



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, Tel.: 685-67018  
Technischer Leiter VEGAS  
Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky, Tel.: 685-64716

Pfaffenwaldring 61  
D - 70550 Stuttgart  
Telefon +49 (0) 711 685 - 64717  
Telefax +49 (0) 711 685 - 67020  
internet: [www.vegasinfo.de](http://www.vegasinfo.de)

**Technischer Bericht**  
Nr. 2007 / 017 (VEG 28)

**Bestimmung der hydraulischen Wirksamkeit  
eines Grundwasserzirkulationsbrunnens  
„Testfeld Süd“ mittels Tracerversuchen**

**Auftraggeber:** Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger Wasser-  
technologie und Entsorgung,  
Amt für Umweltschutz, Stadt Stuttgart

**Förderkennzeichen:** 02WN0363 (KORA TV2.4 c)

**Auftragsdatum:** 01.10.2005,  
Wasserrechtliche Erlaubnis vom 23.08.2005

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

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

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. (FH) Oliver Trötschler  
Dipl.-Ing. (FH) Berit Limburg

**Dezember 2007**

(Dipl.-Ing. (FH) Oliver Trötschler)

(Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky)

Die Arbeiten des Forschungsschwerpunkts KORA werden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
2	Veranlassung und Vorgehensweise .....	9
2.1	Eingabestellen, –konzentrationen und Zugabemodus .....	10
2.2	Beobachtungsstellen und –zeitraum .....	11
2.3	Ausführungszeitraum .....	13
3	Ergebnisse der Markierungsversuche .....	14
3.1	Markierungsversuch RP2 .....	17
3.2	Markierungsversuch RP3 .....	21
3.3	Markierungsversuch RP4 .....	25
4	Literatur .....	30

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lageplan Testfeld Süd mit angepasster Strömungssimulation und Tracerdurchbruch über die Versuchszeit in Tagen an Messstellen im Bereich der Strömungswalze .....	5
Abb. 2: Normierte Durchbruchkurven Tracertest 2 (RP3) .....	6
Abb. 3: Auswertung des 2. Tracertests mit Bestimmung der Abstands- und der mittleren Transportgeschwindigkeit, des Dispersionskoeffizient und der Dispersivität nach Höltling [1] .....	7
Abb. 4: Grundwassergleichenplan (CP1 – CP3) .....	16
Abb. 5: Ausbreitung des Tracers, Uranin-Zugabe in RP2 .....	19
Abb. 6: Darstellung der Abstandsgeschwindigkeit, der mittleren Fließgeschwindigkeit, der Dispersionskoeffizienten und der Dispersivitäten (Uranin-Zugabe in RP2) .....	20
Abb. 7: Ausbreitung des Tracers, Uranin-Zugabe in RP3 .....	23
Abb. 8: Darstellung der Abstandsgeschwindigkeit, der mittleren Fließgeschwindigkeit, der Dispersionskoeffizienten und der Dispersivitäten (Uranin-Zugabe in RP3) .....	24
Abb. 9: Ausbreitung des Tracers, Uranin-Zugabe in RP4 .....	27
Abb. 10: Darstellung der Abstandsgeschwindigkeit, der mittleren Fließgeschwindigkeit, der Dispersionskoeffizienten und der Dispersivitäten (Uranin-Zugabe in RP4) .....	29

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eingabestellen und –konzentrationen der konservativen Markierungsstoffe	11
Tabelle 2: Probenahmestellen und Beprobungsintervall der Uraninmessungen .....	12
Tabelle 3: Zeitrahmen und Übersicht der Tracertests .....	13
Tabelle 4: Dispersivität $\alpha_L$ ermittelt aus den Markierungsversuchen .....	14
Tabelle 5: Durchlässigkeitswerte $k_f$ [m/s], Pumpversuche CDM [3].....	15
Tabelle 6: Durchlässigkeitswerte $k_f$ [m/s] , Pumpversuche CDM [3].....	15
Tabelle 7: Durchlässigkeitswerte $k_f$ [m/s] , Pumpversuche CDM [4].....	15
Tabelle 8: Advective und dispersive Kennwerte Tracertest 1 (Uranin-Zugabe in RP2).	20
Tabelle 9: Advective und dispersive Kennwerte Tracertest 2 (Uranin-Zugabe in RP3).	24
Tabelle 10: Advective und dispersive Kennwerte Tracertest 3 (Uranin-Zugabe in RP4)	28

# 1 Zusammenfassung

Auf dem Testfeld „Süd“, einer Teilfläche des EnBW-Geländes in Stuttgart Gaisburg wurden im Zeitraum zwischen August 2006 bis April 2007 drei Tracertests mit Aufgabe von Uranin in drei oberstromig des Grundwasserzirkulationsbrunnens (GZB) in der Grundwassermessstelle B86 (s. Abb. 1) gelegenen Rammpegeln RP2, RP3 und RP4 durchgeführt. Zum Ende des letzten Tracertests konnten an der Kontrollebene CP2-3 (B97 – B99) Restkonzentrationen zwischen 3 bis 5 µg/L bestimmt werden.

Der Tracerdurchbruch wurde mittels Lichtleitermesstechnik und kontinuierlicher Beprobung der Überwachungsbrunnen: RP5, RP6 – RP15, RP17, RP21, RP22 und B98, sowie des GZB (B86) detektiert. Zur Verifikation der kontinuierlichen Messung wurden mindestens einmal täglich über automatische Probensammler Wasserproben gezogen und im Labor analysiert. Die restlichen Überwachungsbrunnen wurden entsprechend des Tracerdurchbruchs zwischen 2-mal wöchentlich bis alle 2 Wochen beprobt.

Die Zugabe des Tracers (Uranin) erfolgte als Dirac-Impuls. Es wurden jeweils 30 g Uranin zugegeben. Im ersten Tracertest (RP2, 02.08.06) erfolgte die Zugabe von 1 m<sup>3</sup> Uraninlösung (30 mg/L) über 2 Stunden. In den folgenden Tracertests (RP3: 13.10.06, RP4: 20.11.06) wurde jeweils 0,5 m<sup>3</sup> der Uraninlösung (60 mg/L) über die Dauer von 1 h zugegeben.

Ein zusätzlich mit Start der Luftinjektion in den GZB am 02.08.06 durchgeführter Tracertest mit Zugabe von Natriumbromid (10 mg/L) in die Zirkulationswalze des GZB über 3 Tage konnte infolge der bestimmten geringen Bromidkonzentrationen in den Rammpegeln nicht ausgewertet werden.

Aufbauend auf einem kleinräumigen dreidimensionalen numerischen Modell des Testfelds (GMS 6.0 ©, Brigham Young University, Utah USA) war für eine Förderrate von 10 m<sup>3</sup>/h mit einer Erfassungsbreite von 8 – 10 m zu rechnen. Die Tracertests zeigten, dass selbst mit stark verringerter Förderrate des GZB von ca. 4 m<sup>3</sup>/h eine oberstromige Erfassungsbreite von ca. 18 - 20 m erzielt wird. Das Strömungsmodell wurde entsprechend den Durchbruchzeiten über Veränderung der Anisotropie und der Porosität des modellierten Aquifers angepasst (Abb. 1). Die hohe, effektive hydraulische Wirksamkeit des GZB konnte durch die Tracertests nachgewiesen werden.

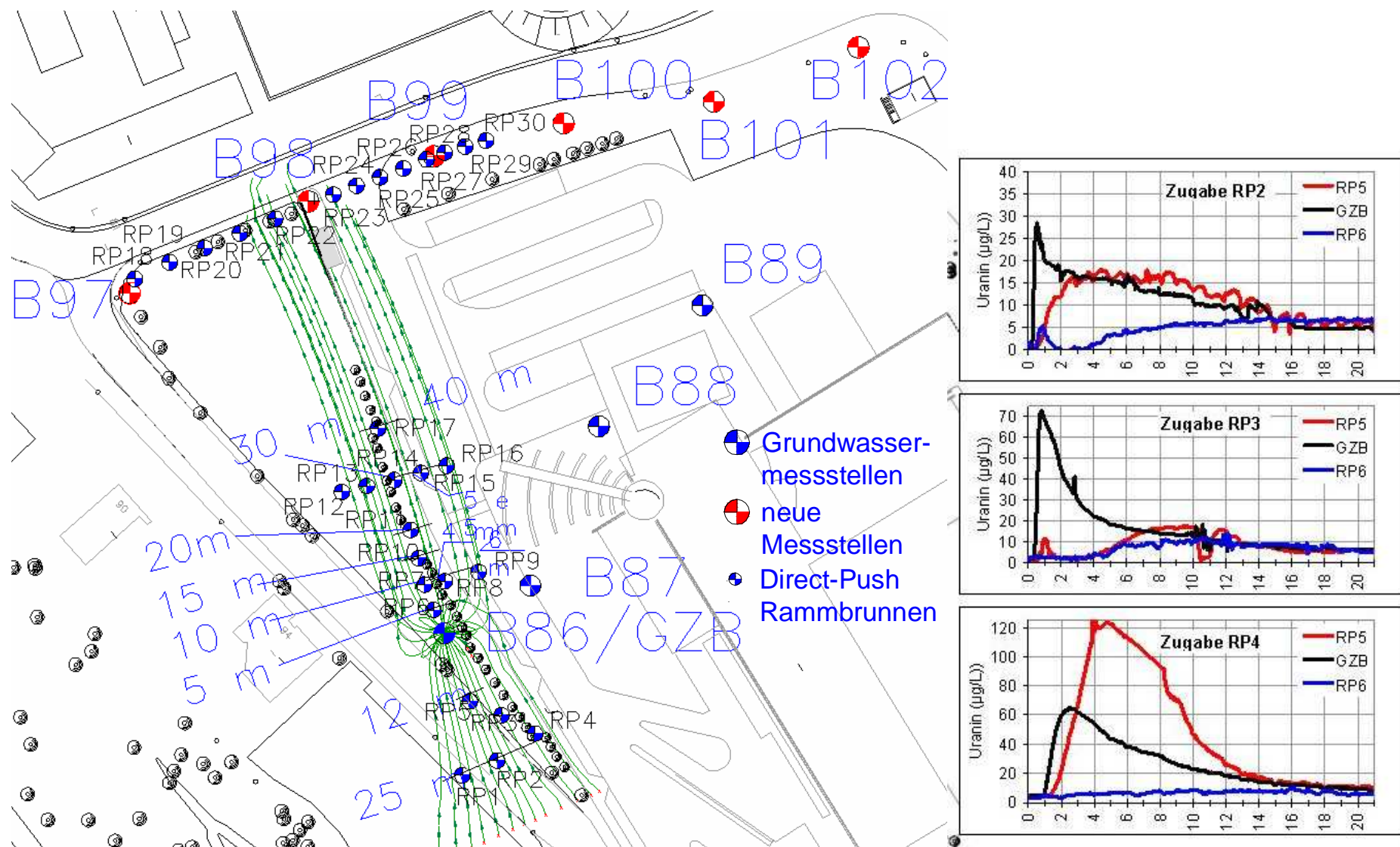


Abb. 1: Lageplan Testfeld Süd mit angepasster Strömungssimulation und Tracerdurchbruch über die Versuchszeit in Tagen an Messstellen im Bereich der Strömungswalze

Die unterstromige Ausbreitung des konservativen Tracers (Uranin) entsprach der Hauptströmungsrichtung (NNW) entlang einer Linie GZB-B98. Es wurde die gesamte Transsekte RP12-RP16, ca. 30 m unterstromig des GZB erfasst (Abb. 2).

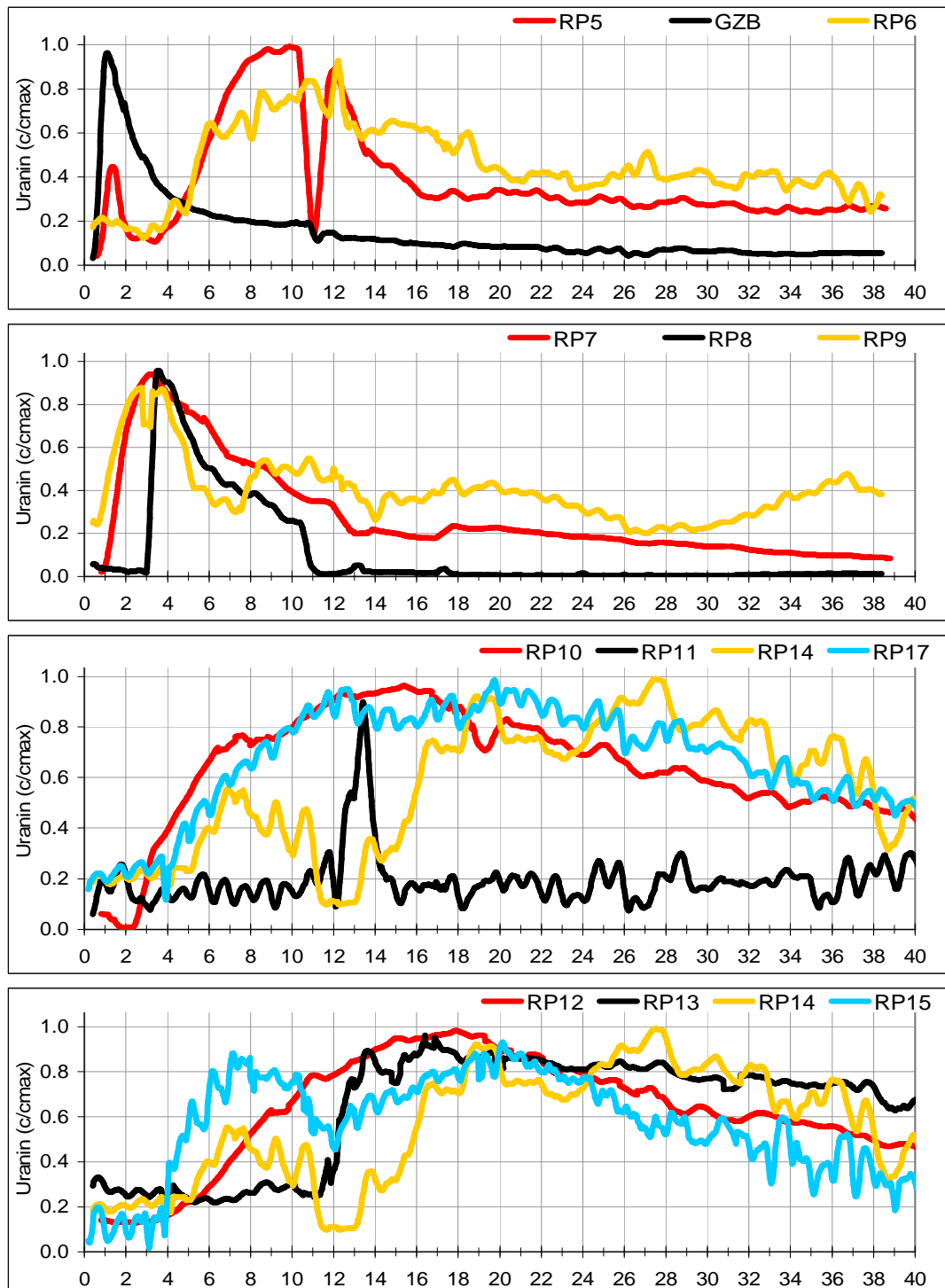


Abb. 2: Normierte Durchbruchkurven Tracertest 2 (RP3)

Die Brunnen RP6, RP7, RP8, RP13, RP15 zeigten während des ersten Tracertests (Zugabe RP2, Förderrate GZB: 10m³/h) ein „Doppelpeak-Verhalten“. Im zweiten Tracertest (Zugabe RP3, Förderrate GZB: 4 m³/h) zeigten die Brunnen RP5, RP9, RP14 und

RP15 dieses Verhalten mit zwei Maxima bei der Durchgangskurve. Das „Doppelpeak-Verhalten“ lässt sich dadurch erklären, dass der GZB über die Strömungswalze den Tracer erfasst und ihn auf der Strömungswalze verteilt. Insbesondere in die außen liegenden Bereiche der Strömungswalze gelangt der Tracer im Vergleich zur Grundwasserströmung schneller. Dies führt zu einem voraneilenden Tracerdurchbruch (erster Peak), der sich unterstromig fortsetzt und glättet.

Entgegen der numerischen Modellierung konnte Tracer in geringen Konzentrationen an der Kontrollebene CP2-3 im Bereich der westlich gelegenen Messstellen B97, RP18 – RP20 festgestellt werden. Der Tracerdurchbruch entlang der Grundwasserströmung auf der Centerline (RP21..B98..RP23) erfolgte nach ca. 55 Tagen Versuchszeit. Auch an den östlich hiervon gelegenen Messstellen (RP24..B99..RP28) konnte ein Durchbruch des Tracers festgestellt werden, wohingegen die noch weiter östlich gelegenen Messstellen keinen eindeutigen Anstieg der Fluoreszenz zeigten.

Die Wirkung des GZB lässt sich anhand der Abstandsgeschwindigkeiten erkennen (Abb. 3, oben). Mit hoher Geschwindigkeit (~ 10 m/d) erfasst der GZB den Tracer und gibt ihn in die äußeren Bereiche der Strömungswalze ab (RP5, RP7 – 9). In der Walze verbleibt ein Großteil des Tracers (RP5, RP6) und strömt langsam ab. Der erste Schub Tracer, eingeleitet über die äußere Zirkulation strömt rasch ab (RP14\*, RP15\*). Die Hauptmasse Tracer strömt mit einer Abstandsgeschwindigkeit um 1,6 m/d weiter (RP10 -13, RP14, RP15, RP17 – B98).

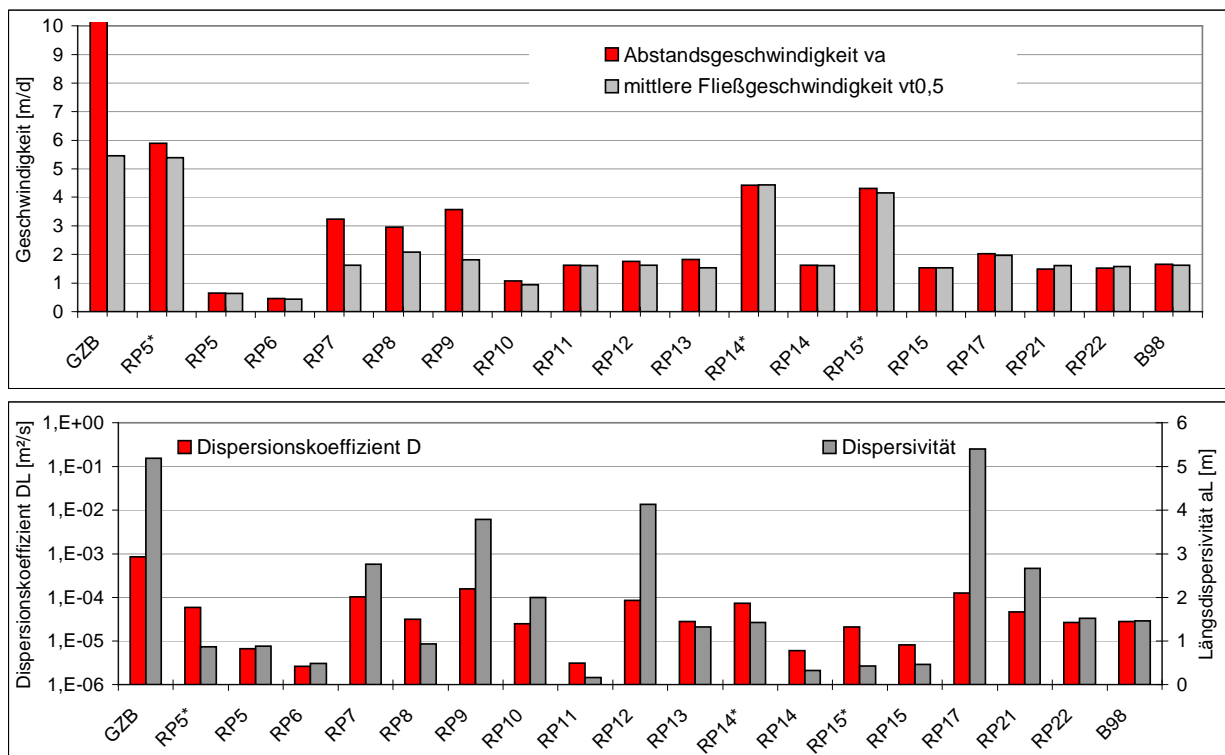


Abb. 3: Auswertung des 2. Tracertests mit Bestimmung der Abstands- und der mittleren Transportgeschwindigkeit, des Dispersionskoeffizient und der Dispersivität nach Hölting [1]



Der Dispersionskoeffizient (Abb. 3, unten) liegt im Mittel mit  $5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  im feldüblichen Rahmen, nicht eingerechnet ist der hohe Dispersionskoeffizient um den GZB ( $8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Die Längsdispersivität  $\alpha_L$  liegt im Mittel aller Tracertests, nicht eingerechnet die vergleichsweise hohen Werte des GZB ( $\alpha_L$  ca. 5 m), bei ca. 2 m. Dies ist im feldüblichen Rahmen (Makrodispersionsansatz), jedoch wesentlich höher als die üblicherweise in numerischen Modellen eingesetzten Werte im Bereich von einigen Zentimetern.

Entsprechend einem ermittelten mittleren hydraulischen Gradienten von 0,0016 im Untersuchungsbereich und den während den Tracerversuchen ermittelten mittleren Abstandsgeschwindigkeiten ergibt sich eine gemittelte hydraulische Leitfähigkeit  $k_f$  von  $1,6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  unterstromig des GZB bis zur Kontrollebene CP2-3. Die Durchlässigkeitsbeiwerte im Nahbereich der Grundwassermessstellen der Kontrollebenen CP2 und CP2-3 liegen zwischen  $1,4 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  und  $4,2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ .

## 2 Veranlassung und Vorgehensweise

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Forschungsschwerpunkt KORA geförderten ENA-Projektes sollten unterstromig des ehemaligen Gaswerksgelände der EnBW AG (vormals Neckarwerke) in Stuttgart-Ost, auf dem Gelände der EnBW AG, Logistikzentrum Stuttgart, Talstraße 105, vier Markierungsversuche mit konservativen Tracern (Markierungsstoffe) durchgeführt werden. Die Tracerversuche wurden gemeinschaftlich von der Universität Tübingen, ZAG und der Universität Stuttgart, VEGAS durchgeführt. Der Bericht wird entsprechend den Auflagen der wasserrechtlichen Erlaubnis des Amts für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart „ENA-Pilotanwendung, Betrieb eines Grundwasserzirkulationssystems zur Belüftung des Grundwassers mittels Wasserstoffperoxid und Luftsauerstoff“ vom 23.08.2005 erstellt.

Als konservative Markierungsstoffe sollten die Substanzen Uranin und Natriumbromid eingesetzt werden.

Oberstromig eines in der Grundwassermessstelle B86 installierten Grundwasserzirkulationssystems (GZB) wurde Uranin in die Messpegel RP2, RP3 und RP4 mit einem zeitlichen Versatz von 6 - 8 Wochen zugegeben und der unterstromige Tracerdurchgang beobachtet. Der Grundwasserzirkulationsbrunnen war zur Erfassung des Tracers während der Markierungsversuche in Betrieb. Die Markierungsversuche dienen der Bestimmung der oberstromigen Erfassungsbreite des GZB über eine Massenbilanzierung der erfassten Markierungsstoffe und dienen der Validierung des numerischen Modellansatzes und dem Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit des GZB.

Der Grundwasserzirkulationsbrunnen wurde auf dem Testfeld mit einem unten gelegenen Entnahmefilter und einem mittels Packer (l ~ 1 m) abgetrennten oberen Zugabefilter im ca. 4 m mächtigen quartären Aquifer installiert. Die Funktion des GZB beruht auf der Ausbildung einer Zirkulationsströmung zwischen Zugabe- und Entnahmefilter (Ausbausskizze des GZB, s. Anhang, Abbildung 35).

In einem weiteren Tracerversuch wurde zeitgleich mit der Zugabe von Luftsauerstoff in die Stömungswalze des GZB Natriumbromid aufgegeben und es sollte die unterstromige Ausbreitung bestimmt werden. Dieser Markierungsversuch sollte der Bestimmung des unterstromigen Einflussbereiches des GZB dienen.

Die Auswertung der Markierungsversuche sollte über Bestimmung des Durchbruchverhaltens, bzw. dem Nachweis der Tracer an den Messpegeln RP7 – RP16, sowie an der Messstelle B98 erfolgen. Analog den oberstromigen Tracerversuchen sollte der numerische Modellansatz validiert werden. Die Auswertung wurde auf die gesamten Rammpegel und Überwachungsbrunnen des Testfelds erweitert.

Alle Markierungsversuche wurden auf den quartären Kiesgrundwasserleiter beschränkt. Das untersuchte Gebiet befindet sich in der Kernzone des Heilquellenschutzgebiets (HQSG).

Zur Beurteilung der hydraulischen Bedingungen sollten während der Gesamtdauer der Tracerversuche 14-tägige Stichtagsmessungen an den Grundwasserpegeln (RP) und den Messstellen (B) der Kontrollebene CP2-3 durchgeführt werden. Angesichts der Informationsdichte mit kontinuierlicher Wasserstandsmessung in ausgesuchten Messstellen wurden die Stichtagsmessungen des Wasserstands monatlich durchgeführt. Die kontinuierliche Messung des Pegelstandes über Eintauchlogger wurde an RP2, RP7, B97, B98 und B98 realisiert. Die grundwasserspezifischen Vor-Ort-Parameter Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert und Redoxpotenzial wurde im Rahmen der Probenahme-kampagnen zur Bestimmung der Schadstoffgehalte an PAK und NSO-Heterozyklen bestimmt.

## 2.1 Eingabestellen, –konzentrationen und Zugabemodus

Der Markierungsstoff Uranin wurde in die Messpegel RP2, RP3 und RP4, welche den quartären Kiesaquifer erschließen, mit einem zeitlichen Versatz von ca. 6 - 8 Wochen eingegeben. Unter dem Ansatz einer mittleren Abstandsgeschwindigkeit von 2 m/d sollten die aufgegebenen Markierungsstoffe den unterstromig gelegenen GZB nach einer Laufzeit von ca. 2 - 3 Wochen erreichen.

Die Eingabe des Uranins erfolgte integral über die gesamte Mächtigkeit des Aquifers mittels einer Umwälzströmung (selbstsaugende Kreiselpumpe) innerhalb der Messstelle (DN25, vollverfiltert). Die Zugabe erfolgte als „Dirac-Impuls“ mit einem Volumenstrom von 500 l/h einer hochkonzentrierten Uraninlösung. Durch die Zugabe wurde der Grundwasserspiegel im Brunnen um maximal 3 cm für eine Dauer von 2 Stunden erhöht. Die interne Durchmischung im Brunnen wurde für ca. 8 Stunden aufrecht erhalten. Ein Nachspülen erfolgte nicht. Im ersten Tracerversuch (RP2) wurde eine konzentrierte Uraninlösung (30 mg/L) mit einer Zugabemenge von 1 m<sup>3</sup> zugegeben. Gemäß der Zylinderformel sollte eine Aufweitung der Tracerwolke auf ca. 1,6 m Durchmesser erreicht werden. In den beiden nachfolgenden Tracerversuchen (RP3 und RP4) wurde zur Verbesserung der Uraninbestimmung die infiltrierte Wassermenge auf 500 L eingegrenzt und die Zugabekonzentration auf 60 mg/L erhöht. Die Zugabe erfolgte mit ca. 500 L/h.

Der Markierungsstoff Natriumbromid wurde über die Dauer von 3 Tagen auf die Strömungswalze des GZB aufgegeben. Das Bromid wurde als hochkonzentrierte Lösung über eine Dosierpumpe und einem statischen Mischer dem re-infiltrierten Grundwasser zugegeben. Ziel war die Einstellung einer konstanten Konzentration von 10 mg/L in der Strömungswalze. Im Verlauf der Zugabe wurde der Markierungsstoff über den Bereich der internen Strömungswalze (ca. 8 m Radius) in den Aquifer eingeleitet.

Tabelle 1: Eingabestellen und –konzentrationen der konservativen Markierungsstoffe

Eingabestelle	RP2	RP3	RP4	GZB (B86)
Tracer	Uranin	Uranin	Uranin	Na-Bromid
Eingabekonzentration [mg/l]	30	60	60	10
Eingabevolumen [m <sup>3</sup> ]	1  (Aufgabe mit 0,5 m <sup>3</sup> /h, Dauer: 2 h)	0,5  (Aufgabe mit 0,5 m <sup>3</sup> /h, Dauer: 1 h)	0,5  (Aufgabe mit 0,5 m <sup>3</sup> /h, Dauer: 1 h)	600  (Aufgabe in Strömungswalze GZB: Förderrate 8 m <sup>3</sup> /h, Dauer: 3 Tage)
Gesamtmasse [g]	30	30	30	6000
Erschlossener Aquifer	Quartär	Quartär	Quartär	Quartär

## 2.2 Beobachtungsstellen und –zeitraum

Zur Beobachtung wurden die mit dem Geoprobe-Rammverfahren installierten Grundwasserpegel RP2 – 30 eingesetzt. Zusätzlich wurden die Grundwassermessstellen B97 – B101 überwacht. Sämtliche Proben werden als Pumpproben aus den vollverfilterten Brunnen entnommen. Der Tracerdurchbruch wurde mittels Lichtleitermesstechnik und Fluorometer mit kontinuierlicher Beprobung der Überwachungsbrunnen: RP5, GZB, RP6 – RP15, RP17, RP21, RP22 und B98, sowie des GZB (B86) detektiert (NWG: 1 µg/L). Zur Verifikation der kontinuierlichen Messung wurden mindestens einmal täglich über automatische Probensammler Wasserproben gezogen und im Labor analysiert. Die restlichen Überwachungsbrunnen wurden entsprechend dem Tracerdurchbruch zwischen 2-mal wöchentlich bis alle 2 Wochen beprobt. Die Grundwasserbrunnen der Kontrollebene CP2-3 wurden einzeln über Tauchpumpen (Grundfos MP1), die Rammpegel wurden mittels Membranpumpen im Saugverfahren beprobt.

An den Stichtagsmessungen im Rahmen der Probenahmekampagnen am 18.01.-20.01.2006, 25.10.2006, 26.02.-27.02.2007 und am 26.06.2007 wurden neben dem Grundwasserstand und dem Sauerstoffgehalt die Parameter Redoxpotenzial, Leitfähigkeit, pH-Wert und Temperatur an den Rammpegeln und Grundwassermessstellen der Kontrollebenen CP1, CP2, CP2-3 und CP3 bestimmt (grafische Darstellung, Anhang, Abbildung 29 bis Abbildung 32).

Die Grundwasserstände der monatlichen Stichtagsmessungen an den Rammpegeln RP1-30, sowie den Grundwassermessstellen an CP2-3 sind tabellarisch zusammengestellt (Anhang, Tabelle A 2, Tabelle A 3). Zusätzlich waren in RP2, RP7, B97, B98 und B99 Wasserstandslogger installiert (Anhang Abbildung 28).

An B86 (GZB) erfolgte eine kontinuierliche Messung von Durchfluss, Redoxpotenzial, pH-Wert, Sauerstoff, Leitfähigkeit und Temperatur (grafische Darstellung im Anhang, Abbildung 33 und Abbildung 34).

Tabelle 2: Probenahmestellen und Beprobungsintervall der Uraninmessungen

Bezeichnung	Entnahmetiefe	Probenahmesystem	Probenahmezyklus
RP1	Integral	Membranpumpe manuell	Mind. 2 x monatlich
RP2	Integral	Membranpumpe manuell	Mind. 2 x monatlich, kont. bei Zugabe
RP3	Integral	Membranpumpe manuell	Mind. 2 x monatlich, kont. bei Zugabe
RP4	Integral	Membranpumpe manuell	Mind. 2 x monatlich, kont. bei Zugabe
RP5- RP6	Integral	Peristaltikpumpe automatisch	Kont. (Durchflusszelle), bei Zugabe und je 2 Wochen über Probensammler täglich, ansonsten 2 x wö.
GZB (B86)	Integral, Zugabe	Peristaltikpumpe automatisch	Kont. (Durchflusszelle) und 4 x täglich automatisch bei Zugabe NaBr, ansonsten 1 x täglich über Probensammler
RP7	Integral	Peristaltikpumpe automatisch	Kont. (Durchflusszelle), automatische tägliche Probenahme (je erste vier Wochen), danach 2 x wö
RP8 – RP15	Integral	Peristaltikpumpe automatisch	Kont. (Durchflusszelle), automatische tägliche Probenahme (erste vier Wochen), danach 2 x wö
RP16	Integral	Membranpumpe manuell	Manuell, 1 x wö.
RP17, 21, 22	Integral	Peristaltikpumpe automatisch	automatische tägliche Probenahme (erste vier Wochen), danach 1 x wö
RP18 - 20	Integral	Membranpumpe manuell	Mind. 2 x monatlich
RP23 - 30	Integral	Membranpumpe manuell	Mind. 2 x monatlich
B97	Integral	Membranpumpe manuell	Mind. 2 x monatlich
B98	Integral	Peristaltikpumpe automatisch	automatische tägliche Probenahme (erste vier Wochen), danach 1 x wö
B99	Integral	Membranpumpe manuell	Mind. 2 x monatlich
B100 - 102	Integral	Membranpumpe manuell	Mind. 2 x monatlich

Alle Messstellen im Kernbereich (Abstand zum GZB: max. 15 m Abstand) wurden zunächst zweimal täglich beprobt. Abhängig von den Ergebnissen wurde der Probenahmeplan dem Versuchsverlauf angepasst und fortgeführt.

Die Analytik erfolgte im Labor der Universität Tübingen mittels Spektralfluorimeter (NWG: 0,5 µg/L) zur Uraninbestimmung und Ionenchromatograph (NWG: 0,2 mg/L) zur Bromidbestimmung. Der Einsatz einer Ionenselektiven Sonde (NWG: 2 mg/L) zur vor-Ort Bestimmung der Bromidkonzentrationen erwies sich aufgrund der geringen Konzentrationen als ungenau.

### 2.3 Ausführungszeitraum

Die Zugabe der Markierungsstoffe erfolgte am:

Tabelle 3: Zeitrahmen und Übersicht der Tracertests

Tracertest Zugabestelle	Datum Startzeit Tracerzugabe	Förderrate GZB (bis Abklingen Konzentrationen an GZB)	Anmerkungen
Uranin 1: RP2	02.08.2006 16:34 Uhr	10 m³/h	ab Mitte August: 2 m³/h, ab Mitte September: 4 m³/h
Na-Bromid: GZB	02.08.2006 18:39 Uhr	10 m³/h	ab Mitte August: 2 m³/h, ab Mitte September: 4 m³/h
Uranin 2: RP3	13.10.2006 15:40 Uhr	4 m³/h	konst. Volumenstrom bis Mitte Dezember 2006
Uranin 3: RP4	20.11.2006 16:30 Uhr	4 m³/h	bis Mitte Dezember: 4 m³/h bis Anfang Februar 2007: 2 – 3 m³/h Änderung hydraulisches Regime des GZB: Februar 2007, Teilzugabe RP6 (Satellitenbrunnen GZB) mit Entnahme GZB: 1,3 m³/h, Zugabe RP6: 0,6 m³/h Zugabe GZB: 0,7 m³/h

Die online-Überwachung mittels automatischer Probenahme, Lichtleitermesstechnik und Fluorometer erfolgte entsprechend der Tracerausbreitung bis zum 15.12.2006. Danach wurden bis Ende Januar 2007 wöchentlich Proben aus den Überwachungsbrunnen und -pegeln genommen. Bis Ende April 2007 wurden im 2-wöchigen Rhythmus Proben an der Kontrollebene CP2-3 (B97-B102, RP18 – RP30) gewonnen. Die bis 40 m unterstromig des GZB gelegenen Messstellen wurden aufgrund der nicht nachweisbaren Tracerkonzentration nicht weiter beprobt.

Zum Ende des Überwachungszeitraums konnten noch Restkonzentrationen im Bereich von 2 – 3 µg/L Uranin an CP2-3 an den Brunnen im Bereich von B97, B98 und B99, also auf einer Breite von ca. 60 m bestimmt werden.

### 3 Ergebnisse der Markierungsversuche

Ziel des Markierungsversuchs mit Natriumbromidzugabe (10 mg/L) in den GZB war die Bestimmung des Retardationsfaktors des zeitgleich eingetragenen (Luft)Sauerstoffs im Vergleich zur Grundwasserströmung.

Der Bromid-Markierungsversuch konnte infolge der bestimmten geringen Bromidkonzentrationen in den Rammpegeln außerhalb des Einzugsbereichs des GZB, bzw. der Reichweite der Grundwasserzirkulationswalze von mehr als 10 m nicht ausgewertet werden. Auf eine Darstellung der Ergebnisse wird daher verzichtet.

Bromid konnte an den Pegeln RP3, RP5 und RP6, also im Bereich der Grundwasserzirkulationsströmung eindeutig detektiert werden. An RP7, RP8 und RP9 mit einem Abstand von 10 m zum GZB lagen die Konzentrationen um 1 mg/L Bromid, während ab RP10 (Abstand zu GZB: 15 m) kein Bromid detektiert werden konnte (< 0,5 mg/L). Es liegt der Schluss nahe, dass die Zugabekonzentration zu gering war, um Bromid auch weiter unterstromig detektieren zu können.

Die Auswertung der Uranintracertests erfolgt mittels der Momentenmethode nach Käss [2] zur Bestimmung der dominanten Abstandsgeschwindigkeit an den einzelnen Messpegeln. Hierbei wird anhand der Tracerdurchbruchskurve ( $c(t)$ ) zunächst 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. 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.

Tabelle 4: Dispersivität  $\alpha_L$  ermittelt aus den Markierungsversuchen

	Dispersivität $\alpha_L$ (ohne GZB) [m]
Tracertest Uranin 2	1,72
Tracertest Uranin 1	2,26

	Dispersivität $\alpha_L$ (ohne GZB) [m]
Tracertest Uranin 3	2,44
Gesamt (Mittelwert)	2,14

Anhand der Grundwassergleichenpläne (Oktober 2006 und Februar 2007, siehe Abb. 4) wurde ein mittlerer hydraulischer Gradient von 0,0016 im Bereich der Tracerausbreitung ermittelt. Eine mittlere effektive Porosität von 0,17 wurde aus den Durchlässigkeitsbeiwerten von Pumpversuchen an den relevanten Grundwassermessstellen, den im Tracertest ermittelten mittleren Abstandsgeschwindigkeiten unterstromig des GZB (RP7 → B97, B98 und B99) und dem mittleren hydraulischen Gradienten berechnet. Die Durchlässigkeitsbeiwerte der relevanten Messstellen B97, B98 und B99 wurden aus den ermittelten Transmissivitäten der Kurzpumpversuche von CDM Jungbauer [4] im November 2005 berechnet. Aus der mittleren effektiven Porosität und den mittleren Abstandsgeschwindigkeiten ergibt sich ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von  $1,6 \times 10^{-3}$  m/s unterstromig des GZB. Dieser liegt im Bereich der über Pumpversuche ermittelten Werte an CP2 (B86 – B88):  $1,4 \times 10^{-3}$  m/s bis  $4,2 \times 10^{-3}$  m/s (Kurzpumpversuche durch CDM Jungbauer [3]) und an CP2-3 (B97 – B99):  $1,4 \times 10^{-3}$  bis  $2,0 \times 10^{-3}$  m/s. [4].

Tabelle 5: Durchlässigkeitswerte  $k_f$  [m/s], Pumpversuche CDM [3]

Kontrollebene CP2				
B86	B87	B88	B89	B90
$1,9 \times 10^{-3}$	$4,2 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$4,8 \times 10^{-4}$	$7,5 \times 10^{-3}$

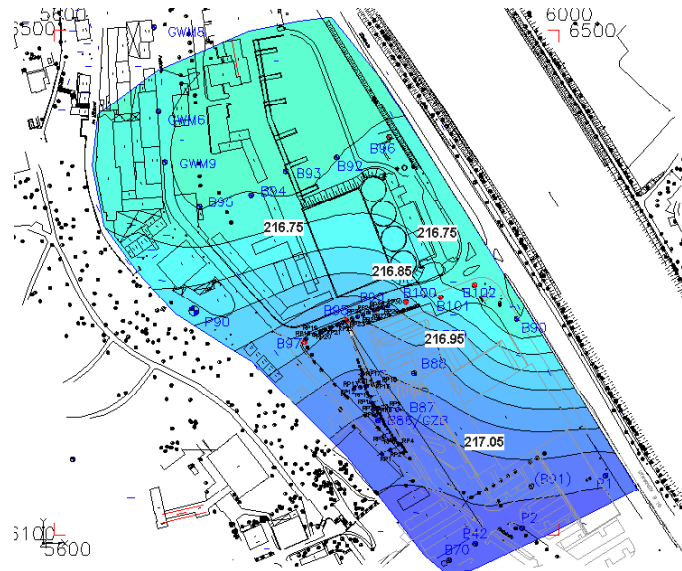
Tabelle 6: Durchlässigkeitswerte  $k_f$  [m/s] , Pumpversuche CDM [3]

Kontrollebene CP3				
B92	B93	B94	B95	GWM11
$1,2 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-2}$	$9,7 \times 10^{-3}$

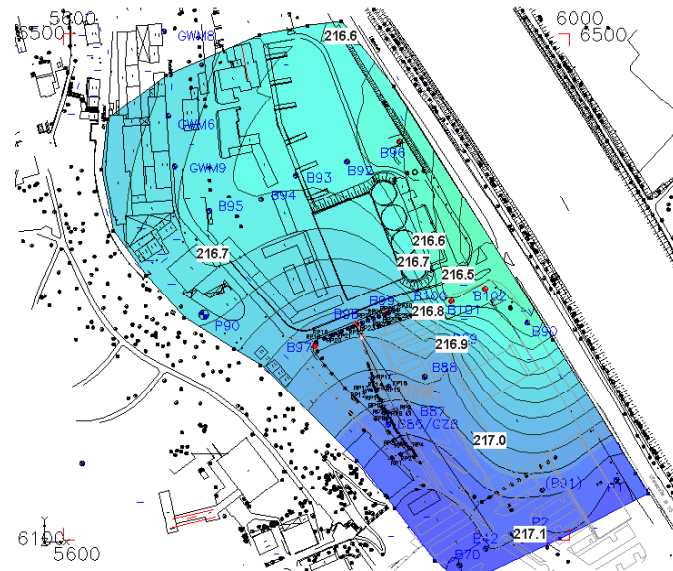
Tabelle 7: Durchlässigkeitswerte  $k_f$  [m/s] , Pumpversuche CDM [4]

CP3 Ost	Kontrollebene CP2-3					
B96	B97	B98	B99	B100	B101	B102
$1,4 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-3}$	$5,6 \times 10^{-3}$	$9,9 \times 10^{-3}$

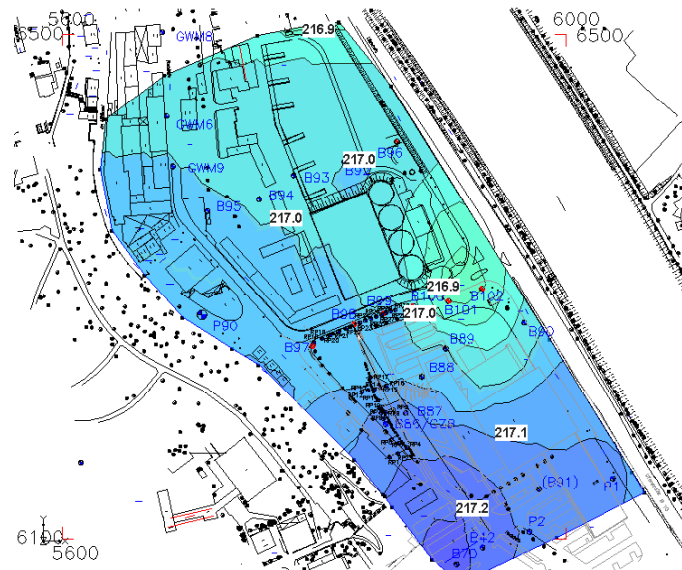




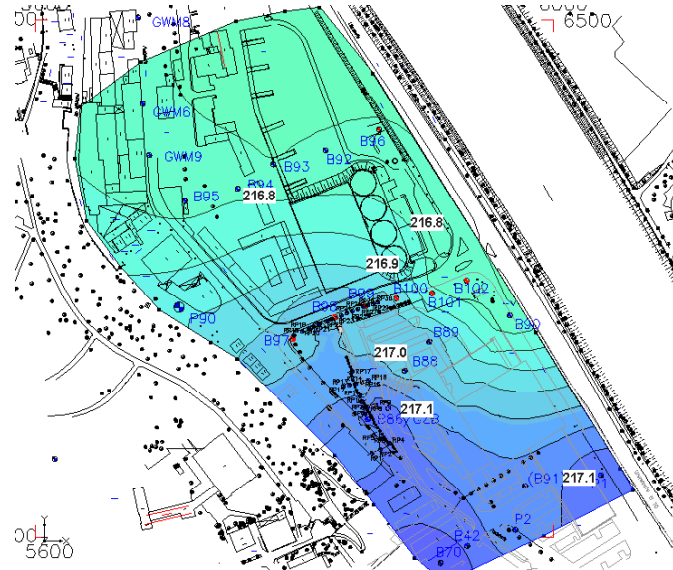
Grundwasserstände im Januar 2006



Grundwasserstände im April 2006



Grundwasserstände im Oktober 2006



Grundwasserstände im Februar 2007

Abb. 4:  
Grundwassergleichenplan  
(CP1 – CP3)

### 3.1 Markierungsversuch RP2

Der Verlauf der Uranin-Konzentration über die Zeit und die Summenkurven zu den einzelnen Messstellen sind in den Diagrammen im Anhang abgebildet.

Die Messstelle RP5 liegt oberstromig von B86 (GZB) und zeigte innerhalb der ersten zwei Tage nach Zugabe von Uranin in RP2 einen deutlichen Anstieg der Uranin-Konzentration und anschließend ein langsames Abklingen. Nach ca. 4,5 Tagen erreichte die Kurve ihr Maximum mit 19,5 µg/L Uranin. Der GZB zeigte ein ähnliches Verhalten, nur dass das Maximum der Kurve bereits nach einem halben Tag mit 29,8 µg/L Uranin erreicht wurde.

In der Auswertung zu der Messstelle RP6 ist ein „Doppelpeak-Verhalten“ erkennbar mit dem ersten Maximum innerhalb des 1. Tages und einer Uranin-Konzentration von 8,1 µg/L und einem zweite Maximum mit 6,4 µg/L Uranin nach ca. 28 Tagen. Das „Doppelpeak-Verhalten“ resultiert aus dem Strömungsverhalten in der Zirkulationswalze des GZB. Der Tracer wird vom GZB erfasst und mit hoher Strömungsgeschwindigkeit auf der Strömungswalze verteilt. Insbesondere in die außen liegenden Bereichen der Strömungswalze gelangt der Tracer im Vergleich zur Grundwasserströmung schneller. Dies führt zu einem voraneilenden Tracerdurchbruch, der sich unterstromig fortsetzt und glättet. Die Messstellen RP7 und RP8 zeigten ein ähnliches Verhalten, wobei die Maxima bei 4 und 14, bzw. 2 und 6 Tagen lagen mit Uranin-Konzentrationen unter 3 µg/L.

RP 9 zeigte einen deutlichen Anstieg mit einem Maximum von 12 µ/L Uranin nach ca. 4 Tagen und einen raschen Rückgang. An der Messstelle RP10 ist ein Durchbruch fraglich, da die Konzentration des Uranin im Bereich des Hintergrundwertes unterhalb von 0,5 µg/L lagen. Genauso ist bei RP11 ein Durchbruch fraglich. Zwar lassen sich Konzentrationsspitzen nach 1 und 14 Tagen erkennen, die Uranin-Konzentration lag jedoch im Bereich des Hintergrundwertes.

An RP12 begann der Anstieg der Uranin-Konzentration nach ca. 5 Tagen und endete nach ca. 21 Tagen mit 9 µ/L. Anschließend wurde ein langsames Abklingen beobachtet. Die Kurve zu RP13 zeigt mehrere Maxima, wobei nach 11 und 22 Tagen die ersten beiden deutlichen Maxima mit 4 bzw. 5,7 µg/L erkennbar sind. RP14 zeigte nach ca. 8 Tagen einen deutlichen Peak, die Maximalkonzentrationen lagen jedoch unter 1µg/L Uranin. RP15 hatte ähnlich geringe Konzentrationen wie RP14, mit deutlichen Maxima nach 3 und 38 Tagen. Aufgrund des Kurvenverlaufs kann hier von einem Tracerdurchbruch ausgegangen werden. RP17 zeigte einen Konzentrationsanstieg nach ca. 8 Tagen und ein Maximum von 5,9 µ/L Uranin nach 19 Tagen.

An der Messstelle B97 lässt sich kein eindeutiger Durchbruch erkennen. Zwar wurde ein Maximalwert nach ca. 70 Tagen festgestellt, aber die Konzentrationen lagen insgesamt im Bereich des Hintergrundwertes. In den Messstellen RP18, RP19 und RP 20 konnte kein Durchbruch festgestellt werden, da sich die Messwerte im Bereich der Hintergrundwerte befanden, ohne dass ein ausgeprägtes Maximum erkennbar ist. An den Messstellen RP21 und B98 erfolgte ein langsamer Konzentrationsanstieg. Der Maximalwert an RP21 wurde nach 52 Tagen bestimmt, wobei der Durchbruch fraglich ist, da die Uranin-Konzentration mit 1,5 µg/L im Bereich des Hintergrundwertes lag. RP22 zeigte einen eindeutigen Durchbruch mit 3,1 µg/L Uranin nach ca. 50 Tagen.

Alle weiteren Messstellen der Kontrollebene CP2-3 (RP23-30 und B99-101) zeigten keinen Durchbruch, die Uranin-Konzentrationen lagen zudem im Bereich des Hintergrundwertes.

In Abb. 5 ist die Ausbreitung des Tracers dargestellt. Zum jeweiligen Zeitpunkt ist der Anteil der normierten Summenkurve für die einzelnen Messstellen dargestellt. Ist der Tracer vollständig durchgebrochen, so wurde der Anteil der Summenkurve für die nachfolgenden Zeiten auf den Wert „1, bzw. 100%“ gesetzt, um die Tracerausbreitung interpoliert darzustellen.

Die Abstandsgeschwindigkeit  $v_a$  im Feld (ohne GZB) betrug 1,8 m/d und die mittlere Fließgeschwindigkeit  $v_{10,5}$  1,7 m/d. Nach der Momentenmethode errechnet sich die Abstandsgeschwindigkeit aus dem Mittelwert der Fließgeschwindigkeit (50%-Wert der normierten Summenkurve) und der dominanten Fließgeschwindigkeit (Maximum der normierten Konzentration) und liegt aufgrund des Voraneilens des Maximums in der Regel höher als die mittlere Fließgeschwindigkeit.

Im Mittel lagen der Dispersionskoeffizient bei  $5,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  und die Dispersivität bei 2,3 m. Bei der Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeiten, der mittleren Fließgeschwindigkeiten, der Dispersionskoeffizienten und der Dispersivitäten zu den einzelnen Messstellen (siehe Tabelle 8 und in Abb. 6) wurde die Entfernung und die dominierende Abstandsgeschwindigkeit zum GZB, der den Mittelpunkt der Strömungswalze bildet, berücksichtigt.

Für die Messstellen, in denen es aufgrund der Strömungswalze zu einem „Doppelpeak-Verhalten“ kam, wurden für beide Maxima getrennte Auswertungen durchgeführt. Die Auswertung zu dem ersten Maximum, das aufgrund der Zirkulationsströmung im äußeren Bereich der Strömungswalze entsteht, ist mit einem Stern am Namen der Messstelle gekennzeichnet.

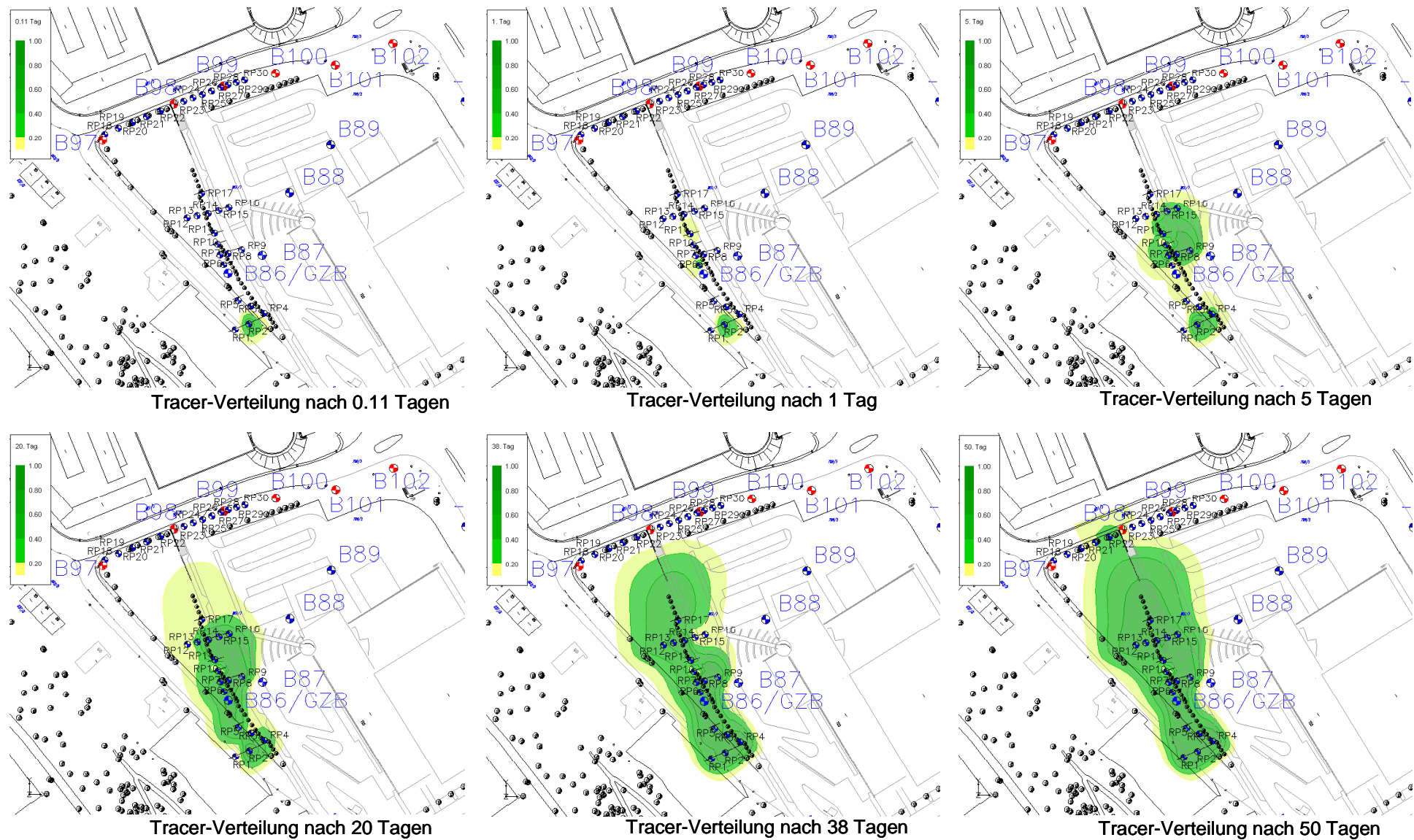


Abb. 5: Ausbreitung des Tracers, Uranin-Zugabe in RP2

Tabelle 8: Advective und dispersive Kennwerte Tracertest 1 (Uranin-Zugabe in RP2)

Pegel	Abstands- geschwindigkeit $v_a$ [m/d]	mittlere Fließge- schwindigkeit $v_{t0,5}$ [m/d]	Dispersions- koeffizient [m <sup>2</sup> /s]	Dispersivität [m]
GZB	24,5	3,0	$4,5 \times 10^{-4}$	1,59
RP5	1,4	0,8	$2,9 \times 10^{-5}$	1,87
RP6*	13,9	12,3	$2,0 \times 10^{-4}$	1,25
RP6	0,6	0,5	$1,2 \times 10^{-5}$	1,76
RP7*	3,1	3,1	$2,5 \times 10^{-5}$	0,71
RP7	1,7	1,6	$3,9 \times 10^{-5}$	1,96
RP8*	5,1	5,5	$3,6 \times 10^{-5}$	0,61
RP8	1,4	1,4	$3,0 \times 10^{-4}$	0,21
RP9	4,2	4,7	$4,5 \times 10^{-5}$	0,92
RP11 <sup>1</sup>	1,5	1,5	$4,1 \times 10^{-6}$	0,23
RP12	1,1	1,1	$5,2 \times 10^{-5}$	3,88
RP13*	3,1	3,3	$7,6 \times 10^{-5}$	2,13
RP13	1,6	1,6	$1,8 \times 10^{-6}$	0,10
RP14	4,1	3,3	$3,8 \times 10^{-4}$	7,87
RP15*	10,7	8,5	$1,4 \times 10^{-3}$	11,24
RP15	0,8	0,8	$1,2 \times 10^{-6}$	0,14
RP17	1,8	1,4	$1,1 \times 10^{-4}$	5,27
RP21	1,6	1,7	$9,2 \times 10^{-5}$	4,84
RP22	1,7	1,7	$2,0 \times 10^{-6}$	0,10
B98	1,6	1,5	$6,0 \times 10^{-5}$	3,26

<sup>1</sup>Durchbruch fraglich, Konzentrationen von Uranin im Bereich des Hintergrundwertes

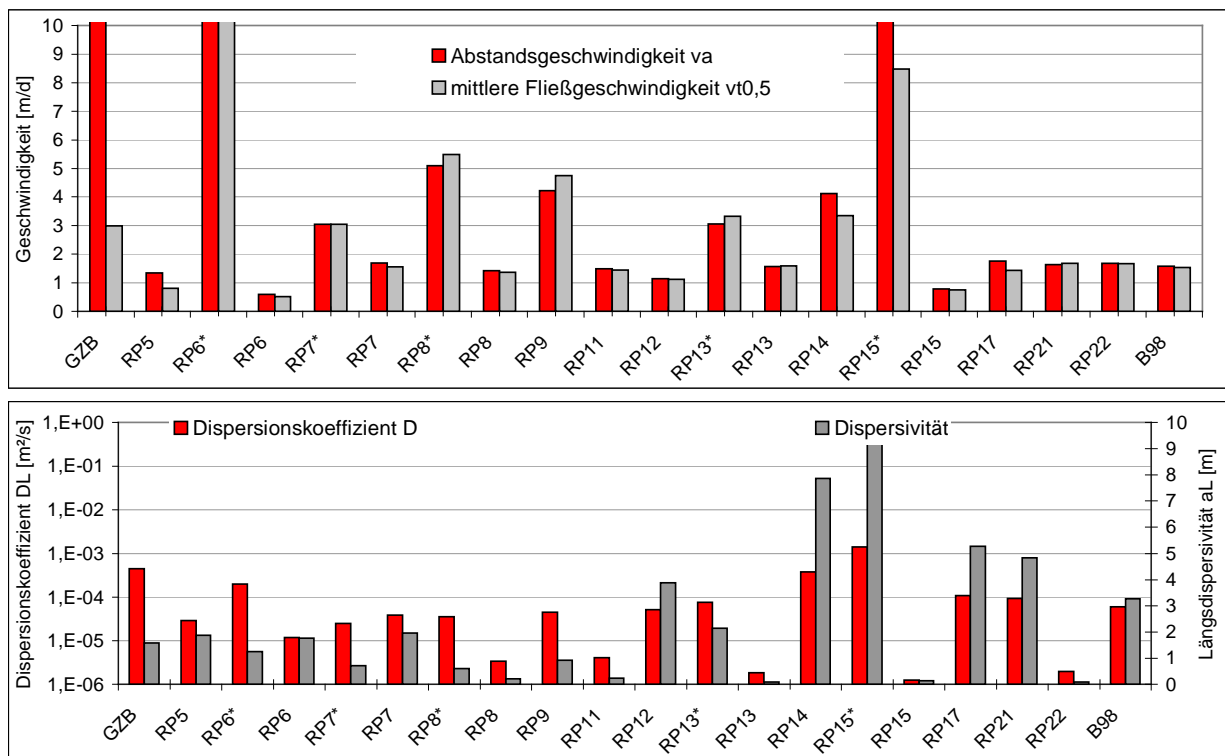


Abb. 6: Darstellung der Abstandsgeschwindigkeit, der mittleren Fließgeschwindigkeit, der Dispersionskoeffizienten und der Dispersivitäten (Uranin-Zugabe in RP2)

## 3.2 Markierungsversuch RP3

Im zweiten Tracertest mit der Uranin-Zugabe in RP3 zeigte die Messstelle RP5 ein „Doppelpeak-Verhalten“. Das erste Maximum mit einer Konzentration von 10,4 µg/L Uranin trat innerhalb der ersten 24 Stunden nach Beginn des Tracertests auf und das zweite Maximum mit 16,3 µg/L nach ca. 10 Tagen.

Der GZB zeigte ein ähnliches Verhalten wie im ersten Tracertest mit einem Maximum von 70,7 µg/L nach ca. einem Tag.

Die Messstelle RP6 zeigte ein Maximum mit 9,9 µg/L Uranin nach ca. 10 Tagen und ein langsames Abklingverhalten. Der Anstieg in Messstelle RP7 erfolgte steil, mit einem Maximum von 42,7 µg/L nach ca. 2,5 Tagen. RP8 zeigte ein ähnliches Verhalten wie RP7 mit einem Maximum nach ca. 4 Tagen, allerdings mit geringeren Uranin-Konzentrationen von 13,9 µg/L im Maximum. Sehr geringe Uranin-Konzentrationen wurden in Messstelle RP9 festgestellt mit einem Maximalwert von 1,25 µg/l Uranin nach ca. 2,5 Tagen.

Einen flachen Verlauf zeigten sowohl die Messstellen RP10 mit maximal 11,8 µg/L Uranin nach ca. 13 Tagen, als auch die Messstelle RP12 mit maximal 12,9 µg/L Uranin nach ca. 17 Tagen. RP11 zeigt ein ähnliches Verhalten wie im ersten Tracertest mit Uranin-Konzentrationen im Bereich des Hintergrundwertes, so dass ein Tracerdurchbruch fraglich ist. RP 13 zeigte einen relativ steilen Anstieg von Tag 11 bis Tag 15 mit Uranin-Konzentrationen bis 7 µg/L, allerdings kaum ein Abklingverhalten bis zum Start des dritten Tracertest. RP14 und RP15 zeigten ein leichtes „Doppelpeak-Verhalten“ mit dem ersten Maximum nach ca. 8 Tagen und einem zweiten Maximum nach ca. 20 Tagen und Uranin-Konzentrationen unter 9 µg/L.

RP17 zeigte ein ähnliches Verhalten wie beim ersten Tracertest mit einem Maximum nach 8 Tagen. Die Durchgangskurve an der Messstelle RP16 hatte ihr Maximum nach ca. 12 Tagen mit 8,5 µg/L Uranin. Das tatsächliche Maximum konnte nicht genau festgestellt werden, da an dieser Messstelle nur einmal pro Woche eine Probe genommen wurde.

Die beiden Messstellen B97 und RP19 zeigten zwar einen Anstieg der Konzentration, allerdings ist eine Peaktrennung zwischen dem Durchbruch des zweiten und dritten Tracertests nicht eindeutig möglich. RP18 und RP20 hatten ihre Maxima während des zweiten Tracertests nach ca. 45 bis 50 Tagen mit Uranin-Konzentrationen unter 5 µg/L. Die Kurven zu RP21 und RP22 zeigen einen kontinuierlichen Anstieg bis zu ihren Maxima nach ca. 60 Tagen mit Uranin-Konzentrationen um 5 µg/L und anschließend schnellen Abfallen der Uranin-Konzentrationen. B98 zeigte ein ähnliches Verhalten mit einem Maximum nach ca. 60 Tagen mit 5,6 µg/L Uranin, allerdings mit einem anschließend geringen Rückgang der Uranin-Konzentration, bevor diese aufgrund des dritten Tracertests wieder ansteigt.

Bei den Messstellen RP23, RP24 und RP25 ist zwar ein Anstieg der Uranin-Konzentration auf Werte über 2 µg/L, bzw. 3 µg/L erkennbar, eine eindeutige Peaktrennung zwischen dem zweiten und dritten Tracertest jedoch fraglich. RP26, RP27 und B99 zeigten ein ähnliches Verhalten, nur dass nach ca. 55 Tagen ein Maximum er-

kennbar ist mit anschließendem leichtem Rückgang der Konzentrationen, bevor der Einfluss des dritten Tracertests zu einem erneuten Anstieg führt.

Die Kurven zu den Messstellen RP28, RP29 und B100 zeigen zwar auch ein Maximum nach ca. 55 Tagen, die Gesamtkonzentrationen liegen allerdings im Bereich des Hintergrundwertes. Die Messstellen RP30 und B101 zeigten keinen Tracer-Durchbruch, die Uranin-Konzentrationen liegen im Bereich des Hintergrundwertes mit 0,5 µg/L.

In Abb. 7 ist die Ausbreitung des Tracers dargestellt. Die mittlere Abstandsgeschwindigkeit im Feld (ohne GZB) betrug 1,8 m/d und die mittlere Fließgeschwindigkeit lag mit 1,5 m/d unterhalb der Abstandsgeschwindigkeit. Im Mittel lagen der Dispersionskoeffizient bei  $4,6 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  und die Dispersivität bei 1,89 m.

Bei der Ermittlung der Kenngrößen (siehe Tabelle 9 und in Abb. 8) wurde die Entfernung und die dominierende Abstandsgeschwindigkeit zum GZB, der den Mittelpunkt der Strömungswalze bildet, berücksichtigt. Für die Messstellen, in denen es aufgrund der Strömungswalze zu einem „Doppelpeak-Verhalten“ kam, wurden für beide Maxima getrennte Auswertungen durchgeführt.

Für eine genaue Auswertung des Tracerdurchbruchs an der Messstelle RP16 fehlen zeitlich engere Messdaten. An der Kontrollebene CP2-3 wurden aufgrund der problematischen Trennung der Durchbrüche der beiden Tracerversuche, bzw. zu geringer Konzentrationen, nur die Messstellen RP21, B98 und RP22 aufgenommen, die auf der Centerline liegen und denen ein eindeutiger Tracerdurchgang zugeordnet werden kann.



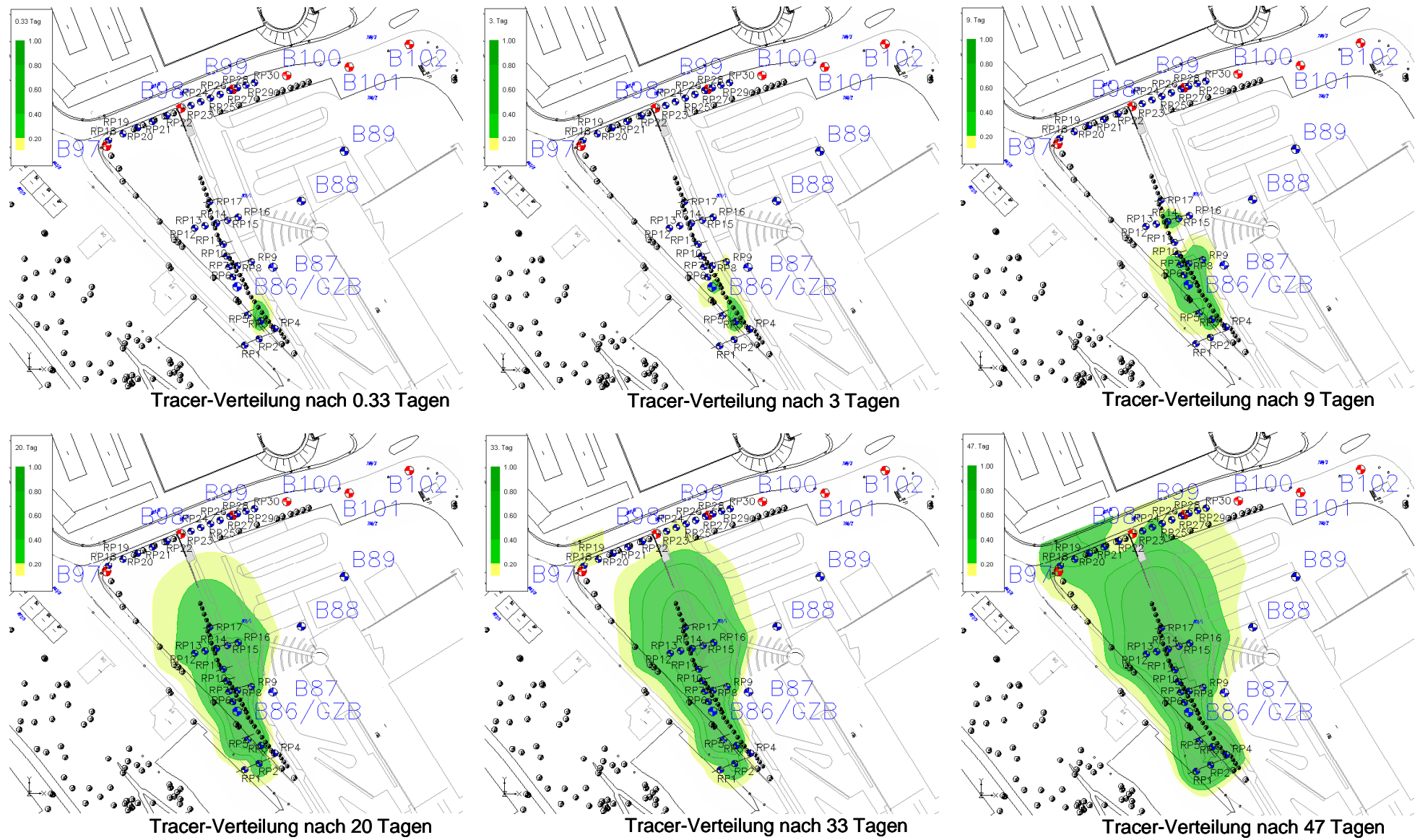


Abb. 7: Ausbreitung des Tracers, Uranin-Zugabe in RP3



Tabelle 9: Advective und dispersive Kennwerte Tracertest 2 (Uranin-Zugabe in RP3)

Pegel	Abstands- geschwindigkeit $v_a$ [m/d]	mittlere Fließge- schwindigkeit $v_{t0,5}$ [m/d]	Dispersions- koeffizient [m <sup>2</sup> /s]	Dispersivität [m]
GZB	14,1	5,5	$8,5 \times 10^{-4}$	5,19
RP5*	5,9	5,4	$5,9 \times 10^{-5}$	0,87
RP5	0,7	0,6	$6,7 \times 10^{-6}$	0,89
RP6	0,5	0,4	$2,6 \times 10^{-6}$	0,48
RP7	3,2	1,6	$1,0 \times 10^{-4}$	2,75
RP8	3,0	2,1	$3,2 \times 10^{-5}$	0,93
RP9	3,6	1,8	$1,6 \times 10^{-4}$	3,78
RP10	1,1	0,9	$2,5 \times 10^{-5}$	2,00
RP11 <sup>1</sup>	1,6	1,6	$3,1 \times 10^{-6}$	0,16
RP12	1,8	1,6	$8,4 \times 10^{-5}$	4,14
RP13	1,8	1,5	$2,8 \times 10^{-5}$	1,32
RP14*	4,4	4,4	$7,3 \times 10^{-5}$	1,43
RP14	1,6	1,6	$6,0 \times 10^{-6}$	0,32
RP15*	4,3	4,2	$2,1 \times 10^{-5}$	0,42
RP15	1,5	1,5	$8,2 \times 10^{-6}$	0,46
RP17	2,0	2,0	$1,3 \times 10^{-4}$	5,40
RP21	1,5	1,6	$4,6 \times 10^{-5}$	2,66
RP22	1,5	1,6	$2,7 \times 10^{-5}$	1,52
B98	1,7	1,6	$2,8 \times 10^{-5}$	1,46

<sup>1</sup>Durchbruch fraglich, Konzentrationen von Uranin im Bereich des Hintergrundwertes

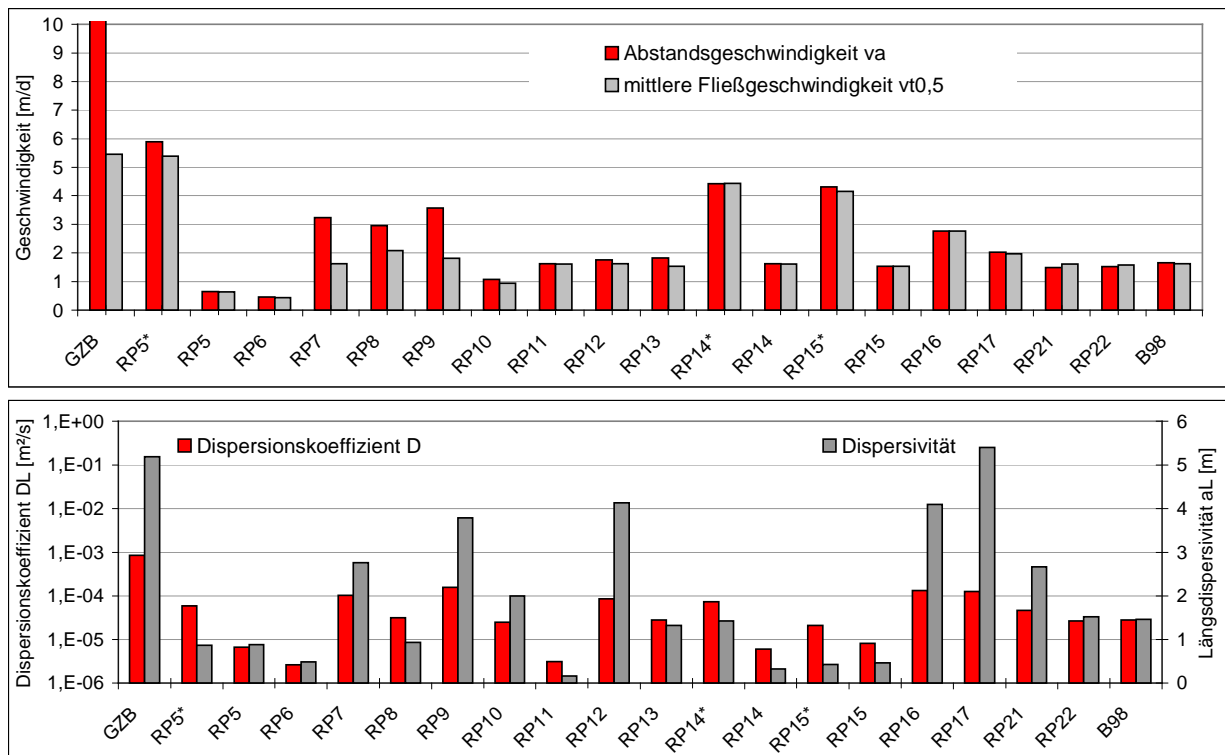


Abb. 8: Darstellung der Abstandsgeschwindigkeit, der mittleren Fließgeschwindigkeit, der Dispersionskoeffizienten und der Dispersivitäten (Uranin-Zugabe in RP3)

### 3.3 Markierungsversuch RP4

Die Durchgangskurve an RP5 für den dritten Tracertest mit Uranin-Zugabe in RP4 hatte ihr Maximum mit 120 µg/L Uranin nach ca. 5 Tagen.

Der GZB zeigte ein ähnliches Verhalten wie in den anderen Tracertests mit einem Maximum von 62 µg/L nach ca. 2 Tagen.

Die Kurve zu der Messstelle RP6 zeigt kein ausgeprägtes Maximum, sondern ein langsames Ansteigen und Abklingen mit Uranin-Konzentrationen um 7 µg/L und einem Tracer-Durchbruch nach ca. 15 Tagen. Die Kurve zu der Messstelle RP7 erreichte ihr Maximum von 25 µg/L Uranin nach ca. 8 Tagen mit einem anschließenden langsamen Abklingen.

In der Auswertung zu der Messstelle RP9 ist ein „Doppelpeak-Verhalten“ erkennbar, mit den Maxima nach ca. 8 und ca. 43 Tagen und Uranin-Konzentrationen unter 5 µg/L. Der zweite Peak resultierte aus dem Nichterfassen von Tracer aus RP4 durch den GZB in Folge starker Schwankungen in der Durchflussrate (Anhang, Abbildung 33) und dem Rückgang des Erfassungsbereichs der Strömungswalze. RP8 zeigte ein ähnliches Verhalten, mit dem ersten Maximum nach ca. 8 Tagen und dem zweiten Maximum mit 3,6 µg/L Uranin nach ca. 43 Tagen.

Die Kurve zu der Messstelle RP10 hatte ihr Maximum von 19 µg/L nach ca. 11 Tagen. Die Uranin-Konzentrationen an der Messstelle RP11 lagen im Bereich des Hintergrundwertes. Die Verläufe der Uranin-Konzentrationen an den Messstellen RP12, RP13 und RP14 zeigen ihre Maxima nach ca. 22, bzw. 9 und 8 Tagen mit Konzentrationen von 15, bzw. 7,5 und 4 µg/L Uranin.

An den Messstellen RP15 und RP16 ist ein „Doppelpeak-Verhalten“ erkennbar, mit deutlichen Maxima nach ca. 9 Tagen mit Konzentrationen von 5,8 µg/L und jeweils einem zweiten Peak nach ca. 36 Tagen mit geringeren Konzentrationen. Die Kurve zu der Messstelle RP17 zeigt die höchsten Werte zwischen dem 16. und dem 24. Tag mit Konzentrationen über 9 µg/L Uranin.

An den Messstellen B97 und RP19 konnte das Maximum jeweils nach ca. 50 Tagen bestimmt werden, wobei die Uranin-Konzentration mit 8,7 µg/L an B97 höher ausfielen als an RP19 (4,6 µg/L). Die Kurven zu den Messstellen RP18 und RP20 zeigen zwar ein Maximum nach ca. 10 Tagen, welches allerdings auf den zweiten Tracertest zurückzuführen ist. Eine Reaktion auf den dritten Tracertest ist fraglich. Einen ähnlichen Verlauf zeigen die Kurven zu den Messstellen RP21 und RP22. Bis ca. 25 Tage nach Start des dritten Tracertests sind die Uranin-Konzentrationen über 1 µg/L und fielen anschließend bis auf Werte im Bereich des Hintergrundwertes.

Die Auswertung der Uranin-Konzentrationen zu B98-B100 und RP23-29 zeigen ein „Doppelpeak-Verhalten“, wobei die jeweils ersten Maxima wahrscheinlich vom zweiten Tracertest stammen und die zweiten Maxima als Reaktion auf den dritten Tracertest zu werten sind, allerdings ist eine eindeutige Peaktrennung fraglich. Die zweiten Maxima der Messstellen B98 und RP23-RP27 liegen zwischen 45 und 50 Tagen. An B99 zeigt sich das zweite Maxima nach ca. 70 Tagen. Eine schlüssige Erklärung des Drifts der Tracerwolke in Richtung Neckartalabbruch und Aufspaltung des Tracers in eine westli-

che (B97) und zentral gelegene Fließbewegung (Centerline GZB → B98) kann nicht gegeben werden.

An den Messstellen RP28, RP29 und B100 ist zwar ein zweites Maxima nach ca. 43, bzw. bei ca. 50 Tagen erkennbar, die Uraninkonzentrationen lagen jedoch im Bereich des Hintergrundwerts und ein Tracer-Durchbruch ist nicht eindeutig feststellbar. Die Messstellen RP30, B101 und B102 zeigen keinen Tracer-Durchbruch, die Uraninkonzentrationen lagen im Bereich des Hintergrundwertes.

In Abb. 9 ist die Ausbreitung des Tracers dargestellt. Die mittlere Abstandsgeschwindigkeit im Feld (ohne GZB) betrug 2,2 m/d und die mittlere Fließgeschwindigkeit 2,1 m/d. Im Mittel lagen der Dispersionskoeffizient bei  $8,0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  und die Dispersivität bei 2,90 m. Bei der Ermittlung der Kenngrößen zu den einzelnen Messstellen (siehe Tabelle 10 und in Abb. 10) wurde die dominierende Abstandsgeschwindigkeit des GZB, der den Mittelpunkt der Strömungswalze bildet, berücksichtigt.

Die Kenngrößen der Messstellen mit geringen Uranin-Konzentrationen oder ohne eindeutigen Tracer-Durchbruch sind nicht aufgelistet.

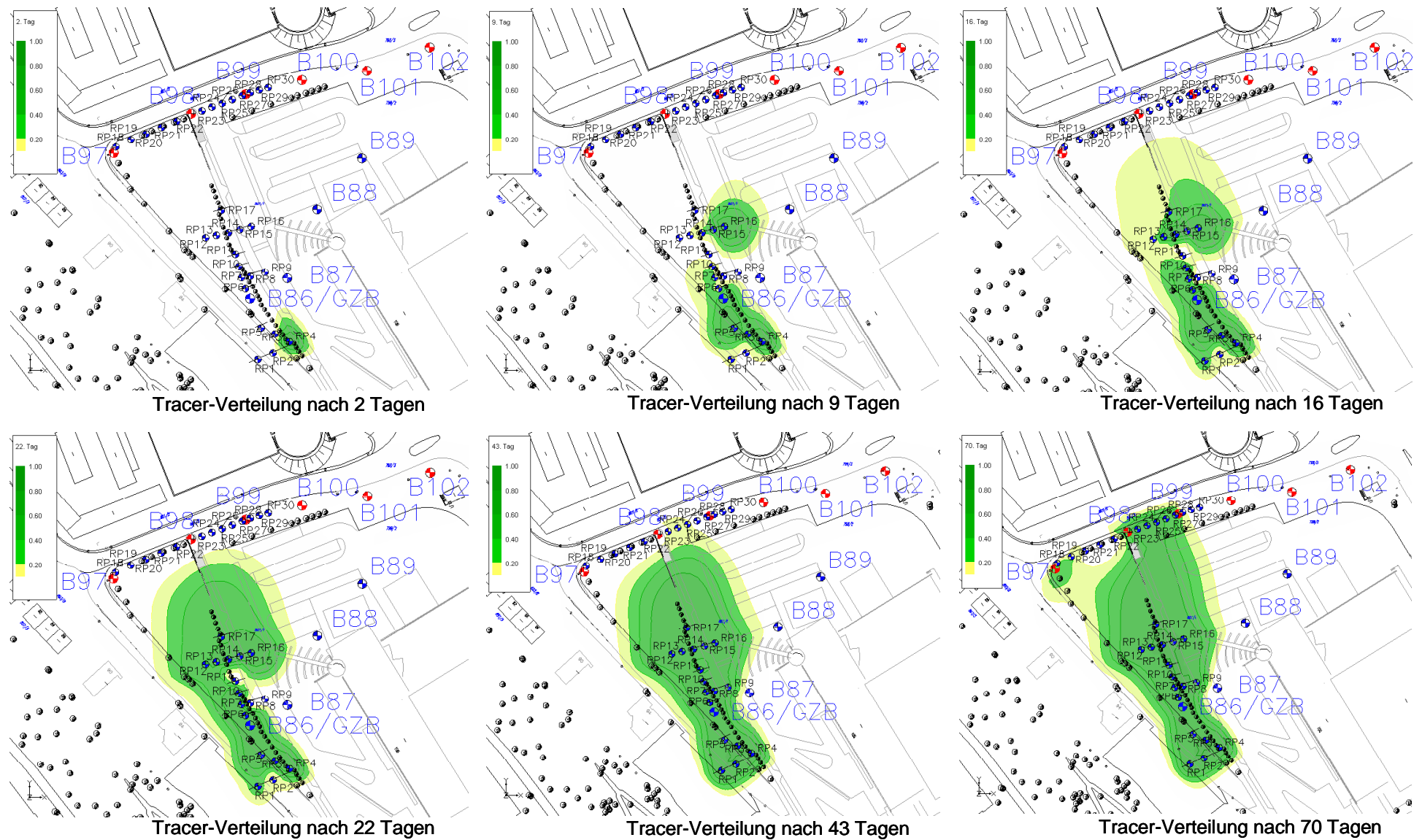


Abb. 9: Ausbreitung des Tracers, Uranin-Zugabe in RP4

Tabelle 10: Advective und dispersive Kennwerte Tracertest 3 (Uranin-Zugabe in RP4)

Pegel	Abstands- geschwindigkeit $v_a$ [m/d]	mittlere Fließge- schwindigkeit $v_{t0,5}$ [m/d]	Dispersions- koeffizient [m <sup>2</sup> /s]	Dispersivität [m]
GZB	7,5	4,9	$5,4 \times 10^{-4}$	6,21
RP5	3,0	2,7	$1,5 \times 10^{-4}$	4,30
RP6	0,4	0,4	$3,7 \times 10^{-6}$	0,81
RP7	1,6	1,5	$1,0 \times 10^{-4}$	5,45
RP8	1,6	1,5	$2,5 \times 10^{-5}$	1,39
RP8 <sup>1</sup>	0,2	0,2	$3,6 \times 10^{-7}$	0,13
RP9	2,3	2,3	$2,4 \times 10^{-5}$	0,89
RP9 <sup>1</sup>	0,3	0,3	$9,5 \times 10^{-7}$	0,25
RP10	1,6	1,5	$4,0 \times 10^{-5}$	2,20
RP12	1,9	2,1	$4,0 \times 10^{-5}$	1,86
RP13	3,8	3,6	$6,6 \times 10^{-5}$	1,49
RP14	4,8	4,2	$1,4 \times 10^{-4}$	2,46
RP15	4,3	4,1	$1,7 \times 10^{-4}$	3,32
RP15 <sup>1</sup>	0,9	0,9	$8,7 \times 10^{-6}$	0,85
RP16	5,0	5,1	$2,0 \times 10^{-4}$	3,49
RP16 <sup>1</sup>	0,9	0,9	$1,1 \times 10^{-5}$	1,06
RP17	2,7	2,5	$7,3 \times 10^{-5}$	2,31
RP19	1,7	1,6	$5,6 \times 10^{-5}$	2,85
RP23	1,7	1,6	$2,7 \times 10^{-5}$	1,38
RP24	2,1	2,1	$1,9 \times 10^{-4}$	7,82
RP25	1,8	1,6	$5,4 \times 10^{-5}$	2,55
RP26	1,6	1,4	$3,5 \times 10^{-5}$	1,88
RP27	1,7	1,6	$4,9 \times 10^{-5}$	2,49
B97	1,5	1,3	$3,9 \times 10^{-5}$	2,26
B98	1,6	1,4	$5,9 \times 10^{-5}$	3,28
B99	1,3	1,3	$2,6 \times 10^{-5}$	1,75

<sup>1</sup>Peak aufgrund von Nichterfassen von Tracer aus RP4 durch den GZB

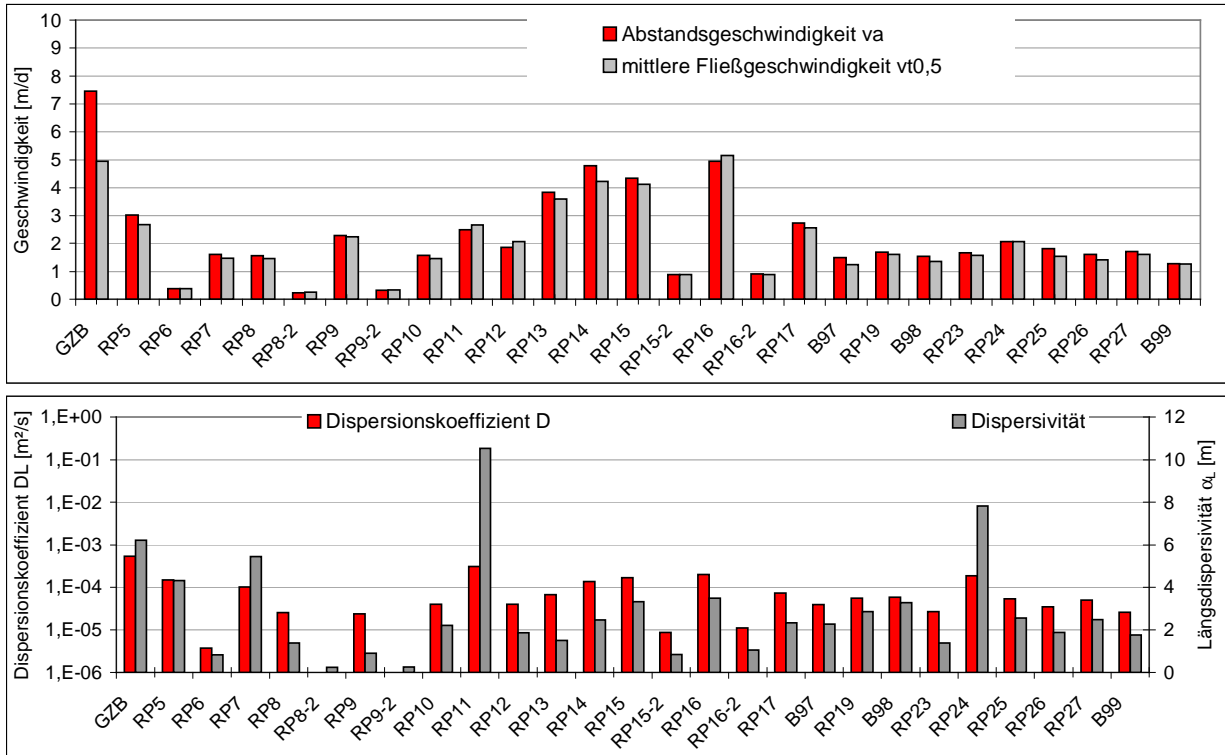


Abb. 10: Darstellung der Abstandsgeschwindigkeit, der mittleren Fließgeschwindigkeit, der Dispersionskoeffizienten und der Dispersivitäten (Uranin-Zugabe in RP4)

## **4 Literatur**

- [1] Hölting (2005): Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie, 6., überarb. und erw. Aufl., München
- [2] Käss, W. (1992): Geohydrologische Markierungstechnik: Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 9, Gebrüder Bornträger, Berlin Stuttgart
- [3] Daten Standortbüro CDM: Kurzpumpversuche nach Bau der Grundwassermessstellen an CP2 und CP3 am 17.07.2003 und 29.07.2003
- [4] Daten Standortbüro CDM: Kurzpumpversuche nach Bau der Grundwassermessstellen an CP2-3, November 2005

## Anhang

- Tracerdurchbruchskurven für Tracertest RP2
- Tracerdurchbruchskurven für Tracertest RP3
- Tracerdurchbruchskurven für Tracertest RP4
- Vor-Ort-Messwerte
- Ausbau GZB



**Tracertest RP2**

Abbildung 1: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP5, GZB und RP6.....	1
Abbildung 2: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP7, RP8 und RP9 .....	1
Abbildung 3: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP10, RP11 und RP12 .....	2
Abbildung 4: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP13, RP14, RP15 und RP17 .....	2
Abbildung 5: Verlauf der Uranin-Konzentration an B97, RP18, RP19 und RP20.....	3
Abbildung 6: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP21, RP22 und B98.....	3
Abbildung 7: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP23, RP24, RP25 und RP26 .....	4
Abbildung 8: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP27, B99, RP28 und RP29.....	4
Abbildung 9: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP30, B100 und B101 .....	5

**Tracertest RP3**

Abbildung 10: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP5, GZB und RP6.....	6
Abbildung 11: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP7, RP8 und RP9 .....	6
Abbildung 12: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP10, RP11, RP12 und RP13 .....	7
Abbildung 13: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP14, RP15, RP16 und RP17 .....	7
Abbildung 14: Verlauf der Uranin-Konzentration an B97, RP18, RP19 und RP20.....	8
Abbildung 15: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP21, RP22 und B98.....	8
Abbildung 16: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP23, RP24, RP25 und RP26 .....	9
Abbildung 17: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP27, B99, RP28 und RP29.....	9
Abbildung 18: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP30, B100 und B101 .....	10

**Tracertest RP4**

Abbildung 19: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP5, GZB und RP6.....	11
Abbildung 20: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP7, RP8 und RP9 .....	11
Abbildung 21: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP10, RP11, RP12 und RP13 ...	12
Abbildung 22: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP14, RP15, RP16 und RP17 ...	12

# **VEGAS**

Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung

---

Abbildung 23: Verlauf der Uranin-Konzentration an B97, RP18, RP19 und RP20.....	13
Abbildung 24: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP21, RP22, und B98.....	13
Abbildung 25: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP23, RP24, RP25 und RP26 ...	14
Abbildung 26: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP27, B99, RP28 und RP29.....	14
Abbildung 27: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP30, B100, B101 und B102.....	15

## **Vor-Ort-Messwerte und Ausbau GZB**

Abbildung 28: Kontinuierliche Wasserstandsmessung an RP2, RP7, B97 – B99.....	18
Abbildung 29: Redoxpotenzial im Testfeld während Stichtagsmessungen .....	21
Abbildung 30: Leitfähigkeit im Testfeld während Stichtagsmessungen.....	22
Abbildung 31: pH-Wert im Testfeld während Stichtagsmessungen .....	23
Abbildung 32: Wassertemperatur im Testfeld während Stichtagsmessungen .....	24
Abbildung 33: Messungen GZB: Durchfluss, Redoxpotenzial und pH-Wert.....	25
Abbildung 34: Messungen GZB: Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit und Temperatur.....	26
Abbildung 35: Ausbau GZB .....	27
Tabelle A 1: Grundwasserstände an Stichtagsmessungen (Angaben in m. NN) .....	16
Tabelle A 2: Koordinaten Messstellen und Grundwasserstände Wirkungsbereich GZB (Angaben in m. NN) .....	19
Tabelle A 3: Grundwasserstände Wirkungsbereich GZB (Angaben in m. NN) .....	20

Tracertest RP2

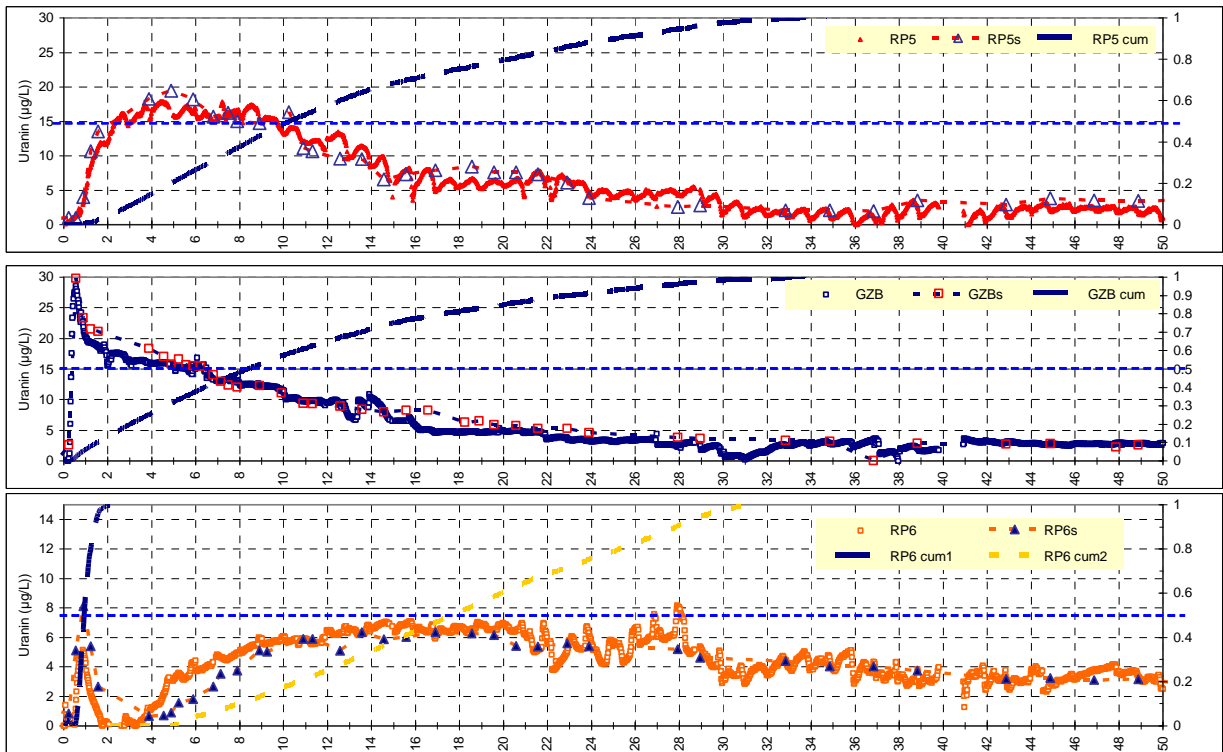


Abbildung 1: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP5, GZB und RP6

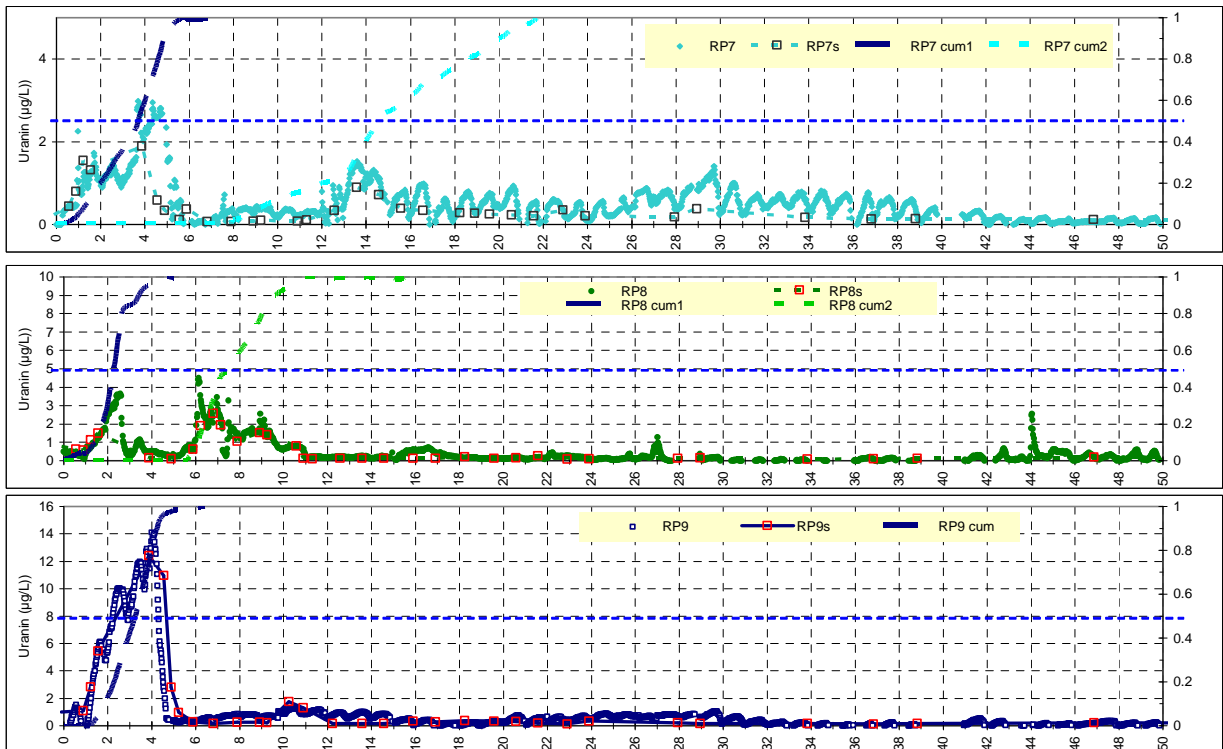


Abbildung 2: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP7, RP8 und RP9

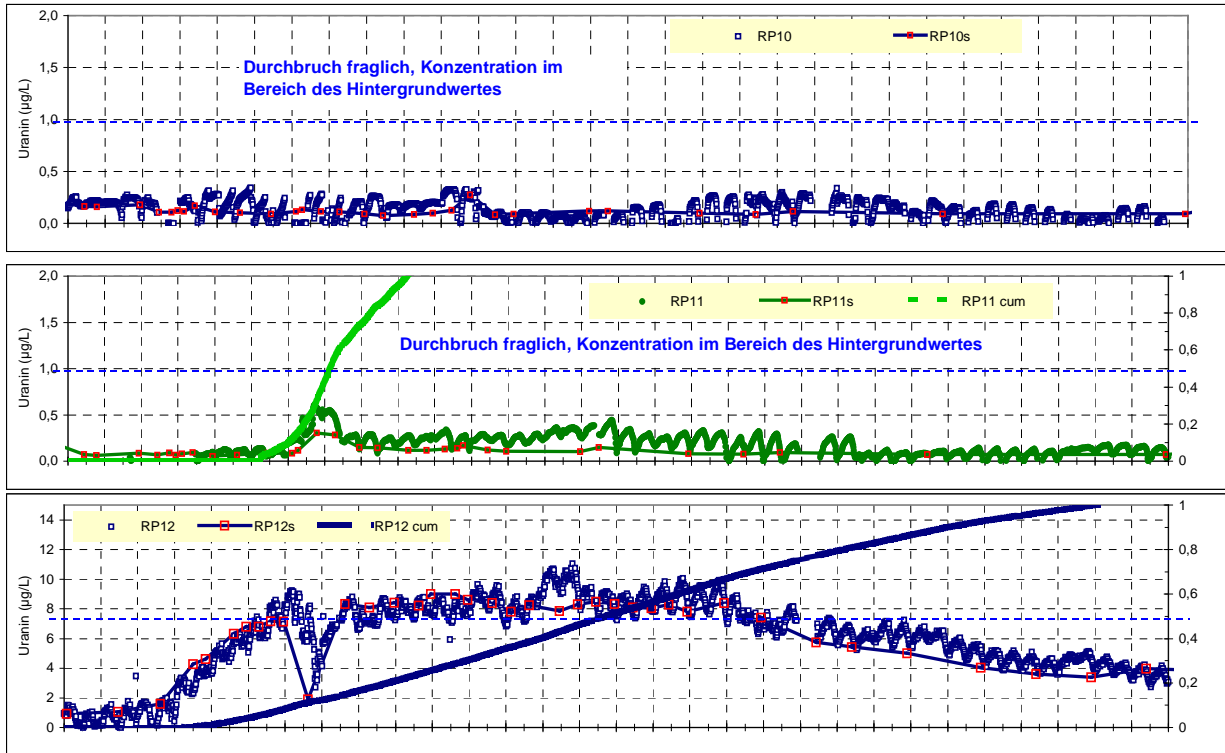


Abbildung 3: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP10, RP11 und RP12

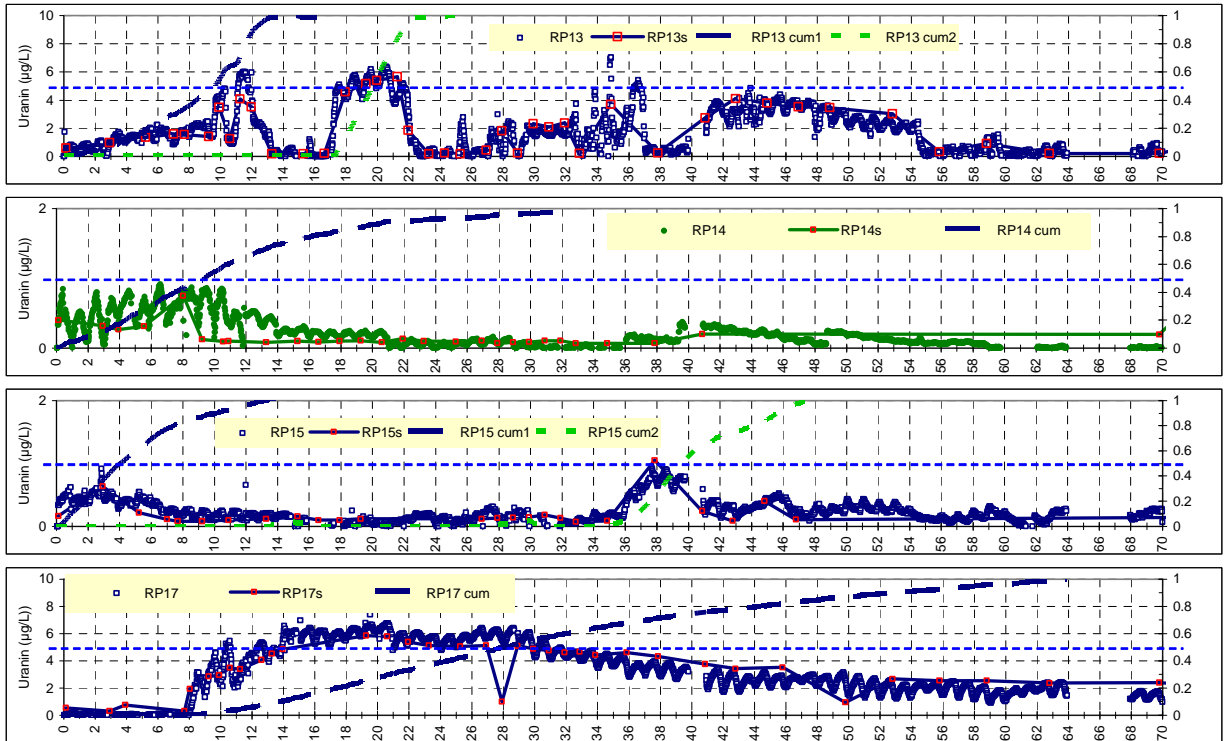


Abbildung 4: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP13, RP14, RP15 und RP17

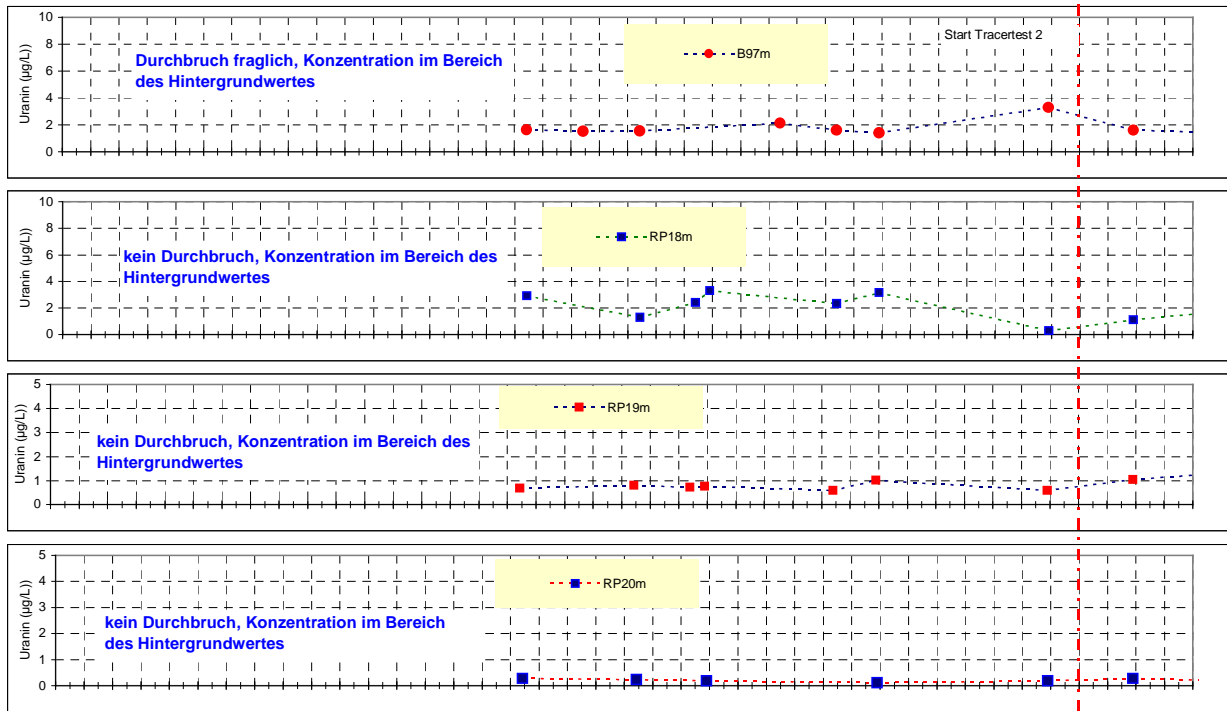


Abbildung 5: Verlauf der Uranin-Konzentration an B97, RP18, RP19 und RP20

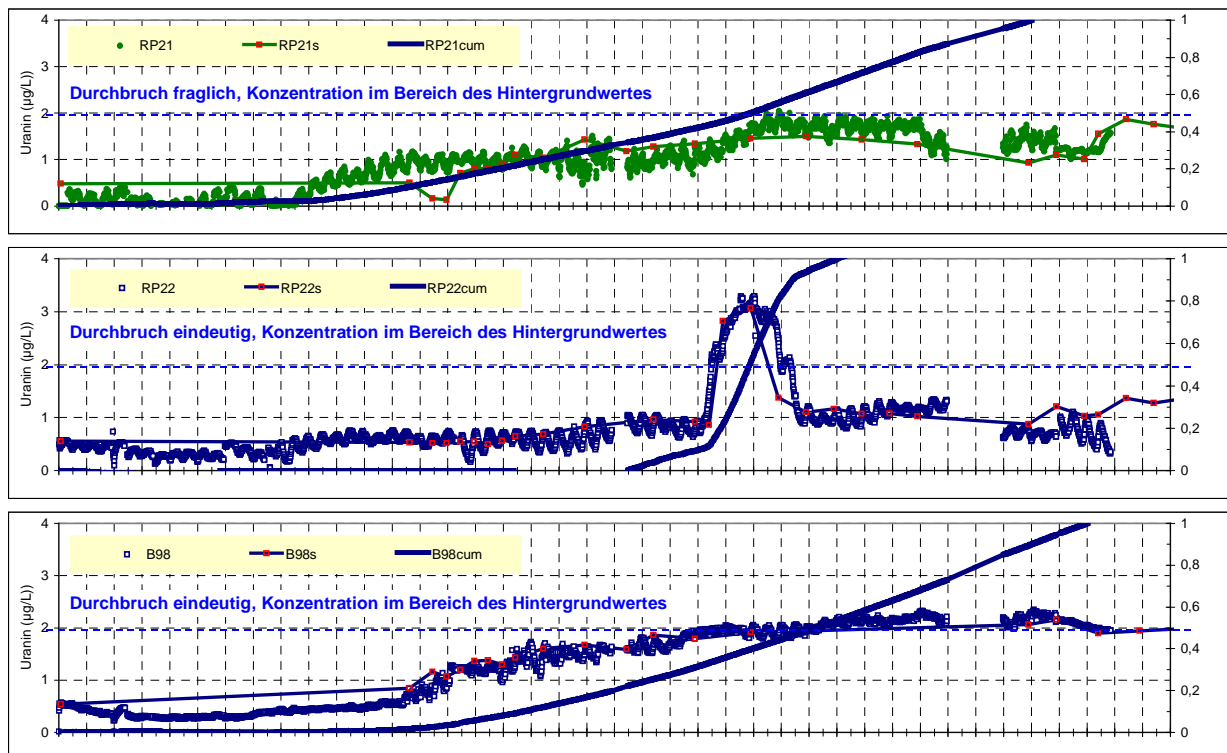


Abbildung 6: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP21, RP22 und B98

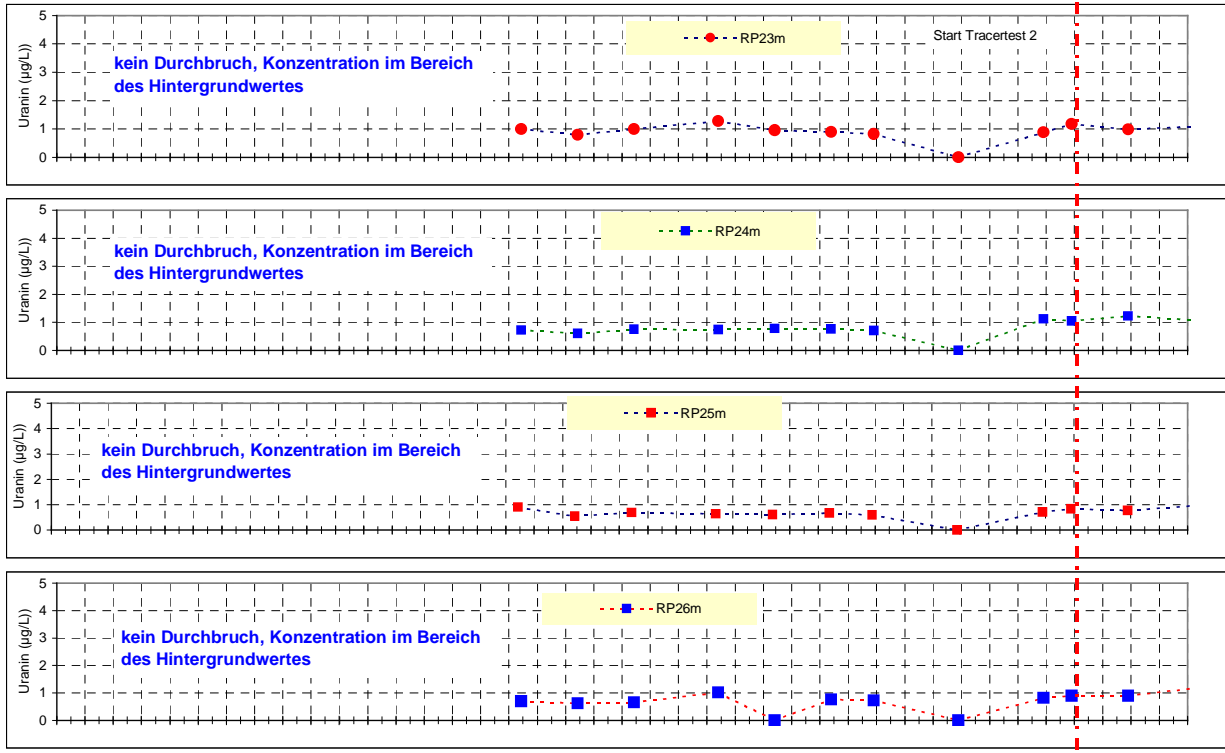


Abbildung 7: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP23, RP24, RP25 und RP26

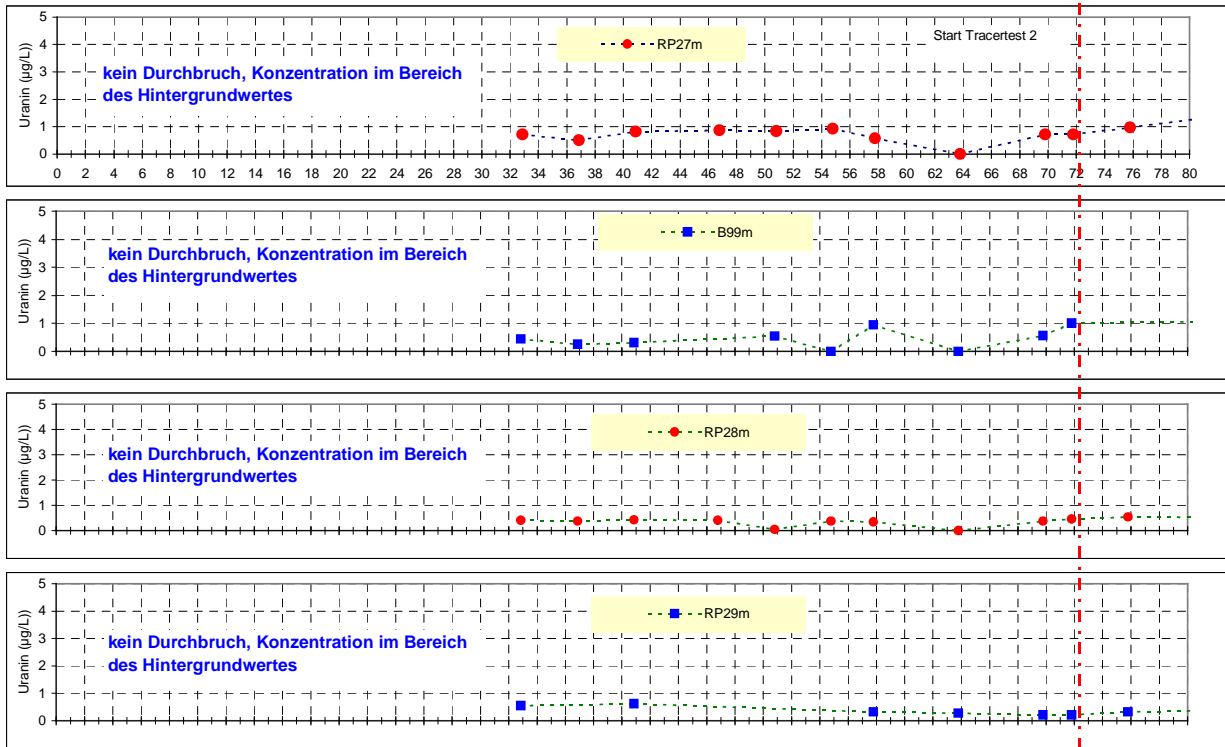


Abbildung 8: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP27, B99, RP28 und RP29

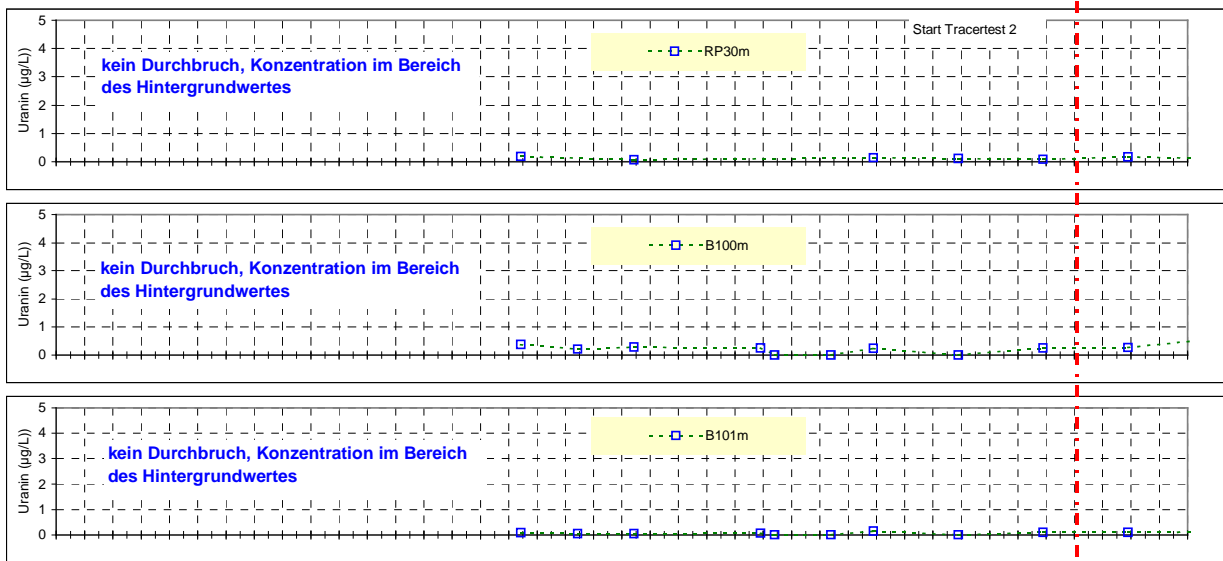


Abbildung 9: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP30, B100 und B101

Tracertest RP3

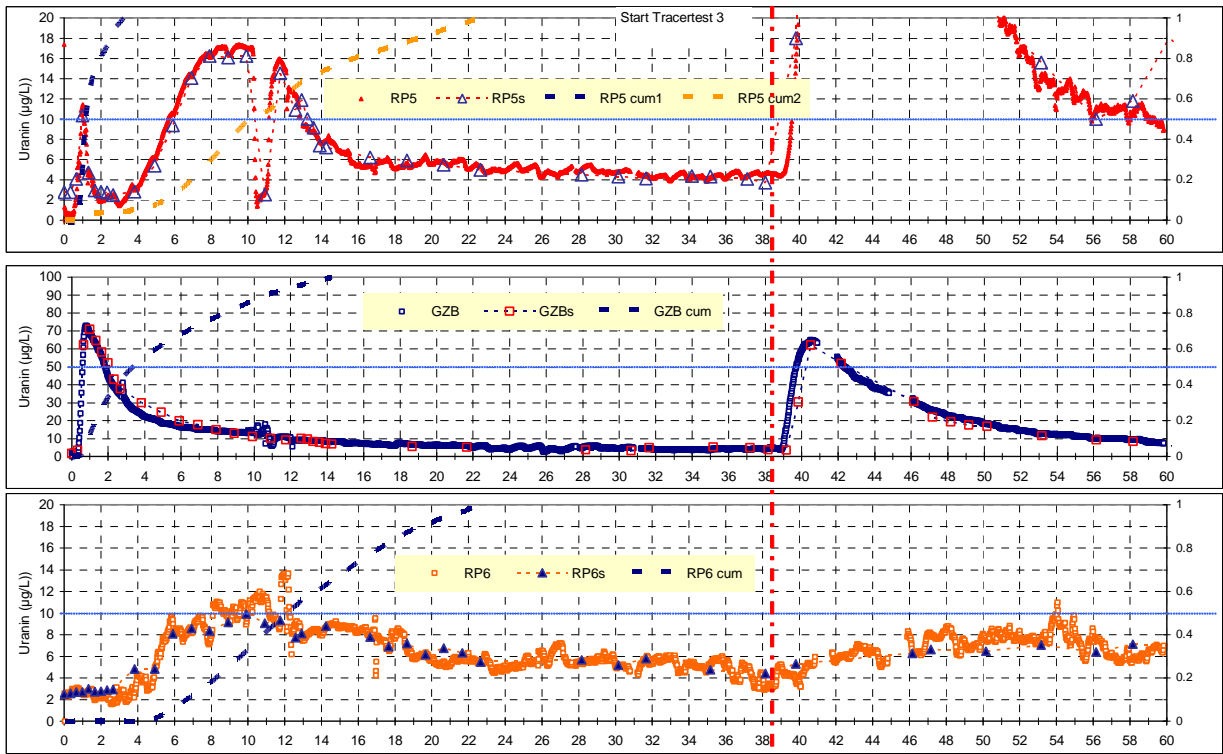


Abbildung 10: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP5, GZB und RP6

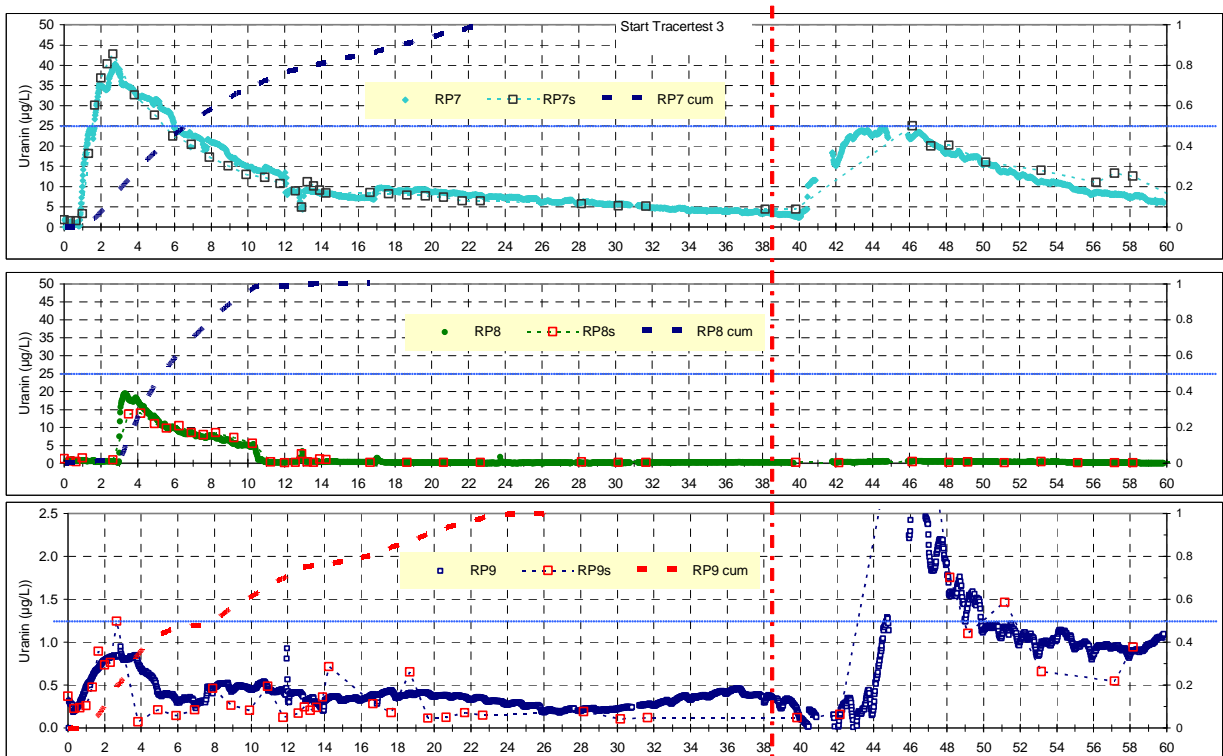


Abbildung 11: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP7, RP8 und RP9



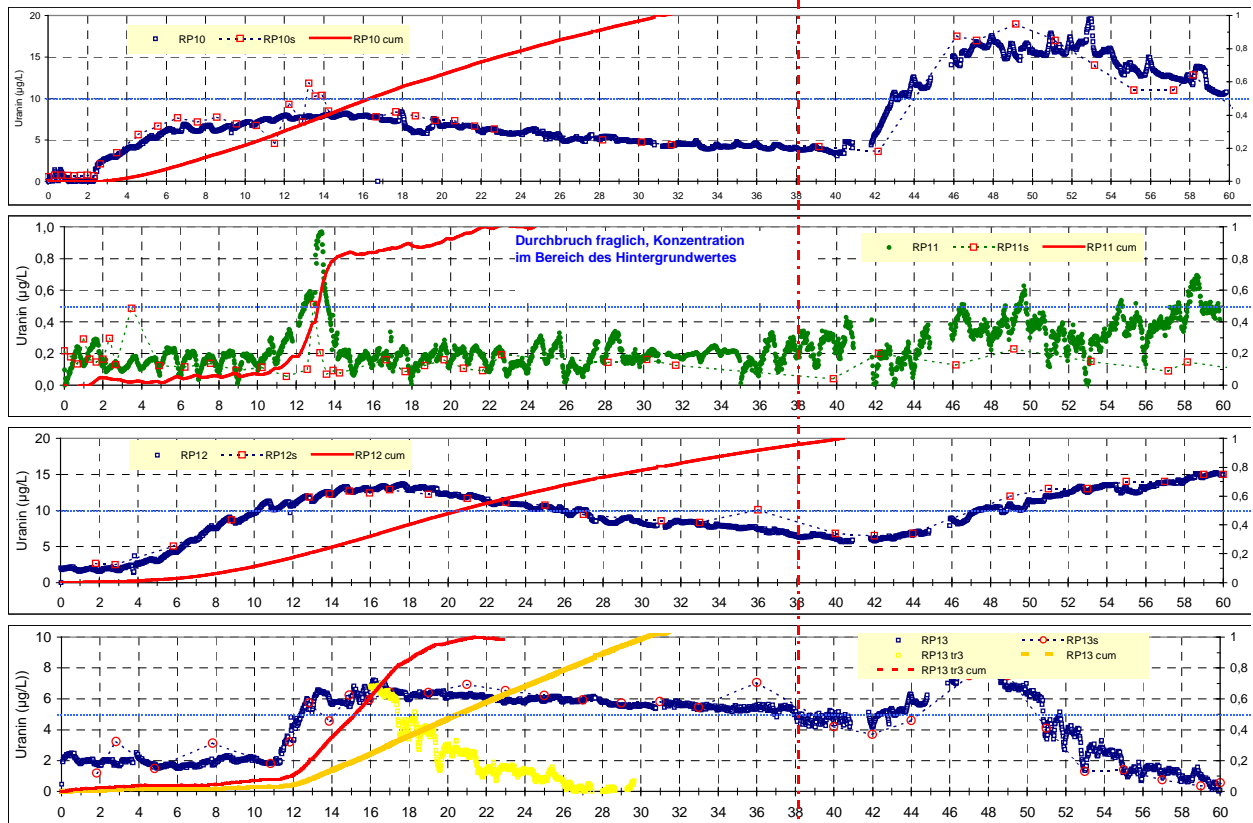


Abbildung 12: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP10, RP11, RP12 und RP13

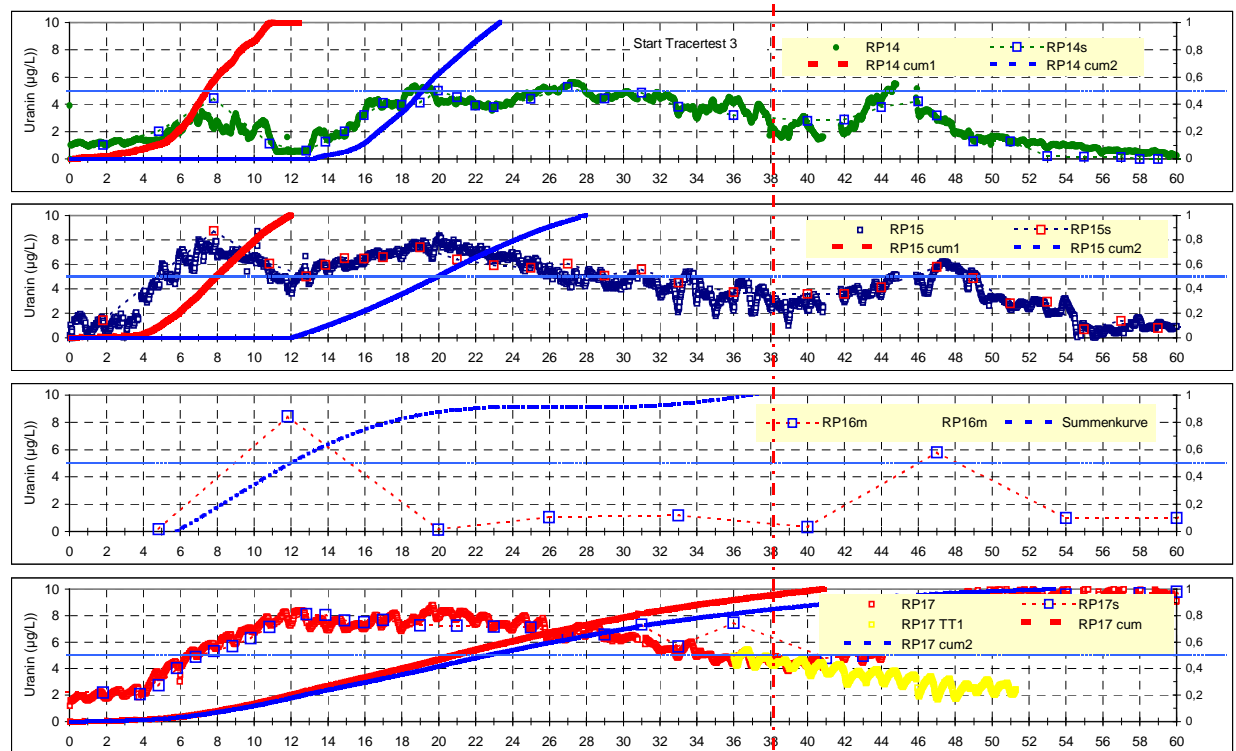


Abbildung 13: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP14, RP15, RP16 und RP17

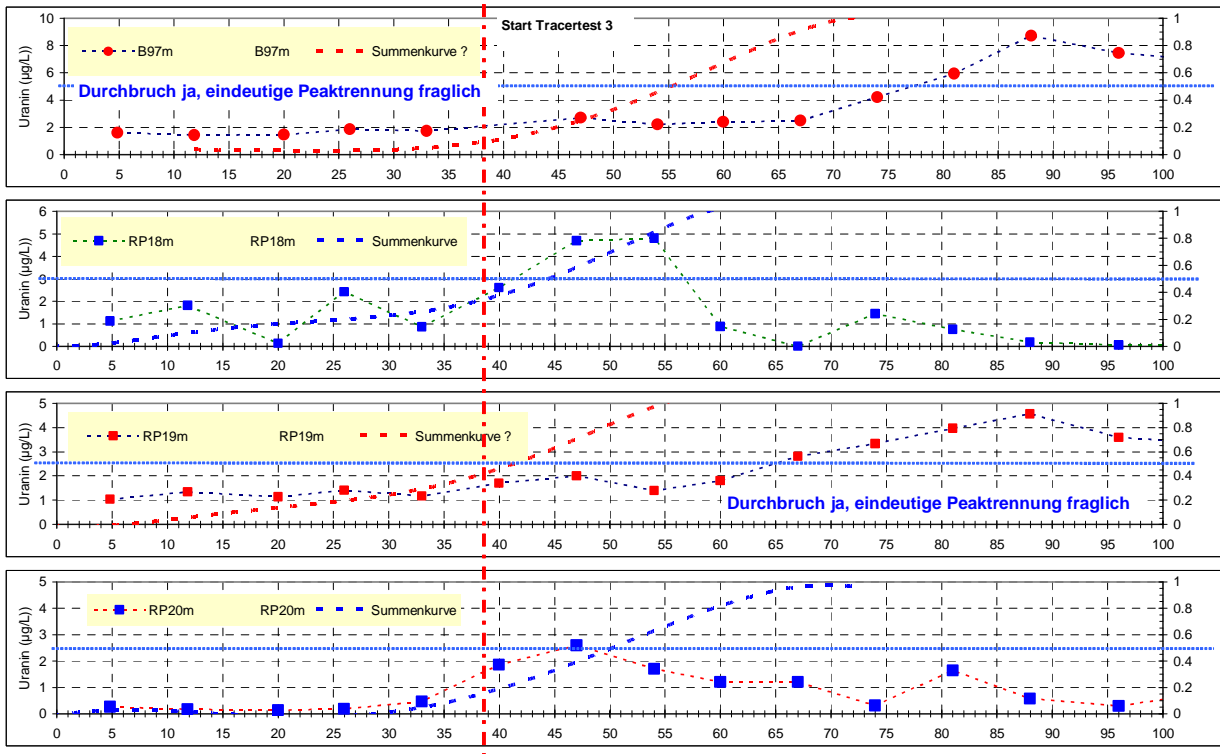


Abbildung 14: Verlauf der Uranin-Konzentration an B97, RP18, RP19 und RP20

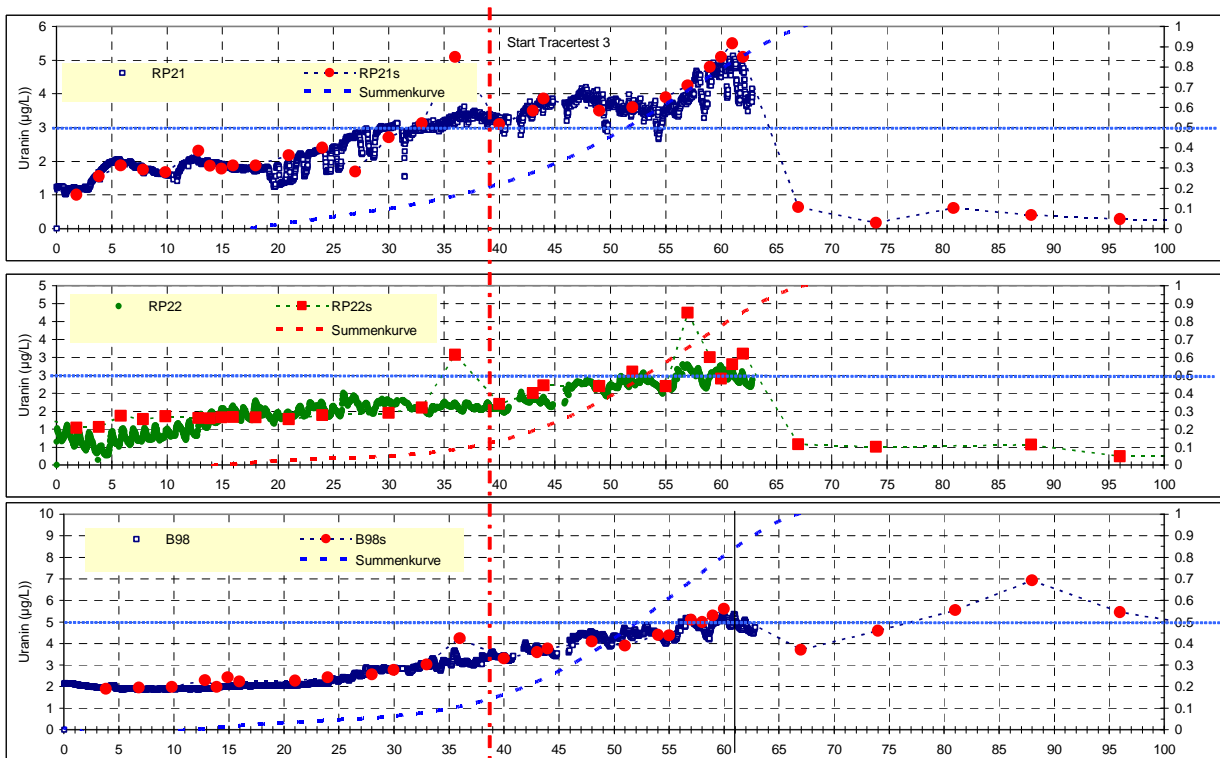


Abbildung 15: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP21, RP22 und B98

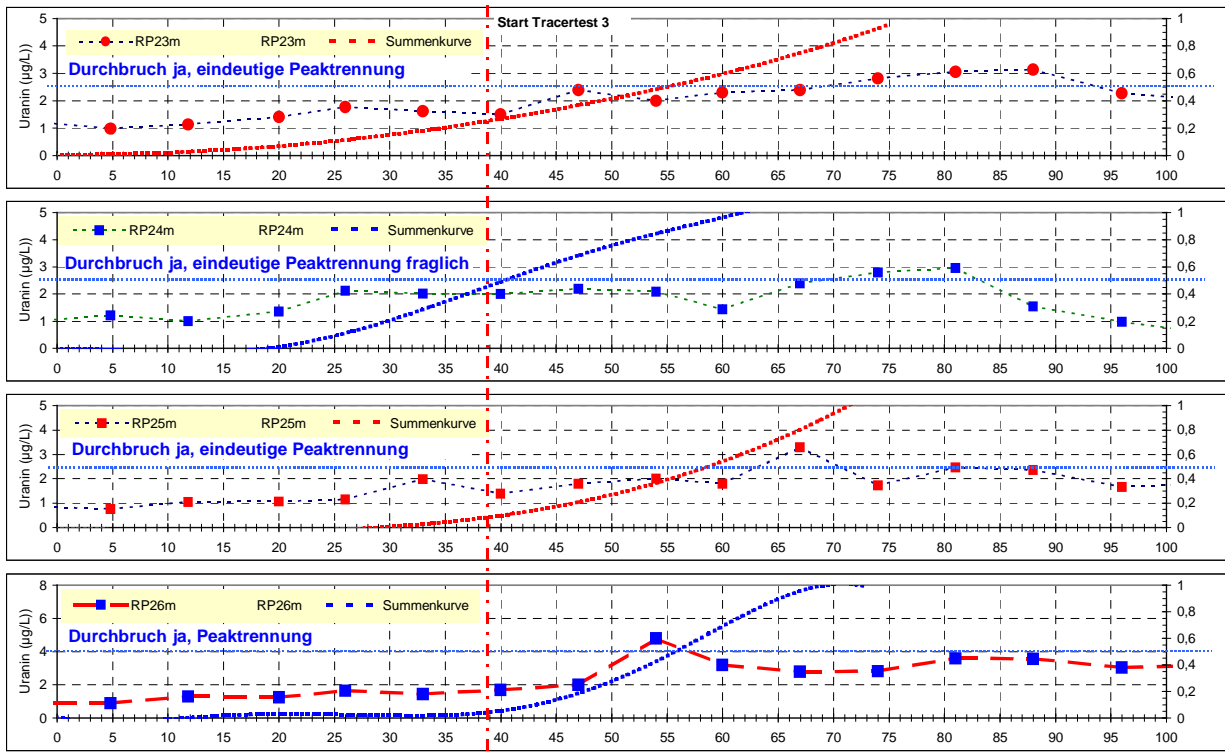


Abbildung 16: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP23, RP24, RP25 und RP26

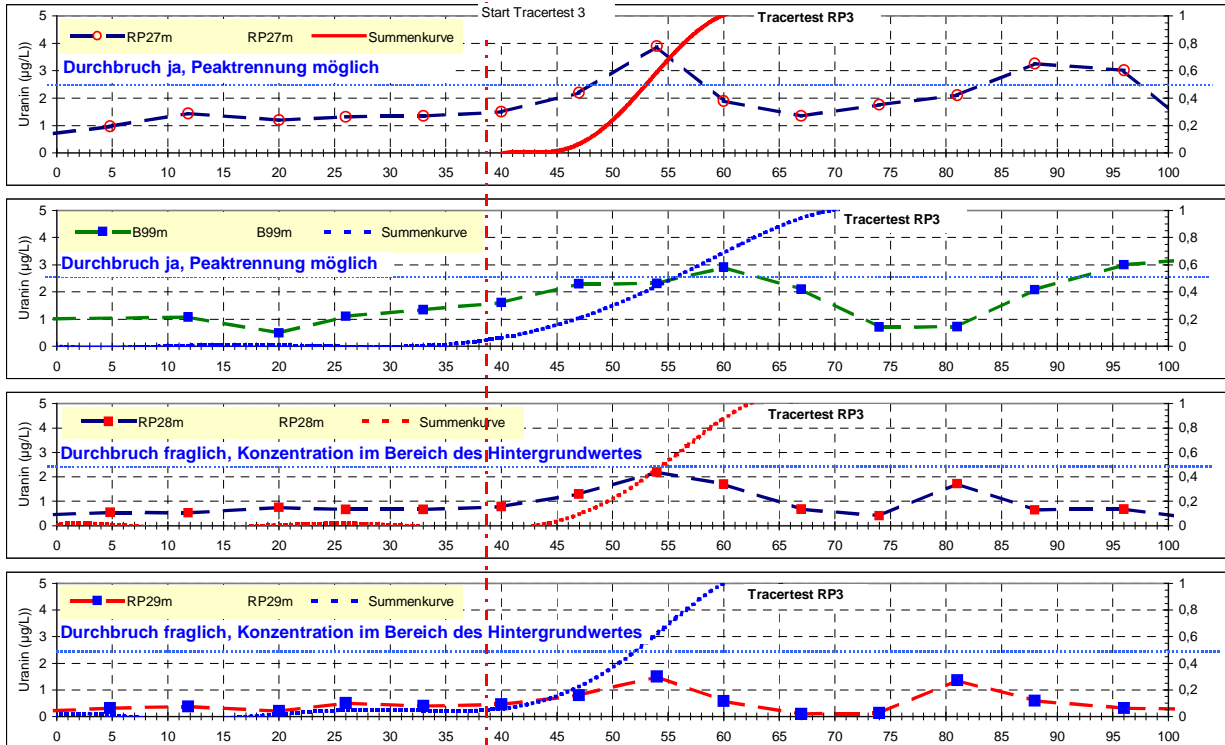


Abbildung 17: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP27, B99, RP28 und RP29

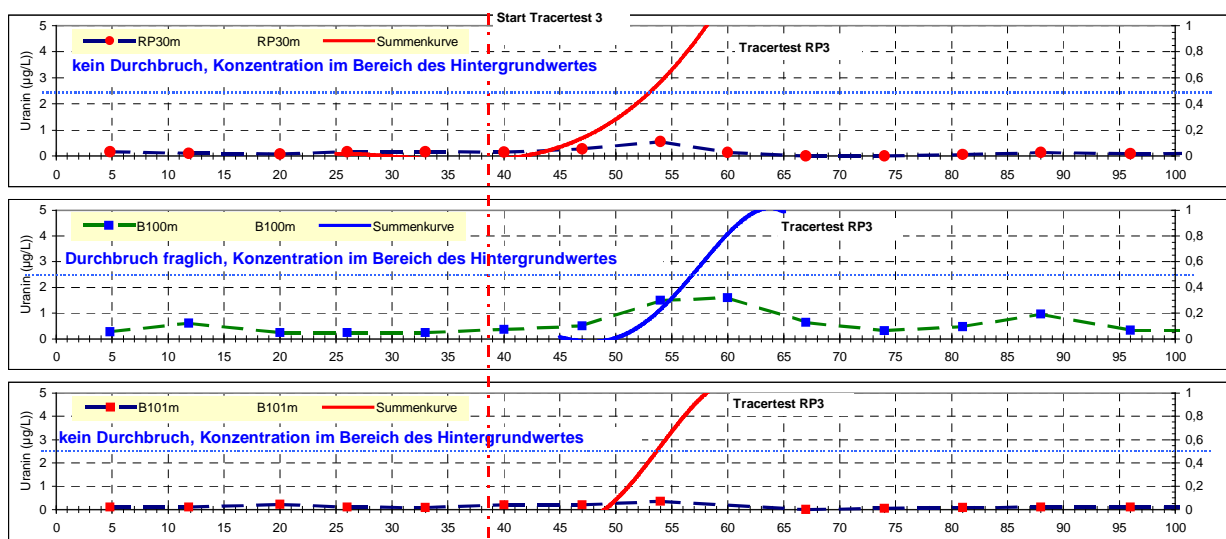


Abbildung 18: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP30, B100 und B101

Tracertest RP4

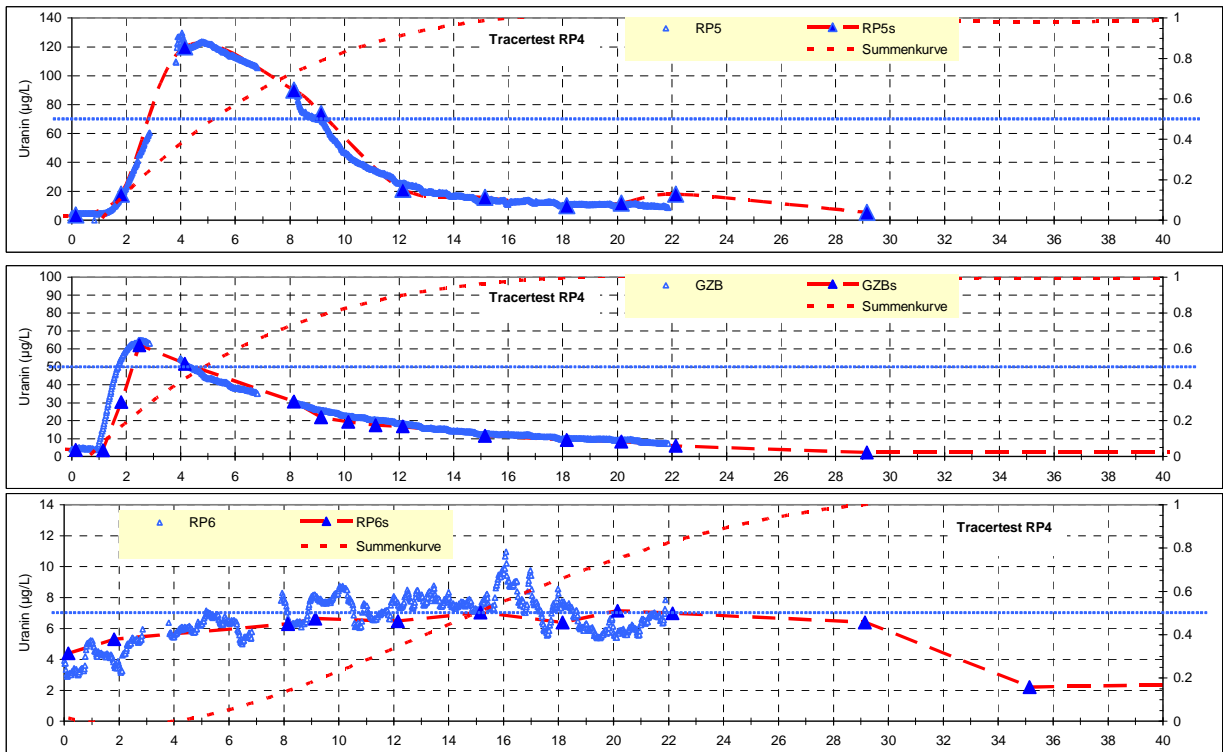


Abbildung 19: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP5, GZB und RP6

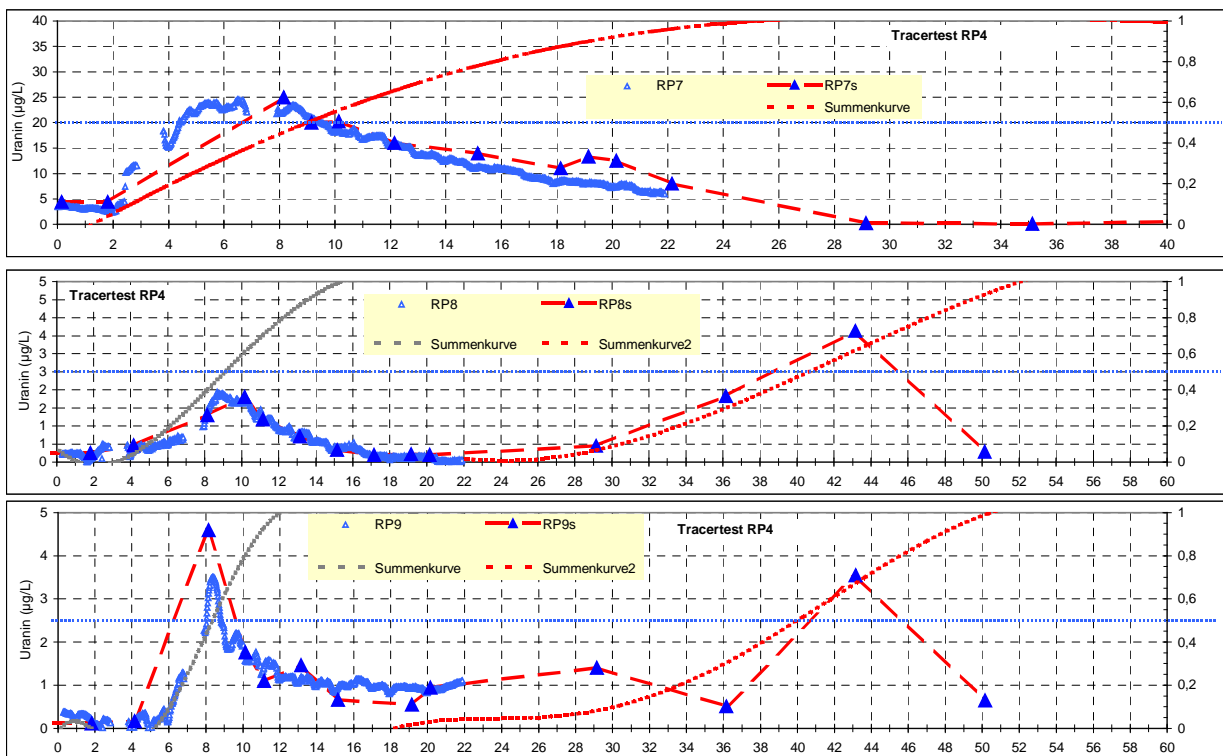


Abbildung 20: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP7, RP8 und RP9

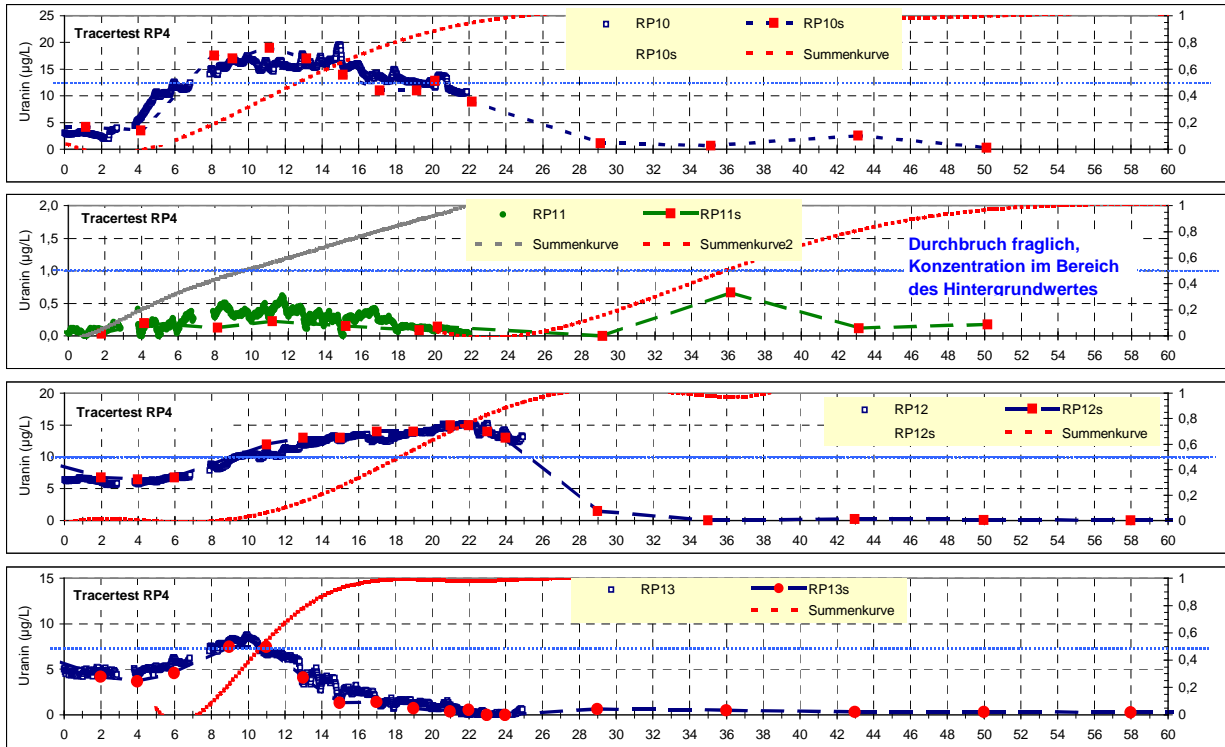


Abbildung 21: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP10, RP11, RP12 und RP13

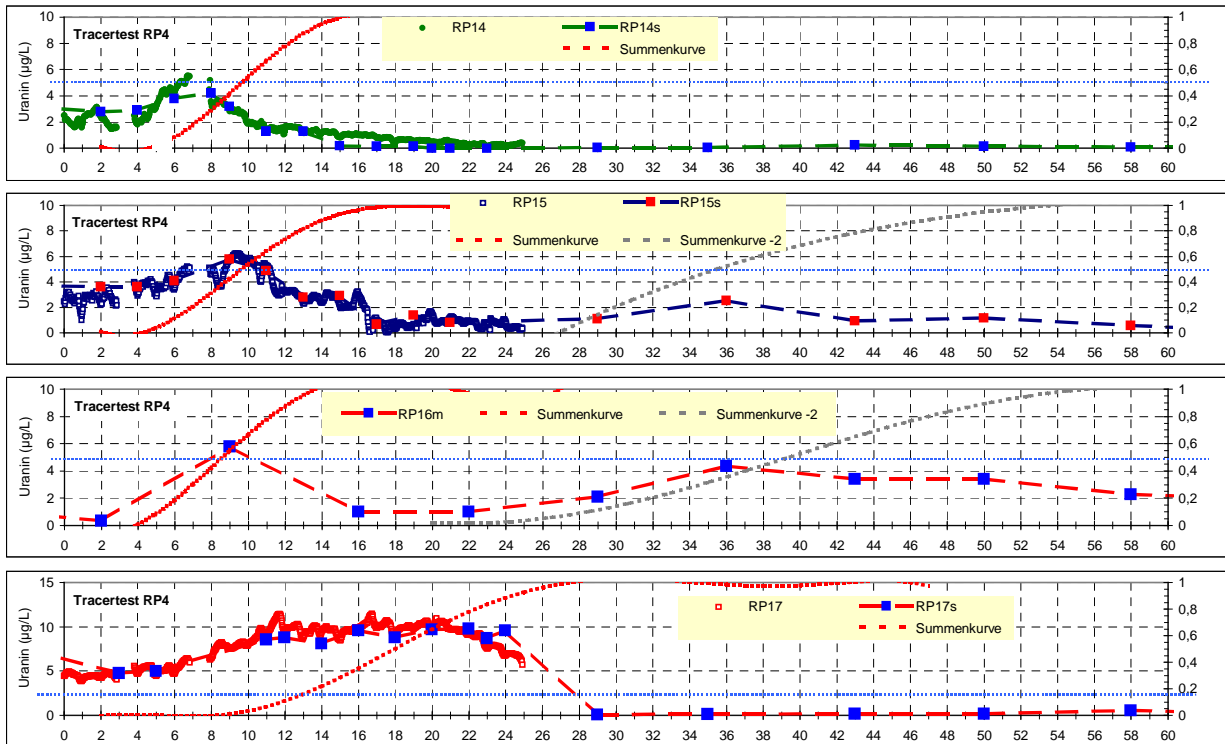


Abbildung 22: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP14, RP15, RP16 und RP17

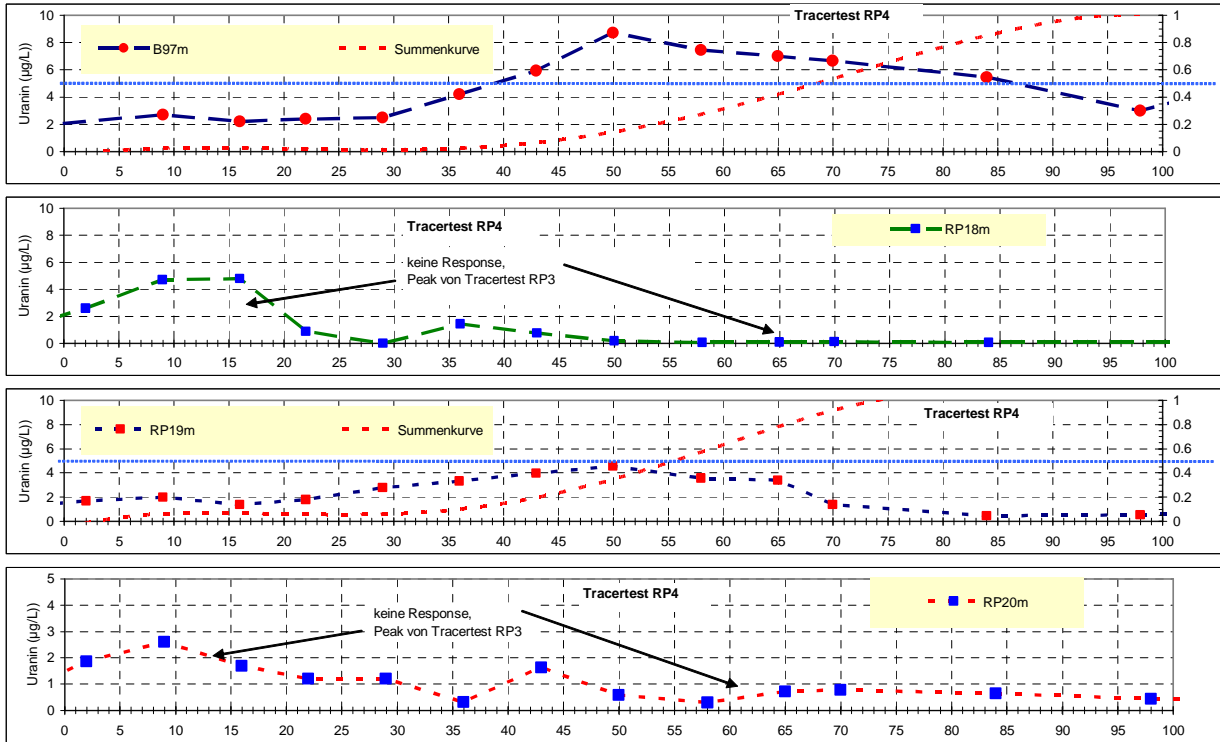


Abbildung 23: Verlauf der Uranin-Konzentration an B97, RP18, RP19 und RP20

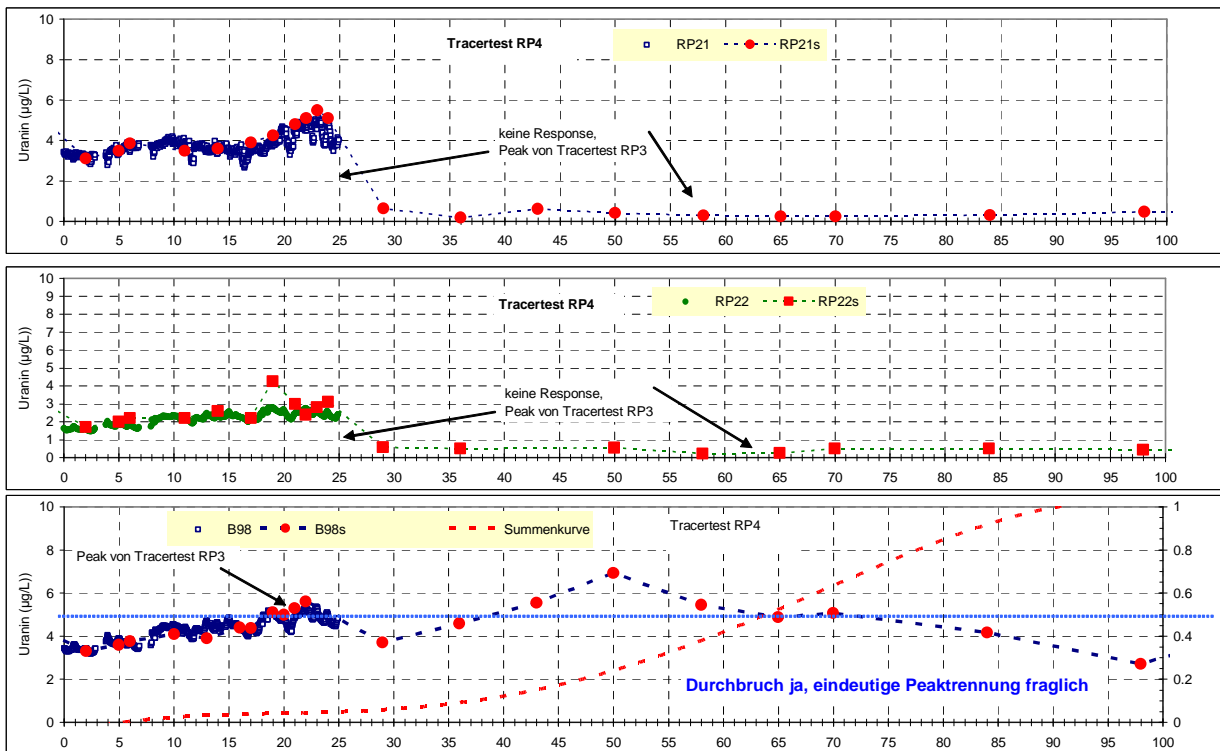


Abbildung 24: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP21, RP22, und B98

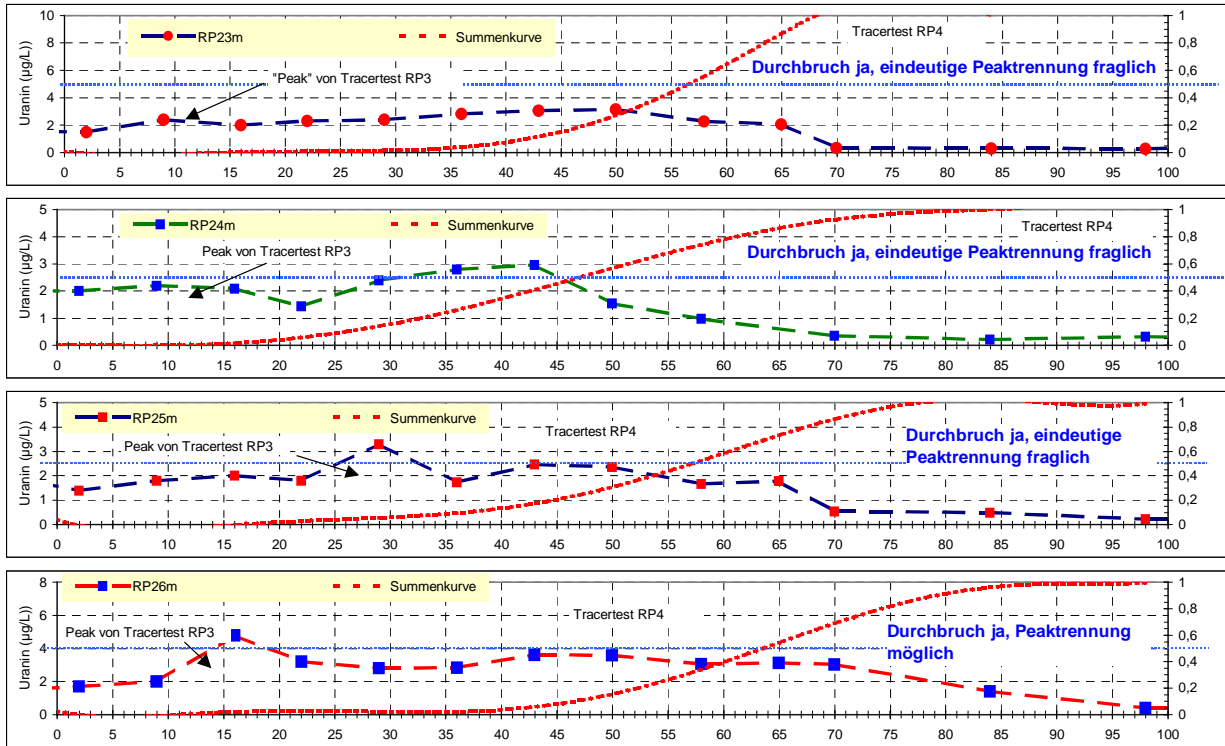


Abbildung 25: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP23, RP24, RP25 und RP26

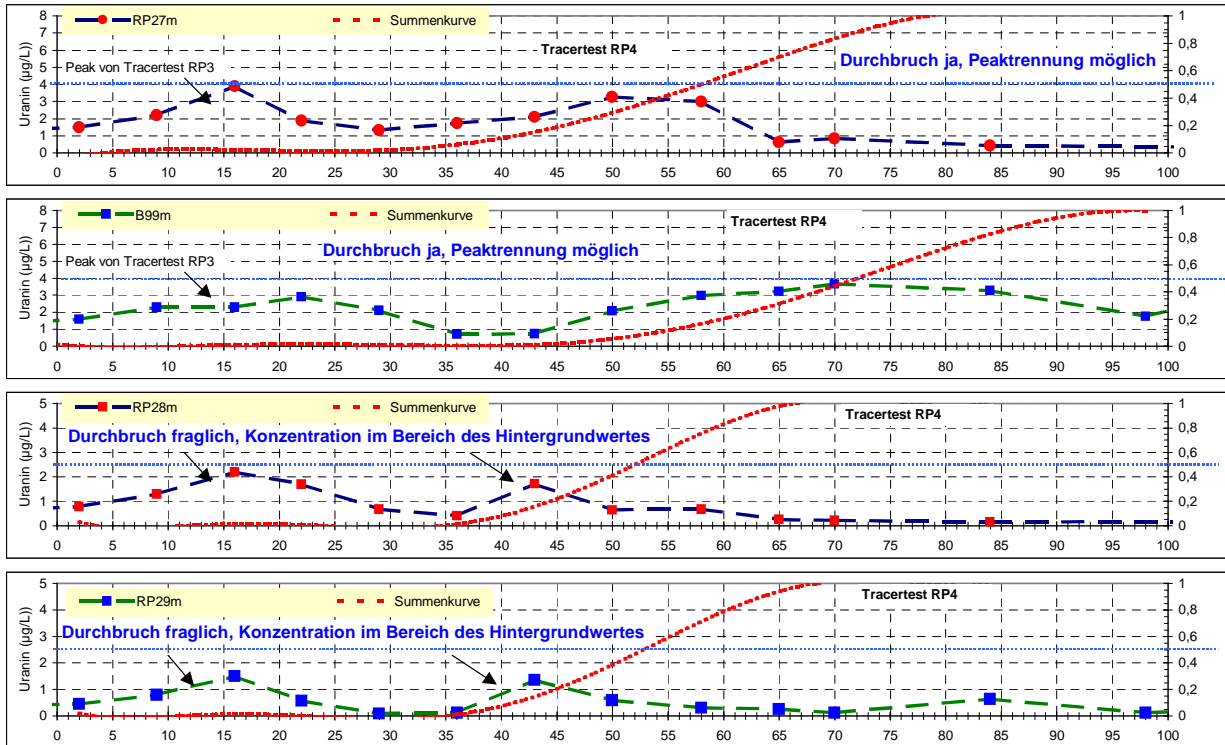


Abbildung 26: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP27, B99, RP28 und RP29



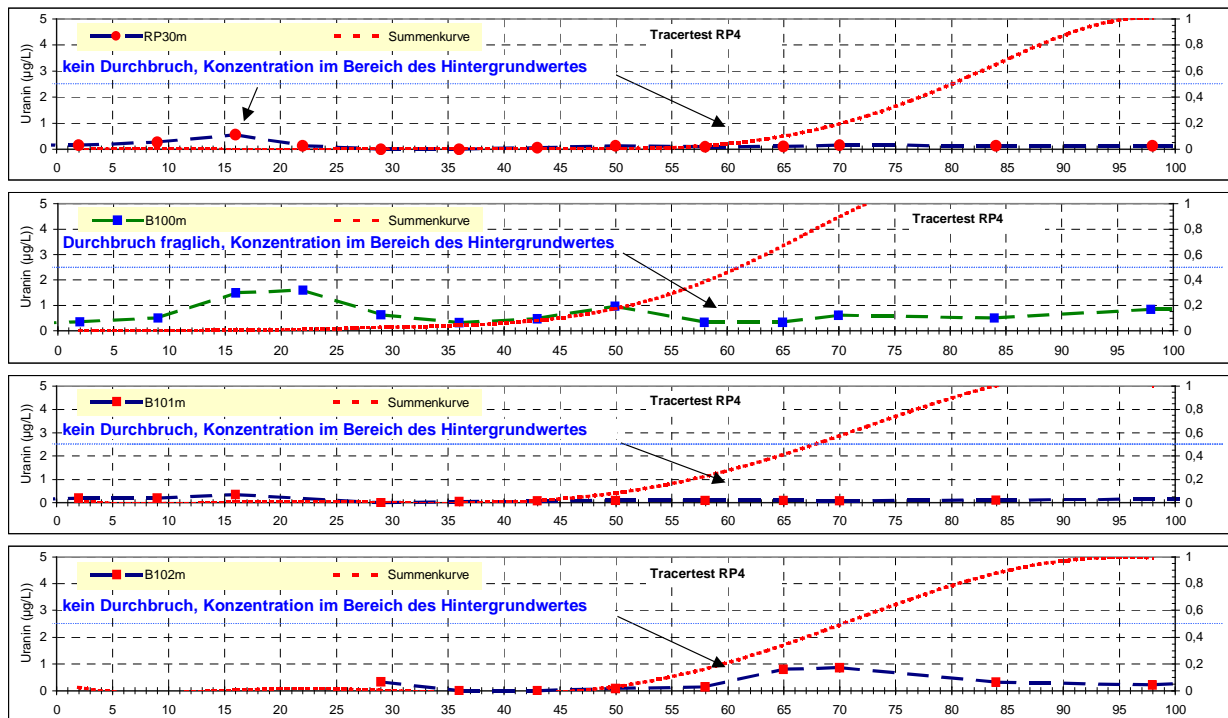


Abbildung 27: Verlauf der Uranin-Konzentration an RP30, B100, B101 und B102

Tabelle A 1: Grundwasserstände an Stichtagsmessungen (Angaben in m. NN)

	18.01. – 20.01.06	21.04.06	25.10.06	26.02. – 27.02.07
B42	217,11	217,10	217,17	217,15
B70	217,15	217,16	217,24	217,19
B86	217,06	217,03		
B87	217,06	217,03	217,14	217,12
B88	216,97	216,94	217,02	216,96
B89	216,96	216,94	217,07	217,00
B90	216,68	216,49	216,77	216,74
P1	217,10	217,11	217,11	217,15
P2	217,12	217,11	217,05	217,05
B97	216,94	216,89	217,03	216,98
B98	216,95	216,88	217,04	217,00
B99	216,92	216,85	216,99	216,94
B100	216,88	216,77	216,97	216,95
B101	216,75	216,44	216,82	216,78
B102	216,75	216,52	216,84	216,79
B92	216,70	216,61		216,76
B93	216,66	216,64		216,75
B94	216,71	216,65		216,79
B95	216,70	216,66		216,78
B96	216,71	216,56		216,76
P90		216,74		
GWM6		216,74		
RP1			217,13	217,08
RP2			217,15	217,10
RP3			217,14	217,11
RP4			217,14	217,11
RP5			217,13	217,07
RP6			217,15	217,13

**VEGAS**

	18.01. – 20.01.06	21.04.06	25.10.06	26.02. – 27.02.07
RP7			217,15	217,14
RP8			217,13	217,11
RP9			217,13	217,13
RP10			217,08	217,06
RP11			217,07	217,02
RP12			217,05	217,02
RP13			217,05	217,02
RP14			217,07	217,03
RP15			217,06	217,00
RP16			217,04	217,05
RP17			217,05	217,01
RP18			217,02	216,96
RP19			217,03	216,98
RP20			217,03	217,00
RP21			217,02	217,00
RP22			217,01	217,00
RP23			217,02	217,01
RP24			216,98	216,97
RP25			216,99	216,99
RP26			217,01	216,97
RP27			217,01	216,96
RP28			216,99	216,87
RP29			217,02	216,96
RP30			217,02	216,99

Wasserstände [m. NN]

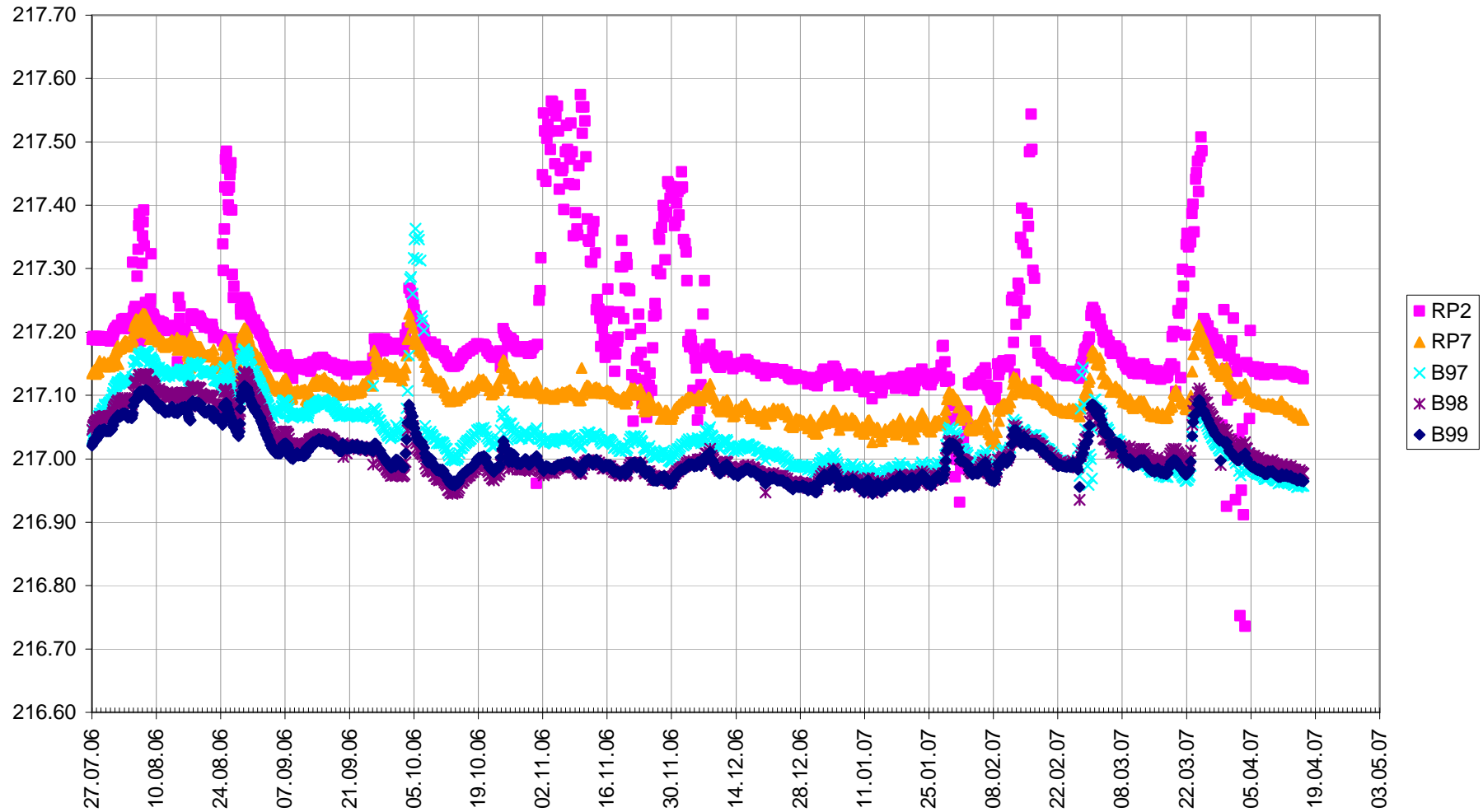


Abbildung 28: Kontinuierliche Wasserstandsmessung an RP2, RP7, B97 – B99



Tabelle A 3: Grundwasserstände Wirkungsbereich GZB (Angaben in m. NN)

Wasserstände TFS, Tracertests															
GW-Messstelle	20.12.06		02.01.07		17.01.07		29.01.07		26. + 27.02.2007		29.03.07		24.04.07		
	Abstich in m	GW über NN	Abstich in m	GW über NN	Abstich in m	GW über NN	Abstich in m	GW über NN	Abstich in m	GW über NN	Abstich in m	GW über NN	Abstich in m	GW über NN	
B86 = GZB															
B42									3.15	217.146					
B70									3.26	217.192					
B87								3.8	217.150	3.83	217.120	3.8	217.150	3.86	217.090
B88								4.34	217.020	4.40	216.960	4.36	217.000		
B89								3.18	217.080	3.23	217.030				
B90								3.65	216.860	3.67	216.840				
P1*										3.27	216.150				
P2										3.41	217.051				
RP1	3.32	217.03	3.26	217.09	3.29	217.06	3.23	217.120	3.27	217.080	3.23	217.120	3.29	217.060	
RP2	3.20	217.03	3.12	217.11	3.15	217.08	3.10	217.130	3.13	217.100	3.08	217.150	3.14	217.090	
RP3	3.53	217.05	3.48	217.10	3.51	217.07	3.45	217.130	3.47	217.110	3.45	217.130	3.50	217.080	
RP4	3.85	217.06	3.81	217.10	3.84	217.07	3.78	217.131	3.80	217.111	3.78	217.131	3.83	217.081	
RP5	3.30	216.76	3.00	217.06	3.03	217.03	2.95	217.112	2.99	217.072	2.96	217.102	3.01	217.052	
RP GZB	3.40	218.01	3.14	218.27	3.71	217.70	3.70	217.710	4.22	217.190					
GZB															
RP6	3.70	217.05	3.77	216.98	3.65	217.10	3.70	217.049	3.62	217.129	3.28	217.469	1.88	218.869	
RP7	3.72	217.09	3.70	217.11	3.71	217.10	3.75	217.061	3.67	217.141	3.68	217.131	3.73	217.081	
RP8	3.78	217.06	3.75	217.09	3.75	217.09	3.77	217.065	3.73	217.105	3.69	217.145	3.78	217.055	
RP9	3.55	217.06	3.55	217.06	3.54	217.07	3.55	217.058	3.48	217.128	3.50	217.108	3.53	217.078	
RP10	3.80	217.00	3.75	217.05	3.78	217.02	3.75	217.046	3.74	217.056	3.73	217.066	3.78	217.016	
RP11	3.72	216.98	3.70	217.00	3.69	217.01	3.63	217.069	3.68	217.019	3.66	217.039	3.72	216.979	
RP12	3.50	216.99	3.48	217.01	3.50	216.99	3.50	216.994	3.47	217.024	3.46	217.034	3.50	216.994	
RP13	3.62	216.98	3.59	217.01	3.61	216.99	3.57	217.033	3.58	217.023	3.57	217.033	3.62	216.983	
RP14	3.70	216.97	3.65	217.02	3.66	217.01	3.60	217.068	3.64	217.028	3.60	217.068	3.68	216.988	
RP15	3.45	216.97	3.41	217.01	3.42	217.00	3.36	217.063			3.37	217.053	3.44	216.983	
RP16	3.42	216.96	3.39	216.99	3.40	216.98	3.35	217.030	3.33	217.050	3.26	217.120	3.36	217.020	
RP17	3.60	217.01	3.59	217.02	3.62	216.99	3.56	217.046	3.60	217.006	3.59	217.016	3.63	216.976	
B97	3.10	216.93	3.05	216.98	3.05	216.98	3.00	217.026	3.05	216.976	3.04	216.986	3.07	216.956	
RP18	2.90	216.94	2.96	216.88	2.88	216.96	2.80	217.042			2.82	217.022	2.92	216.922	
RP19	2.95	216.90	2.87	216.98	2.90	216.95	2.82	217.033	2.87	216.983	2.83	217.023	2.92	216.933	
RP20	3.02	216.86	2.91	216.97	2.92	216.96	2.85	217.026	2.84	217.036	2.83	217.046	2.87	217.006	
RP21	2.93	216.95	2.89	216.99	2.91	216.97	2.84	217.043	2.88	217.003	2.86	217.023	2.94	216.943	
RP22	2.98	216.91	2.91	216.98	2.94	216.95	2.86	217.026	2.89	216.996	2.84	217.046	2.95	216.936	
B98	2.94	216.93	2.88	216.99	2.90	216.97	2.85	217.019	2.87	216.999	2.87	216.999	2.92	216.949	
RP23	2.87	216.95	2.85	216.97	2.88	216.94	2.80	217.021	2.81	217.011	2.81	217.011	2.92	216.901	
RP24	3.04	216.92	2.99	216.97	3.02	216.94	2.95	217.011	2.99	216.971	2.95	217.011	3.03	216.931	
RP25	3.08	216.91	3.01	216.98	3.03	216.96	2.95	217.041	3.00	216.991	2.97	217.021	3.04	216.951	
RP26	3.25	216.93	3.22	216.96	3.22	216.96	3.15	217.025	3.21	216.965	3.17	217.005	3.27	216.905	
RP27	3.35	216.91	3.30	216.96	3.32	216.94	3.25	217.014			3.25	217.014	3.35	216.914	
B99	3.30	216.91	3.23	216.98	3.27	216.94	3.20	217.014	3.27	216.944	3.20	217.014	3.29	216.924	
RP28	3.33	216.93	3.31	216.95	3.34	216.92	3.26	217.000			3.30	216.960	3.37	216.890	
RP29	3.39	216.94	3.39	216.94	3.40	216.93	3.33	216.998	3.37	216.958	3.33	216.998	3.42	216.908	
RP30	3.47	216.95	3.47	216.95	3.48	216.94	3.40	217.021	3.43	216.991	3.38	217.041	3.50	216.921	
B100	3.68	216.89	3.63	216.94	3.68	216.89	3.60	216.968	3.62	216.948	3.60	216.968	3.67	216.898	
B101	4.01	216.78	4.00	216.79	4.02	216.77	4.00	216.792	4.01	216.782	3.97	216.822	4.03	216.762	
B102	4.30	216.75	4.26	216.79	4.26	216.79	4.23	216.816	4.24	216.806	4.23	216.816	4.26	216.786	
B92									3.64	216.760					
B93									1.87	216.750					
B94									3.81	216.790					
B95									3.55	216.780					
B96									4.14	216.755					
P90									3.08	216.842					
GWM 6									2.46	216.620					
GWM 9									2.67	216.560					

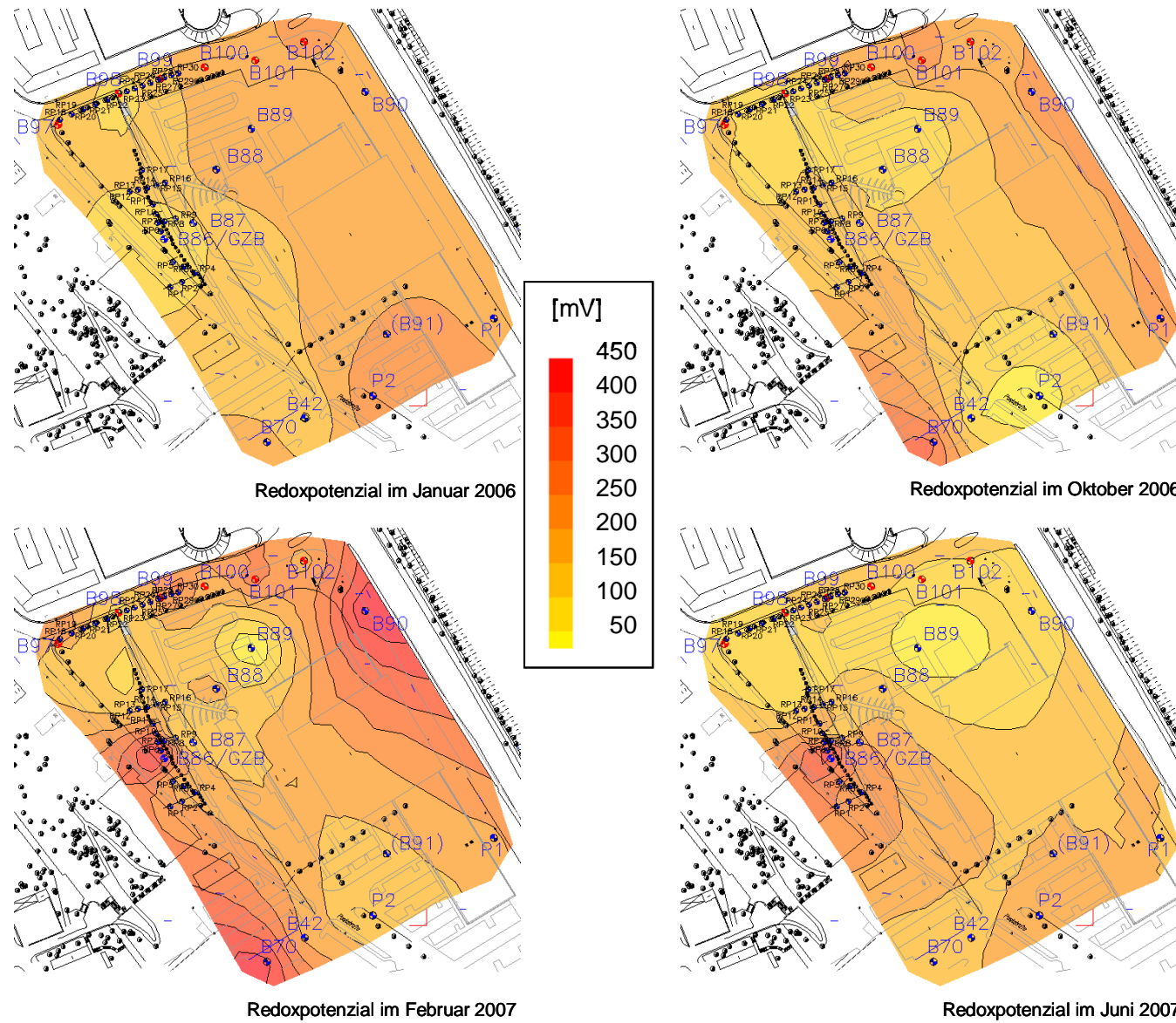


Abbildung 29: Redoxpotenzial im Testfeld während Stichtagmessungen

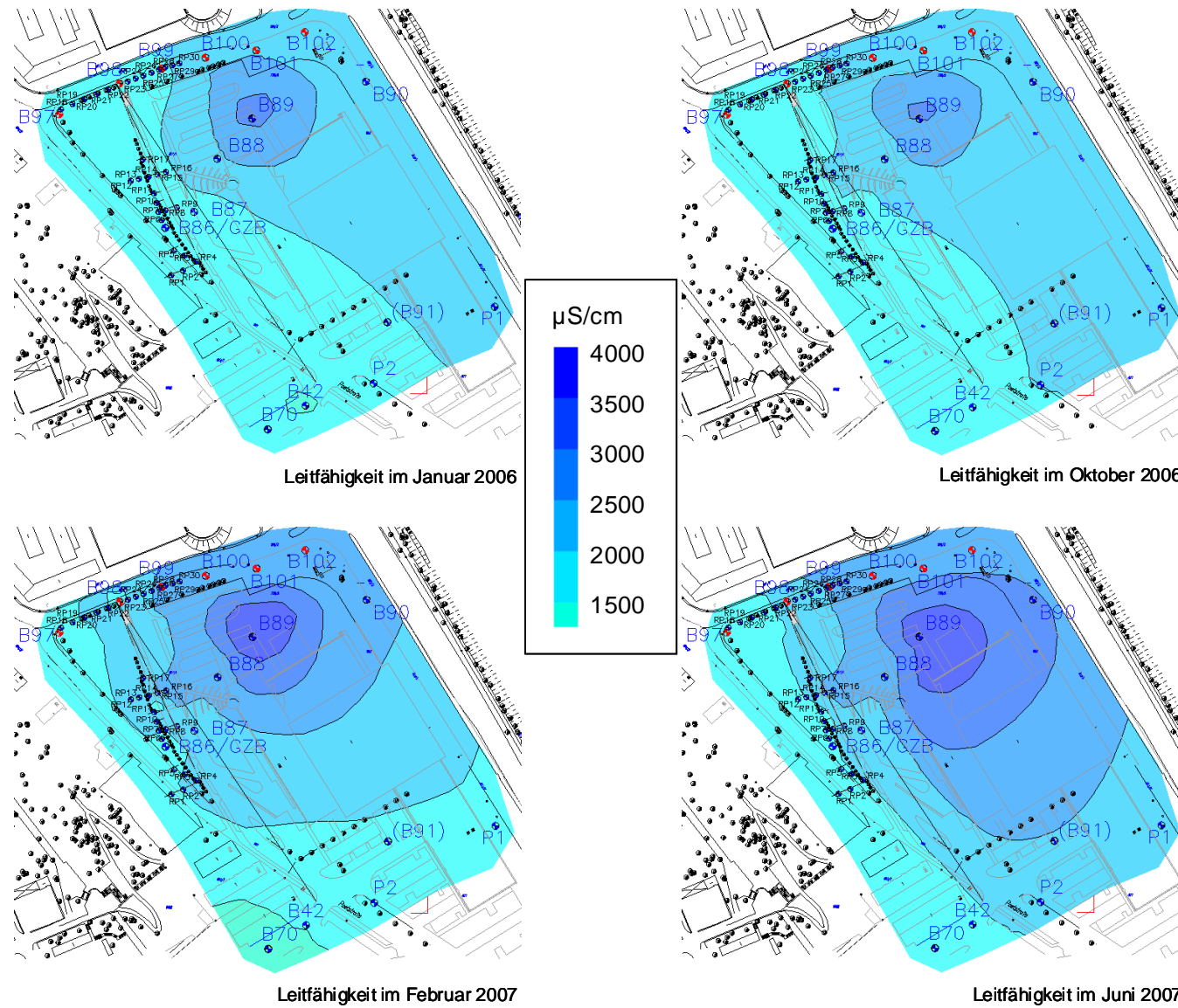


Abbildung 30: Leitfähigkeit im Testfeld während Stichtagsmessungen



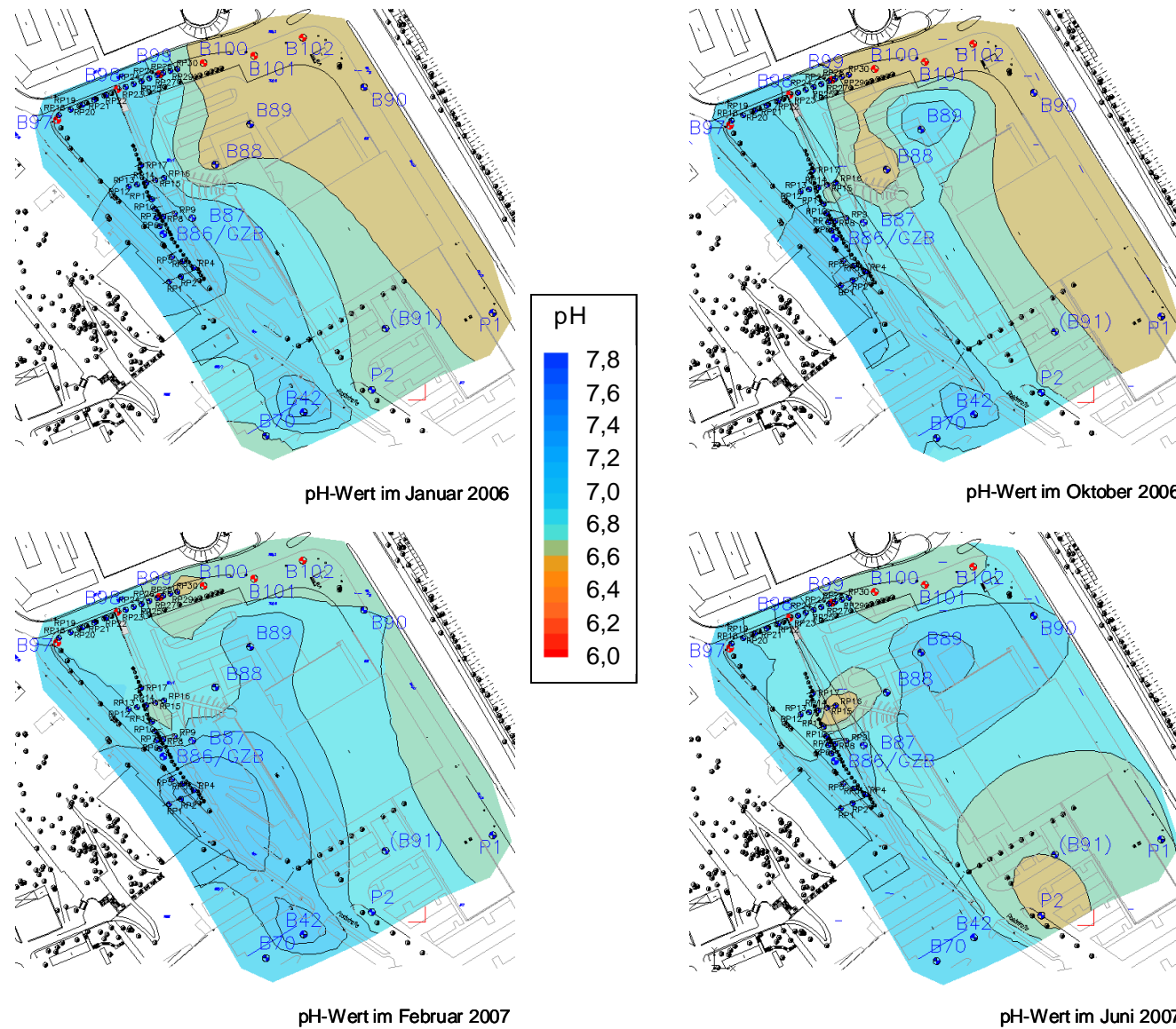


Abbildung 31: pH-Wert im Testfeld während Stichtagsmessungen

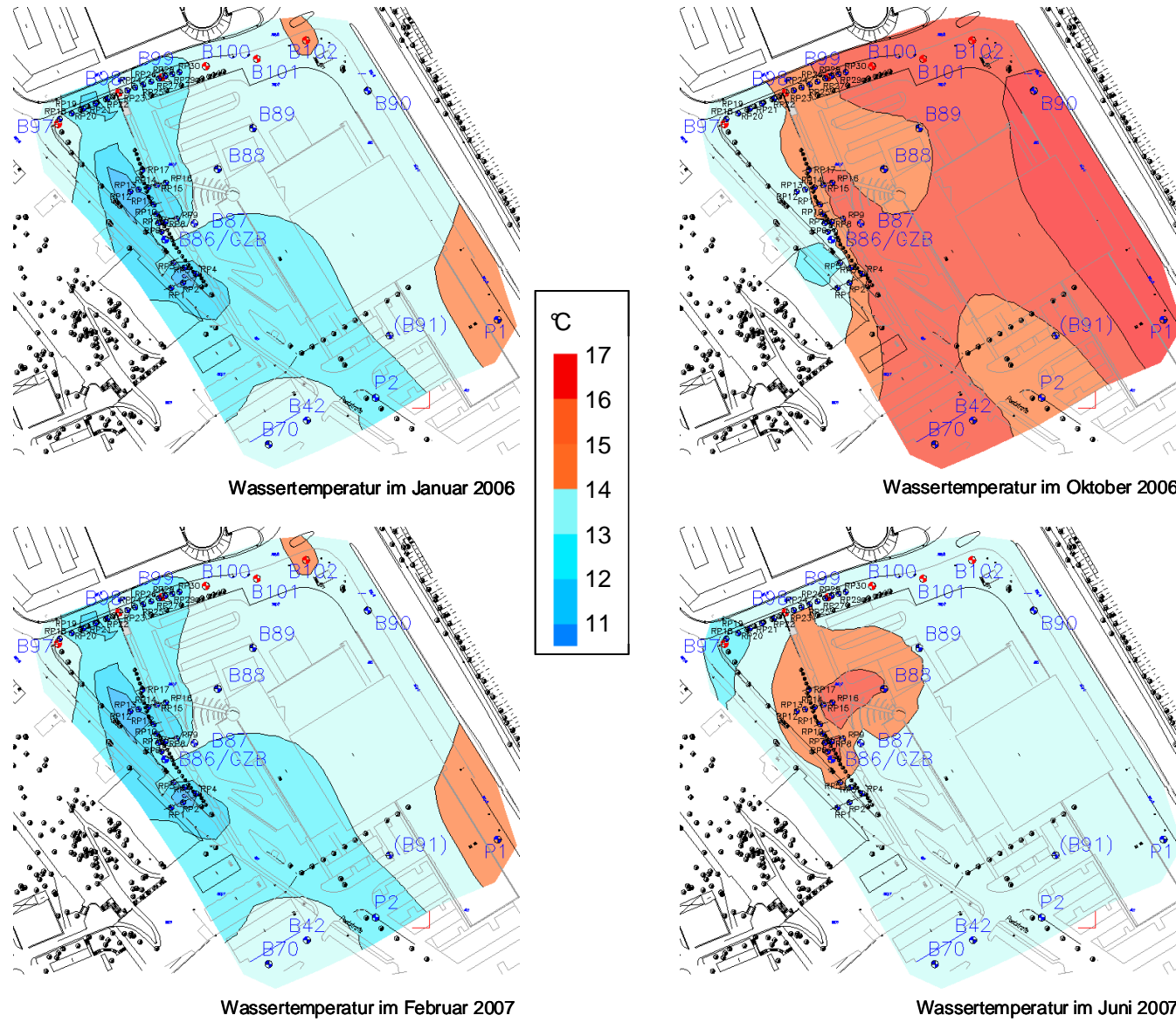


Abbildung 32: Wassertemperatur im Testfeld während Stichtagsmessungen

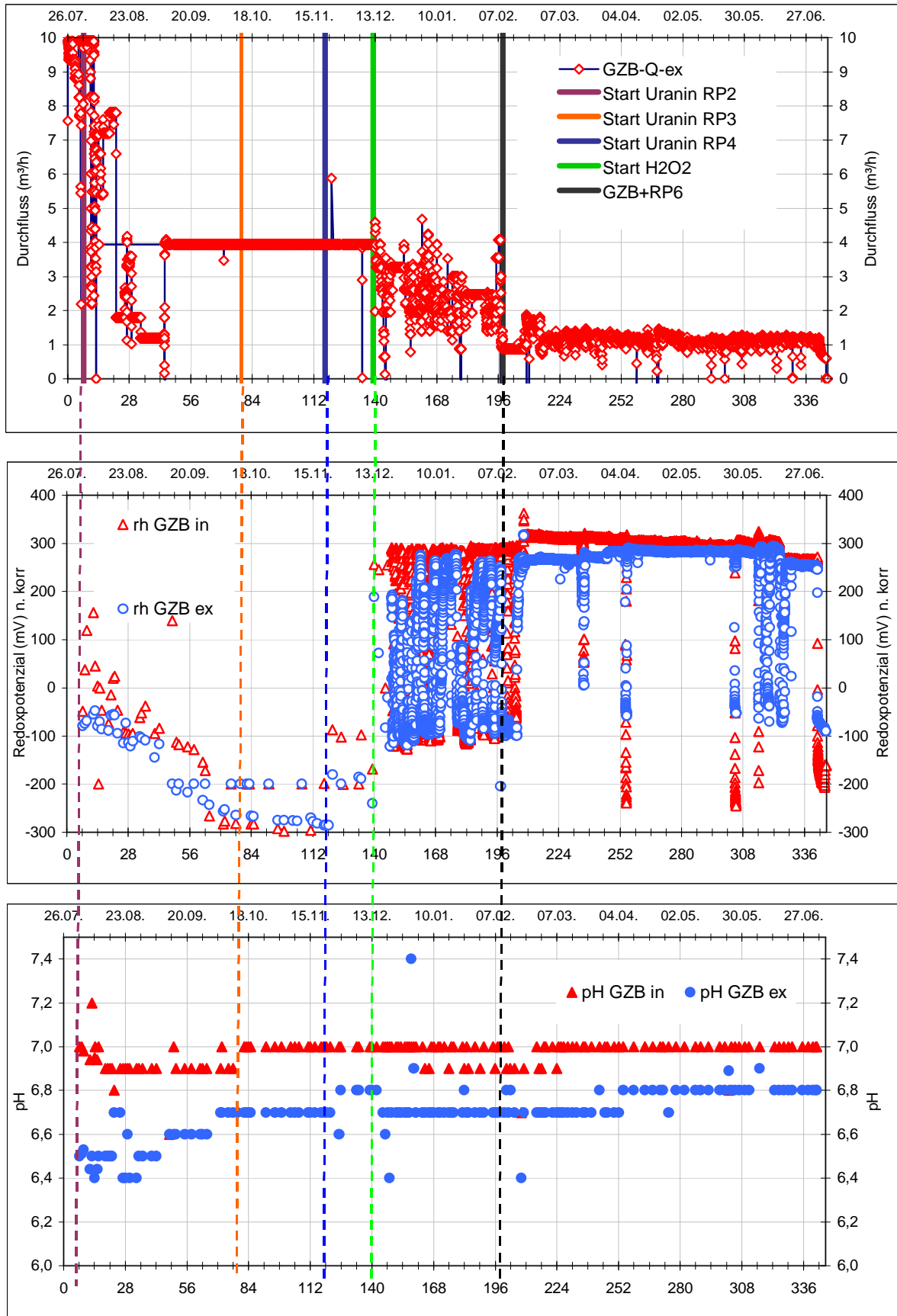


Abbildung 33: Messungen GZB: Durchfluss, Redoxpotenzial und pH-Wert

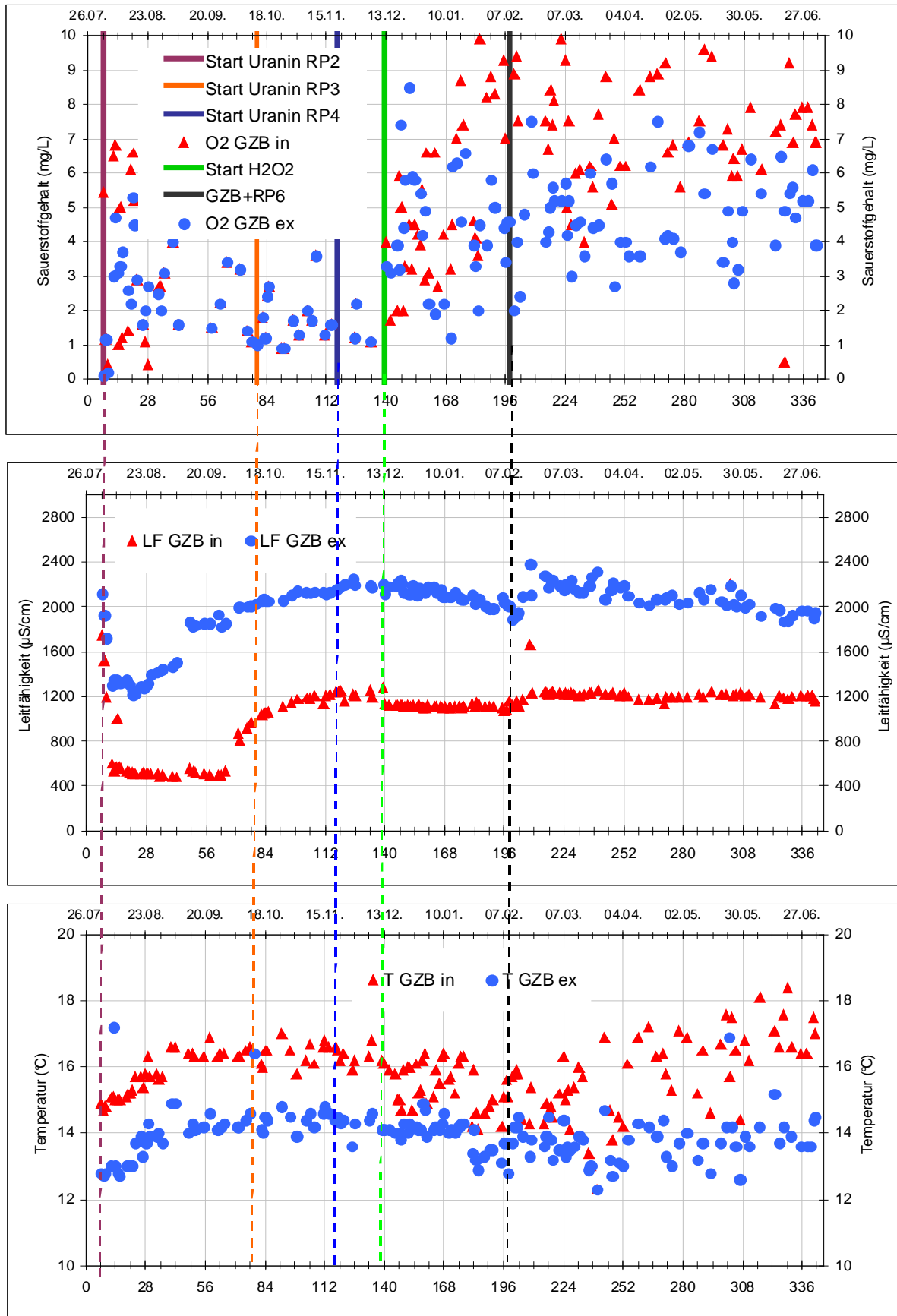


Abbildung 34: Messungen GZB: Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit und Temperatur

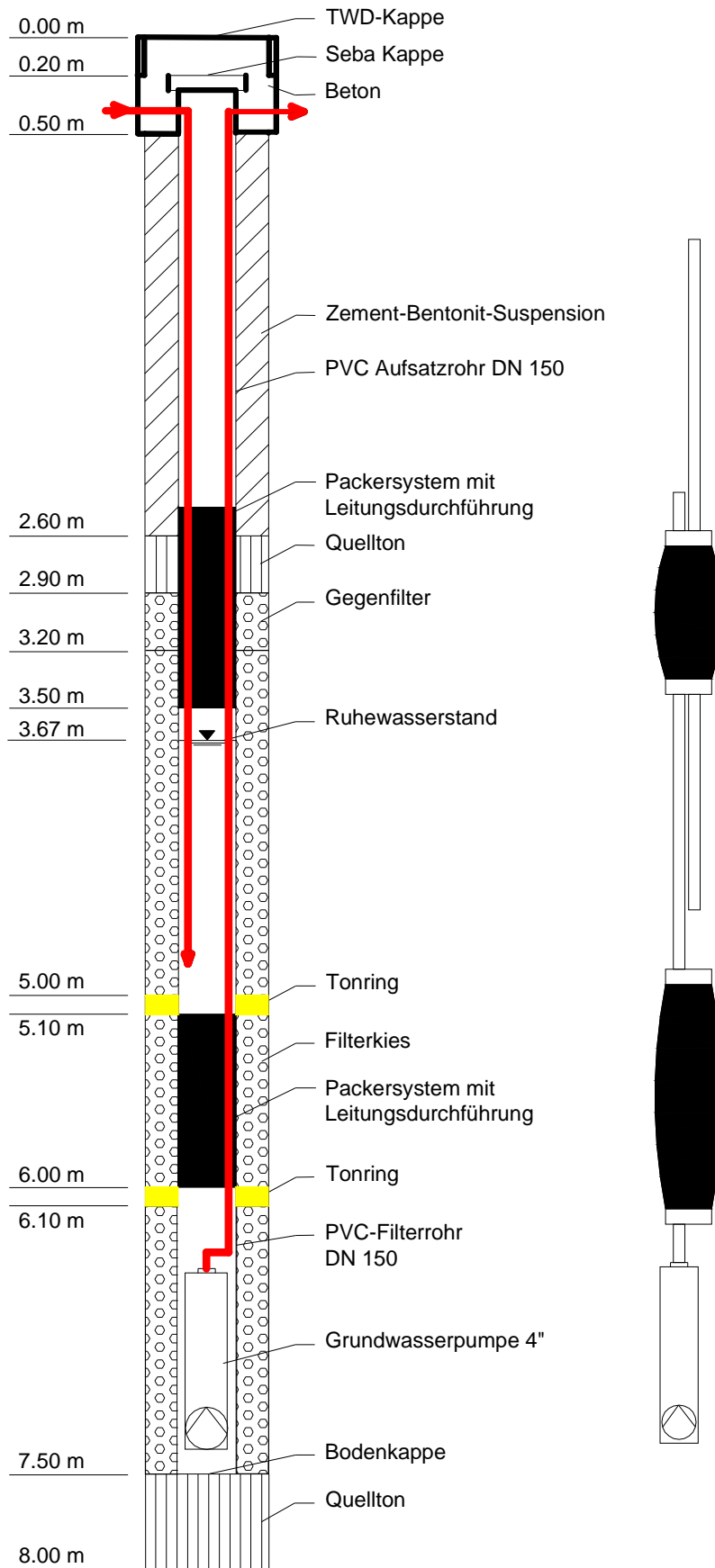


Abbildung 35: Ausbau GZB