



Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung - VEGAS  
Institut für Wasserbau - Universität Stuttgart - Pfaffenwaldring 61 - D-70550 Stuttgart

Universität Stuttgart  
Institut für Wasserbau

Wissenschaftlicher Leiter VEGAS  
Jürgen Braun, PhD ☎ 685-67018  
Technischer Leiter VEGAS  
Dr.-Ing. H.-P. Koschitzky ☎ 685-64716

Pfaffenwaldring 61  
D - 70550 Stuttgart  
Telefon +49 (0) 711 685 -64717  
Telefax +49 (0) 711 685 - 67020  
E-Mail: vegas@iws.uni-stuttgart.de

### Technischer Bericht

Nr. 2009 / 11 (VEG 39)

## Durchführung eines Tracerversuchs zur Bestimmung der Fließverhältnisse zwischen Injektionsfeld und den CMT-Messstellen, ehemalige Großwäscherei Ferster / Bornheim-Roisdorf

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

**Auftragsnummer:** 7004-01-053 (01)

**Bestellung AVV:** 09.03.2009  
wasserrechtliche Erlaubnis vom 02.02.2009  
Rhein-Sieg-Kreis, Amt für Technischen Umweltschutz,  
Az.: 66.10 - 05.02.03/2009-00117

**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

**September 2009**

(Dipl.-Ing. (FH) Oliver Trötschler)

(Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky)

# Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung .....	3
2	Beschreibung des Standorts .....	4
3	Durchgeführte Untersuchungen am Standort .....	6
3.1	Kurzpumpversuche .....	6
3.2	Verdünnungsversuch .....	6
3.3	Tracerversuche .....	7
3.3.1	Erste Tracerzugabe .....	7
3.3.2	Zweite Tracerzugabe .....	8
3.4	Zusätzliche Beprobungskampagne und erste Untersuchungen mit dem TZW .....	8
4	Ergebnisse der Untersuchungen .....	9
4.1	Kurzpumpversuche in den möglichen Zugabestellen .....	9
4.2	Verdünnungsversuch zur Bestimmung der Zugabetiefe im Zugabebrunnen 5“, (7024-85) .....	10
4.3	Bestimmung der Filtergeschwindigkeit aus den beiden Tracerzugaben .....	13
4.4	Ergebnisse des Markierungsversuchs .....	15
4.5	Hydraulische Abstomsicherung .....	20
5	Zusammenfassung der Tracerversuche .....	21
6	Überlegungen zum weiteren Vorgehen am Standort durch Nutzung der Mikrobiologie (Natural Attenuation, NA) .....	23
7	Unterlagen und verwendete Literatur .....	25
8	Anlagen .....	26

Anlage 1: Lageplan Bornheim-Roisdorf, ehem. Großwäscherei Ferster

Anlage 2: Brunnenausbaupläne

Anlage 3: Photos vom Standort

Anlage 4: Ergebnisse Kurzpumpversuche

Anlage 5: Messergebnisse Uraninkonzentrationen der Probenahme-  
kampagnen

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan mit GW-Fließrichtung entsprechend Tracerversuch.....	4
Abbildung 2: Auswertung Kurzpumpversuch im 5"-Brunnen .....	9
Abbildung 3: Abklingverhalten Verdünnungsversuch in 5“-Messstelle (7024-82) .....	11
Abbildung 4: Konzentrations- und Massenverlauf Verdünnungsversuch.....	12
Abbildung 5: Filtergeschwindigkeit und Verdünnungsverhalten nach zweiter Durchmischung .....	13
Abbildung 6: Filtergeschwindigkeit und Verdünnungsverhalten Tracerzugabe 1.....	14
Abbildung 7: Filtergeschwindigkeit und Verdünnungsverhalten Tracerzugabe 2.....	15
Abbildung 8: Durchbruchverhalten Tracerversuch an allen CMT-Messstellen.....	16
Abbildung 9: Durchbruch und Darstellung zur Bestimmung der hydro-dispersiven Kennzahlen an CMT4.....	18
Abbildung 10: Durchbruchverhalten Tracerversuch an CMT4 .....	19
Abbildung 11: Tracererfassung durch Grundwassersanierungsanlage .....	20

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Hydraulische Kennwerte des Untersuchungsgebiets .....	5
Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse KPV in 7024-82.....	10
Tabelle 3: Untersuchungen und Ergebnisse .....	21
Tabelle 4: Zusammenstellung der NA-Untersuchungen .....	23

# 1 Veranlassung

Für die im Bereich der ehem. Großwäscherei Ferster in Bornheim-Roisdorf vorliegende CKW-Verunreinigung (PCE) des Aquifers wurde im Jahre 2007 eine Quellensanierung (Herdsanierung) durchgeführt. Mittels Nano-Eisen-Sanierungstechnologie sollte die Quellstärke des Schadensherds deutlich reduziert werden, so dass die seit über zehn Jahren betriebene Pump&Treat Maßnahme kurz- oder mittelfristig eingestellt werden kann.

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 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 die zehn Injektionspegel in den Aquifer in einer Tiefe von ca. 16 - 22 m u. GOK, wobei die injizierbaren Volumina pro Injektionspunkt teilweise unterschiedlich waren.

Durch die Auswertung der bisher vorliegenden Daten bis zum Sommer 2008 lassen sich noch keine eindeutigen Ergebnisse im Hinblick auf die angestrebten Ziele der Sanierung darstellen. Vielmehr bleiben noch Fragen offen und es ist unklar, inwieweit bzw. durch welche ggf. zusätzlichen Maßnahmen die Ziele erreichbar sind.

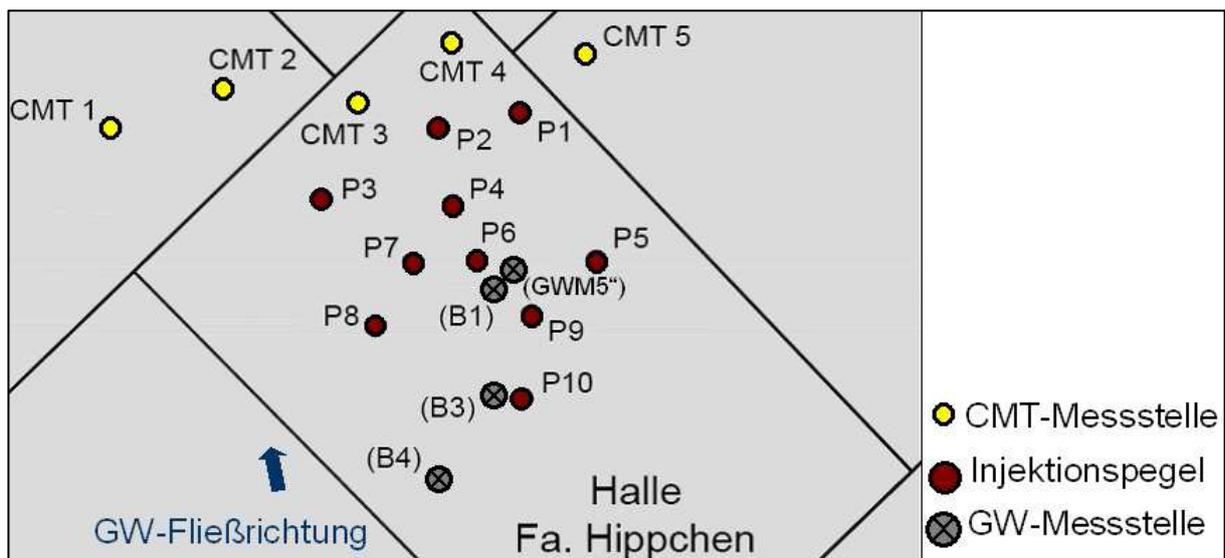
Im Hinblick auf den weiteren Fortgang bzw. die Fortführung des Projektes wurden daher auf Anfrage des AAV von VEGAS ergänzende Untersuchungsmaßnahmen vorgeschlagen, um das weitere Projekt wissenschaftlich zu begleiten. Die Vorschläge wurden am 22.08.2008 im Rahmen einer Projektbesprechung beim AAV diskutiert und es wurde beschlossen, als eine von fünf vorgeschlagenen Maßnahmen, zunächst den Tracerversuch zur Bestimmung der Fließverhältnisse zwischen Injektionsfeld und CMT-Messebene durchzuführen.

Zur weiteren Abstimmung und Planung des Tracerversuchs fand am 15. Oktober 2008 ein Ortstermin am Standort statt (Protokoll AAV, 20.10.2008). Der Tracerversuch wurde weiter ausgearbeitet und eine Kostenkalkulation erstellt. Die schriftliche Beauftragung zur Durchführung des Tracerversuchs erfolgte am 09.03.2009 durch den AAV. Grundlage der Durchführung war die wasserrechtliche Erlaubnis vom 02.02.09 [7] durch die zuständige untere Wasserbehörde (Rhein-Sieg-Kreis, Amt für Technischen Umweltschutz, Az.: 66.10 - 05.02.03/2009-00117). Die hydraulischen Voruntersuchungen und der Tracerversuch wurden zwischen 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. Abb1). 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. Die Standortlage und die vorhandenen Messstellen sind in Anlage 1 dargestellt. Zudem werden die Ausbaupläne sowie die anstehende Schichtenfolge der relevanten Grundwassermessstellen in Anlage 2 dargestellt.



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

Die Ausbaupläne der CMT-Messstellen, die für die kontinuierliche Messung des Tracers genutzt wurden, sind ebenfalls Anlage 2 zu entnehmen. 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)	$1-5 \times 10^{-3}$ m/s
Effektive Porosität $n_{eff}$	Annahme 0,25
Mittlere Transmissivität T	$7 - 20 \times 10^{-3}$ m <sup>2</sup> /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.

Nach Abschluss dieser Versuche wurde noch kurzfristig entschieden, in Abstimmung mit dem Technologiezentrum Wasser in Karlsruhe, TZW, (Dr. Andreas Tiehm) eine:

- (4) Beprobungskampagne und erste Analysen im Hinblick auf CKW-Abbauprodukte und mikrobiologische Aktivität

durchzuführen.

#### 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“ Brunnen 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“-Brunnen mit vertikaler Auflösung bestimmt wer-

den. 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 werktäglich 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.

## **3.4 Zusätzliche Beprobungskampagne und erste Untersuchungen mit dem TZW**

In einer abschließenden Probenahmekampagne an allen verfügbaren Messstellen im ehemaligen Injektionsfeld B1 (7024-75), B1neu (7024-82), B2 (7024-77), B4 (7024-78) und CMT 1, 3, 4 (jeweils die oberen beiden Ebenen), wurden in Abstimmung mit dem Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, TZW (Dr. Andreas Tiehm) Grundwasserproben genommen und diese hinsichtlich mikrobieller Abbauprodukte der CKW (DCE, Ethen, Ethan), sowie Elektronendonatoren (Wasserstoff, Methan) und mikrobieller Population (dehalogenierende Mikroorganismen) untersucht. Ziel hierbei war die Überprüfung eines möglichen mikrobiellen Abbaus der CKW am Standort, bzw. Möglichkeiten zu dessen Stimulation, um damit u.U. weitere Maßnahmen am Standort zum Erreichen des ursprünglichen Sanierungsziels durchführen zu können.

## 4 Ergebnisse der Untersuchungen

### 4.1 Kurzpumpversuche in den möglichen Zugabestellen

Die hydraulische Durchlässigkeit des quartären Grundwasserleiters im Bereich der Messstellen B1 7024-75 (2"), bzw. GWM5" 7024-82 konnte nach der Methode von Neumann [9] über das Absenkverhalten im Rahmen der Kurzpumpversuche zu  $1,4 \times 10^{-3}$  m/s, bzw.  $3,1 \times 10^{-3}$  m/s bestimmt werden (s. Anlage 3). Hierbei zeigte die Auswertung des Absenkverhaltens insbesondere am 2"-Brunnen hydraulisch unplausibel niedrige Werte für die Speicherkapazität und das nutzbare Porenvolumen auf.

Die Auswertung des Wiederanstiegs im 5"-Brunnen ergab bei Nutzung des Pumpbrunnens als Beobachtungsbrunnen eine hydraulische Durchlässigkeit von  $1 \times 10^{-3}$  m/s mit einem nutzbaren Porenvolumen von 0,5 und einer Anisotropie ( $K_v/K_h$ ) von 0,6. Vergleichbar lagen die Ergebnisse unter Nutzung des 2"-Brunnens als Beobachtungsbrunnen mit Werten von  $4 \times 10^{-3}$  m/s für die Auswertung der Absenkung (Abbildung 2) und  $3,8 \times 10^{-3}$  m/s für den Wiederanstieg.

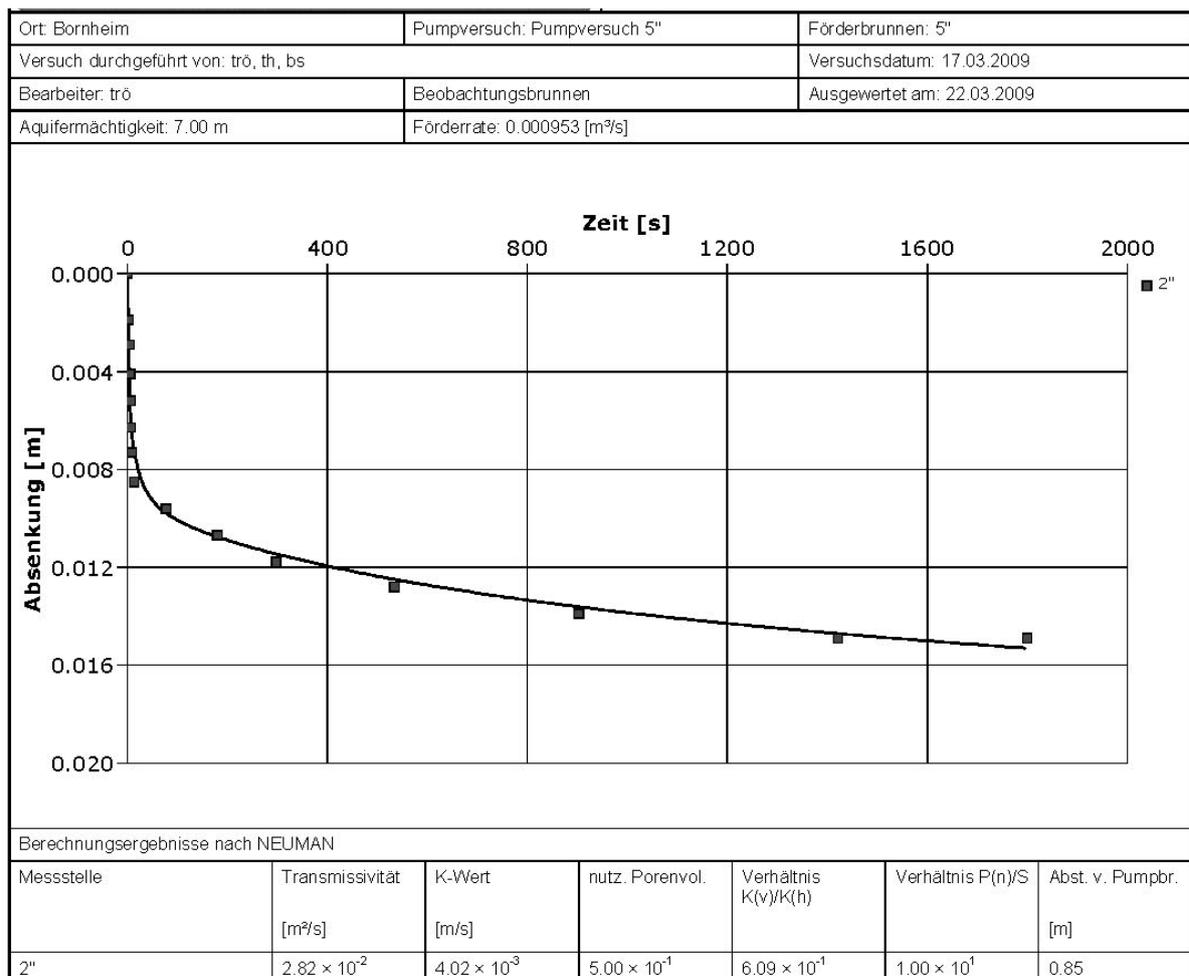


Abbildung 2: Auswertung Kurzpumpversuch im 5"-Brunnen

Hydraulisch sinnvoll waren die Auswertungsergebnisse für den Wiederanstieg im Pumpbrunnen, sowie die Absenkung und den Wiederanstieg im 2“-Brunnen (Beobachtungsbrunnen) mit einer nutzbaren Porosität von 0,5, d.h. einer effektive Porosität um 0,15 und einer Anisotropie  $K_v/K_h$  zwischen 0,3 – 0,6. Zudem ist die Auswertung eines Pumpversuchs über einen vom Förderbrunnen entfernten Beobachtungsbrunnen, hier die Messstellen 7024-75 (2“) repräsentativer als die Beobachtungen im Pumpbrunnen selbst, da der Einfluss des Ringraums des Förderbrunnens vernachlässigbar wird.

**Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse KPV in 7024-82**

Ort: Bornheim-Roisdorf			Pumpversuch 5"			Förderbrunnen GWMS 5"		
Versuch durchgeführt von: trö, th, bs						Versuchsdatum: 17.03.2009		
Aquifermächtigkeit: 7.00 m			Förderrate: 0.000953 [m³/s]					
	Bezeichnung	Bearbeiter	Auswertung	Methode	Brunnen	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	Pumpbrunnen	trö	22.03.09	NEUMANN	5"	$2.2 \times 10^{-2}$	$3.1 \times 10^{-3}$	$1.3 \times 10^{-8}$
2	Pumpbrunnen Wiederanstieg	trö	22.03.09	AGARWAL + NEU- MANN	5"	$7.2 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-1}$
3	Beobachtungs- brunnen	trö	22.03.09	NEUMANN	2"	$2.8 \times 10^{-2}$	$4.0 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-1}$
4	Beobachtungs- brunnen. Wiederanstieg	trö	22.03.09	AGARWAL + NEU- MANN	2"	$2.7 \times 10^{-2}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-1}$

Zusammenfassend kann unter Bezug auf das Verhalten des Beobachtungsbrunnens (2“) von einer mittleren hydraulischen Durchlässigkeit von  $3 - 4 \times 10^{-3}$  m/s im Schadenszentrum, bzw. im Bereich der Tracerzugabe ausgegangen werden. Eine etwaige Verblockung des Aquifers erscheint aufgrund der guten Durchlässigkeit als unwahrscheinlich. Die verringerte effektive Porosität deutet auf das Vorhandensein von Gasen, z.B. Wasserstoff in feiner Bläschenform in der Bodenmatrix hin. Insbesondere Wasserstoff entsteht bei der Reaktion von  $Fe^0$  mit Wasser, als Konkurrenzreaktion mit den CKW.

#### 4.2 Verdünnungsversuch zur Bestimmung der Zugabetiefe im Zugabebrunnen 5“, (7024-85)

Aufgrund der guten hydraulischen Anbindung und der zur homogenen Einmischung des Markierungsstoffs in den Grundwasserleiter besser geeigneten Ausbaugröße wurde der 5“-Brunnen (7024-82) für die Tracerzugabe ausgewählt und dort das Bohrlochverdünnungsverfahren [8] zur Bestimmung der Zugabetiefe des Markierungsstoffs durchgeführt. Entsprechend einem Grundwasserstand von ca. 15 m u. GOK wurden die Lichtleiter auf sechs verschiedenen Niveaus im Abstand von einem Meter, beginnend ab 15,5 m u. GOK installiert und die Tracerkonzentration kontinuierlich bestimmt.

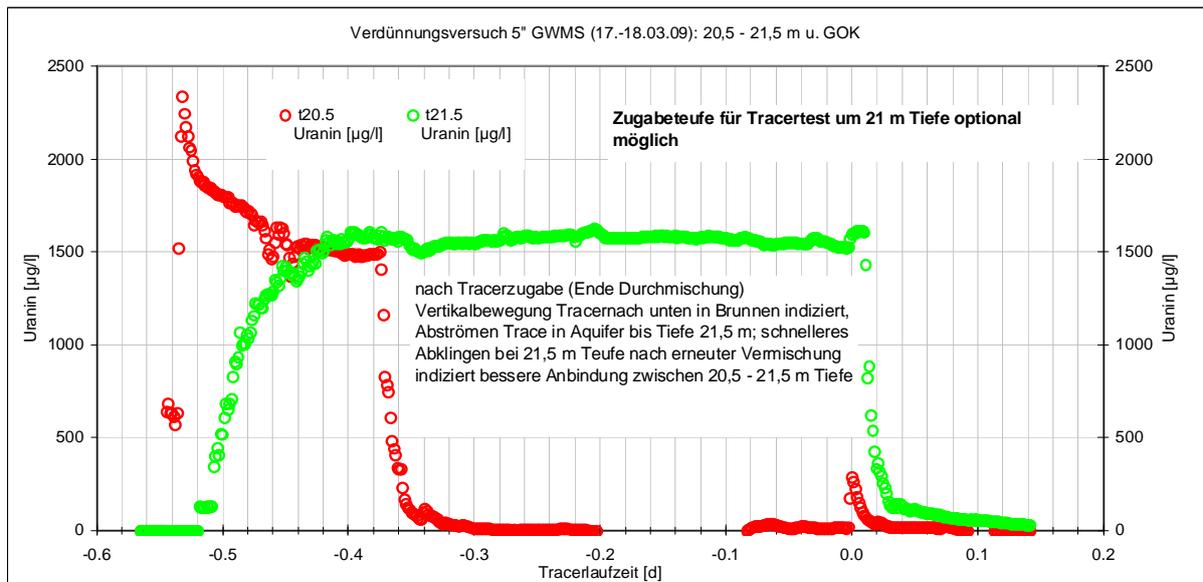
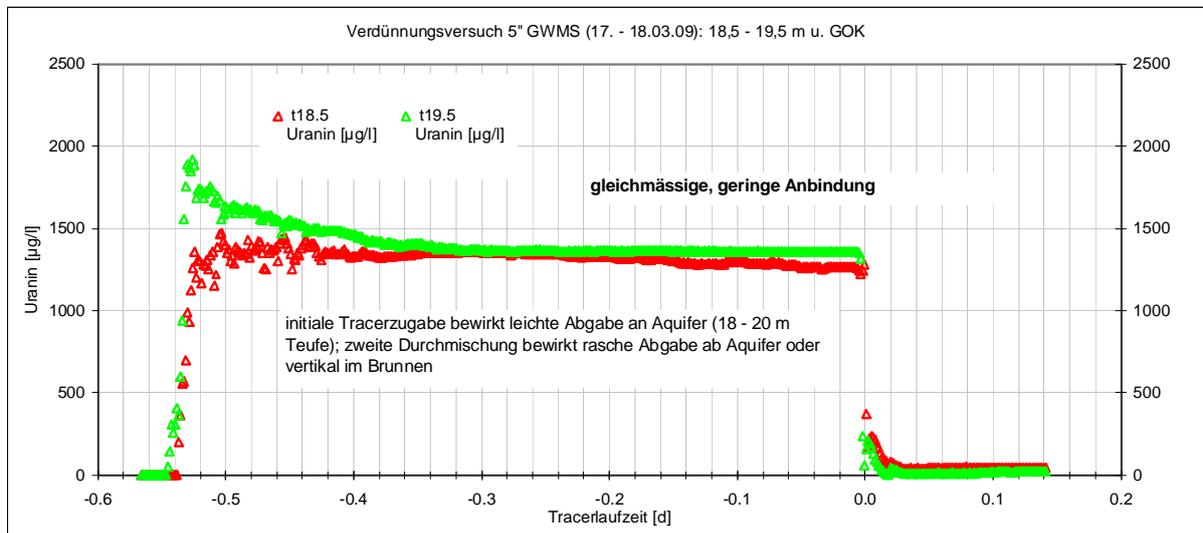
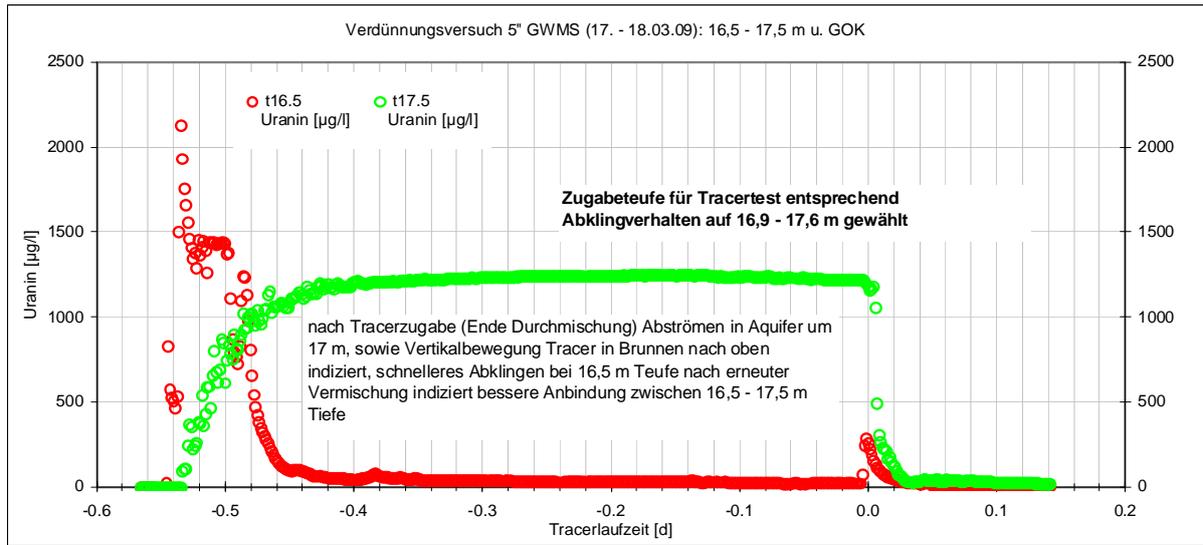
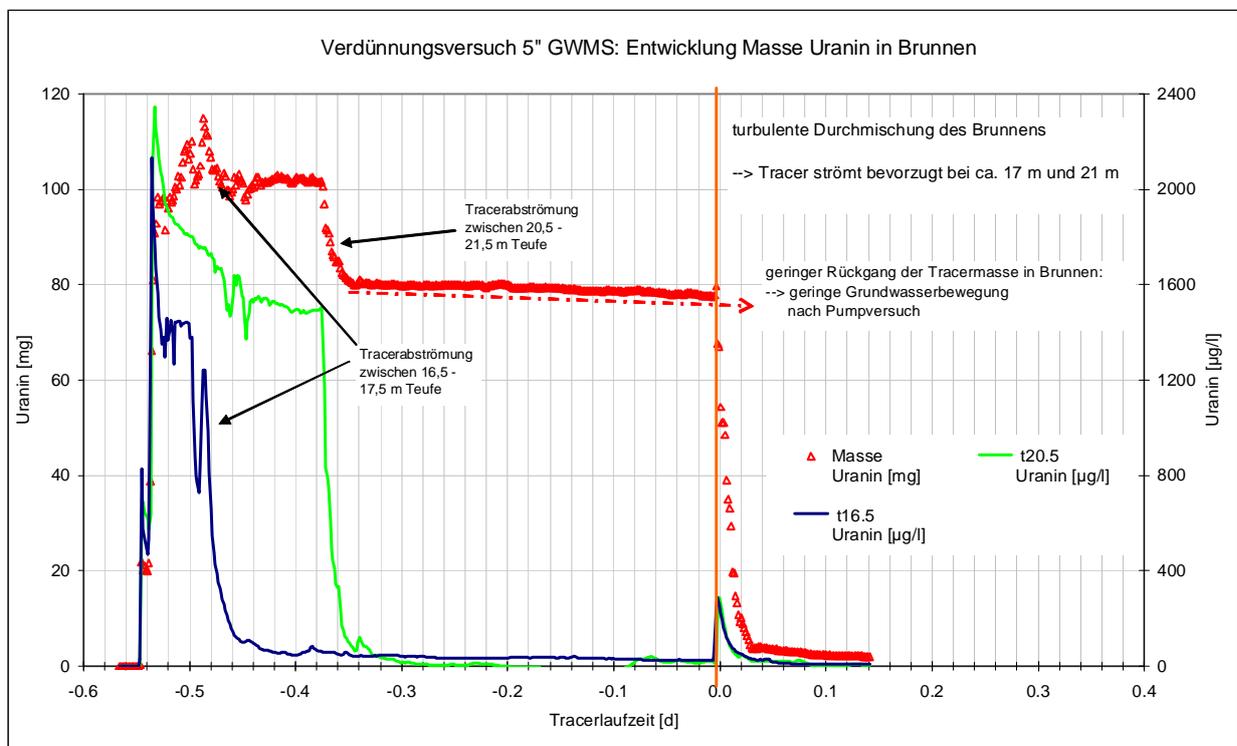


Abbildung 3: Abklingverhalten Verdünnungsversuch in 5“-Messstelle (7024-82)

Der Markierungsstoff Uranin (ca. 100 mg) wurde schlagartig und hoch konzentriert (100 mL Volumen) auf mittlerer Höhe des Aquifers zugegeben und über eine 2" Grundwasserpumpe mit hohem Durchsatz im Brunnen vermischt (Dirac-Impuls). Das schnellste Abklingen der Tracerkonzentration zeigte sich auf der Messebene 16,5 m u. GOK (Abbildung 3).

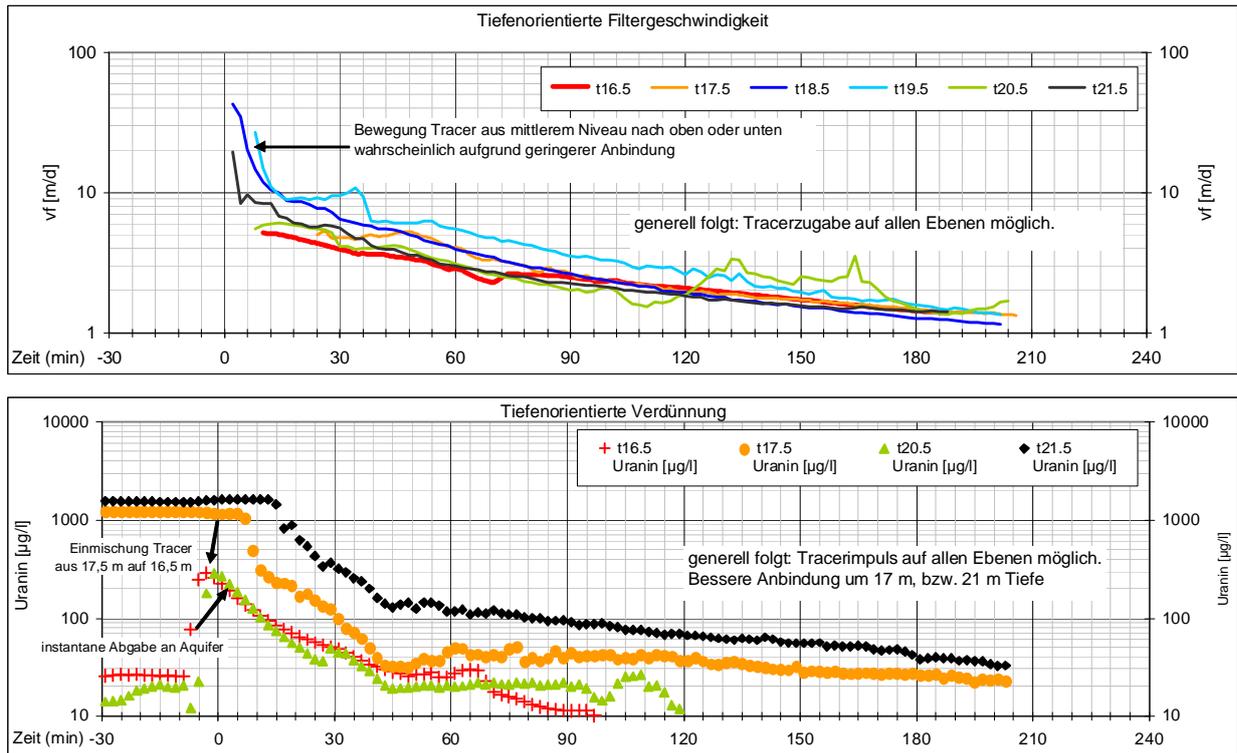
Nach einer über drei Stunden andauernden Phase der vertikalen Verteilung des Markierungsstoffs kam es nach Ausschalten der Durchmischungspumpe zu einem deutlichen Abströmen des Markierungsstoffs aus einem Bereich bei ca. 21 m u. GOK.

Etwa 13 Stunden nach Beginn des Verdünnungsversuchs lagen im Brunnen zum Großteil noch deutliche Uraninkonzentrationen im mg/l-Bereich vor, während in den Bereichen um 16,5 m und 20,5 m u. GOK Uranin nicht mehr nachweisbar war. Eine erneute Durchmischung sorgte zum Einen für eine rasche Abgabe des Tracers an den Aquifer im oberen und unteren Bereich, jedoch auch zum Rückgang der Tracerkonzentrationen in den Bereichen hoher Konzentrationen (Abbildung 4).



**Abbildung 4: Konzentrations- und Massenverlauf Verdünnungsversuch**

Entsprechend dem Abklingverhalten wurde die vermeintliche Filtergeschwindigkeit der einzelnen Abschnitte berechnet (Abbildung 5). Hieraus würde folgen, dass eine Zugabe in den Aquifer in allen Bereichen möglich wäre. Unter Berücksichtigung des Konzentrationsverlaufs während der initialen Zugabe, bzw. der Stagnation nach Ende der Durchmischung kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Anbindung des Brunnenbereichs zwischen 16,5 – 17,5 und 20,5 – 21,5 m in jedem Falle gewährleistet ist, und Effekte, wie das vermeintlich rasche Abklingen des Tracers in den anderen Abschnitten zum Großteil auf die Durchmischung im Brunnen und die Abgabe an den Aquifer im oberen und unteren Bereich zurückzuführen ist.



**Abbildung 5: Filtergeschwindigkeit und Verdünnungsverhalten nach zweiter Durchmischung**

Entsprechend der Lage der Filterstrecken der CMT-Messebene wurde eine Zugabetiefe zwischen 16,9 – 17,6 m u. GOK, realisiert über ein Doppelpackersystem, ausgewählt, um ggf. einen späteren Durchbruch des Markierungsstoffs auf Ebene 1 oder 2 in den CMT-Messstellen beobachten zu können. In diesen Ebenen wurden in den CMTs zudem die höchsten CKW-Gehalte bestimmt [5].

### 4.3 Bestimmung der Filtergeschwindigkeit aus den beiden Tracerzugaben

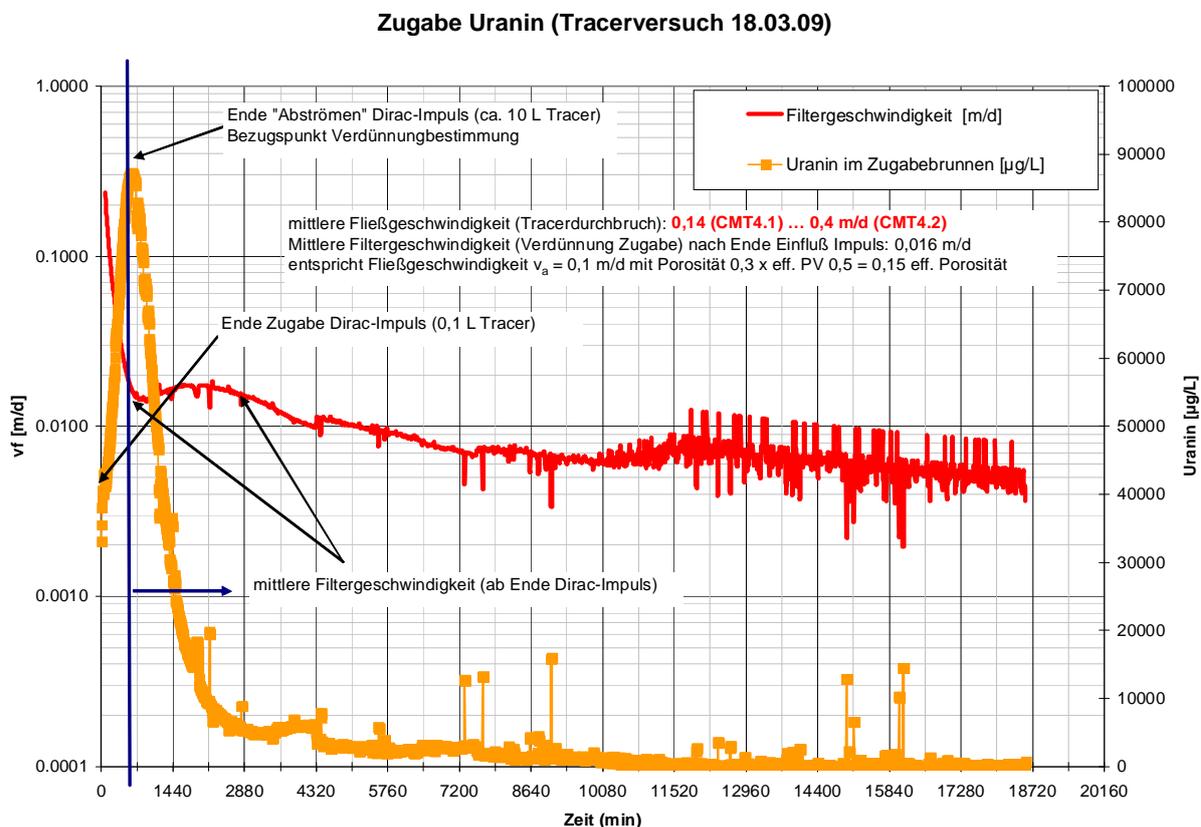
Die erste Tracerzugabe (18.03.09) erfolgte als Dirac-Impuls mit einem Gesamtvolumen von ca. 10 L. Das Grundwasser im abgepackten Zugabebereich des 5“-Brunnens 7024-82 wurde über mehrere Tage mittels einer Mini-Tauchpumpe durchmischt.

Anhand der Abklingkurve konnte mittels Bohrlochverdünnungsmethode [8] die Filtergeschwindigkeit im umgebenden Aquiferbereich bestimmt werden. Voraussetzung hierzu ist eine instantane, homogene Durchmischung des Tracers im Zugabebrunnen, eine gleichmäßige hydraulische Anbindung sowie die Kenntnis der Brunnengeometrie und des Aufbaus. In der Berechnungsformel wird von einer horizontal orientierten, konstanten Grundwasserströmung bzw. Durchströmung des Brunnens ausgegangen.

Wie der Verdünnungsversuch zur Ermittlung des Zugabebereichs zeigte, sind diese Voraussetzungen in beiden Tracerzugaben nur bedingt erfüllt, da die Zugabe mehr als eine Stunde dauerte, um die natürlichen Fließverhältnisse nicht zu stören. Darüber

hinaus können Vertikalbewegungen im abgepackerten Brunnenbereich nicht ausgeschlossen werden.

Während der ersten Tracerzugabe lag die Filtergeschwindigkeit bei ca. 0,016 m/d, bzw. unter Berücksichtigung der effektiven Porosität von 0,15 wurde die Abstandsgeschwindigkeit zu 0,1 m/d abgeschätzt (Abbildung 6).



**Abbildung 6: Filtergeschwindigkeit und Verdünnungsverhalten Tracerzugabe 1**

Die Filtergeschwindigkeit wurde aufgrund des Anstiegs der Tracerkonzentration im Brunnen während und nach der Zugabe nach Überschreitung der Maximalkonzentration über einen Zeitraum von 24 h gemittelt berechnet.

Während der zweiten Tracerzugabe am 05.06.09 erfolgte bereits der Tracerdurchbruch an der Messstelle CMT4.1. Im Verlauf von 1,5 h wurde ein Volumen von 156 l Wasser mit einer Zugabemenge von 6 g Uranin über den abgepackerten Brunnenbereich zugegeben. Der abgepackerte Brunnenbereich wurde für die Dauer der Zugabe durchmischt. Die Auswertung der zweiten Tracerzugabe zeigte etwas geringere Werte mit 0,01 m/d Filtergeschwindigkeit, bzw. 0,07 m/d Abstandsgeschwindigkeit (Abbildung 7).

## Zugabe Uranin (Tracer 06.05.09)

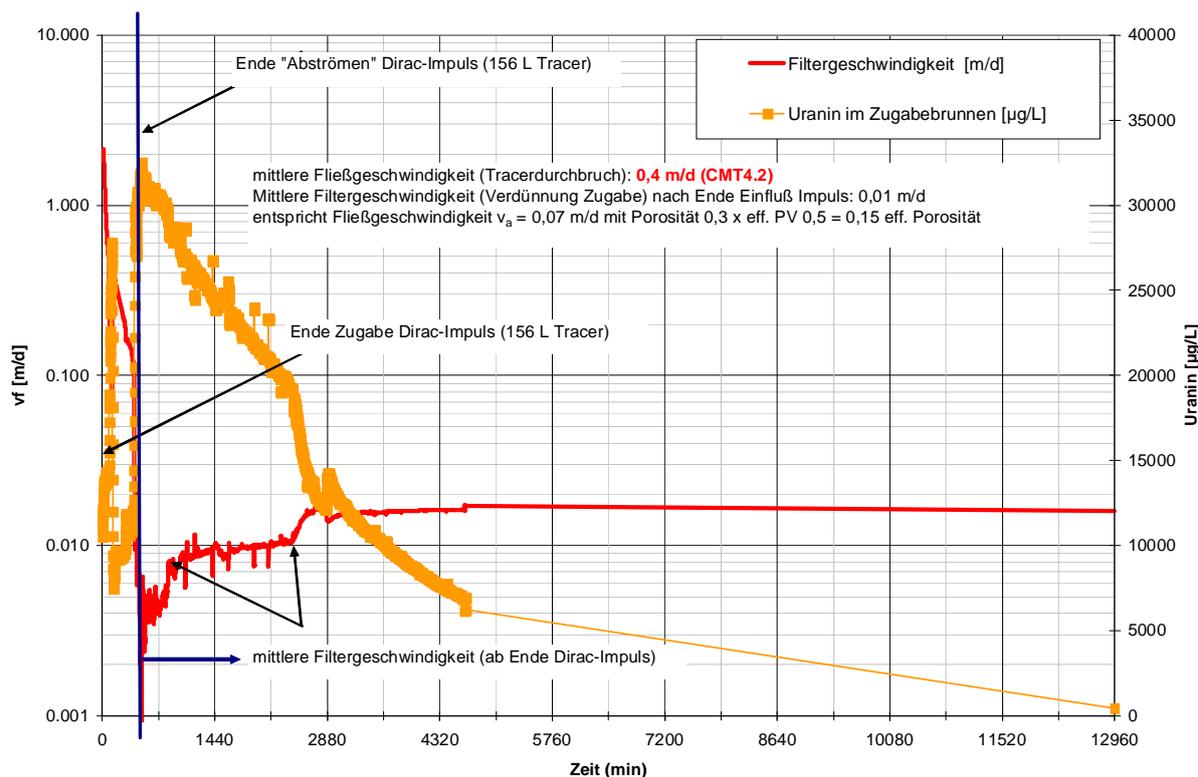


Abbildung 7: Filtergeschwindigkeit und Verdünnungsverhalten Tracerzugabe 2

Die Filtergeschwindigkeit wurde analog der ersten Tracerzugabe bestimmt, um dem Konzentrationsanstieg während des Dirac-Impulses und der einsetzenden Rückströmung des allseits zugegebenen Tracers über die Grundwasserströmung in den Brunnenraum Rechnung zu tragen.

#### 4.4 Ergebnisse des Markierungsversuchs

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

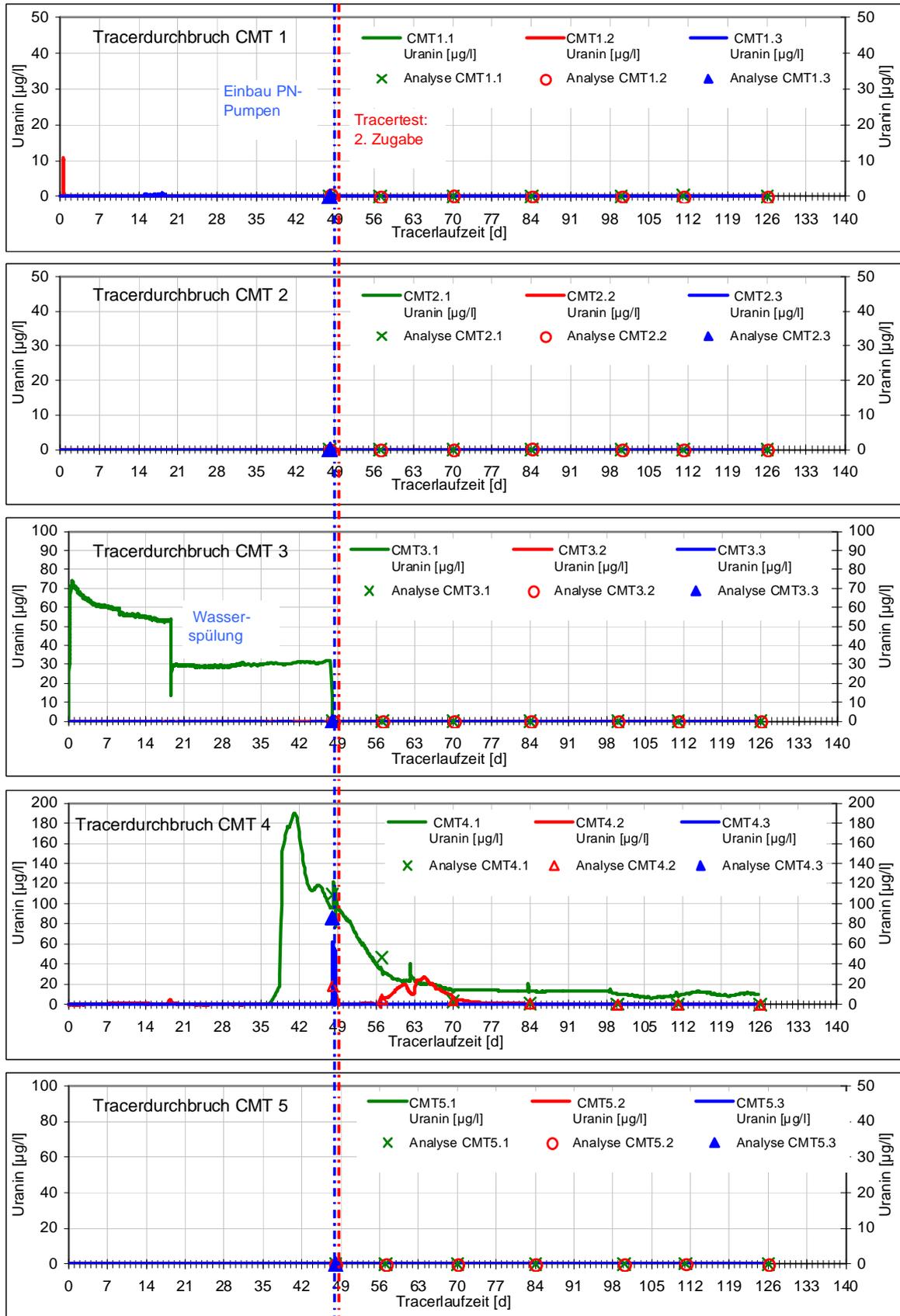


Abbildung 8: Durchbruchverhalten Tracerversuch an allen CMT-Messstellen

Im Verlauf der Untersuchungen zeigte sich jedoch, dass einzig die Messstelle CMT4 von Uranin durchströmt wurde (Abbildung 8). 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 1). Dies entspricht der Auswertung der Grundwasserisohypsenpläne [6].

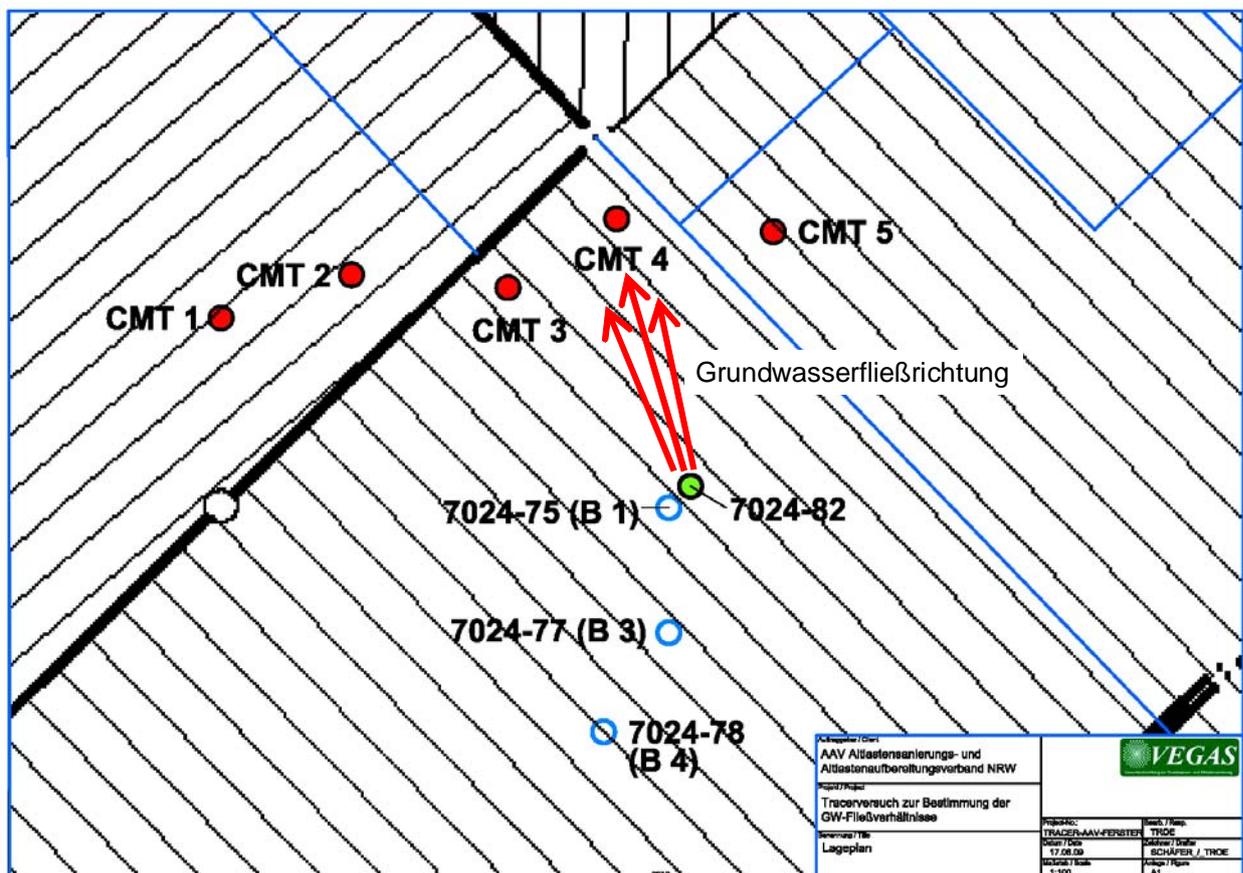
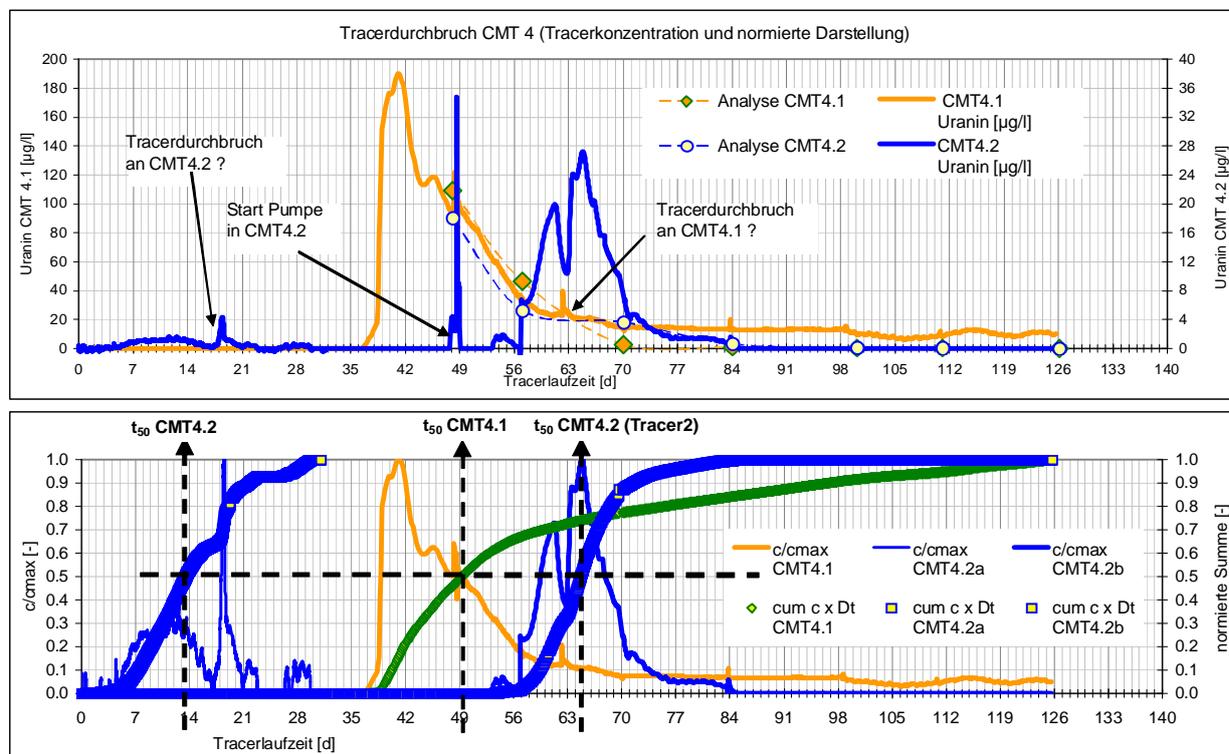


Abbildung 9: Lageplan mit GW-Fließrichtung entsprechend Tracerversuch

Die Auswertung der Uranintracertests erfolgte mittels der Momentenmethode nach Käss [10] zur Bestimmung der dominanten Abstandsgeschwindigkeit zwischen Zugabe und Entnahmebrunnen (Abbildung 10). 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 Tracer-

durchbruchs wird analysiert und die Zeiten der Standardabweichung (16%, bzw. 84% der normierten Summenkurve) bestimmt.

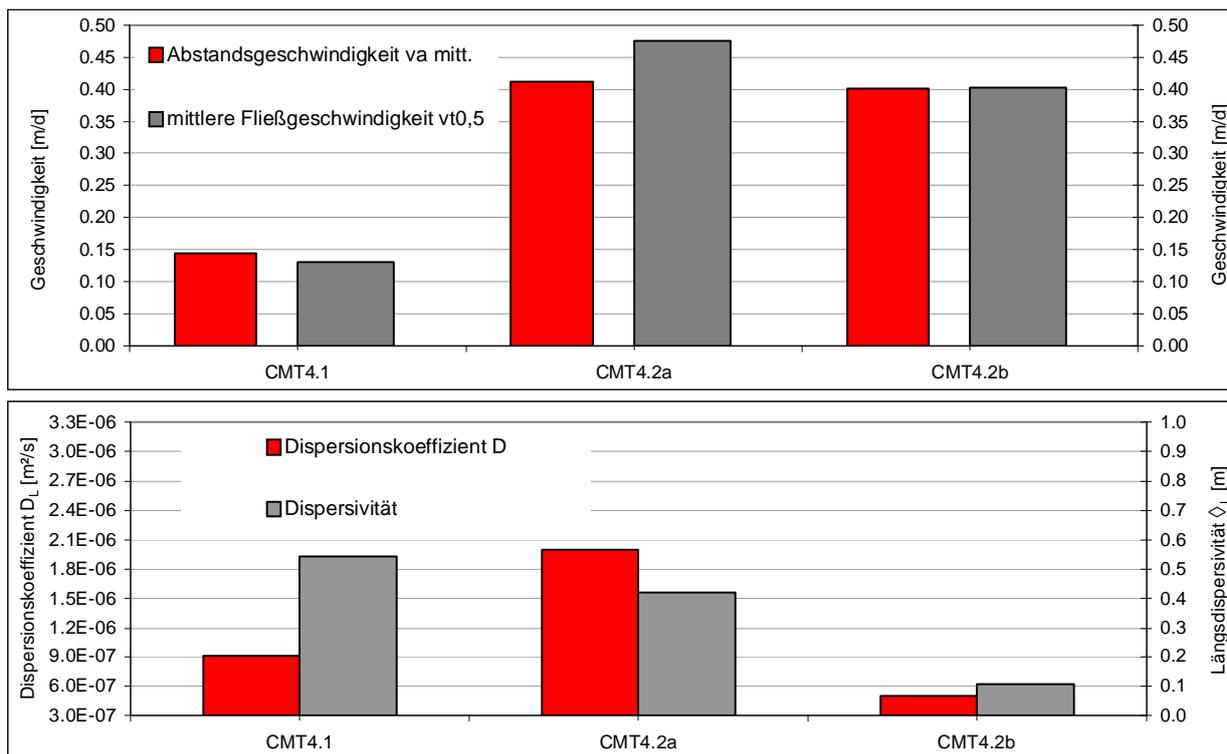


**Abbildung 10: Durchbruch und Darstellung zur Bestimmung der hydrodispersiven Kennzahlen an CMT4**

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 (Abbildung 11).

Für die bestimmten Tracerdurchbrüche an CMT4.2 (Teufe ca. 19 m) lagen die Abstandsgeschwindigkeiten mit 0,4 m/d deutlich höher. Die aus den Tracerdurchbrüchen ermittelten Transport-Kennzahlen lagen mit einer Längsdispersivität  $\alpha_L$  von 0,54 m für CMT4.1 deutlich höher als die Werte für CMT4.2 mit 0,4 m, bzw. 0,11 m.



**Abbildung 11: Durchbruchverhalten Tracerversuch an CMT4**

Die Querdispersivität konnte nicht bestimmt werden, sie dürfte jedoch aufgrund des nicht detektierbaren Tracerdurchgangs an den Messstellen CMT3, bzw. CMT5 im Bereich weniger cm liegen.

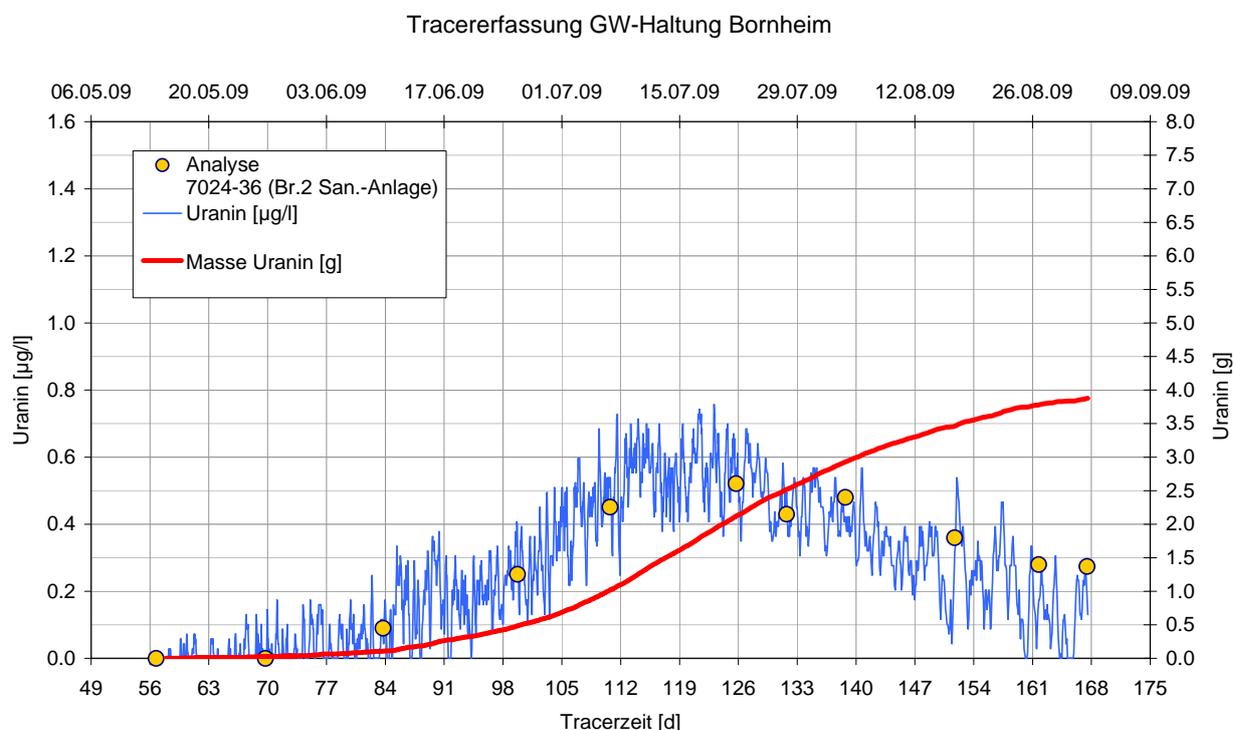
Hydraulisch interessant ist die Tatsache, dass für beide Tracerzugaben ein Durchbruch an der gegenüber der Zugabe tiefer gelegenen Messebene CMT4.2 bestimmt werden konnte, während der Tracerdurchbruch an CMT4.1 nur im Falle der ersten Tracerzugabe eindeutig zu beobachten war. Ein kurzzeitiger Peak an CMT4.1 zwischen dem 60. – 65. Versuchstag, also 11 – 14 Tage nach Beginn der zweiten Tracerzugabe, wurde aufgrund der geringen Konzentrationserhöhung nicht als eindeutiger Tracerdurchbruch bewertet (Abbildung 10 oben). Hingegen wurde der erste Tracerdurchbruch an CMT4.2 aufgrund der Reproduzierbarkeit nach der zweiten Tracerzugabe als eindeutig klassifiziert, obgleich auch hier die Uraninkonzentrationen im Bereich der Nachweisgrenze lagen.

Da das Niveau der Uraninkonzentration an CMT4.2 deutlich geringer als an CMT4.1 lag, liegt die Vermutung nahe, dass die Hauptmasse Tracer auf einer Tiefe zwischen 17 – 18 m u. GOK durch das Feld strömte. Hierbei können geringe Inhomogenitäten und eine vertikale, nach unten gerichtete Verfrachtung des Tracers über den Filterraum des Zugabebrunnens während der zweiten Zugabe durchaus eine Ausbreitung in Richtung CMT4.2 verursacht haben.

## 4.5 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 12) zeigen jedoch die gute Übereinstimmung zwischen den Laboranalysen und der online-Messung auf.



**Abbildung 12: 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 Abstomsicherung 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. Ende 2007 wurde nach intensiver Standorterkundung eine Quellensanierung (Herdsanierung) durchgeführt. Mittels der Nano-Eisen-Sanierungstechnologie sollte die Quellstärke des Schadensherds deutlich reduziert werden, so dass die seit über zehn Jahren betriebene Pump&Treat Maßnahme kurz- oder mittelfristig eingestellt werden kann.

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 3: 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 Tracerabklängen: 16,5 – 17,5 oder 20,5 – 21,5 m. u. GOK
Bestimmung der Filtergeschwindigkeit auf Niveau der Tracerzugabe über das Bohrlochverdünnungsverfahren im Rahmen von zwei Tracerzugaben (18.03.09 und 06.05.09)	Abklingverhalten über mehrere Tage erste Tracerzugabe: geringes Volumen, hohe Konzentration; zweite Tracerzugabe: hohes Volumen, mittlere Konzentration Tracertest 1: Filtergeschw. $v_f \sim 0,016 \text{ m/d}$ Abstandsgeschw. $v_a \sim 0,1 \text{ m/d}$ Tracertest 2: Filtergeschw. $v_f \sim 0,01 \text{ m/d}$ Abstandsgeschw. $v_a \sim 0,07 \text{ m/d}$

Untersuchung	Ergebnis
<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.                      Messeinrichtung abgebaut am 02.09.2009</p> <p>Abstandsgeschwindigkeit auf 0,25 m/d abgeschätzt aus dominanter Geschwindigkeit (max. Konzentration)</p>

## 6 Überlegungen zum weiteren Vorgehen am Standort durch Nutzung der Mikrobiologie (Natural Attenuation, NA)

Eine abschließende Beurteilung eines derzeitigen biologischen Abbaus der CKW ist auf Grund der ersten, wenigen Proben und Analysen derzeit noch nicht möglich. Hierzu müssten über einen längeren Zeitraum nach Möglichkeit Bodenproben, weitere Grundwasserbeprobungen und Analysen hinsichtlich des Nachweises der mikrobiellen Aktivität an allen Messstellen, auch im Bereich außerhalb der Gebäude durchgeführt werden.

Die Stichproben aus den CMT-Messstellen und den Proben aus dem Schadens-, bzw. Injektionsbereich wurden neben den LHKW-Gehalten hinsichtlich mikrobieller Besiedelung, ausgewählter Elektronendonatoren und –akzeptoren, sowie mikrobieller Abbauprodukte von PCE als Hauptkontaminant analysiert. Einen vergleichenden Überblick gibt nachfolgende Tabelle.

**Tabelle 4: Zusammenstellung der NA-Untersuchungen**

Parameter / Probenahmestelle	7024-75	7024-82	7024-77	7024-78	CMT 1.1	CMT 1.2	CMT 3.1	CMT 3.2	CMT 4.1	CMT 4.2	
Wasserstoff (µg/l)	< BG	< BG (2,5 µg/l Gas)	< BG	< BG	< BG	< BG	50.00	< BG	32.00	< BG	
Ethen (mg/l)	nachweisbar aber < BG	< BG (0,1 mg/l Wasser)	< BG	< BG	< BG	< BG	0.14	< BG	0.42	< BG	
Ethan (mg/l)	< BG	< BG (0,1 mg/l Wasser)	< BG	< BG	< BG	< BG	0.12	nachweisbar aber < BG	< BG	< BG	
Methan (mg/l)	nachweisbar aber < BG	< BG (0,12 mg/l Wasser)	< BG	0.19	nachweisbar aber < BG	< BG					
cis-1,2-DCE (µg/l)	424.3	<1	<1	<1	<2	<2	3.0	< 2	< 2	< 2	
Tetrachlormethan (µg/l)	<1	0.8	0.8	0.8	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
TCE (µg/l)	87.1	<1	0.7	<1	0.7	< 0.5	200.0	54.0	1.30	< 0.5	
PCE (µg/l)	1 842.0	480.0	20.0	9.2	21.0	14.0	97 000.0	60 000.0	1 100.0	290.0	
PCR (DNA-Bestimmung)	Eubakterien	unverdünnt	-	-	-	-	+	-	+	-	-
		1:5	-	-	-	-	+	-	+	-	-
		1:20	-	-	-	+	+	-	+	-	+
		1:100	+	-	-	-	+	+	+	+	-
	Dehalogenierende MO										
	Dehalococcoides sp.	1:100	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	spp.	1:100	-	+	-	-	-	-	-	+	+
	Dehalobacter spp.	1:100	+	-	-	-	-	-	-	-	+
	Desulfomonile tiepfei	1:100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Desulfuro-monas spp.	1:100	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Die Analysenergebnisse hinsichtlich Wasserstoff, Methan, Ethan und Ethen zeigen in Richtung der Grundwasserströmung an CMT3.1 und CMT4.1 das Vorliegen von Wasserstoff als Elektronendonator, bzw. Ethen als Abbauprodukt auf. Dies deckt sich mit den ermittelten höchsten PCE-Gehalten [5] im oberen Grundwasserbereich und spricht zunächst für die Reaktion durch die Fe-Injektion oder auch für einen biologischen Abbau. Jedoch zeigen die Stichproben-artigen Ergebnisse der PCR-Bestimmung kein eindeutiges Anzeichen für das Vorhandensein entsprechender Mikroorganismen.

Bevorzugt in den Messstellen mit geringer CKW-Konzentration konnten entsprechende Mikroorganismen angetroffen werden (CMT4.1, CMT4.2, 7024-75 und 7024-82). Es ist anzunehmen, dass die hohe CKW-Konzentration toxisch auf die Mikroorganismen wirkt (CMT3.1 und CMT3.2). Lediglich an der Messstelle 7024-75 (2" Brunnen) im Schadenszentrum weist das Vorhandensein von cis-DCE einen Teilabbau nach, der auf mikrobiologische Prozesse oder Reaktion mit Nano-Fe zurückgeführt werden könnte.

Insgesamt ist das Bild zwar nicht einheitlich, man kann jedoch annehmen, dass bei entsprechender Stimulation (ENA) mit der Zielsetzung einer Anaerobisierung des Aquifers durch Zugabe von Kohlenstoffquellen bzw. der gleichmäßigen Verteilung des Wasserstoffs im Aquifer (z.B. über einen Grundwasserzirkulationsbrunnen, GZB), der biologische Abbau initialisiert werden kann. Inwieweit dies wirtschaftlich sinnvoll ist, bleibt zu klären und bedarf noch einiger Untersuchungen durch das TZW.

Die Tatsache, dass die CKW hauptsächlich im oberen Bereich des Grundwasserleiters anzutreffen sind, spricht für ein hohes Schadstoffpotential in der ungesättigten Zone bzw. dem Grundwasserwechselbereich, das auch weiterhin in die gesättigte Zone emittieren wird. Daher ist die Sanierung der gesättigten Zone wohl auf längere Sicht, auch bei Stimulierung des biologischen Abbaus nicht ohne Sanierung der ungesättigten Zone und des GW-Wechselbereichs (Kapillarzone) erfolgversprechend.

Eine „reine“ biologische Sanierung des derzeit zum Teil immer noch hoch belasteten Schadensherdbereiches scheidet aus, da die Mikroorganismen nur in Wasser gelöste Schadstoffe abbauen und keine Substanzen umsetzen, die in Phase vorliegen. Daher würde die Geschwindigkeit einer mikrobiologischen Schadensherdsanierung durch die Nachlösungsprozesse begrenzt werden. Die Biologie könnte aber ergänzend und unterstützend eingesetzt und stimuliert werden.

Ein nochmaliger Einsatz einer Fe-Injektion verspricht keine Verbesserung des bisherigen Sanierungsergebnisses. Auch der Einsatz alternativer In-situ-Sanierungsverfahren welche auf anderen Prinzipien und Wirkmechanismen als die eingesetzte Fe-Injektion beruhen (z.B. ISCO) erscheint insbesondere aus Kostengründen nicht zielführend. Vielmehr sollte versucht werden, das bestehende hydraulische System zu verbessern und zu optimieren und dabei ggf. auch die Möglichkeiten der Mikrobiologie zu nutzen. Die Nutzung mikrobiologischer Prozesse würde eine in sich logische Fortführung des Konzeptes darstellen, da das Milieu bereits anerob und reduzierend ist und das Nebenprodukt Wasserstoff aus der Reaktion des nullwertigen Eisens von den Mikroorganismen genutzt wird.

## 7 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] Berichtsentwurf; 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

## **8 Anlagen**

## **Anlage 1: Lageplan Bornheim-Roisdorf, ehem. Großwäscherei Ferster**

1351

1298

7024-58 ⊕

7024-36 ●

(Br. 2, Sanierungsanlage)

7024-81 ●

7024-80 ●

7024-40 ●

7024-76 (B 2) ●

CMT 1 ●

CMT 2 ●

CMT 3 ●

CMT 4 ●

CMT 5 ●

7024-75 (B 1) ●

7024-82 ●

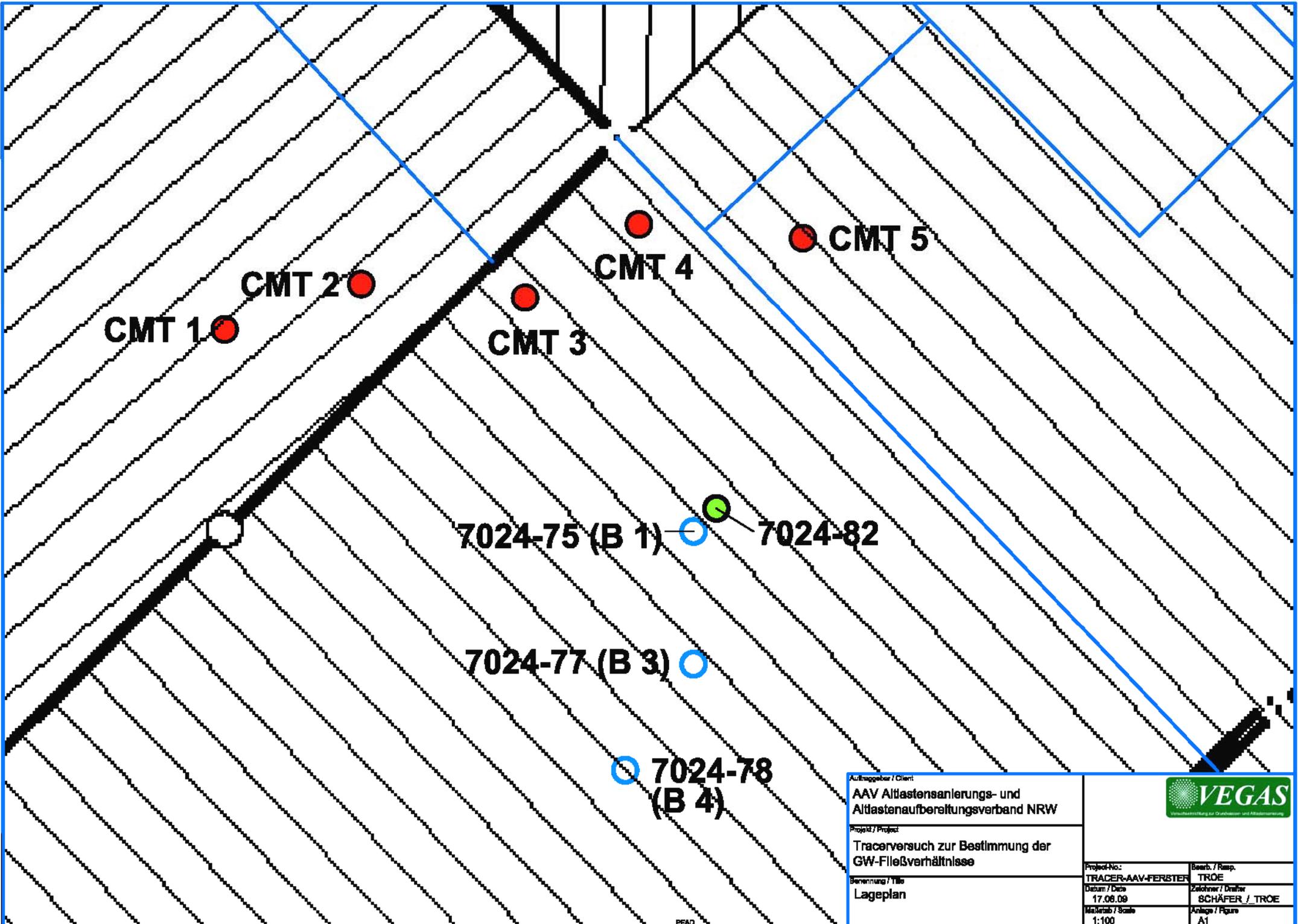
7024-77 (B 3) ●

7024-78 (B 4) ●

Auftraggeber / Client AAV Altlastensanierungs- und Altlastenaufbereitungsverband NRW	
Projekt / Project Tracerversuch zur Bestimmung der GW-Fließverhältnisse	
Benennung / Title Lageplan	
Project-No.: TRACER-AAV-FERSTER	Bearb. / Resp. TROE
Datum / Date 17.08.09	Zeichner / Drafter SCHÄFER / TROE
Maßstab / Scale 1:200	Anlage / Figure A1



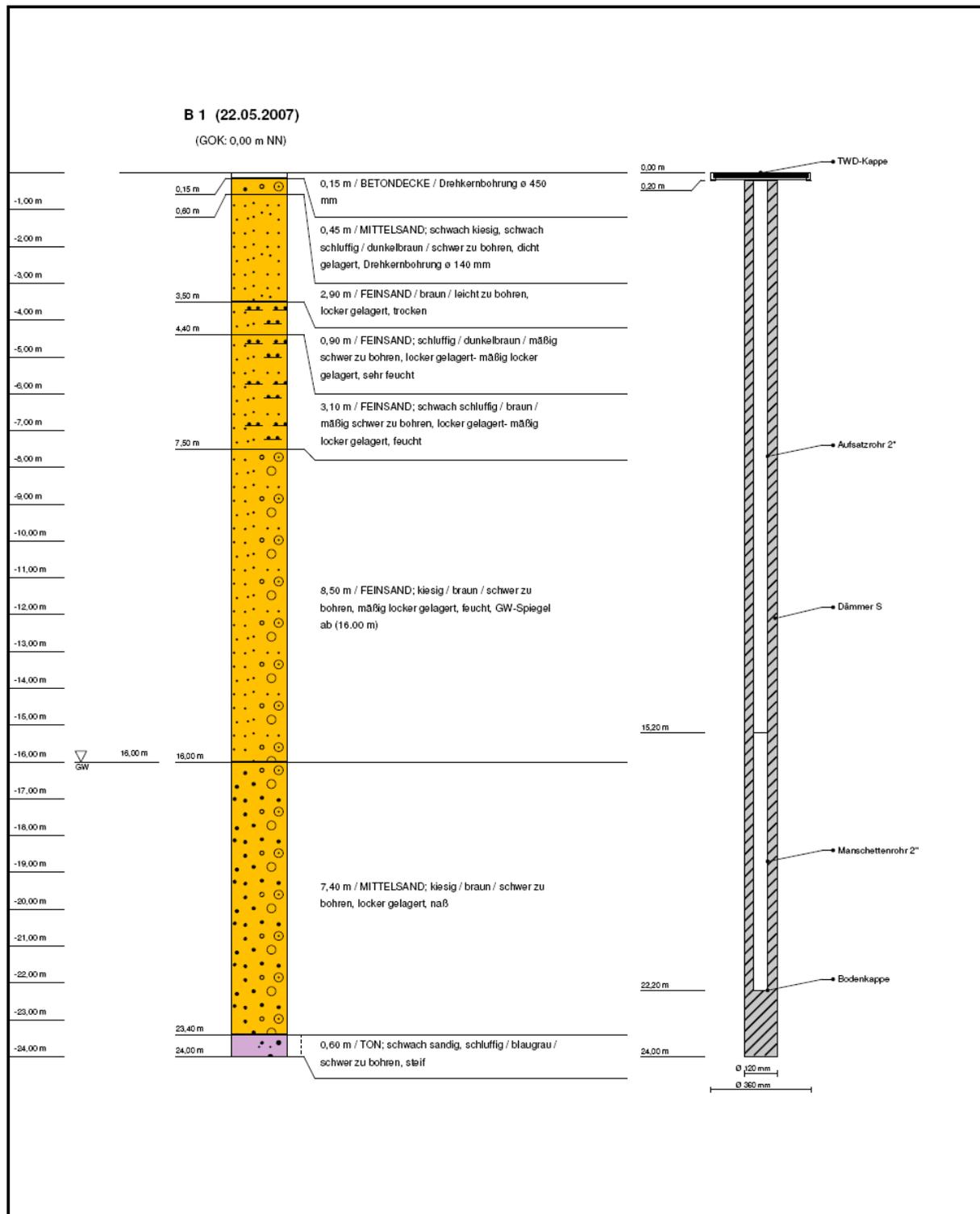
PFAD



Auftraggeber / Client <b>AAV Altlastensanierungs- und Altlastenaufbereitungsverband NRW</b>			
Projekt / Project Tracerversuch zur Bestimmung der GW-Fließverhältnisse		Projekt-No.: <b>TRACER-AAV-FERSTER</b>	Bearb. / Resp.: <b>TROE</b>
Benennung / Title <b>Lageplan</b>		Datum / Date <b>17.08.09</b>	Zeichner / Drafter <b>SCHÄFER / TROE</b>
		Maßstab / Scale <b>1:100</b>	Anlage / Figure <b>A1</b>

## **Anlage 2: Brunnenausbaupläne**

Anlage 2.1: Ausbauplan Messstelle B1 = 7024-75 nach SU, Geo Bohrtechnik



B 1 (22.05.2007)

Sanierungsmaßnahme

Ort d. Bohrg. : ehem. chem. Reinigung Ferster, Bornheim

Anlage:

Auftraggeber : AAV Altlastensanierungsverband NRW

Seite: 1 von 1

Bohrfirma : geo-Bohrtechnik GmbH, Blaustein

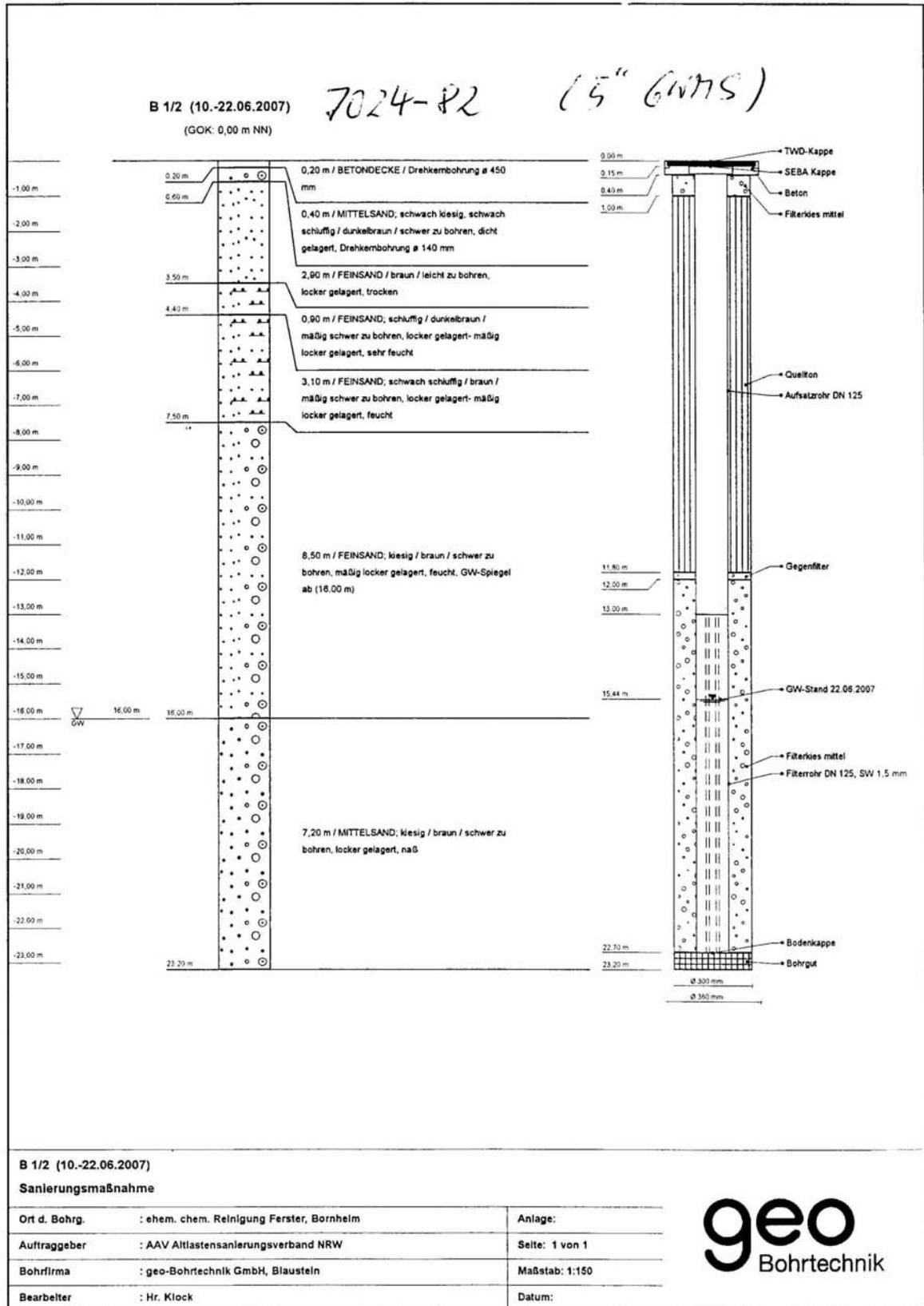
Maßstab: 1:150

Bearbeiter : Hr. Klock

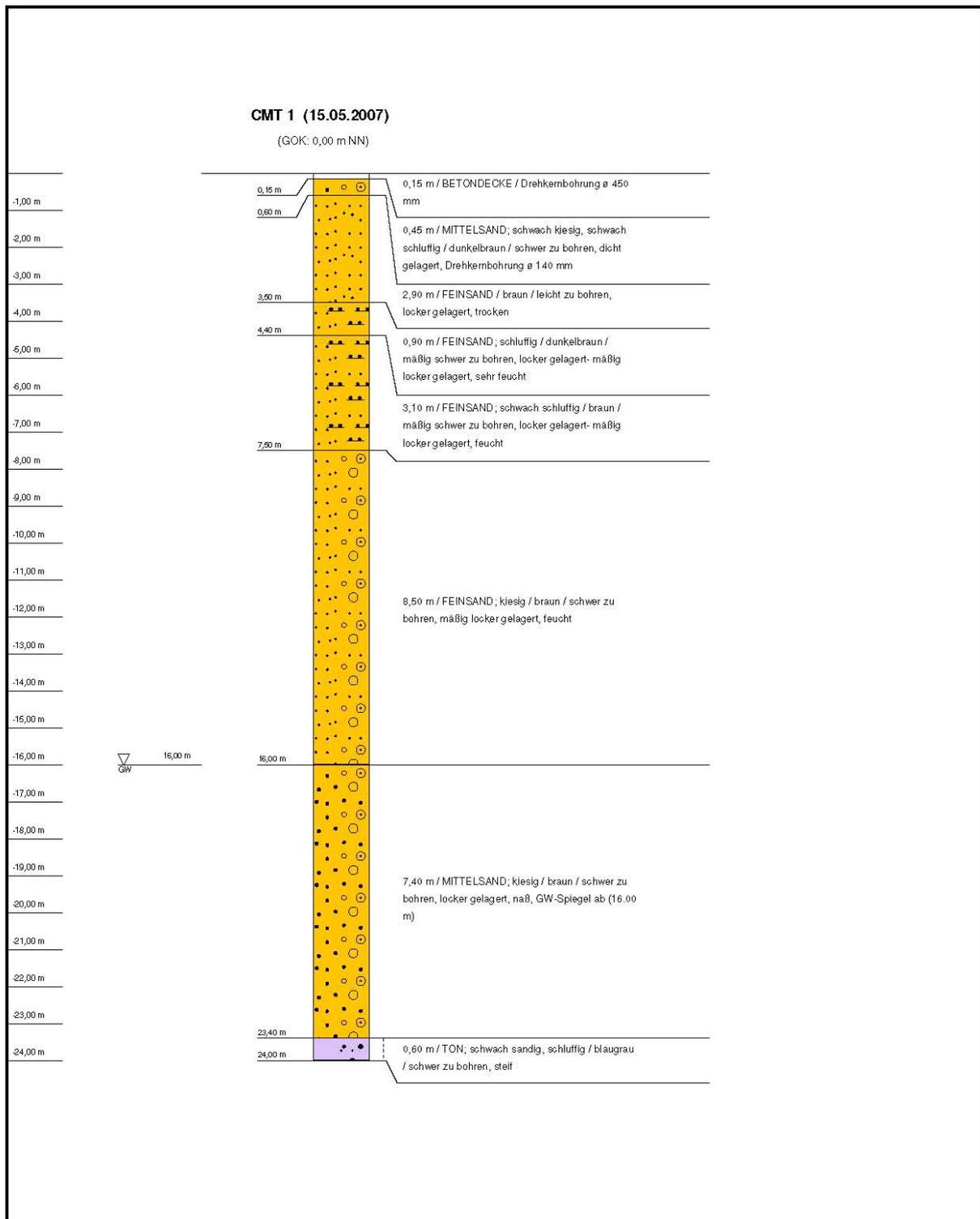
Datum:

**geo**  
Bohrtechnik

Anlage 2.2: Ausbauplan Brunnen 7024-82 (GWM5“) nach SU, Geo Bohrtechnik



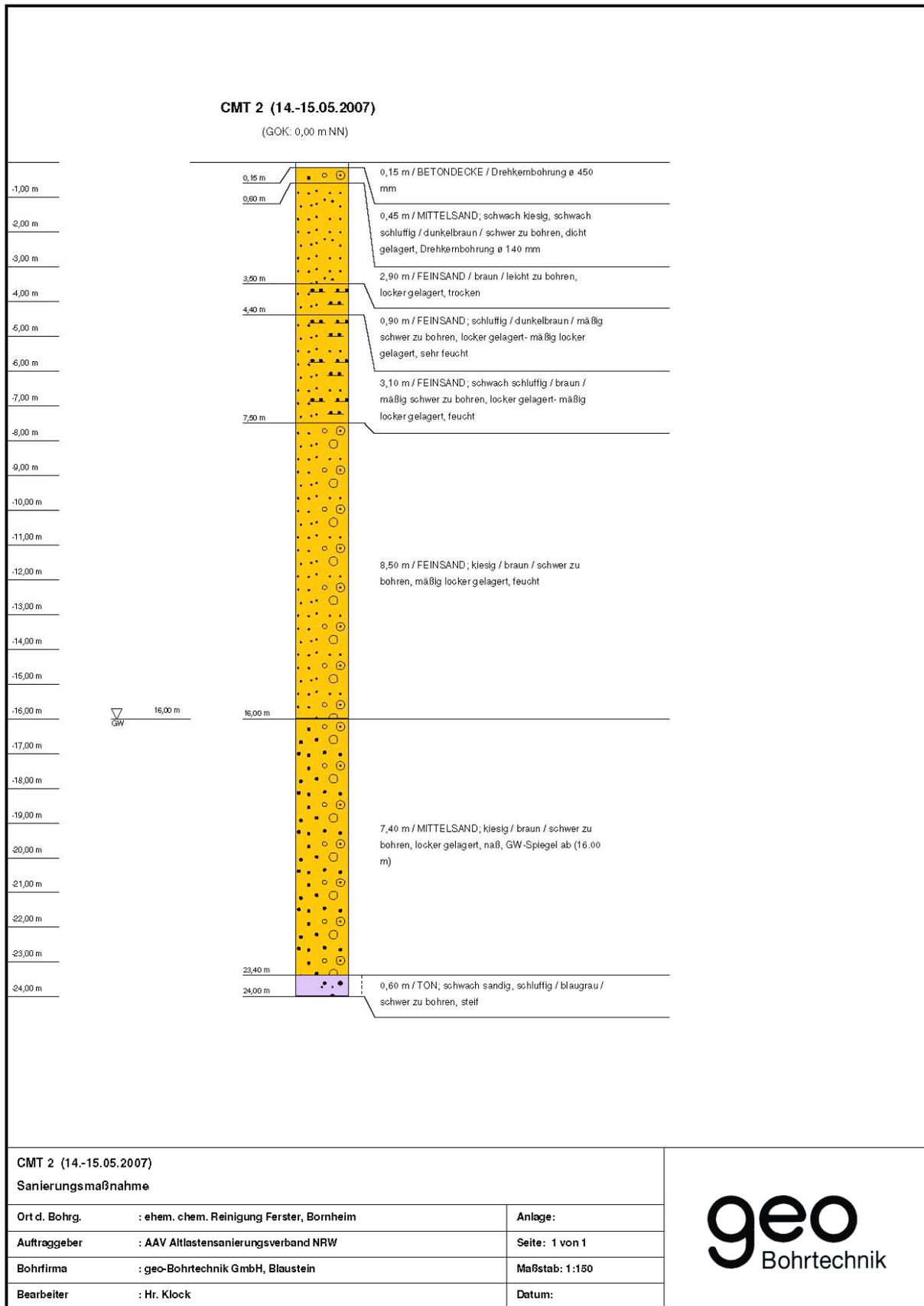
Anlage 2.3: Ausbaupläne der CMT-Messstellen



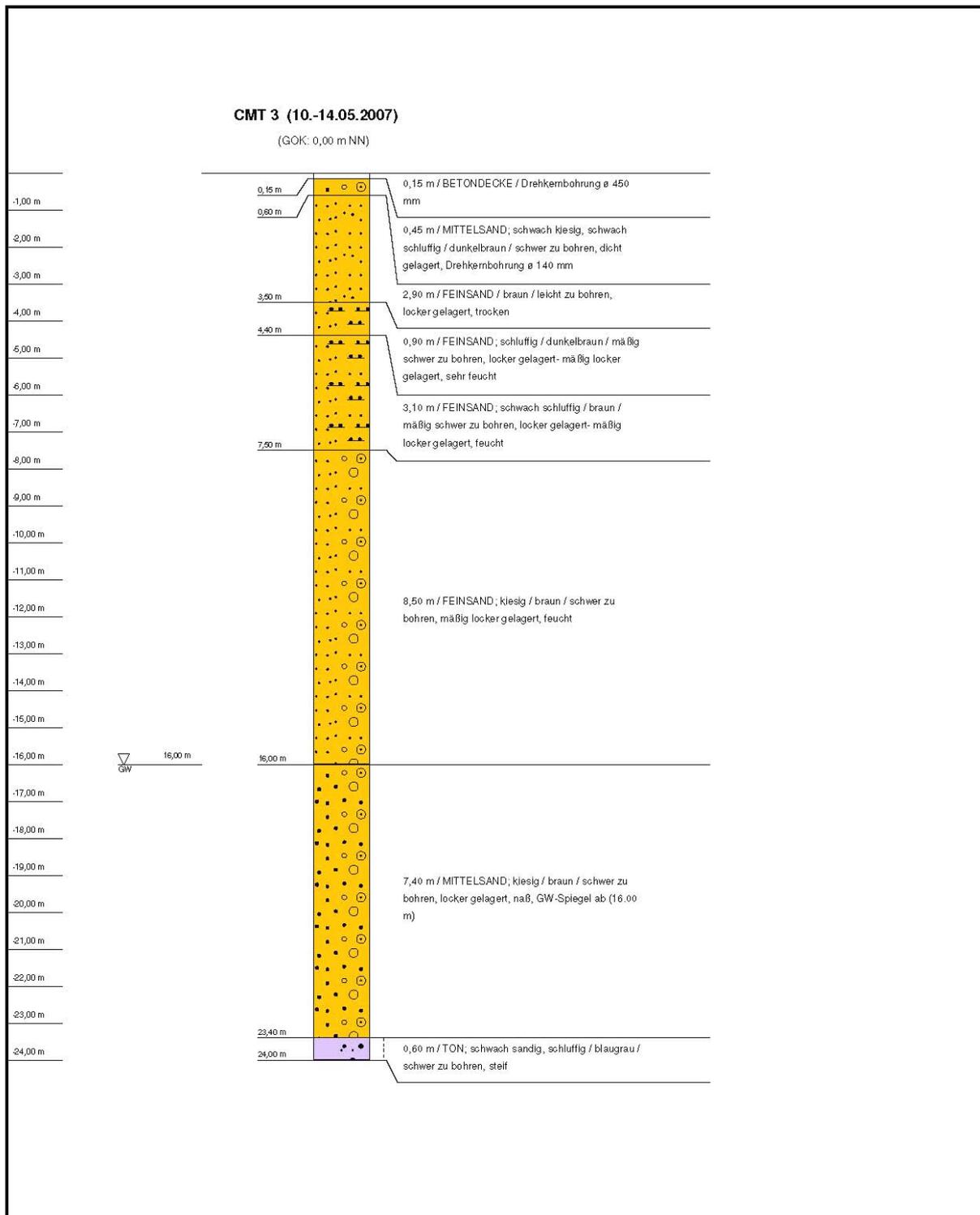
<b>CMT 1 (15.05.2007)</b>	
<b>Sanierungsmaßnahme</b>	
Ort d. Bohrg.	: ehem. chem. Reinigung Ferster, Bornheim
Auftraggeber	: AAV Altlastensanierungsverband NRW
Bohrfirma	: geo-Bohrtechnik GmbH, Blaustein
Bearbeiter	: Hr. Klock
Anlage:	
Seite:	1 von 1
Maßstab:	1:150
Datum:	



Anlage 2.3: Ausbaupläne der CMT-Messstellen



Anlage 2.3: Ausbaupläne der CMT-Messstellen



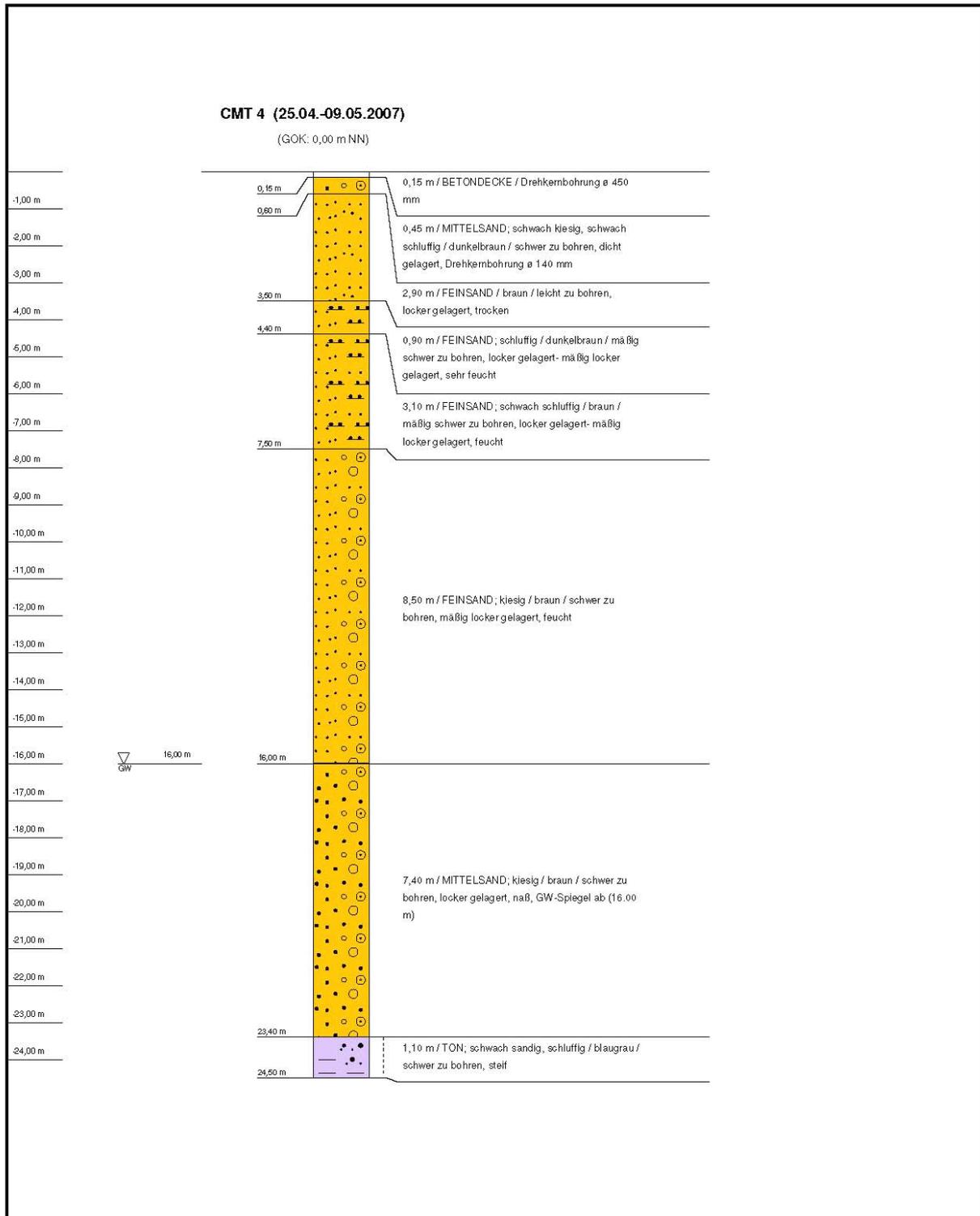
CMT 3 (10.-14.05.2007)  
Sanierungsmaßnahme

Ort d. Bohrg. : ehem. chem. Reinigung Ferster, Bornheim  
 Auftraggeber : AAV Altlastensanierungsverband NRW  
 Bohrfirma : geo-Bohrtechnik GmbH, Blaustein  
 Bearbeiter : Hr. Klock

Anlage:  
 Seite: 1 von 1  
 Maßstab: 1:150  
 Datum:



### Anlage 2.3: Ausbaupläne der CMT-Messstellen



CMT 4 (25.04.-09.05.2007)

Sanierungsmaßnahme

Ort d. Bohrg. : ehem. chem. Reinigung Ferster, Bornheim

Anlage:

Auftraggeber : AAV Altlastensanierungsverband NRW

Seite: 1 von 1

Bohrfirma : geo-Bohrtechnik GmbH, Blaustein

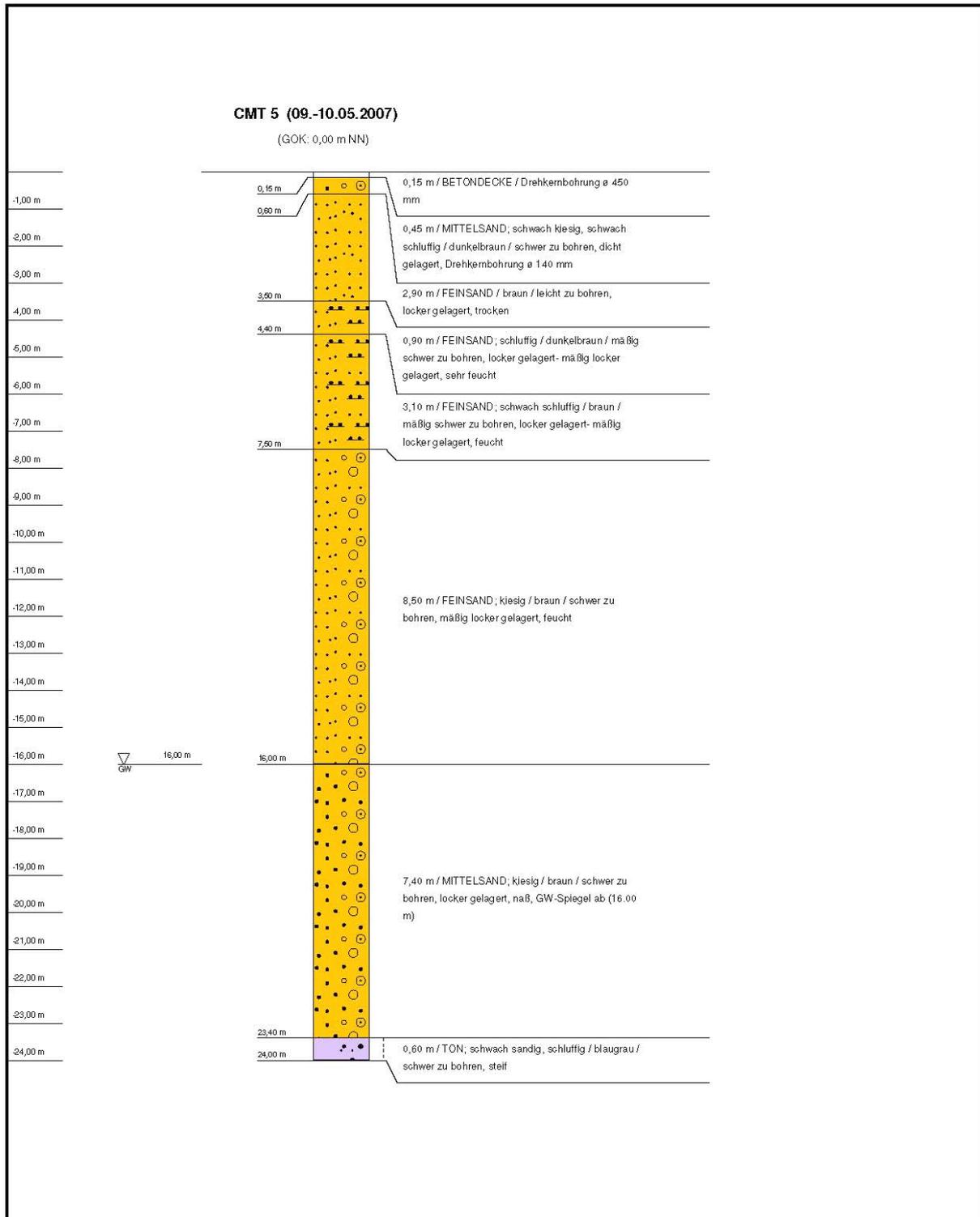
Maßstab: 1:150

Bearbeiter : Hr. Klock

Datum:



Anlage 2.3: Ausbaupläne der CMT-Messstellen



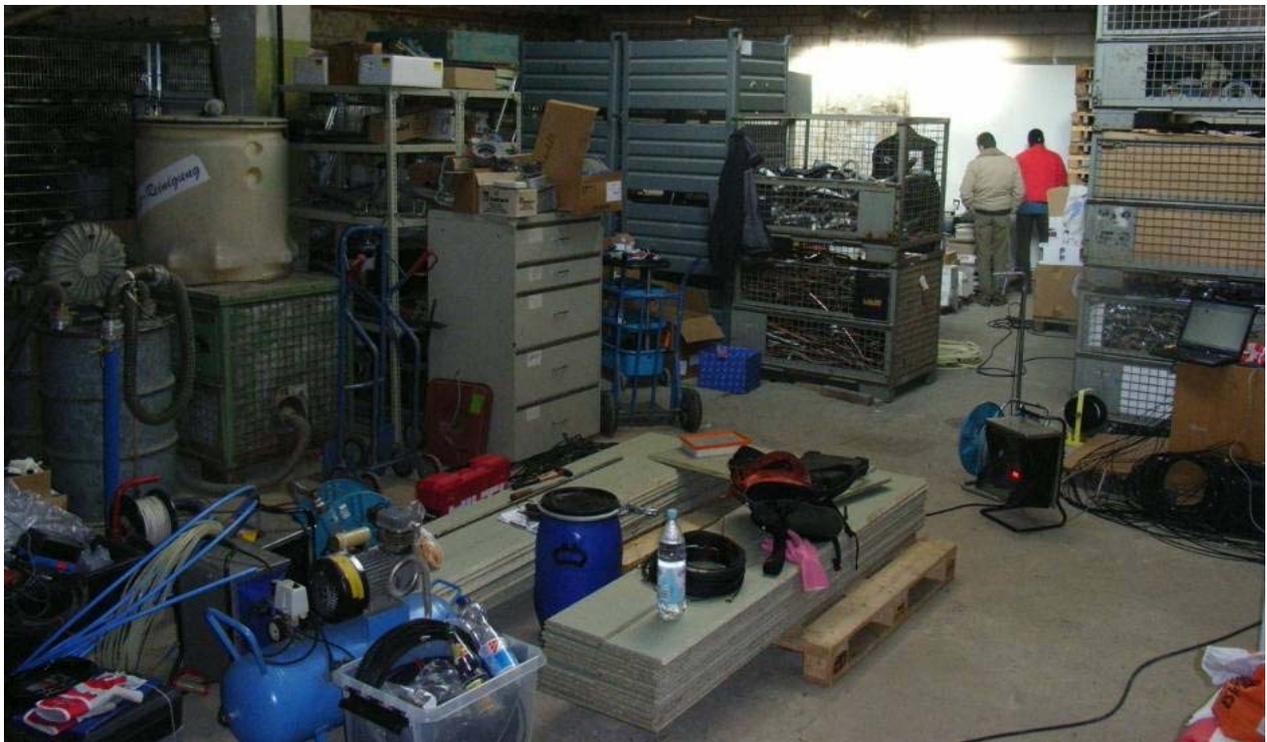
<b>CMT 5 (09.-10.05.2007)</b>	
Sanierungsmaßnahme	
Ort d. Bohrg.	: ehem. chem. Reinigung Ferster, Bornheim
Auftraggeber	: AAV Altlastensanierungsverband NRW
Bohrfirma	: geo-Bohrtechnik GmbH, Blaustein
Bearbeiter	: Hr. Klock
Anlage:	
Seite:	1 von 1
Maßstab:	1:150
Datum:	



## Anlage 3: Photos vom Standort



## Vorbereitung Kurzpumpversuche



## Baustelleneinrichtung und Kurzpumpversuch in GWMS 5“



**Verdünnungsversuch während Einmischungsphase**



**Doppelpackersystem mit Umwälzpumpe zur Tracerzugabe**



**Verlegung Lichtleiter CMT1**



**Anschluss Lichtleiter in CMT5, Lichtleiterverlegung aus Halle Fa. Schlösser**



**Anbindung CMT4 während Tracerversuchen**

## VEGAS

Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung 18.09.2009 / VEG39 Markierungsversuch ehem. Ferster Anlagen

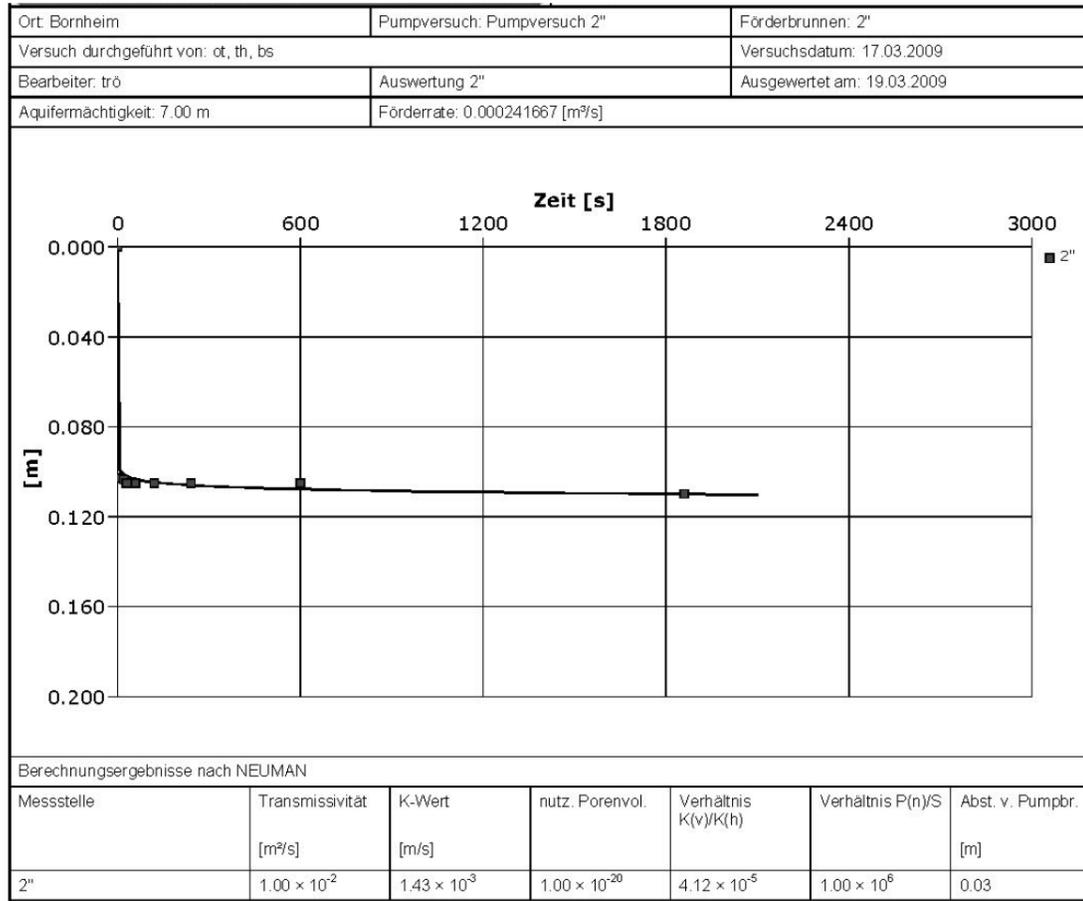


Platzbedarf während Tracerversuchen

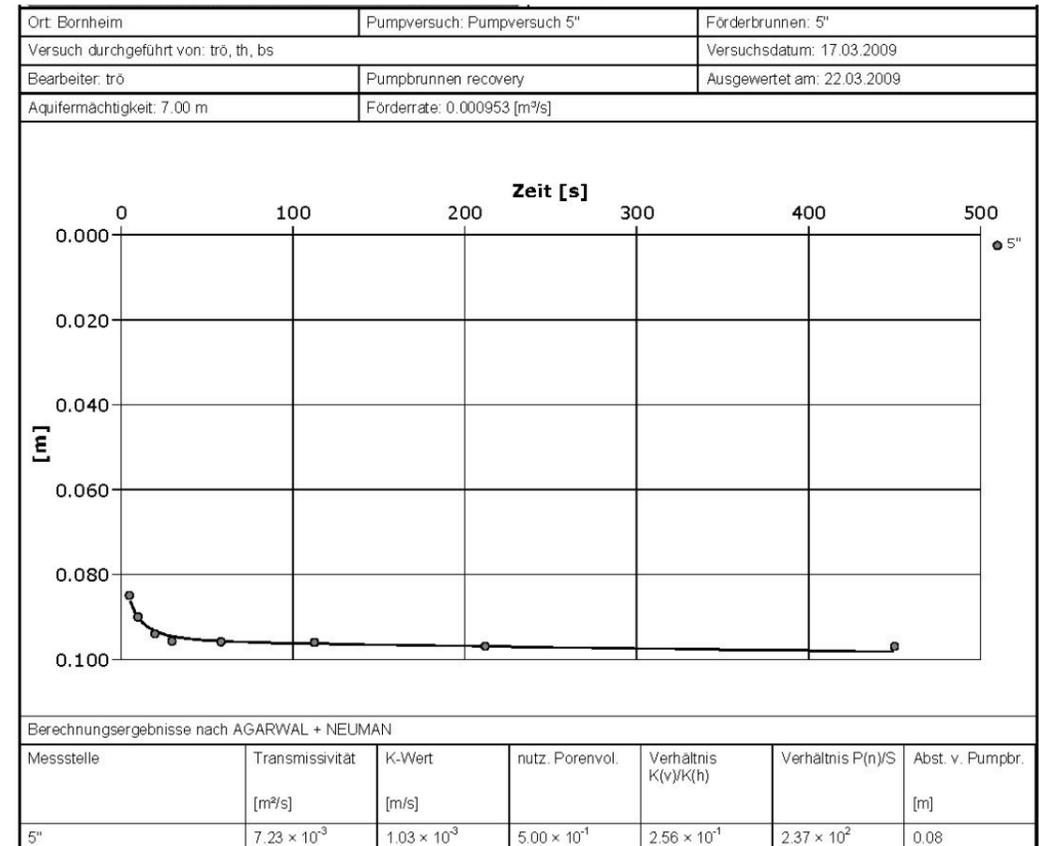
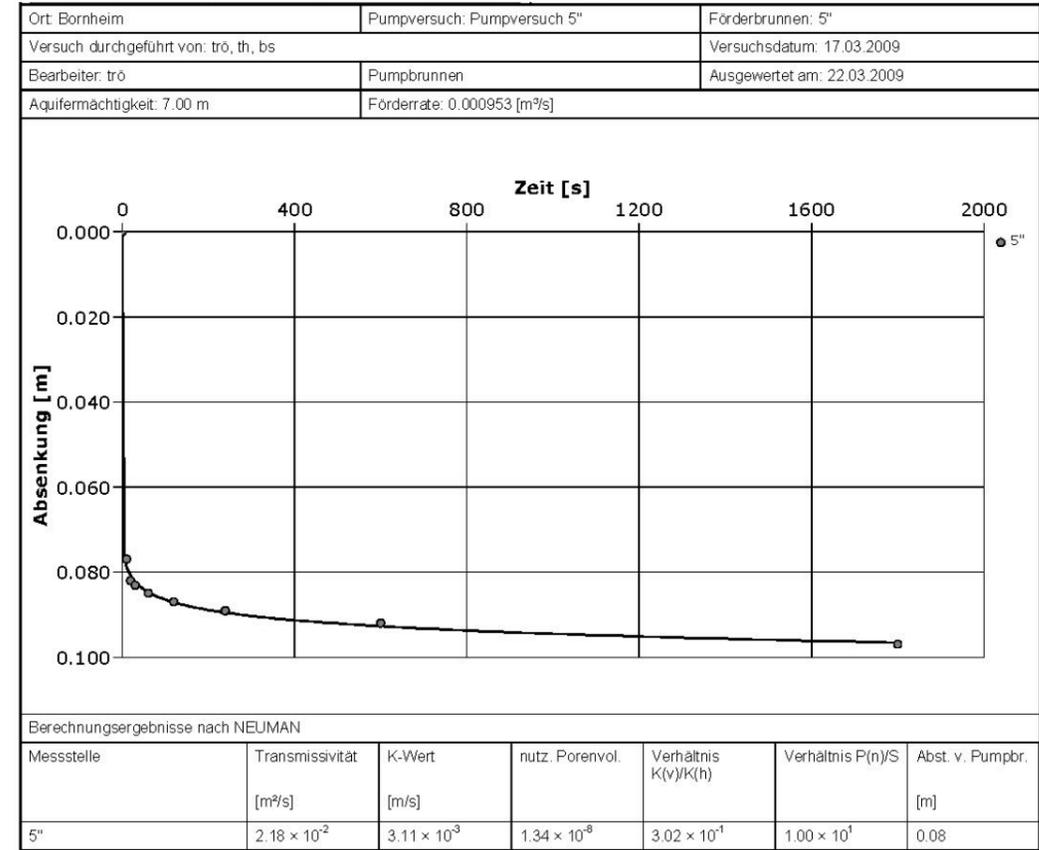


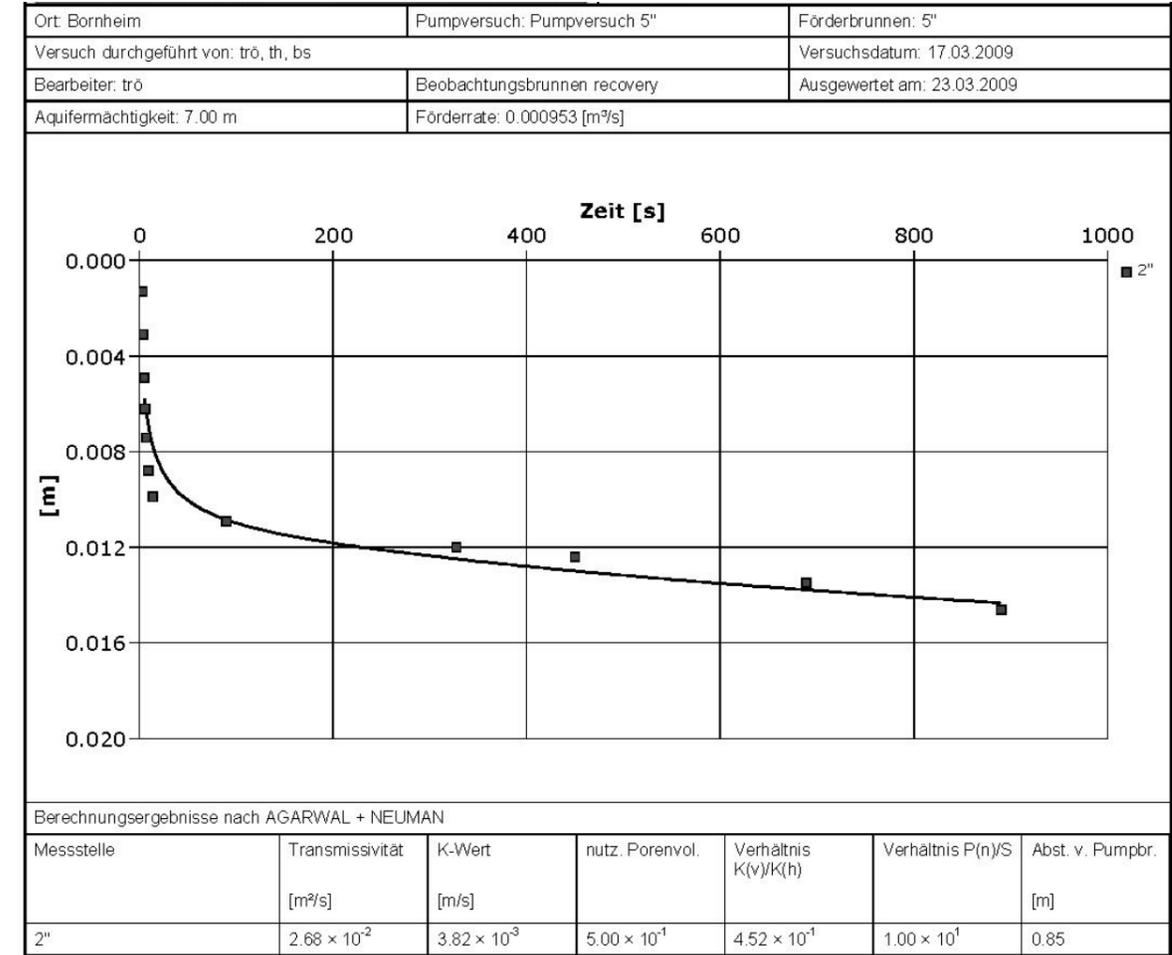
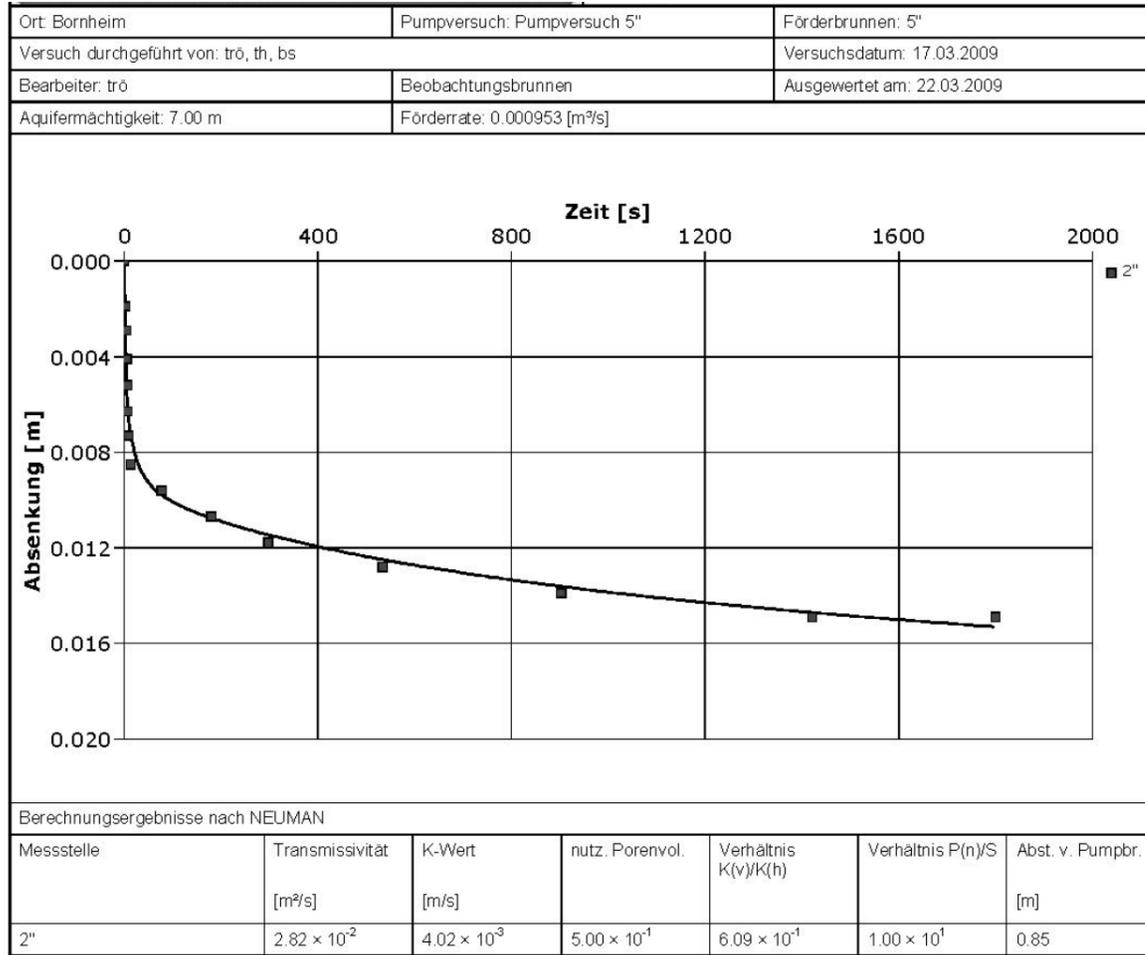
Messausrüstung und Pumpensteuerung Mini-Bladder Pumps

## **Anlage 4: Ergebnisse Kurzpumpversuche**



Ort: Bornheim	Pumpversuch: Pumpversuch 2"	Förderbrunnen: 2"						
Versuch durchgeführt von: ot, th, bs		Versuchsdatum: 17.03.2009						
Aquifermächtigkeit: 7.00 m	Förderrate: 0.000241667 [m³/s]							
Bezeichnung	Bearbeiter	Ausgewertet am	Methode	Brunnen	T [m²/s]	K [m/s]	S	
1	Auswertung 2"	tró	19.03.2009	NEUMAN	2"	$1.00 \times 10^{-2}$	$1.43 \times 10^{-3}$	$1.00 \times 10^{-20}$





Ort: Bornheim	Pumpversuch: Pumpversuch 5"	Förderbrunnen: 5"					
Versuch durchgeführt von: trö, th, bs		Versuchsdatum: 17.03.2009					
Aquifermächtigkeit: 7.00 m	Förderrate: 0.000953 [m³/s]						
Bezeichnung	Bearbeiter	Ausgewertet am	Methode	Brunnen	T [m²/s]	K [m/s]	S
1 Pumpbrunnen	trö	22.03.2009	NEUMAN	5"	$2.18 \times 10^{-2}$	$3.11 \times 10^{-3}$	$1.34 \times 10^{-8}$
2 Pumpbrunnen recovery	trö	22.03.2009	AGARWAL + NEUMAN	5"	$7.23 \times 10^{-3}$	$1.03 \times 10^{-3}$	$5.00 \times 10^{-1}$
3 Beobachtungsbrunnen	trö	22.03.2009	NEUMAN	2"	$2.82 \times 10^{-2}$	$4.02 \times 10^{-3}$	$5.00 \times 10^{-1}$
4 Beobachtungsbrunnen recovery	trö	23.03.2009	AGARWAL + NEUMAN	2"	$2.68 \times 10^{-2}$	$3.82 \times 10^{-3}$	$5.00 \times 10^{-1}$

## **Anlage 5: Messergebnisse Uraninkonzentrationen der Probenahme- kampagnen**

18.03.2009 19:30  
06.05.2009 12:00

Start Tracer 1  
Start Tracer 2

Uraninkonzentrationen in µg/l

Datum	Uhrzeit	Zeit (d)	Analyse CMT1.1	Analyse CMT1.2	Analyse CMT1.3	Analyse CMT2.1	Analyse CMT2.2	Analyse CMT2.3	Analyse CMT3.1	Analyse CMT3.2	Analyse CMT3.3	Analyse CMT4.1	Analyse CMT4.2	Analyse CMT4.3	Analyse CMT5.1	Analyse CMT5.2	Analyse CMT5.3	Analyse 7024-36 (Br.2 San.-Anlage)
05.05.2009	10:00	47.60																
05.05.2009	13:00	47.73	<0.05		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	109.20	18.01	86.20	0.06	<0.05	<0.05	
05.05.2009	15:45	47.84		0.57														
14.05.2009	13:00	56.73	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05		<0.05	<0.05		46.48	5.28		<0.05	<0.05		<0.05
27.05.2009	13:00	69.73	<0.05	0.20		<0.05	0.09		<0.05	<0.05		2.86	3.63		<0.05	<0.05		<0.05
10.06.2009	13:00	83.73	<0.05	0.13		<0.05	0.22		<0.05	<0.05		1.02	0.61		<0.05	<0.05		0.09
26.06.2009	13:00	99.73	<0,05	0.11		<0,05	0.06		<0,05	<0,05		0.31	0.08		<0,05	<0,05		0.25
07.07.2009	13:00	110.73	0.21	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		0.18	0.06		0.06	0.10		0.45
22.07.2009	13:00	125.73	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		0.12	<0,05		<0,05	<0,05		0.52
28.07.2009	13:00	131.73																0.43
04.08.2009	13:00	138.73																0.48
17.08.2009	13:00	151.73																0.36
27.08.2009	13:00	161.73																0.28
02.09.2009	07:00	167.48																0.27