranin analysiert. Die Analyseergebnisse dieser Probenahmereihe wurden zur Validierung / Kalibrierung des Fluorometers herangezogen. 70 Tage nach Versuchsbeginn wurden die einzelnen Lichtleitersonden zu Kontrollzwecken nochmals einzeln kalibriert.

Ab Mitte Mai 2009 (56 Tage nach Start des Tracerversuchs) konnte zusätzlich noch eine kontinuierlich arbeitende Fluoreszenz-Messeinrichtung im Grundwasserentnahmestrom des Brunnens Br.2 (7024-36) der Grundwassersanierungsanlage installiert werden. Auch hier wurden 14-tägig Kontrollproben genommen.

Die Bestimmung der Uraninkonzentrationen erfolgte mit einem 18-Kanal-Fluorometer über Kunststoff-Lichtleiter, die entsprechend den Filterstrecken in den jeweils drei Tiefen der fünf CMT Messstellen (insgesamt 15 Messpunkte) installiert wurden. Die Lichtleiter wurden zum zentralen Fluorometer geführt. Die hieraus resultierenden langen Lichtleiter bedingen aufgrund der Signaldämpfung eine vergleichsweise hohe Nachweisgrenze von 5 - 30  $\mu\text{g/l}$  Uranin, je nach Länge und Verlegung der Lichtleiter. Die Messdaten des Fluorometers wurden über ein Datenerfassungssystem aufgezeichnet und werktätig via Funknetz abgerufen und ausgewertet.

### 3.3.1 Erste Tracerzugabe

Der Tracer wurde am 18.03.09 im Brunnen 7024-82 zwischen zwei Packern (16,9 – 17,7 m u. GOK) als Dirac-Impuls zugegeben. Die Tracerzugabe erfolgte mit einer Masse von 2,4 g Uranin und einem Volumen von 100 mL. Es wurde mit ca. 10 L Wasser über eine Stunde Dauer nachgespült. Mittels einer Fluoreszenz-Messeinrichtung und dem zwischen den Packern eingebauten Lichtleiter wurde das Abklingverhalten des

Markierungsstoffs Uranin bestimmt. Unter Kenntnis der Brunnengeometrie wurde entsprechend der Bohrlochverdünnungsmethode [8] die Filtergeschwindigkeit im Aquifer bestimmt und mit Hilfe der Ergebnisse der Kurzpumpversuche die anstehende Abstandsgeschwindigkeit im Brunnennahbereich abgeschätzt.

### **3.3.2 Zweite Tracerzugabe**

In Folge der linienförmigen Traceraufgabe in den 5“ Brunnen mit einem resultierenden schmalbandigen Tracerdurchbruch an der Messstelle CMT4 wurde 7 Wochen nach der ersten Tracerzugabe am 06.05.09 in einer zweiten Tracerzugabe 6 g Uranin, gelöst in einem deutlich größeren Volumen (ca. 156 l) als Dirac-Impuls zugegeben, um eine Aufweitung der Tracerwolke zu induzieren. Die Zugabe dauerte ca. 1,5 h.

Zur Gewährleistung einer kontinuierlichen Umströmung der Lichtleiter im Filterbereich der CMT wurde auf der obersten Ebene aller CMT, sowie in CMT4.2 Mini-Druckluftpumpen installiert und ab Beginn des zweiten Tracerversuchs betrieben.

Nach erfolgtem Tracerdurchbruch an der Messstelle CMT4 und einer aufgrund der geringen Abstandsgeschwindigkeit angemessenen Betriebszeit von über 120 Tagen wurde der Tracerversuch beendet.

## 4 Die wichtigsten Ergebnisse der Tracer-Untersuchungen

### 4.1 Ergebnisse des Markierungsversuchs

Der Tracerversuch wurde mit zweimaliger Tracerzugabe im Abstand von 7 Wochen durchgeführt.

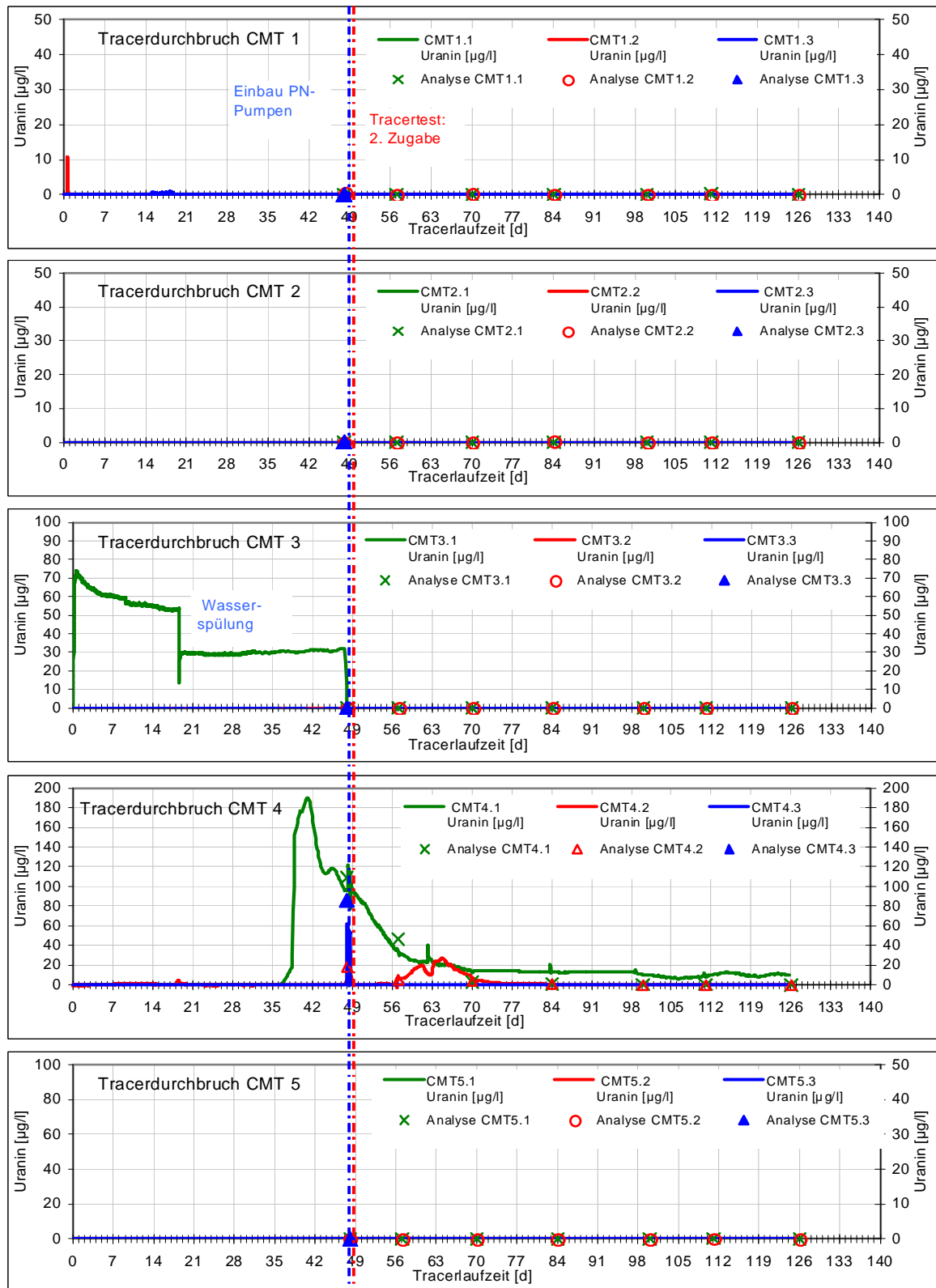


Abbildung 2: Durchbruchverhalten Tracerversuch an allen CMT-Messstellen

Aufgrund des hydraulisch geringen Erfassungs-, bzw. Durchströmungs- und Durchmischungsbereichs der CMT Filterstrecken wurde während der zweiten Tracerzugabe ein vergleichsweise hohes Volumen zugegeben, wodurch eine möglichst große Spreizung des Tracers erreicht werden sollte. Das vergleichsweise hohe Zugabevolumen sollte zu einer horizontalen und vertikalen Aufweitung der Tracerwolke über den Brunnenfilterbereich führen und somit auch der Bestimmung der Querdispersion dienen.

Im Verlauf der Untersuchungen zeigte sich jedoch, dass einzig die Messstelle CMT4 von Uranin durchströmt wurde (Abbildung 2). Es konnte kein Tracerdurchbruch an den anderen CMT Messstellen bestimmt werden. Damit war auch keine Bestimmung der Querdispersion möglich.

Die Notwendigkeit des Einbaus von Mini-Druckluftpumpen zur aktiven Durchströmung des CMT-Filterbereichs und kontinuierlicher, gesicherter Umströmung der Lichtleiter zeigt sich deutlich an der Messstelle CMT3.1. Diese zeigte unrepräsentativ hohe und unveränderliche Werte, die wahrscheinlich auf Streulichteinflüsse verursacht durch Trübstoffe zurückzuführen sind. Erst nach Einbau der Druckluftpumpen fielen die Messwerte schlagartig ab, auf einen Wert, der durch die periodische Probenahme und Analyse im Labor bestätigt wurde.

Aus dem Tracerdurchbruchverhalten lässt sich eindeutig die Grundwasserfließrichtung zu NNW bestimmen (**Abbildung 3**). Dies entspricht der Auswertung der Grundwasserisohypsenpläne [6].

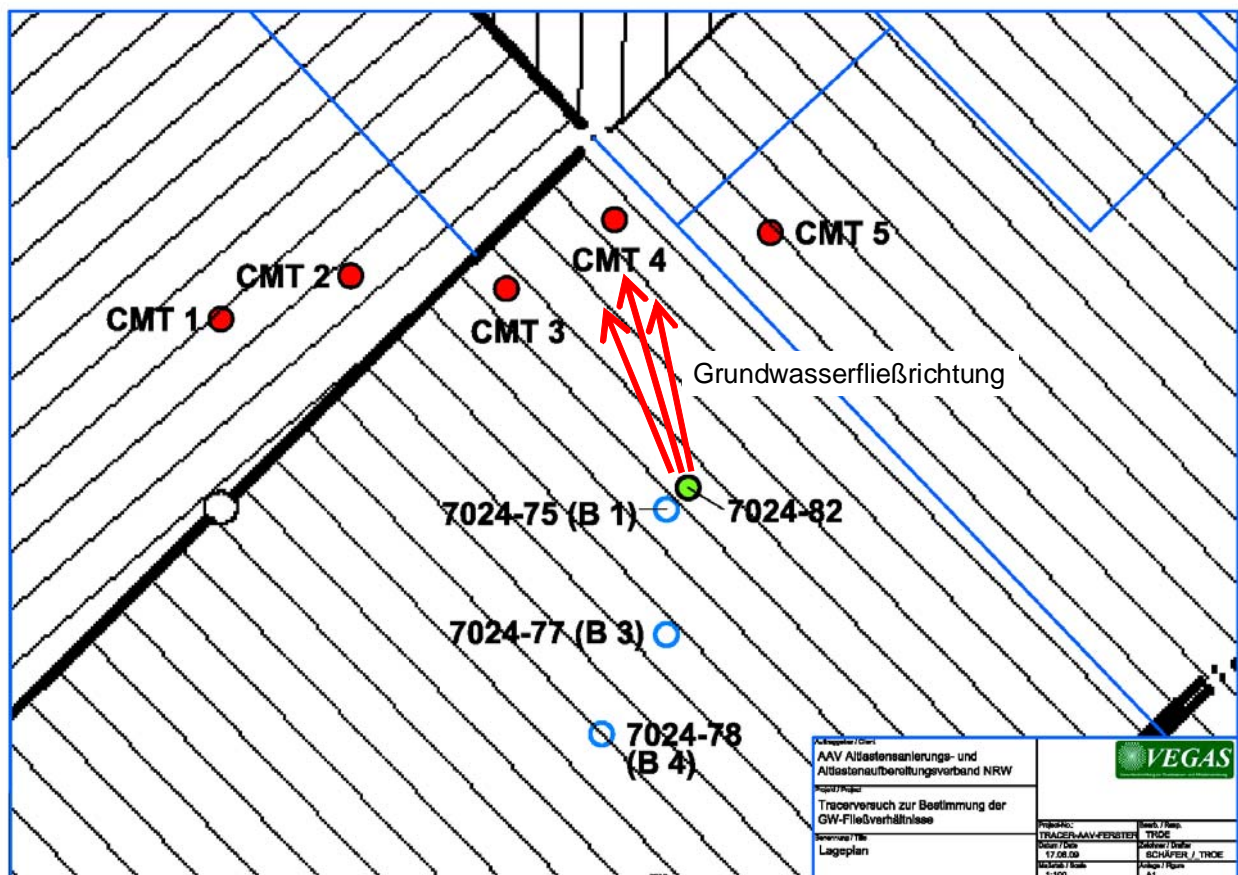
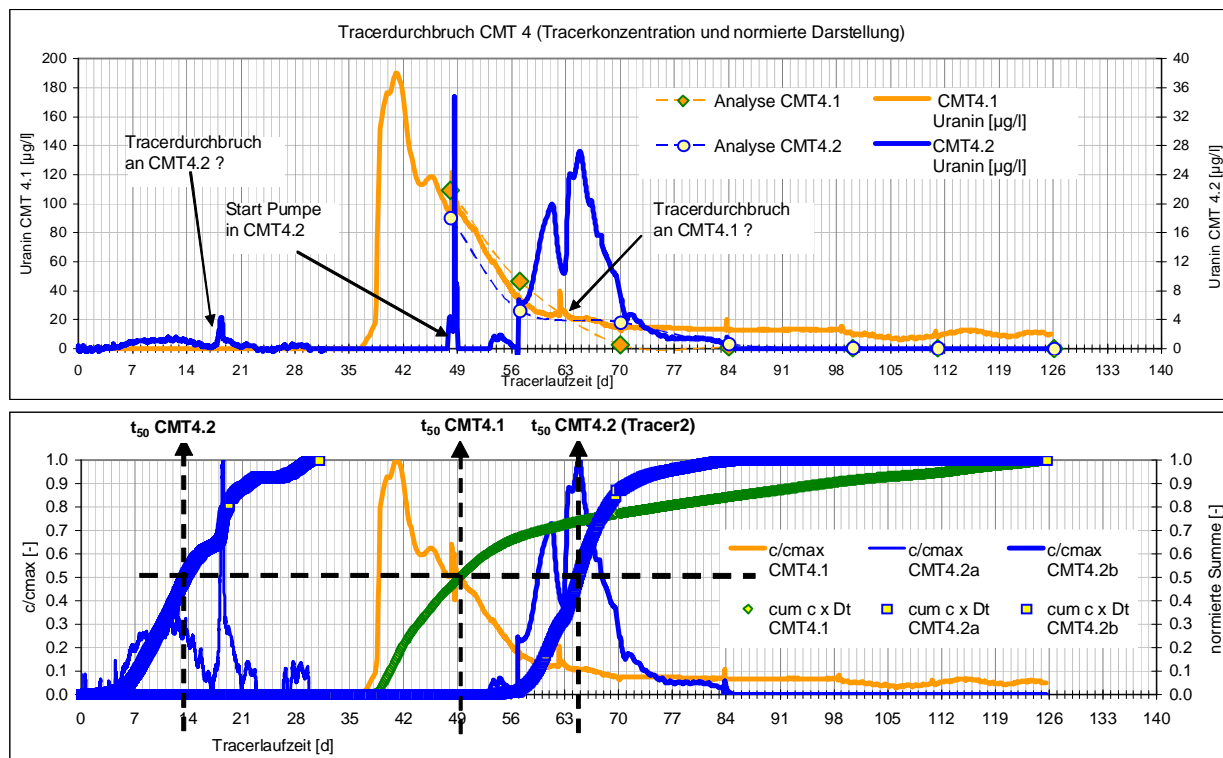


Abbildung 3: Lageplan mit GW-Fließrichtung entsprechend Tracerversuch



Die Auswertung der Uranintracertests erfolgte mittels der Momentenmethode nach Käss [10] zur Bestimmung der dominanten Abstandsgeschwindigkeit zwischen Zugabe und Entnahmebrunnen (Abbildung 4). Nach Käss wird zunächst anhand der Tracerdurchbruchskurve ( $c(t)$ ) die normierte Summenkurve ( $c(t) \cdot \Delta t / (\sum(c(t) \cdot \Delta t))$ ) berechnet und die mittlere Abstandsgeschwindigkeit  $v_a$  bestimmt. Der Kurvenverlauf des Tracerdurchbruchs wird analysiert und die Zeiten der Standardabweichung (16%, bzw. 84% der normierten Summenkurve) bestimmt.



**Abbildung 4: Durchbruch und Darstellung zur Bestimmung der hydrodispersiven Kennzahlen an CMT4**

Anhand der Daten der mittleren Abstandsgeschwindigkeit und den Zeiten der Standardabweichungen und der Zeit des 50%-Werts der normierten Summenkurve kann der Dispersionskoeffizient  $D_L$ , bzw. die Längsdispersivität  $\alpha_L$  bestimmt werden.

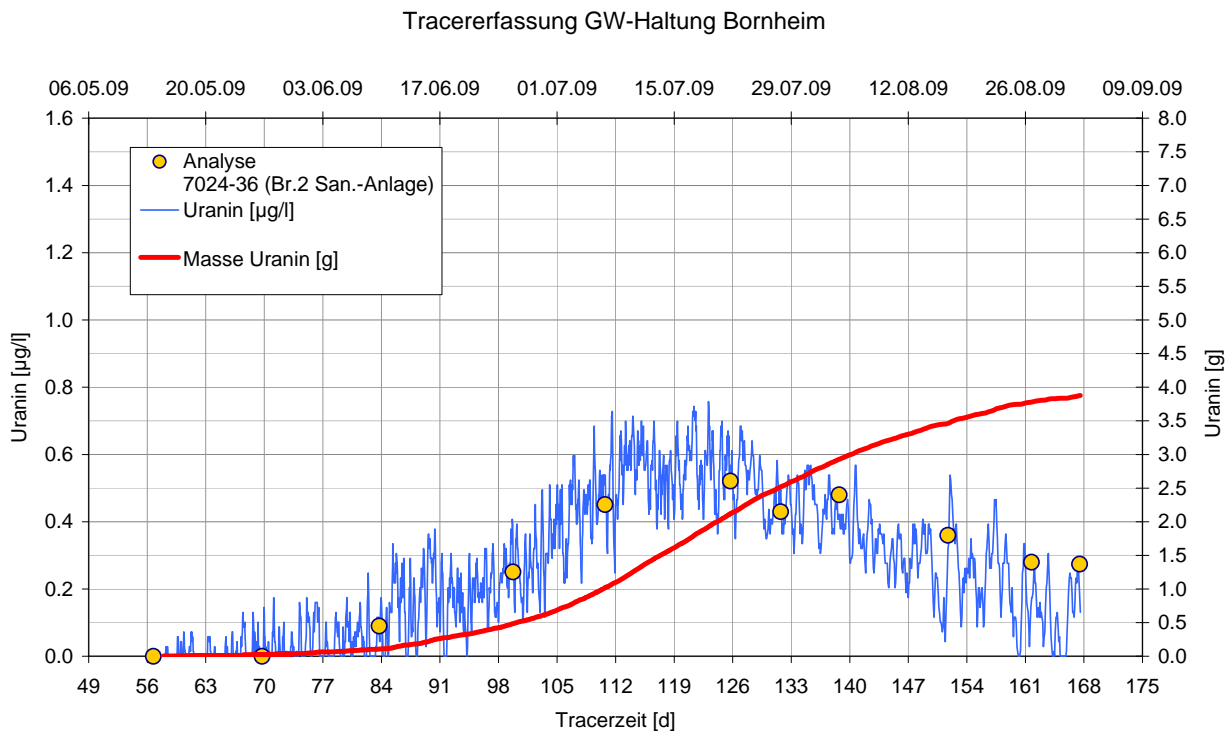
Der Markierungsversuch bestätigte annähernd die über die Verdünnung bestimmten Werte der Abstandsgeschwindigkeit. Der gesichert bestimmte Wert der Abstandsgeschwindigkeit für den Tracerdurchbruch an CMT4.1 (Teufe ca. 17 m) liegt bei 0,14 m/d und bezieht sich auf die erste Tracerzugabe.

### 4.2 Hydraulische Abstomsicherung

Die Erfassung des zugegebenen Tracers über die Grundwassersanierungsanlage mit Entnahme von ca. 5,5 m<sup>3</sup>/h am nördlich des Schadenszentrums gelegenen Brunnen Br.2 (7024-36) belegt die hydraulische Sicherung des Standorts. Der Tracer konnte erstmals am 10.06.09 (84 Tage nach Beginn des Tracerversuchs) analytisch bestimmt werden. Anhand des vorläufig festgestellten Maximalwerts der Uraninkonzentration von

0,52 µg/l am 126. Tag nach Versuchsbeginn (22.07.09) und einem Abstand von ca. 36 m zwischen Zugabebrunnen und Grundwassersicherungsbrunnen kann die Abstandsgeschwindigkeit auf 0,25 m/d abgeschätzt werden.

Problematisch ist aufgrund der geringen Konzentrationen eine Massenbilanzierung des Austrags, die Nachweisgrenze des an Br.2 eingesetzten Fluorometers liegt bei 0,2 µg/l. Die stichprobenartig genommenen Wasserproben mit Analysen im Labor (gelbe Punkte, Abbildung 5) zeigen jedoch die gute Übereinstimmung zwischen den Laboranalysen und der Online-Messung auf.



**Abbildung 5: Tracererfassung durch Grundwassersanierungsanlage**

Bis zum Zeitpunkt des Rückbaus der Messeinrichtungen am Standort am 22.07.09 wurden ca. 2,2 g Uranin über die Sanierungsanlage dem Aquifer entnommen. Die im weiteren Verlauf, bis zum 02.09.09 genommenen Stichproben zeigen das Abklingen des Tracerdurchbruchs. Bis zum 02.09.09 wurden demnach 3,9 g Uranin über die Grundwassersanierungsanlage erfasst. Es ist zu erwarten, dass zwar nicht die gesamte Tracermasse von 8,4 g Uranin über den Sanierungsbrunnen abgeführt werden, jedoch eine weitreichende und wirtschaftlich akzeptable Abstromsicherung betrieben wird. Zur sicheren Erfassung des gesamten Tracers, bzw. der gesamten Emissionen des Schadensherds sollte wohl eine höhere Förderrate angelegt werden.

## 5 Zusammenfassung der Tracerversuche

Im Bereich der ehemaligen Großwäscherei Ferster in Bornheim-Roisdorf liegt eine CKW-Verunreinigung (primär PCE) des vorwiegend aus Kiesen und Sanden der mittelhessischen Niederterrasse bestehenden Aquifers vor, die bereits seit 1993 saniert wird. Trotz des guten Sanierungserfolgs – inzwischen wurden ca. 6,5 t CKW gefördert - liegen lokal immer noch massive Schadstoffbelastungen im Herdbereich vor. Im Jahre 2007 wurde eine innovative In-situ-Maßnahme zum reduktiven Abbau von CKW durch Injektion von 3 t Eisen durchgeführt, um die Quellstärke des Schadensherds deutlich zu reduzieren und damit die Sanierungsdauer zu verkürzen. Die ursprünglich im Herdbereich angestrebte Schadstoffreduktion wurde jedoch nur teilweise erreicht, so dass auch weiterhin ein akuter Handlungsbedarf zur Fortführung der Sanierung besteht.

Zur Bestimmung der Grundwasser-Fließverhältnisse zwischen Injektionsfeld und der zu Kontrollzwecken im Abstrom des Schadensherds errichteten CMT-Messebene wurde von VEGAS im Auftrag des AAV am Standort ein Tracerversuch im Zeitraum zwischen 16.03.2009 – 27.07.2009 durchgeführt. Die Überwachung der Tracerkonzentrationen in der am Standort betriebenen Grundwassersanierungsanlage sollen aufgrund des seit Ende Juni 2009 messbaren Durchbruchs des Markierungsstoffs Uranin bis Anfang September 2009 weiter betrieben werden.

Die durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse lassen sich nachfolgend zusammenfassen:

**Tabelle 2: Untersuchungen und Ergebnisse**

Untersuchung	Ergebnis
Kurzpumpversuche: Bestimmung der mittleren hydraulischen Durchlässigkeit (Anbindung) von zwei potentiellen Tracerzugabeburten im Schadenszentrum: (7024-75 (2“) und 7024-82 (5“))	7024-75 (2“): $K_f: 1,4 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ 7024-82 (5“): $K_f: 3 - 4 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ Anisotropie ( $K_v/K_h$ ): 0,6 nutzbare Porosität: 0,5
Multilevel-Verdünnungsversuch: Auswahl der Tracerzugabetiefe	Wg. hydr. Anbindung in 5“ GWMS (7024-82) Auswahl von 16,9 -17,6 m u. GOK; mögliche Zugabetiefen aufgrund Tracerabklingen: 16,5 – 17,5 oder 20,5 – 21,5 m. u. GOK

Untersuchung	Ergebnis
<p>Bestimmung der Filtergeschwindigkeit auf Niveau der Tracerzugabe über das Bohrlochverdünnungsverfahren im Rahmen von zwei Tracerzugaben (18.03.09 und 06.05.09)</p>	<p>Abklingverhalten über mehrere Tage  erste Tracerzugabe: geringes Volumen, hohe Konzentration;  zweite Tracerzugabe: hohes Volumen, mittlere Konzentration</p> <p>Tracertest 1: Filtergeschw. <math>v_f \sim 0,016</math> m/d  Abstandsgeschw. <math>v_a \sim 0,1</math> m/d</p> <p>Tracertest 2: Filtergeschw. <math>v_f \sim 0,01</math> m/d  Abstandsgeschw. <math>v_a \sim 0,07</math> m/d</p>
<p>Tracerversuch mit 15 Messstellen in CMT1 – CMT5 zur Online-Überwachung des Tracerdurchbruchs mittels Fluoreszenzmessung, sowie 14-tägige Probenahme und Analyse Uranin</p> <p>Zweimalige Tracerzugabe in 7024-82: 18.03.09 und 06.05.09</p>	<p>Verdacht auf mangelhafte Durchströmung CMT-Filterstrecken  → Installation und Betrieb von 6 St. Mini-Druckluftpumpen in CMT1.1 – CMT5.1, sowie in CMT4.2 ab 05.05.09</p> <p>GW-Fließrichtung NNW: 340° (7024-82 → CMT4)</p> <p>Tracerdurchbruch an CMT4.2 (Teufe 19 m), 2 x entsprechend Tracerzugaben,  <math>v_a</math>: 0,4 m/d, Dispersivität <math>\alpha_L</math>: 0,4, bzw. 0,11 m</p> <p>Tracerdurchbruch an CMT 4.1 (Teufe 17 m), 1 x eindeutig, 2. Durchbruch fraglich,  <math>v_a</math>: 0,14 m/d, Dispersivität <math>\alpha_L</math>: 0,54 m</p> <p>Leichtes Absinken des Tracers, Konzentrationsmaxima zwischen 17 – 18 m u. GOK</p>
<p>Überwachung Grundwasserreinigungsanlage:  Tracerkonzentration mittels Fluoreszenz-Messtechnik mit zweiwöchentlicher Kontrollprobenahme im Zulauf der Grundwasserreinigungsanlage (Br. 2 (7024-36)) zum Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit der Grundwasserhaltung</p>	<p>Erfassung des Tracers nach ca. 84 Versuchstagen mit geringer Konzentration entsprechend Förderstrom (ca. 5 m<sup>3</sup>/h); langes Tailing, nach 167 Tagen noch messbar.</p> <p>Messeinrichtung abgebaut am 02.09.2009</p> <p>Abstandsgeschwindigkeit auf 0,25 m/d abgeschätzt aus dominanter Geschwindigkeit (max. Konzentration)</p>

## 6 Unterlagen und verwendete Literatur

- [1] AAV: Jahresbericht 2007
- [2] Dokumentation Injektion von Eisenkolloiden, Ehemalige Großwäscherei Ferster Bornheim-Roisdorf, Bericht-Nr.733128-1, 29. Oktober 2007, Alenco Environmental Consult GmbH, Stuttgart
- [3] Berichtsentswurf; Datenbereitstellung, -auswertung und –interpretation Injektion von Eisenkolloiden, Ehemalige Großwäscherei Ferster Bornheim-Roisdorf, Bericht-Nr.7311106-1, 29. Juli 2008, Alenco Environmental Consult GmbH, Stuttgart
- [4] Präsentation Alenco: Erste Bewertung der Monitoring Ergebnisse Projekt: Injektion von Eisenkolloiden Ehemalige Großwäscherei Ferster / Bornheim-Roisdorf. 01.04.2008
- [5] CD vom AAV mit Analysedaten und Probenahmeprotokolle
- [6] VEGAS: Antrag auf wasserrechtliche Genehmigung: Markierungsversuche zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung des Grundwassers am Standort ehemalige Großwäscherei Ferster Bornheim-Rosidorf, 22.12.2008
- [7] Rhein-Sieg-Kreis, Amt für Technischen Umweltschutz: Wasserrechtliche Erlaubnis, 02.02.2009, Az.: 66.10 - 05.02.03/2009-00117
- [8] Halevy et al. (1967). Borehole dilution techniques, a critical review. In: Isotopes in hydrogeology, Proceedings of a symposium, Vienna, 14-18 November 1966, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1967
- [9] Neumann S.P. (1972). Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of watertable. Water Resources Research, Vol. 8 pp. 1031 - 1045
- [10] Käss, W. (1992): Geohydrologische Markierungstechnik: Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 9, Gebrüder Bornträger, Berlin Stuttgart