



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

Technischer Bericht
Nr. 2008 / 09 (VEG 32)

**ENA-Pilotanwendung, Betrieb eines
Grundwasserzirkulationssystems zur
Belüftung des Grundwassers mittels
Wasserstoffperoxid und Luftsauerstoff**

**Auswertung und Dokumentation des
Gesamtvorhabens**

Auftraggeber: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger
Wassertechnologie 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

Mai 2008

(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.	Einleitung.....	5
1.1.	Standortbeschreibung	6
1.2.	Kontamination.....	7
2.	Pilotanwendung ENA-TFS.....	8
2.3.	Schadstofffrachten und räumliche Konzentrationsverteilung vor der ENA-Maßnahme	9
2.4.	Vorbereitung der Pilotanwendung	14
2.4.1.	Errichtung der Grundwassermessstellen.....	14
2.4.2.	Installation des GZB.....	19
2.4.3.	Anlagen- und Betriebstechnik.....	20
2.4.4.	Stichtagsmessung	23
2.4.5.	Tracerversuche	24
2.5.	Durchführung der Pilotanwendung	31
2.5.1.	Sauerstoffzugabe	31
2.5.2.	Intermittierender Betrieb: NA Phase.....	33
2.5.3.	Wasserstoffperoxidzugabe	34
2.6.	Ergebnisse der Pilotanwendung.....	40
2.6.1.	Betriebsparameter GZB	40
2.6.2.	Entwicklung der Sauerstoffkonzentrationen	46
2.6.3.	Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen.....	48
2.6.4.	Entwicklung der Keimzahlen	54
2.6.5.	Einfluss der Zugabe von Wasserstoffperoxid auf den Aquifer.....	55
2.7.	Schadstofffrachten und räumliche Konzentrationsverteilung nach der ENA-Maßnahme	63
2.8.	Einsatz numerischer Simulationen zum Einsatz des GZB während der Pilotanwendung TFS.....	65
3.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	73
4.	Anhang	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Position der Kontrollebenen und Brunnen im Testfeld Süd.....	7
Abbildung 2:	Zeitplan Pilotanwendung TFS (der geplante Zeitrahmen ist schraffiert dargestellt).....	9
Abbildung 3:	Acenaphthen-, Methylbenzofuran- und Dimethylbenzofuran-Konzentrationsganglinien an der Messstelle B97	10
Abbildung 4:	Position der Direct-Push-Messstellen zur Konditionierung der numerischen Inversionslösung mittels Punktkonzentrationswerten	11
Abbildung 5:	Schadstoffmassenfrachten und mittlere Konzentration (C_{AV}) an den 3 Kontrollebenen (IPV-spezifische Auftragung und Summe der Frachten, jeweils rechts aufgetragen)	13
Abbildung 6:	Bohrprofile und Brunnenausbau B96 - B 99	15
Abbildung 7:	Bohrprofile und Brunnenausbau B100 - B 102.....	16
Abbildung 8:	Querschnittsbild des GZB	19
Abbildung 9:	Verfahrensfließbild Dosieranlage TFS	20

Abbildung 10: Konzentrationsverteilung NSO-HET vor Zugabe von H ₂ O ₂	23
Abbildung 11: Lageplan Testfeld Süd mit angepasster Strömungssimulation und Tracerdurchbruch an Messstellen im Bereich der Strömungswalze	25
Abbildung 12: Ausbreitung des Tracers, Uranin-Zugabe in RP2	26
Abbildung 13: Darstellung der Abstandsgeschwindigkeit, der mittleren Fließgeschwindigkeit, der Dispersionskoeffizienten und der Dispersivitäten (Uranin-Zugabe in RP2)	28
Abbildung 14: Grundwassergleichenpläne (CP1 – CP3)	30
Abbildung 15: Rückgang der NSO-HET Konzentrationen im Nahbereich des GZB bei initialer Sauerstoffzugabe	31
Abbildung 16: Verteilung der Schadstoffkonzentrationen im Nahbereich des GZB	34
Abbildung 17: oben: Volumenströme Entnahme GZB (QGZB) und Infiltrationsbrunnen (QRP6); Mitte: Filterdruck an Zugabestelle; unten: Redoxpotenzial Zugabe GZB (blau) und Entnahme GZB (rot)	35
Abbildung 18: Zugaberate von Wasserstoffperoxid in den GZB	35
Abbildung 19: Messungen GZB: Durchfluss, Redoxpotenzial und pH-Wert	41
Abbildung 20: Messungen GZB: Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit und Temperatur.....	42
Abbildung 21: Analysenergebnisse der Grundwasserproben aus dem GZB	45
Abbildung 22: Entwicklung des Sauerstoffgehalts im Grundwasser im Nahbereich des GZB	47
Abbildung 23: Entwicklung der NSO-HET Konzentrationen im Wirkungsbereich bei Zugabe H ₂ O ₂	49
Abbildung 24: Entwicklung der NSO-HET Konzentrationen zu Stichtagsmessungen (oben) und im Wirkungsbereich bei Zugabe H ₂ O ₂	50
Abbildung 25: Entwicklung der PAK Konzentrationen im Wirkungsbereich bei Zugabe H ₂ O ₂	51
Abbildung 26: Entwicklung der PAK Konzentrationen zu Stichtagsmessungen (oben) und im Wirkungsbereich bei Zugabe H ₂ O ₂	52
Abbildung 27: Vergleich der Keimzahlen im Wirkungsbereich des GZB vor und nach ENA	54
Abbildung 28: Grundwasserstände im Bereich zwischen CP2 und CP2-3	56
Abbildung 29: H ₂ O ₂ -Konzentrationen am GZB und im Nahbereich	57
Abbildung 30: Zeitlicher Verlauf der räumlichen Verteilung an Fe _{gesamt}	58
Abbildung 31: Redoxpotenzial im Testfeld an Stichtagsmessungen.....	59
Abbildung 32: Leitfähigkeit im Testfeld während Stichtagsmessungen	60
Abbildung 33: pH-Wert im Testfeld während Stichtagsmessungen	61
Abbildung 34: Wassertemperatur im Testfeld während Stichtagsmessungen	62
Abbildung 35: Immissionspumpversuche mit Erfassungsbereich zur Quantifizierung der Frachtreduktion durch die ENA-Maßnahme	63
Abbildung 36: Aufsicht Numerisches Modell TFS	66
Abbildung 37: Querschnitt durch das numerische Modell.....	67
Abbildung 38: Numerische Simulation des GZB mit 10 m ³ /h Förderrate	68
Abbildung 39: Numerische Simulation des GZB nach Markierungsversuchen	69
Abbildung 40: Numerische Simulation der geänderten Betriebsweise des GZB (Februar 2007)	70
Abbildung 41: Strömungssimulation der Demonstrationsphase mit Erfassung von 40% der Schadstofffracht	71
Abbildung 42: Strömungsmodellierung zur Erfassung von 80% der Schadstofffracht	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schadstofffracht an CP2-Ersatz, CP2-3 und CP3 neu	11
Tabelle 2: NA-Ratenkonstanten dominierender Schadstoffkomponenten für die untersuchten Kontrollebenen	13
Tabelle 3: Lage, kf-Werte und Profilierung der GWM B96 – B102.....	17
Tabelle 4: Daten der Einmessung der Rammpegel	18
Tabelle 5: Bauteile der Dosier- und Mischanlage	21
Tabelle 6: Advective und dispersive Kennwerte Tracertest 1 (Uranin-Zugabe in RP2)	27
Tabelle 7: Dispersivität α_L ermittelt aus den Markierungsversuchen	28
Tabelle 8: Durchlässigkeitswerte k_f [m/s], Pumpversuche CDM [3]	29
Tabelle 9: Durchlässigkeitswerte k_f [m/s] , Pumpversuche CDM [3]	29
Tabelle 10: Durchlässigkeitswerte k_f [m/s] , Pumpversuche CDM [4]	29
Tabelle 11: Eisengehalte im Boden am GZB	37
Tabelle 12: Prozessgrößen Wasserstoffperoxidzugabe	39
Tabelle 13: Wertebereich der Analysenergebnisse der Grundwasserproben aus dem GZB	44
Tabelle 14: Übersicht NSO-HET GZB-Entnahme	48
Tabelle 15: Übersicht NSO-HET im Nahbereich GZB (RP6 – RP11)	48
Tabelle 16: Übersicht NSO-HET im Abstrombereich GZB (RP12 – RP16).....	48
Tabelle 17: Übersicht NSO-HET an der CP2-3 (B97 – B99, inkl. RP18 – RP30)	48
Tabelle 18: Übersicht PAK GZB-Entnahme	53
Tabelle 19: Übersicht PAK im Nahbereich GZB (RP6 – RP11)	53
Tabelle 20: Übersicht PAK im Abstrombereich GZB (RP12 – RP16)	53
Tabelle 21: Übersicht PAK an der CP2-3 (B97 – B99, inkl. RP18 – RP30)	54
Tabelle 22: NA-Ratenkonstanten	64
Tabelle 23: Fördermengen der einzelnen Brunnen zur Planung ENA	72

1. EINLEITUNG

Heterozyklische Kohlenwasserstoffe (NSO-HET) sind toxische und zum Teil kanzerogene Verbindungen, die bei Teerkontaminationen des Untergrundes im Grundwasser auftreten, aber noch nicht routinemäßig untersucht werden. Die bisherigen Feldbeobachtungen deuten auf eine relative Persistenz bei gleichzeitig hoher Mobilität hin, so dass lange Schadstofffahnen im Grundwasser entstehen. Da die natürlichen Abbau- und Rückhalteprozesse für eine Elimination oftmals nicht ausreichen, sollte ein Verfahren zur Stimulation des aeroben mikrobiellen In-situ-Abbaus entwickelt werden.

Vor Beginn des Projekts war bekannt, dass am Standort ein deutlicher Rückhalt und Abbau der BTEX und PAK erfolgt. Lediglich das anaerob schlecht abbaubare Acenaphthen und die Stoffgruppe der NSO-HET bilden eine persistente, lange Schadstofffahne, die im Rahmen des Projekts durch Stimulation des Bioabbaus verkürzt werden sollte.

Im Zuge des Projektes TV2.4 „Enhanced Natural Attenuation“ zum In-situ-Bioabbau von Heterozyklischen Kohlenwasserstoffen im Grundwasser, das Teil des BMBF-Förderschwerpunktes KORA ist wurde eine Pilotanwendung am „Testfeld Süd“ durchgeführt.

Das durch den Projektpartner TZW, Karlsruhe entwickelte Verfahren der aeroben Stimulation des biologischen Abbaus der NSO-HET basiert auf der Zugabe von Wasserstoffperoxid in das kontaminierte Grundwasser. In Folge des quasi instantanen Zerfalls von Wasserstoffperoxid zu Wasser und Sauerstoff werden die Mikroorganismen intensiv mit Sauerstoff versorgt und die schwer abbaubaren NSO-HET können enzymatisch angegriffen und biologisch abgebaut werden.

Als hydraulisch effektives Verfahren zur homogenen Einmischung von Wasserstoffperoxid in das Grundwasser wurde seitens VEGAS ein Grundwasserzirkulationssystem (GZB) ausgewählt. Im Rahmen der Forschungsarbeiten im Technikum konnte in der „Großen Rinne“ die hydraulische Wirksamkeit des GZB, sowie der Nachweis der Wirksamkeit der Zugabe von Wasserstoffperoxid als Sauerstoffträger auf den biologischen Abbau gezeigt werden. Gleichzeitig erfolgte der Aufbau eines numerischen Grundwasser-Strömungsmodells zur Berechnung des Erfassungsbereichs des GZB zur standortbezogenen Dimensionierung (Durchfluss, Abstand Förderbereiche, Dimension Strömungswalze).

Die Anwendung des Verfahrens auf der Feldskala (Pilotanwendung) zum Nachweis der Wirksamkeit, der Kostenermittlung und der Beurteilung der Stabilität des hydraulischen Prozesses ist nach §§ 2, 3 Abs. 1 Nr.6, § 3 Abs.1 Nr. 5, §§ 4, 5, 7, 21 und 34 Wasserhaushaltsgesetz (WHG), sowie §§ 14, 16, 45e Abs. 2, 95 und 96 Abs. 1 Wassergesetz Baden-Württemberg (WG) erlaubnisbedürftig. Die wasserrechtliche Erlaubnis wurde durch das Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart am 23. August 2005 erteilt. Der vorliegende Bericht wurde entsprechend den Auflagen der wasserrechtlichen Genehmigung erstellt. Neben der

Dokumentation der wasserrechtlich relevanten Maßnahmen werden die Forschungsergebnisse der Pilotanwendung dargestellt.

1.1. Standortbeschreibung

Das Testfeld Süd befindet sich auf dem Gelände des ehemaligen Gaswerksstandortes „Gaisburg“ im Neckartal (ISAS-Fläche-Nr. 3987) und erstreckt sich über eine Fläche von ca. 50.000 m² auf den Flurstücken 798, EnBW AG und 801/1. Es wird im Osten durch den Neckar und im Westen durch den Talrand begrenzt.

Im „Testfeld Süd“ steht ein dichtes Messstellennetz (80 Grundwassermessstellen für Grundwasserstandsmessungen, 28 GWM für Grundwasserprobenahme (im betrachteten Bereich der Pilotanwendung), davon 10 Multilevel-Messstellen, sowie 30 Direct-Push-Messstellen) zur Verfügung, s. Anlage A1. Das bereits im Vorfeld der Anwendung vorliegende umfangreiche Datenmaterial zur Hydrogeologie, Hydraulik, Hydrogeochemie sowie zum Transportverhalten wurde für den Bereich des Testfelds im Rahmen von Immissionspumpversuchen (IPV), regelmäßigen Stichtagsmessungen mit Bestimmung der Grundwasserstände, Schadstoffkonzentrationen und anorganischen Wasserinhaltsstoffen, sowie drei Markierungsversuchen detailliert. Ein Teil der Messstellen, die Direct-Push-Messstellen, sowie sieben Grundwassermessstellen im Quartär (B96 – B102, s. Abbildung 1) wurden im Rahmen des KORA-Projekts gebaut. Insgesamt liegen 4 Kontrollebenen vor, um integral über IPVs die Verteilung von Konzentrationen und Frachten für ausgesuchte Wasserinhaltsstoffe bestimmen zu können.

Die 4 IPV-Kontrollebenen (Abbildung 1) sind etwa im rechten Winkel zur vorherrschenden Grundwasserfließrichtung positioniert und haben einen Abstand von 140 m (CP1), 240 m (CP2-Ersatz), 330 m (CP2-3) und 450 m (CP3 neu) zur vermuteten Schadstoffquelle. Die Pilotanwendung erfolgte zwischen den Kontrollebenen CP2 und CP2-3. Die Zugabe von Wasserstoffperoxid erfolgte am westlichen Talrand der Kontrollebene CP2 (B86). Ein hydraulischer und deutlicher schadstofffrachtmindernder Effekt der Maßnahme war an CP2-3 auf einer Breite quer zur Strömungsrichtung von ca. 60 m zu erwarten.

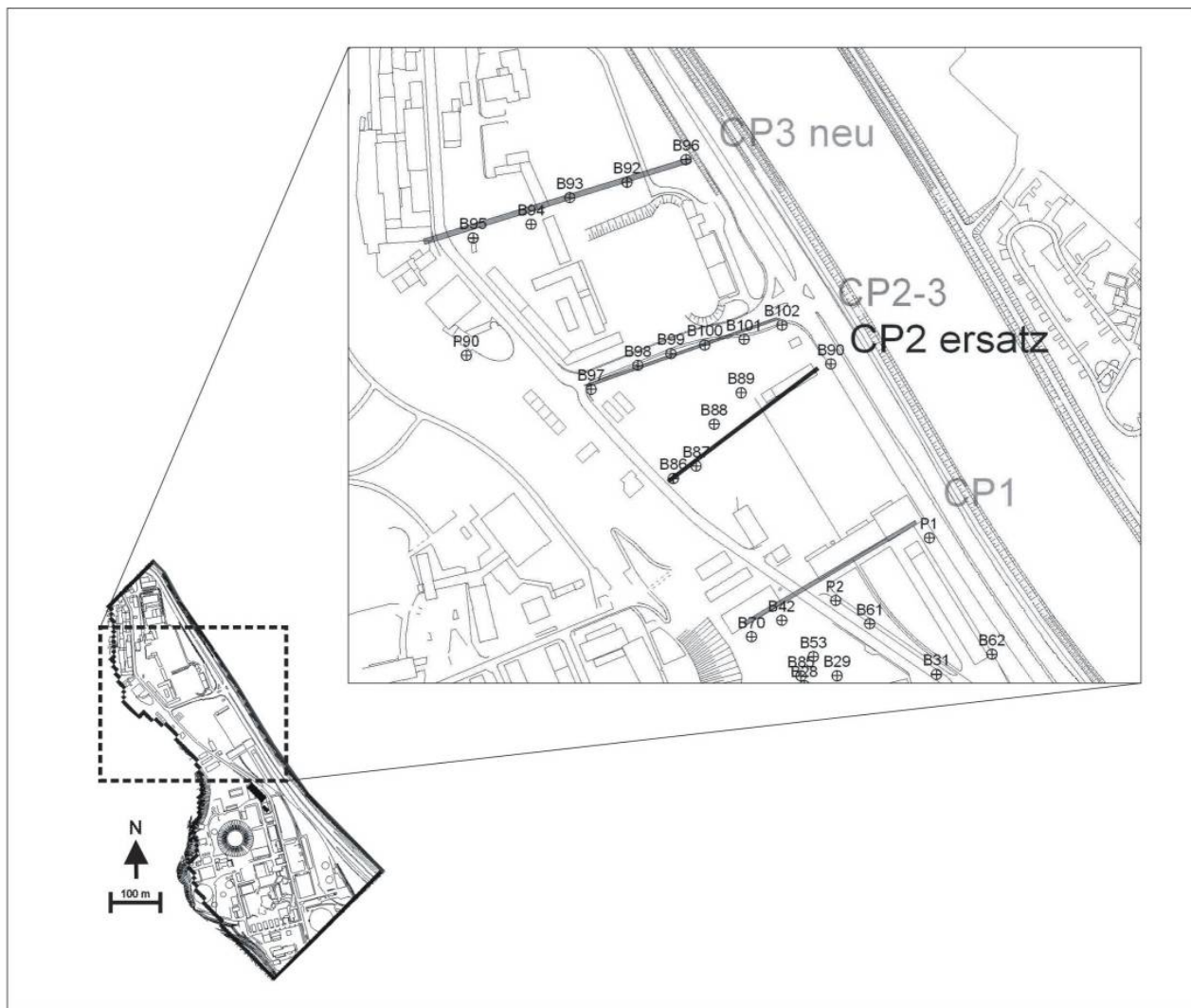


Abbildung 1: Position der Kontrollebenen und Brunnen im Testfeld Süd

1.2. Kontamination

In der ungesättigten Bodenzone wurden in allen Verdachtsflächen der Schadensquelle teilweise erhebliche Bodenverunreinigungen, insbesondere durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) bis max. 20.790 mg/kg und durch aromatische Kohlenwasserstoffe (AKW) bis max. 869 mg/kg festgestellt. Weiterhin liegen untergeordnet noch Verunreinigungen durch MKW (KW-IR) vor.

Die Bodenkontaminationen können sowohl auf einen direkten Schadstoffeintrag als auch auf die Umlagerung von verunreinigten Baurestmassen im Zuge früherer Baumaßnahmen zurückgeführt werden. Dadurch liegt eine flächenhafte Verteilung von belastetem Auffüll- und Bodenmaterial auf dem Gelände vor. Es bestehen zudem noch mehrere nicht entleerte Teerölgruben, die zum Teil mit Bauschutt verfüllt sind.

Neben dem unbedeutenden Anteil der Auswaschung von Schadstoffen aus der ungesättigten Bodenzone durch Niederschlagswasser findet ein direkter Schadstoffeintrag von der ungesättigten in die wassergesättigte Bodenzone in Teilen der gaswerkstypischen Verdachtsbereiche

Kondensation, Gaswäsche, Benzoldestillation, Teerdestillation und an ehemaligen Tankanlagen statt.

Die Grundwasseranalysen im Bereich der Schadensherde zeigen massive Belastungen für PAK (o. Naphthalin) bis max. 10.430 µg/l. Naphthalin wurde mit max. 5.377 µg/l analysiert. Die AKW-Gehalte erreichen maximal 11.516 µg/l. Als weitere gaswerkstypische Verunreinigungen wurden Cyanide mit maximal 770 µg/l, Phenole mit maximal 19.700 µg/l sowie Ammoniumgehalte von bis zu 163.000 µg/l festgestellt.

In den Schadenszentren wurde über eine größere Fläche Mineral- und Teeröl in Phase angetroffen. Dabei wurde eine Aufteilung des Phasenpools entsprechend dem spezifischen Gewicht der Schadstoffe festgestellt. An der Oberfläche sammeln sich die leichteren AKW mit gelösten Teerölen und bilden einen annähernd durchgängigen Phasenpool. Die schweren Teeröle sinken an die Basis der Kiese und sammeln sich dort in lokal vorhandenen Vertiefungen. Die Verteilung der Phase hängt deshalb vor allem vom Paläorelief des ehemaligen Flussverlaufs, und von der Verteilung der Kiese ab und bildet mehrere nicht zusammenhängende Phasenpools.

An der am weitesten unterstrom positionierten Kontrollebene (CP3 neu) wurde noch eine Methylbenzofuran- und Dimethylbenzofuran-Fracht von 1.28 gd⁻¹ gemessen.

2. PILOTANWENDUNG ENA-TFS

Die Pilotanwendung gliederte sich in folgende Versuchsabschnitte:

1. Errichtung der Grundwassermessstellen und Installation des GZB
2. Ermittlung der Schadstofffrachten und räumliche Konzentrationsverteilung vor der ENA-Maßnahme
3. Adaption der Standortorganismen an aerobe Verhältnisse: Inbetriebnahme des GZB mit Zugabe von (Luft)sauerstoff in die Zirkulationsströmung
(3 Wochen)
4. Reichweitenbestimmung des GZB über Tracertests, während der Luftzugabe und dem intermittierenden Betrieb ENA: GZB ohne Dosierung von Elektronenakzeptoren
(3 Monate)
5. Initialisierung und Steigerung des aeroben biologischen Abbaus: GZB mit hoher Förderleistung und Dosierung von Wasserstoffperoxid
(6 Wochen)
6. Steigerung und Konstanz des aeroben biologischen Abbaus im hydraulisch kontrollierten Reaktionsraum: Betrieb des GZB mit reduzierter Förderleistung und Dosierung von Wasserstoffperoxid mit zusätzlichem Infiltrationsbrunnen im unterstromigen Bereich der Zirkulationswalze
(5 Monate Betrieb)

7. abschließende Ermittlung der Schadstofffrachten über Immissionspumpversuche (IPV) und räumliche Konzentrationsverteilung

Die Auswirkungen der Aerobisierung des Aquifers und des Grundwassers wurden durch Probenahme des Grundwassers im zeitlich engen Raster (2 bis 4-Wochen Rhythmus) an den Messstellen im Nahbereich des GZB (RP1 – RP17) und im weiteren Bereich CP1, CP2, CP2-3, sowie an RP1 – RP30 zwei, vier und sechs Monate nach Beginn der Zugabe von Wasserstoffperoxid durchgeführt.

Zeitplan Pilotanwendung TFS	Okt-Dez 2005	Jan-März 2006	April-Juni 2006	Juli-Sep 2006	Okt-Dez 2006	Jan-März 2007	April-Juni 2007	Juli-Sep 2007
Installation von Überwachungsbrunnen B96 - B102	■							
Kurzpumpversuche B96 - B102	■							
IPV an CP2-3, B96 und B86 (GZB) zur Frachtenbestimmung			■	■	■	■		■
Installation von 30 Rammpegeln (RP1 - RP30) mit Beprobung	■	■	■	■				
Installation GZB in B86, Anlageninstallation	■	■	■	■				
3 Tracerversuche: hydraulische Wirksamkeit GZB			■	■	■	■	■	
Sauerstoffzugabe GZB			■	■	■	■	■	
"Anaerob-Phase"			■	■	■	■	■	■
H2O2-Zugabe GZB			■	■	■	■	■	■

Abbildung 2: Zeitplan Pilotanwendung TFS (der geplante Zeitrahmen ist schraffiert dargestellt)

2.3. Schadstofffrachten und räumliche Konzentrationsverteilung vor der ENA-Maßnahme

Nach IPVs in den Jahren 2003 (CP2-Ersatz) und 2004 (CP3), wurden im Jahr 2006 acht neue IPVs an den Brunnen der CP2-3 (B97-B102) sowie an B86 und B96 innerhalb eines Zeitraums von 42 Tagen durchgeführt (siehe Technischer Bericht LAG BA/3255 „Dokumentation von 8 Pumpversuchen im Abstrom des Geländes Gaswert Gaisburg in Stuttgart-Ost“). Um gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden, wurden nur maximal 2 Brunnen gleichzeitig bepumpt. Des Weiteren wurde eine möglichst lange Wiederanstiegsphase zwischen einzelnen Versuchsreihen gewählt, um eine Wiederherstellung des natürlichen Strömungsfeldes zu ermöglichen.

Die Proben wurden auf NSO-HET, PAK, BTEX und Ionen untersucht. Der Temperaturverlauf, die elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert, das Redoxpotenzial und die Konzentration an gelöstem Sauerstoff wurden mit Hilfe einer Durchflusszelle im Förderstrom der IPV-Brunnen bestimmt. Exemplarisch sind in Abbildung 3 die Konzentrationsganglinien von Acenaphthen (PAK), Methylbenzofuranen (NSO-HET) und Dimethylbenzofuranen (NSO-HET) an Brunnen B97 dargestellt.

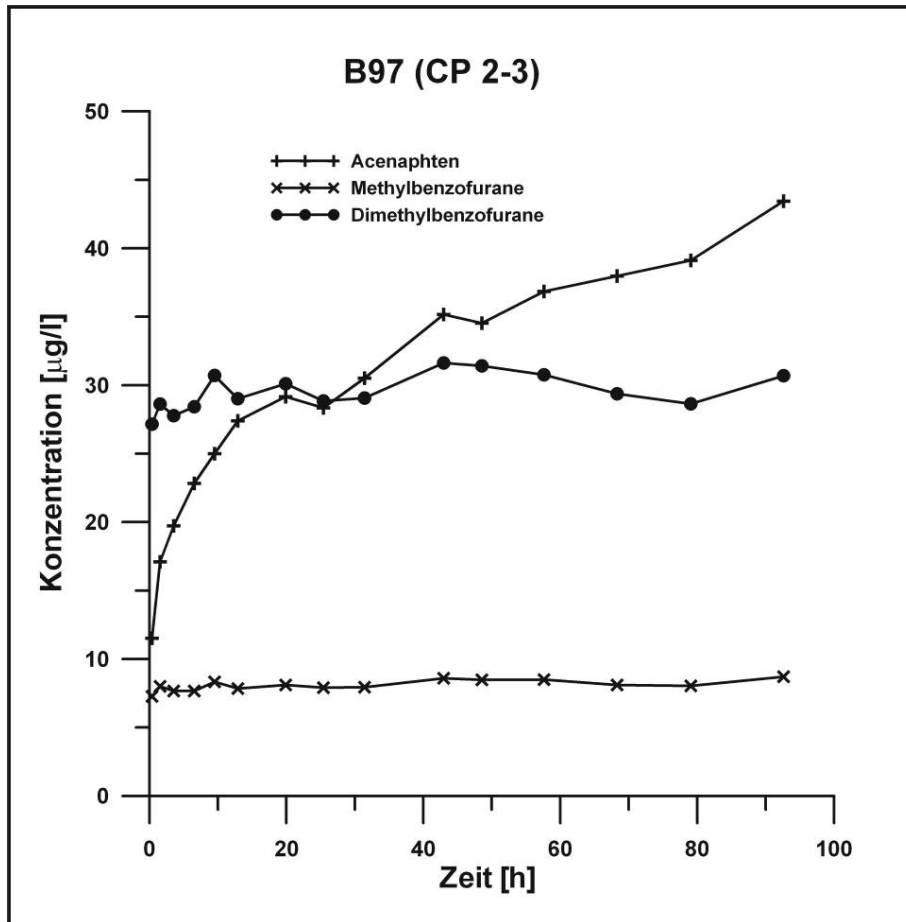


Abbildung 3: Acenaphthen-, Methylbenzofuran- und Dimethylbenzofuran-Konzentrationsganglinien an der Messstelle B97

Bei der Interpretation ist zu beachten, dass nur im Fall eines Retardationsfaktors $R = 1$ die Erfassungsbereiche im Hinblick auf das Grundwasser und die Schadstoffe identisch sind. Im Falle von $R > 1$ ist der Erfassungsbereich für den Schadstoff kleiner als für das Grundwasser. Im Zuge des Projektes wurden mit Hilfe von Säulenversuchen, welche Material ähnlich dem des Testfeldes Süd enthielten, Retardationsfaktoren für die Schadstoffe Acenaphthen, 2-Methylbenzofuran und 2,3-Dimethylbenzofuran bestimmt. Die Probenahmezeiten der Konzentrationsganglinien wurden deshalb entsprechend der Vorgehensweise in Bockelmann et al., (2001) mit Retardationsfaktoren angepasst.

Zur Konditionierung der numerischen Inversionslösung der IPV's (CSTREAM) wurden Direct-Push-Messstellen im Abstand von 3 bis 11 Metern zwischen den Brunnen B97 und B99 errichtet (Abbildung 4). Die Grundwasserproben aus diesen Messstellen wurden auf dieselben Schadstoffe wie bei den Immissionspumpversuchen untersucht, um so Punktkonzentrationswerte zu erhalten.

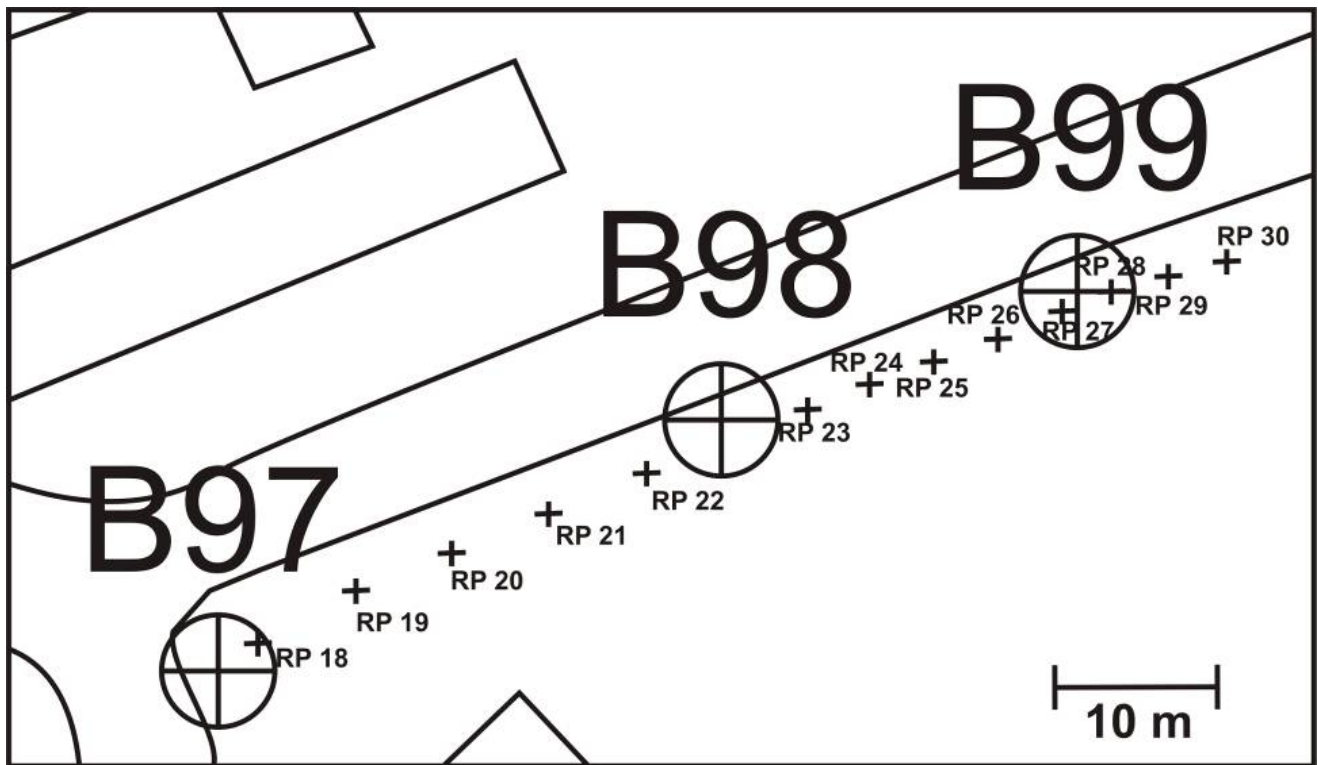


Abbildung 4: Position der Direct-Push-Messstellen zur Konditionierung der numerischen Inversionslösung mittels Punktkonzentrationswerten

Tabelle 1 stellt die ermittelten Schadstofffrachten an den drei untersuchten Kontrollebenen für die im Testfeld Süd dominierenden Schadstoffkomponenten dar, die mit Hilfe der Software CSTREAM und dem numerischen Standortmodell für das Gelände berechnet wurden.

Tabelle 1: Schadstofffracht an CP2-Ersatz, CP2-3 und CP3 neu

CP2-Ersatz [g d ⁻¹]	B86	B87	B88	B89	B90	Total	
Acenaphthen	8,1	5,92	1,61	0,000539	0,000813	15,63	
Methylbenzofurane	1,01	1,24	0,563	0,0113	n.n.	2,82	
Dimethylbenzofurane	3,41	3,98	1,95	0,0403	n.n.	9,38	
CP2-3 [g d ⁻¹]	B97	B98	B99	B100	B101	B102	Total
Acenaphthen	3,18	5,29	2,23	0,0196	0,000822	0,00631	10,73
Methylbenzofurane	0,706	0,86	0,565	0,0454	n.n.	n.n.	2,18
Dimethylbenzofurane	2,54	3,04	2,45	0,236	n.n.	n.n.	8,27
CP3 neu [g d ⁻¹]	B95	B94	B93	B92	B96	Total	
Acenaphthen	n.n.	n.n.	0,00237	0,000779	0,000408	0,0036	
Methylbenzofurane	n.n.	0,0385	0,0887	0,0417	n.n.	0,17	
Dimethylbenzofurane	n.n.	0,203	0,618	0,292	n.n.	1,11	

n.n. = nicht nachweisbar

Die Gesamtschadstofffracht an den einzelnen Kontrollebenen nimmt von Süden nach Norden, d.h. mit größerer Entfernung zum vermuteten Schadensherd, ab. Dabei ist die Abnahme von CP2-Ersatz zu CP2-3 (Abschnitt 1) deutlich geringer als von CP2-3 zu CP3 neu (Abschnitt 2). Dies wird insbesondere bei den Methylbenzofuranen (Abnahme: $0,64 \text{ g d}^{-1}$ für Abschnitt 1 und $2,01 \text{ g d}^{-1}$ für Abschnitt 2) und Dimethylbenzofuranen (Abnahme: $1,11 \text{ g d}^{-1}$ bzw. $7,16 \text{ g d}^{-1}$) deutlich. Acenaphthen zeigt einen kleineren Unterschied (Abnahme: $4,9 \text{ g d}^{-1}$ bzw. $10,73 \text{ g d}^{-1}$). Es wird weiterhin deutlich, dass die NSO-HET im Abschnitt 1 weniger stark abnehmen als die PAK, also eine Sanierungsmassnahme insbesondere für die NSO-HET nötig ist.

Entlang der einzelnen Kontrollebenen lässt sich ebenfalls ein deutlicher Trend ausmachen, wobei sich der Hauptstrom der Schadstoffe auf ein bis drei Brunnen konzentriert. An CP2-Ersatz handelt es sich dabei um die Messstellen B86 bis B89 mit der Hauptfracht an B86. Die zweite Kontrollebene CP2-3 zeigt die höchste Schadstofffracht an den Messstellen B97 bis B99 mit dem Maximum an B98. Die dritte Kontrollebene (CP3 neu) ist durch sehr geringe Konzentrationen und damit Frachten aller Schadstoffe gekennzeichnet, was eine eindeutige Bestimmung von Trends schwierig macht. Bereits die IPV's im Jahr 2003 (CP2-Ersatz) lokalisierten die Hauptfracht an der Messstelle B86, woraus sich schlussfolgern lässt, dass sich das Zentrum der Fahne bei B86 befindet und sich Richtung Norden bis B98 fortsetzt. Die an B86 und B98 angrenzenden Messstellen (B87 und B88 bzw. B97 und B99) deuten auf einen vom Zentrum der Fahne Richtung Berghang bzw. Neckar hin abnehmenden Schadstoffmassenfluss und die Ausbildung einer einzelnen zusammenhängenden Fahne von Acenaphthen, Methylbenzofuranen und Dimethylbenzofuranen hin.

Die Auswertung der IPV's hat gezeigt, dass entlang einer Kontrollebene die höchste (für einen einzelnen IPV repräsentative) mittlere Konzentration C_{AV} (definiert als Schadstoffmassenfracht bezogen auf den Grundwasserabfluss) nicht notwendigerweise mit der größten absoluten Schadstoffmassenfracht zusammenfallen muss (Abbildung 5, insbesondere B86 und B87 an CP2-Ersatz). Das lässt sich durch den Einfluss der räumlich variablen Grundwasserströmung im Grundwasserleiter, hervorgerufen durch die heterogene Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit, erklären.

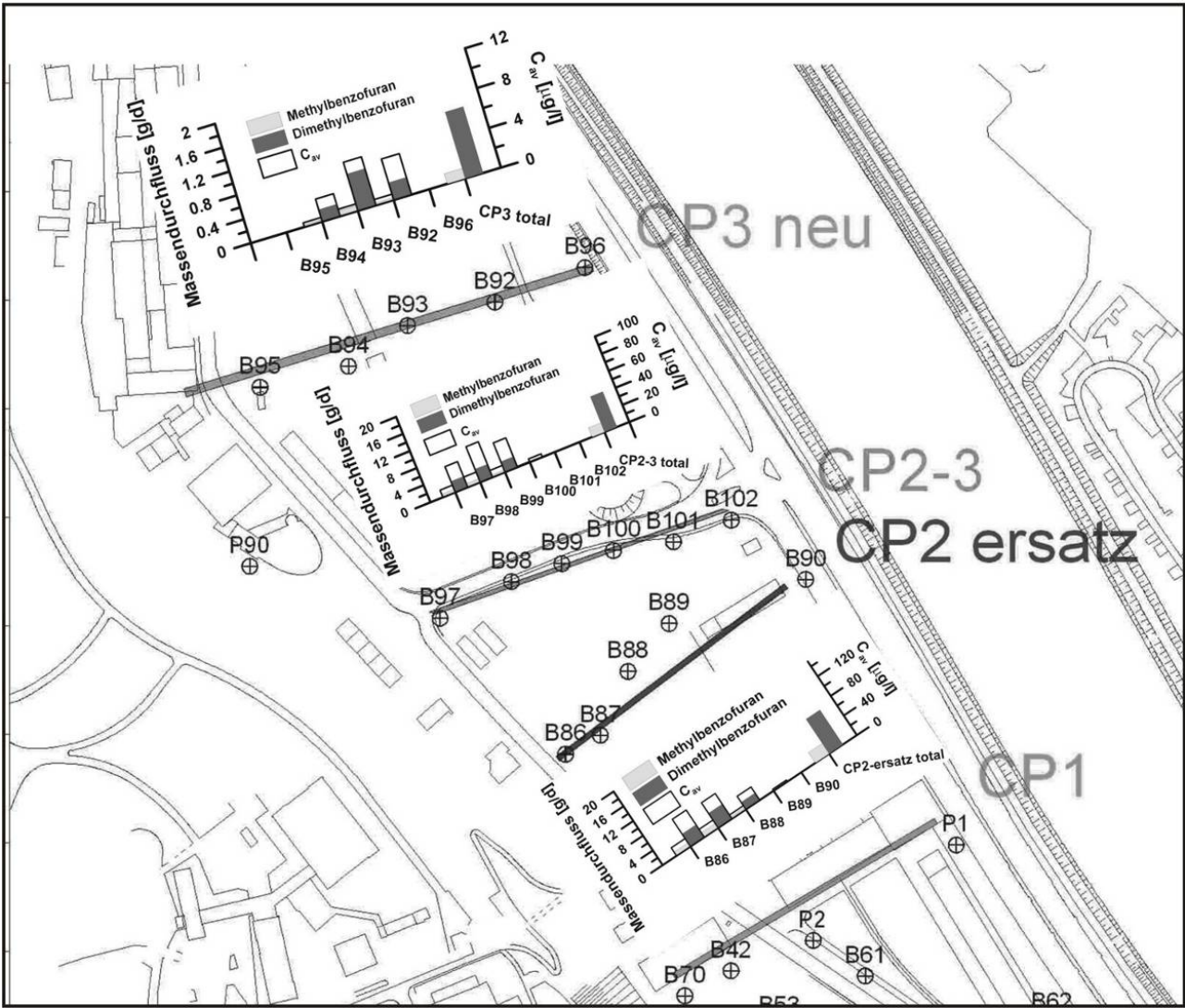


Abbildung 5: Schadstoffmassenfrachten und mittlere Konzentration (C_{AV}) an den 3 Kontrollebenen (IPV-spezifische Auftragung und Summe der Frachten, jeweils rechts aufgetragen)

Aus der Auswertung ergeben sich für die dominierenden Schadstoffkomponenten die in Tabelle 2 zusammengefassten NA-Ratenkonstanten (Bockelmann et al., 2001).

Tabelle 2: NA-Ratenkonstanten dominierender Schadstoffkomponenten für die untersuchten Kontrollebenen

Schadstoffe	NA-Ratenkonstante [d ⁻¹]	NA-Ratenkonstante [d ⁻¹]
	CP2 – CP2-3	CP2-3 – CP3
Acenaphthen	0.00172	0.02675
Methylbenzofuran	0.00432	0.02787
Dimethylbenzofuran	0.00136	0.01434

2.4. Vorbereitung der Pilotanwendung

2.4.1. Errichtung der Grundwassermessstellen

Auf die Berichte „Einrichtung von sieben Grundwassermessstellen zur Erweiterung des Monitoringnetzes zur Untersuchung des Abstroms im quartären Grundwasserleiter“ und „Einrichtung von 30 direct-push Messstellen zur Erweiterung des Monitoringnetzes zur Untersuchung des Abstroms im quartären Grundwasserleiter“, erstellt durch die Universität Tübingen zur Dokumentation der Maßnahmen entsprechend den Auflagen der wasserrechtlichen Erlaubnis wird verwiesen.

Die Bohrungen für die sieben Grundwassermessstellen B97 – B102 erschließen den im Untersuchungsgebiet ersten Grundwasserleiter in den Neckarkiesen und wurden mit 6“-PVC-Rohren (SW=1,5 mm) ausgebaut. Die Bohrungen sind mit zwei Tonringdichtungen (ca. 5 cm Mächtigkeit) als 6“- Multilevelmessstelle ausgebaut. Die Details können den Bohrprofil sowie der Ausbauezeichnung (Abbildung 6, Abbildung 7) entnommen werden. Die Pegeloberkante an B97 wurde aufgrund Unstimmigkeiten durch VEGAS neu bestimmt und ist in Tabelle 3 angegeben.

Die Grundwassermessstellen wurden mit einem tagwasserdichten Passavantdeckel, sowie einer Sebakappe unterflur, ausgebaut.

Die Lage und die wesentlichen hydraulischen Daten der Grundwassermessstellen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

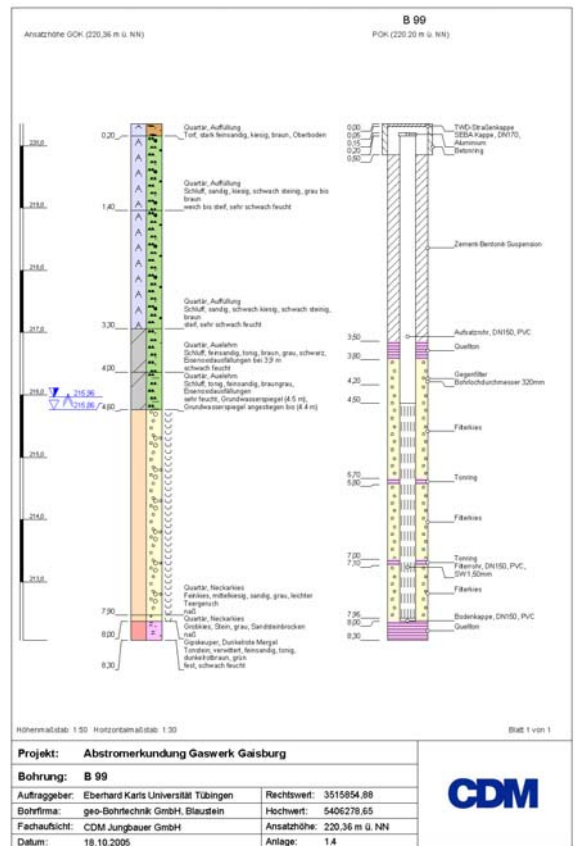
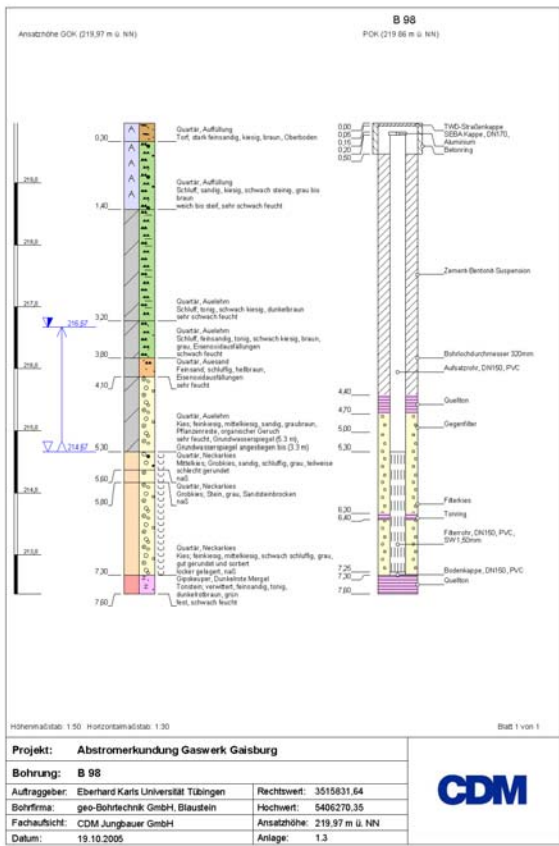
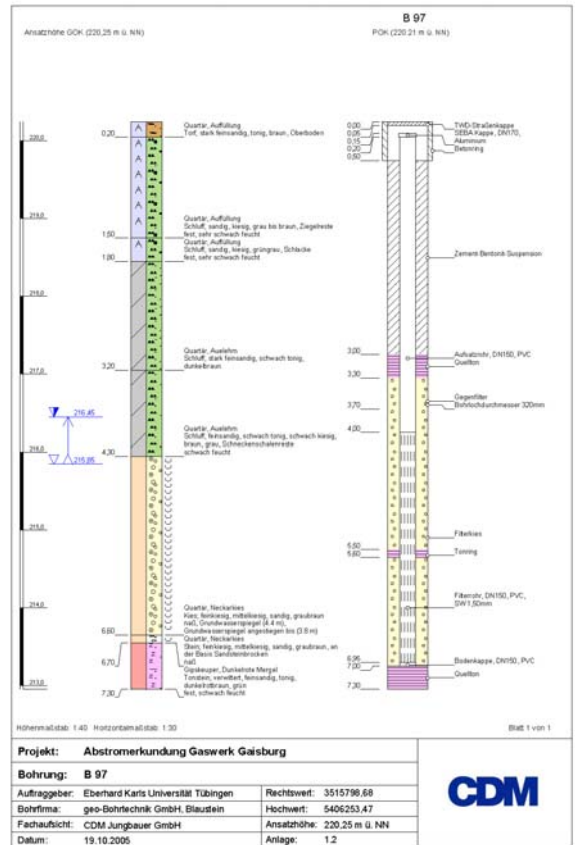
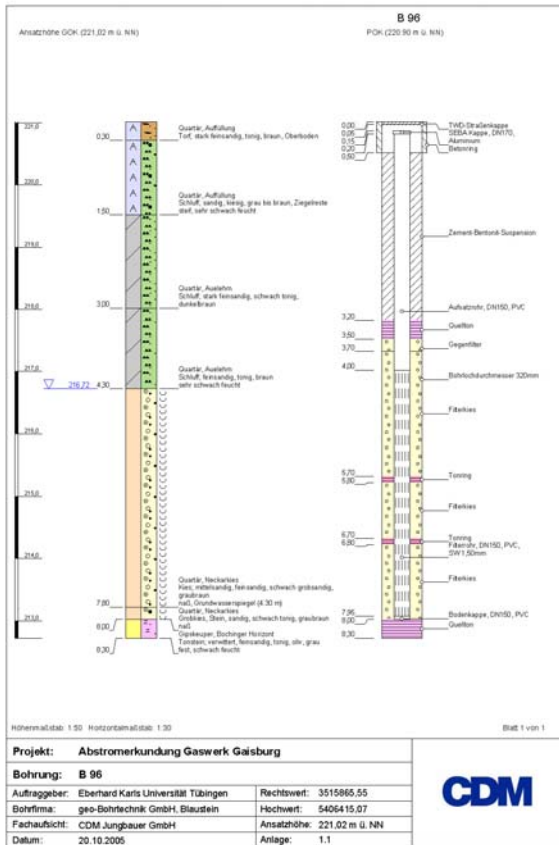


Abbildung 6: Bohrprofile und Brunnenausbau B96 - B 99

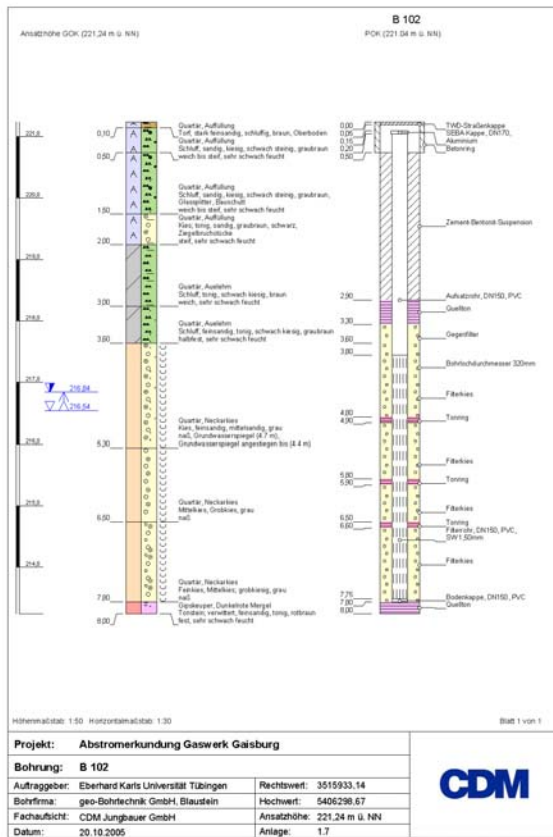
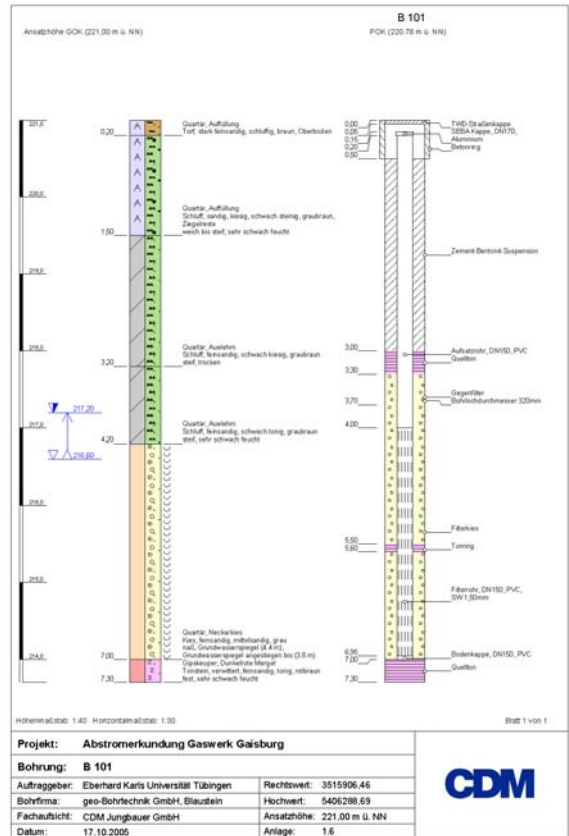
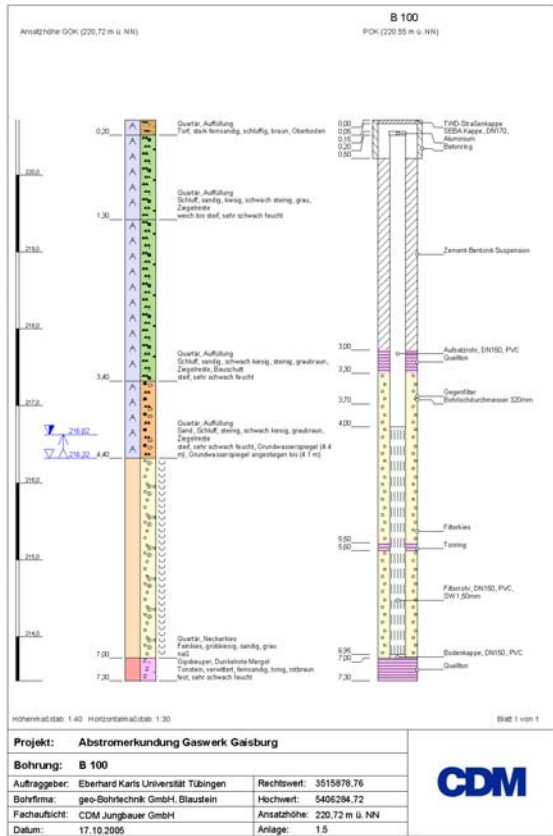


Abbildung 7: Bohrprofile und Brunnenausbau B100 - B 102

Tabelle 3: Lage, kf-Werte und Profilierung der GWM B96 – B102

Parameter	B96		B97		B98		B99		B100		B101		B102	
Rechtswert (315.000 +)	5865.55		5798.68		5831.64		5854.88		5878.76		5906.46		5933.14	
Hochwert (540.000 +)	6415.07		6253.48		6270.35		6278.65		6284.72		6288.69		6298.68	
GOK (m. NN)	221.095		220.226		220.069		220.414		220.768		220.992		221.356	
POK (m. NN)	220.895		220.026		219.869		220.214		220.568		220.792		221.046	
Wasserstand (21.7.2003) aus Bohrprofilen														
Wasserstand (14.7.2003) und 2005 aus Bohrprofilen	-4.3		-4.4		-3.3		-4.4		-4.1		-3.9		-4.48	
In m NN (2003), 2005	216.80		215.83		216.77		216.01		216.67		217.09		216.88	
IPV 2004, KP2005	216.76		215.58		216.27		215.81		216.37		217.03		216.83	
Δh (m)	0.04		0.25		0.50		0.20		0.30		0.06		0.05	
Auffüllung (m NN / u. GOK)	219.595	-1.5	220.026	-0.2	218.369	-1.7	216.414	-4	216.968	-3.8	219.692	-1.3	219.356	-2
Auelehm (m NN / u. GOK)	216.795	-4.3	215.926	-4.3	214.769	-5.3	215.814	-4.6	216.368	-4.4	216.692	-4.3	217.756	-3.6
Neckarkies (m NN / u. GOK)	213.095	-8	213.226	-7	212.769	-7.3	212.414	-8	213.768	-7	213.992	-7	213.556	-7.8
Mergel (m NN / u. GOK)	211.095	-10	210.226	-10	210.069	-10	210.414	-10	210.768	-10	210.992	-10	211.356	-10
Druckhöhe (gespannter Aquifer) (m WS)	3.66		2.35		3.5		3.4		2.6		3.04		3.27	
Aquifermächtigkeit (m)	3.7		2.7		2		3.4		2.6		2.7		4.2	
k_f (m/d)	1225.2		174.7		122.2		166.4		159.8		480.3		850.8	
k_f (m/s)	1.42E-02		2.02E-03		1.41E-03		1.93E-03		1.85E-03		5.56E-03		9.85E-03	

Um eine bessere Beobachtung der Einflüsse des Grundwasserzirkulationsbrunnens (GZB) auf die nähere Umgebung zu ermöglichen, insbesondere den Abbau der Heterozyklen, wurden 30 Rammpegel um den GZB sowie entlang des angenommenen Fahnenzentrums und der Kontrollebene CP2-3 eingebracht. Nach durchgeführter Interpolation (Kriging-Verfahren) unter Abschätzung der Geländeoberkante und Berücksichtigung der Morphologie im Bereich der relevanten Grundwassermessstellen B86, B97, B98 und B99 ergaben sich maximale Bohrtiefen zwischen 6,55 und 7,2 m. Insgesamt wurden vier Messstellen (RP6, RP7, RP11 und RP26) mit größerem Durchmesser eingebracht, um tiefenorientierte Multilevel-Probenahmen entlang des verfilterten Bereichs durchführen zu können. Die Installation der Messpegel im Rammverfahren diente der Erschließung des im Untersuchungsgebiet ersten Grundwasserleiters in den Neckarkiesen, der durch die Schichtenlage der sog. Roten Mergel zum tieferen Grundwasserleiter hin begrenzt wird.

Die Messstellen RP 1 bis RP 30 wurden mit der direct-push Bohrmethode abgeteuft und mit 1“, 1,5“ oder 2“ HDPE-Rohren ausgebaut. Die maximale Tiefenlage der Messstellen wurde anhand der elektrischen Leitfähigkeitsprofile bestimmt, um den Unterschied zwischen quartärem Aquifer und dem Roten Mergel zu erkennen. Der Stauer (Rote Mergel) durfte nicht durchörtert werden. Im Folgenden sind die Ausbaudaten der Messstellen RP 1 bis RP 30 dargelegt. Die Grundwassermessstellen sind mit einem tagwasserdichten Passavantdeckel ausgebaut.

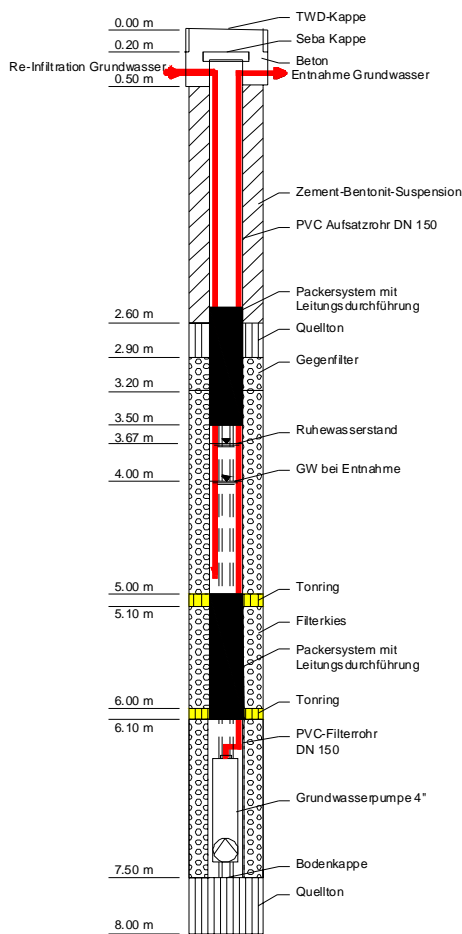
Tabelle 4: Daten der Einmessung der Rammpegel

Name	Rechtswert	Hochwert	POK [m NN]
RP1	3515860.06	5406164.90	220.35
RP2	3515866.47	5406167.58	220.23
RP3	3515867.29	5406175.88	220.58
RP4	3515873.44	5406172.53	220.911
RP5	3515861.44	5406178.49	220.085
RP6	3515854.76	5406195.25	220.749
RP7	3515853.08	5406199.92	220.811
RP8	3515856.83	5406200.54	220.835
RP9	3515863.02	5406202.25	220.608
RP10	3515852.01	5406204.77	220.796
RP11	3515850.51	5406209.98	220.699
RP12	3515837.84	5406216.97	220.494
RP13	3515842.41	5406218.04	220.603
RP14	3515847.52	5406219.12	220.668
RP15	3515852.41	5406220.44	220.423
RP16	3515857.16	5406221.79	220.38
RP17	3515844.5	5406228.62	220.606
RP18	3515799.62	5406256.13	219.842
RP19	3515806.01	5406259.17	219.853
RP20	3515812.48	5406261.75	219.876
RP21	3515819	5406264.49	219.883
RP22	3515825.53	5406267.14	219.886

Name	Rechtswert	Hochwert	POK [m NN]
RP23	3515836.22	5406271.6	219.821
RP24	3515840.53	5406273.23	219.961
RP25	3515844.86	5406274.78	219.991
RP26	3515849.13	5406276.39	220.175
RP27	3515853.43	5406278.08	220.264
RP28	3515856.79	5406279.32	220.26
RP29	3515860.6	5406280.45	220.328
RP30	3515864.42	5406281.52	220.421

2.4.2. Installation des GZB

In der vorhandenen 6"-Messstelle B86 wurde im Sommer 2006 ein GZB im westlichen Teilstrom der Schadstofffahne installiert und einschließlich der erforderlichen Verfahrenstechnik in Betrieb genommen. Der Grundwasserzirkulationsbrunnen (Patentinhaber Bruno Bernhardt, Fa. IEG Reutlingen) 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.



Der Packer wurde im Bereich zwischen 5,0 und 6,1 m u. GOK eingebaut. Durch den Abschluss des Brunnenraums mit Tonringdichtungen entstehen zwei hydraulisch getrennte Filterstrecken (Abbildung 8). Im Bereich zwischen 6,1 und 7,5 m wurde eine 4"-Grundwasserpumpe zur Entnahme des Wassers installiert. Die Infiltration erfolgte oberhalb des abgepackten Bereiches zwischen 3,5 und 5 m u. GOK. Oberhalb des verfilterten Brunnenrohrs wurde in B86 ein zusätzlicher Packer im Vollrohr über eine Länge von ca. 1,5 m installiert.

Die numerischen Berechnungen sahen einen Volumenstrom von ca. 10 m³/h vor, um eine Erfassungsbreite von ca. 10 m zu erzielen.

Abbildung 8: Querschnittsbild des GZB

2.4.3. Anlagen- und Betriebstechnik

Die Anlage zur Lagerung und Dosierung von Wasserstoffperoxid, bzw. Luftsauerstoff wurde in einem frostsicheren 10-ft. Anlagencontainer aufgestellt. Der GZB befindet sich im bzw. unter dem Container. Mit der Tauchpumpe P1 wurde aus dem unteren Filterbereich des Brunnens Wasser entnommen und nach der Bestimmung des Drucks, des Volumenstroms (FIR1) und der wesentlichen Parameter (Redoxpotenzial, Temperatur und Leitfähigkeit) über den Sandfilter F1 von Schmutzpartikeln gereinigt. Nach dem Filter konnte der Grundwasserstrom bei Bedarf aufgeteilt werden. Über V3 wurde das Grundwasser einer Injektorpumpe zugeführt. Über die Injektorpumpe konnte Luftsauerstoff dem Grundwasser zugegeben werden. Über den Durchflussmesser FI5 wurde der Volumenstrom Luft angezeigt. Zur Zugabe der 15% Wasserstoffperoxidlösung waren zwei seriell geschaltete Membrandosierpumpen in Chemieausführung (PB1a und b) an die Injektorpumpe angeschlossen. Das mit Luftsauerstoff, bzw. Wasserstoffperoxid angereicherte Grundwasser wurde über V10 einem statischen Mischer R1 zugeführt. Eine optionale Zumischung von einem Teilstrom, der nach dem Filter F1 im Bypass geführt wurde, war möglich.

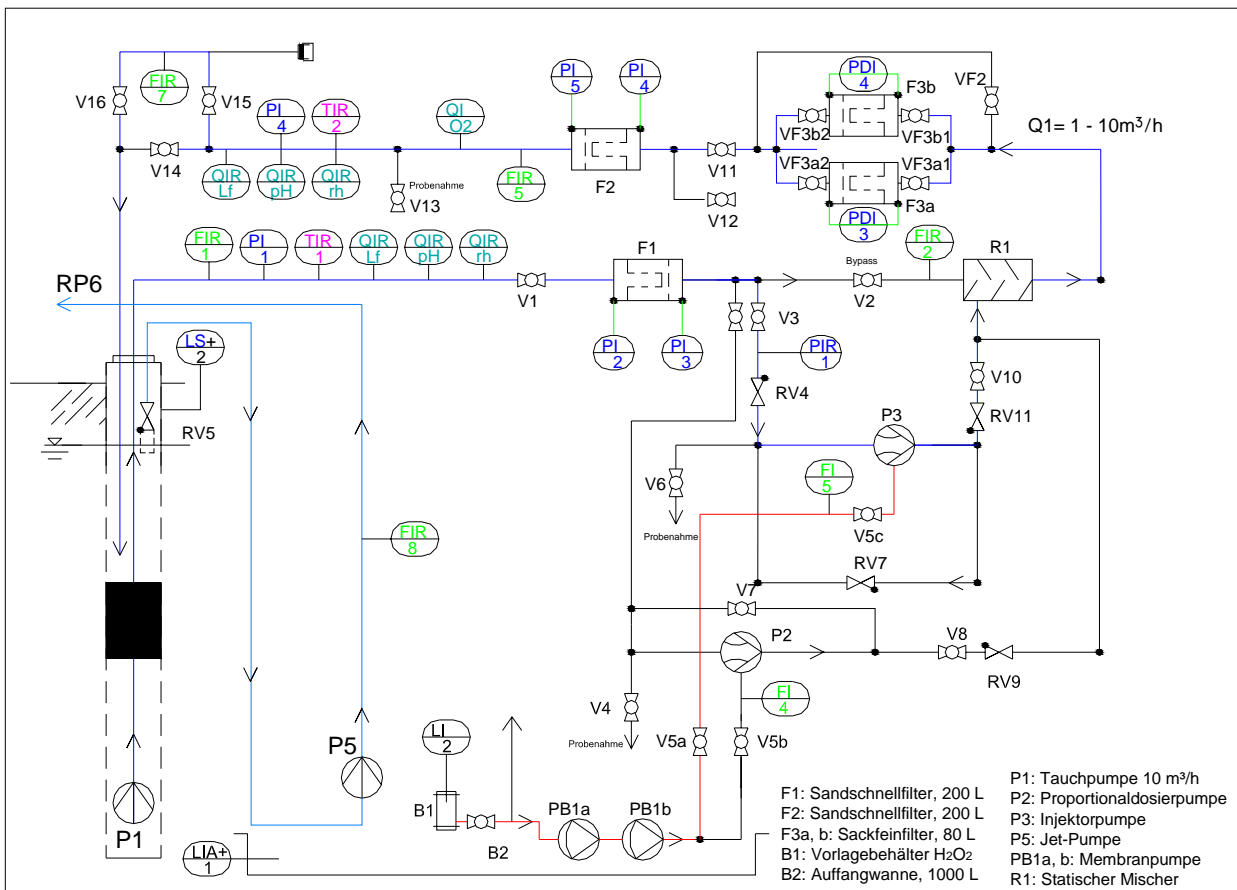


Abbildung 9: Verfahrensfließbild Dosieranlage TFS

Anschließend wurde das angereicherte Wasser über zwei parallel geschaltete Feinfilter (Sackfilter) in druckfester Edelstahlführung zur Eisenabtrennung geleitet. Zur Reinigung der Filterpatronen

der Sackfilter konnten diese nach Freischaltung über eine Bypassleitung (VF2, VF3) entnommen und ersetzt werden. Die beladenen Sackfilter wurden am Institut für Wasserbau maschinell gewaschen.

Ein weiterer Sandfilter F2 diente der Feindispersa-Abtrennung bevor das angereicherte Grundwasser mit Messung der wesentlichen Parameter (Sauerstoff, Redoxpotenzial, Temperatur und Leitfähigkeit), des Drucks und des Volumenstroms (FIR7) zurück in den Grundwasserzirkulationsbrunnen geleitet wurde, s. Abbildung 9.

Das durch die Zirkulationsströmung aufsteigende sauerstoffreiche Grundwasser wurde dem Brunnenbereich oberhalb des abgepackten GZB entnommen und dem Schluckbrunnen RP6 zugeleitet.

Sowohl vor, als auch nach der Zudosierung von Wasserstoffperoxid konnten Proben zur Analyse entnommen werden.

Das Wasserstoffperoxid wurde in einem Chemikalienbehälter (0,12 m³ Volumen) gelagert. Der Behälter stand auf einer Auffangwanne mit einem Auffangvolumen von einem Kubikmeter im Anlagencontainer. Alle Fördereinrichtungen, wie Chemikaliendosierpumpen, Proportionaldosierpumpe, Wasserstrahlpumpe, Kreiselpumpe, Sackfilter mit Ventilen wurden im Auffangbereich der Auffangwanne im Anlagencontainer installiert. Die Sandfilter waren gesondert im Container aufgestellt.

Tabelle 5: Bauteile der Dosier- und Mischanlage

Bezeichnung	Beschreibung Bauteil
FIR1, 2, 5	Schwebekörperdurchflussmesser Q=10 m ³ /h mit 4-20mA Messbox
FIR7, 8	Durchflussmesser MID Q=5 m ³ /h mit 4-20mA Messbox
FI4, 5	Schwebekörper Durchflussmesser Q=2 l/h (Wasser)
PIR1	Absolutdruckmesser mit 4-20mA Messbox
PI2, 3, 4, 5	Absolutdruckmesser 50 mm VA
TIR1 / 2	Temperaturmesser PT100 mit 4-20mA Messbox
QIR Lf	Leitfähigkeitsmesssonde mit 4-20 mA Messbox
QIR pH	pH-Wert Messsonde mit 4-20 mA Messbox
QIR rh	Redox Messsonde mit 4-20 mA Messbox
QIR O ₂	Sauerstoff Messsonde
LIA+ 1	Füllstandsüberwachung mit Alarm
F1	Sandfilter VA (600 l)
F2	Sandfilter VA (600 l)
F3a, F3b	Sackfilter DN100, 1 ½" mit wechselbarem Gewebefilter (abgestuft 100-50-10 µm)
R1	Statischer Mischer 1"

Bezeichnung	Beschreibung Bauteil
B1	Chemielagerbehälter 120 l zur Vorlage des H ₂ O ₂
B2	Auffangwanne für B1
P1	Tauchpumpe 4“ mit Q=10 m ³ /h
P2	Proportionaldosierpumpe zur Beimischung von Sauerstoff
P3	Injektorpumpe zur Beimischung von Wasserstoffperoxid
P5	Kreiselpumpe selbstsaugend
PB1a, PB1b	Chemiemembrandosierpumpe (0,5 – 3 L/h) zur Dosierung Wasserstoffperoxid

Der Elektronenakzeptor Wasserstoffperoxid wurde über die beiden Membranpumpen mit Entlüftungsventil dosiert. Die Zielkonzentration lag entsprechend den Laborversuchen bei 50 mg/L. Für die Vorlage der Elektronenakzeptorlösung wurde eine handelsübliche und zum Einsatz im Lebensmittelbereich geeignete 35 Ma%-ige Lösung von Wasserstoffperoxid auf 15 Ma% mit Wasser verdünnt. Die Basislösung ist als ätzend mit einer WGK 1 eingestuft. Entsprechend VwVwS ist bei Massenanteilen kleiner 3% die nächst tiefere WGK-Klasse zu wählen. Die der Zirkulation zugegebene Lösung ist als nicht wassergefährdend einzustufen. Der Bedarf an Wasserstoffperoxid lag bei ca. 3 - 4 kg/d, bzw. 8,5 – 11,5 der ursprünglichen 35%-igen Wasserstoffperoxidlösung. Bei Befüllung des Vorratsbehälters und Wartungsarbeiten, sowie Probenahmen waren die gängigen Unfallverhütungsvorschriften sowie die Sicherheitsvorschriften zu beachten.

Die Überwachung der Sanierungsanlage erfolgte online über eine Datenfernübertragung mittels Modem. Alle Durchflüsse und Drücke, sowie alle Wasserparameter wie Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert und Redoxpotenzial wurden mit einer Datenerfassung protokolliert und konnten jederzeit mit einem PC ortsunabhängig abgerufen und ausgelesen werden.

Unabhängig von der Online-Überwachung wurde die Anlage zwei- bis dreimal wöchentlich von einem Mitarbeiter der Universität Stuttgart kontrolliert und gewartet, der Vorratsbehälter für das Wasserstoffperoxid aufgefüllt, Sauerstoff- und Wasserstoffperoxidgehalt bestimmt und die Feinfilter getauscht. Entsprechend den Auflagen der wasserrechtlichen Erlaubnis wurde ein Betriebstagebuch geführt und vorgehalten.

Als Gefahrenabwehrmaßnahmen zum Schutze des Schutzguts Wasser durch die Einleitung von Wasserstoffperoxid wurde seitens des AfU eine Erhöhung der Förderrate auf 20 m³/h mit Abschlag des über A-Kohle gereinigten Abwassers in das kommunale Kanalsystem festgelegt. Eine Gefahrenabwehr wurde im Verlauf der Pilotanwendung nicht benötigt.

Neben den physikalischen Eigenschaften wurden im zwei-, bzw. vierwöchigen Rhythmus Wasserproben zur Bestimmung der Konzentrationen an PAK, NSO-HET und BTEX vor und nach der Zugabe von Wasserstoffperoxid genommen und im chemischen Labor des ZAG, Universität

Tübingen analysiert. Monatlich wurden die teerölstämmigen Stoffe Cyanide und Ammonium, sowie Eisen, Mangan, die Alkali- und Erdalkalimetalle, Carbonate und CO₂-Gehalt in einem akkreditierten Labor analysiert.

2.4.4. Stichtagsmessung

Zur Eingrenzung der Schadstofffahne wurde nach dem Errichten der Grundwassermessstellen, der Durchführung der Immissionspumpversuche und Betrieb des GZB ohne Zugabe von Elektronenakzeptoren eine Stichtagsmessung an den Kontrollebenen CP1, CP2 und CP2-3 und an 30 Rammpegeln (RP) im Wirkungsbereich des GZB durchgeführt, s. Abbildung 10. Deutlich erkennbar ist die Erfassung eines Teilabschnitts der Schadstofffahne durch den GZB mit Konzentrationen um 100 µg/l, sowie der natürliche Rückhalt entlang der Centerline der Fahne auf Werte um 80 µg/l im Abstand von ca. 80 m unterstromig des GZB.

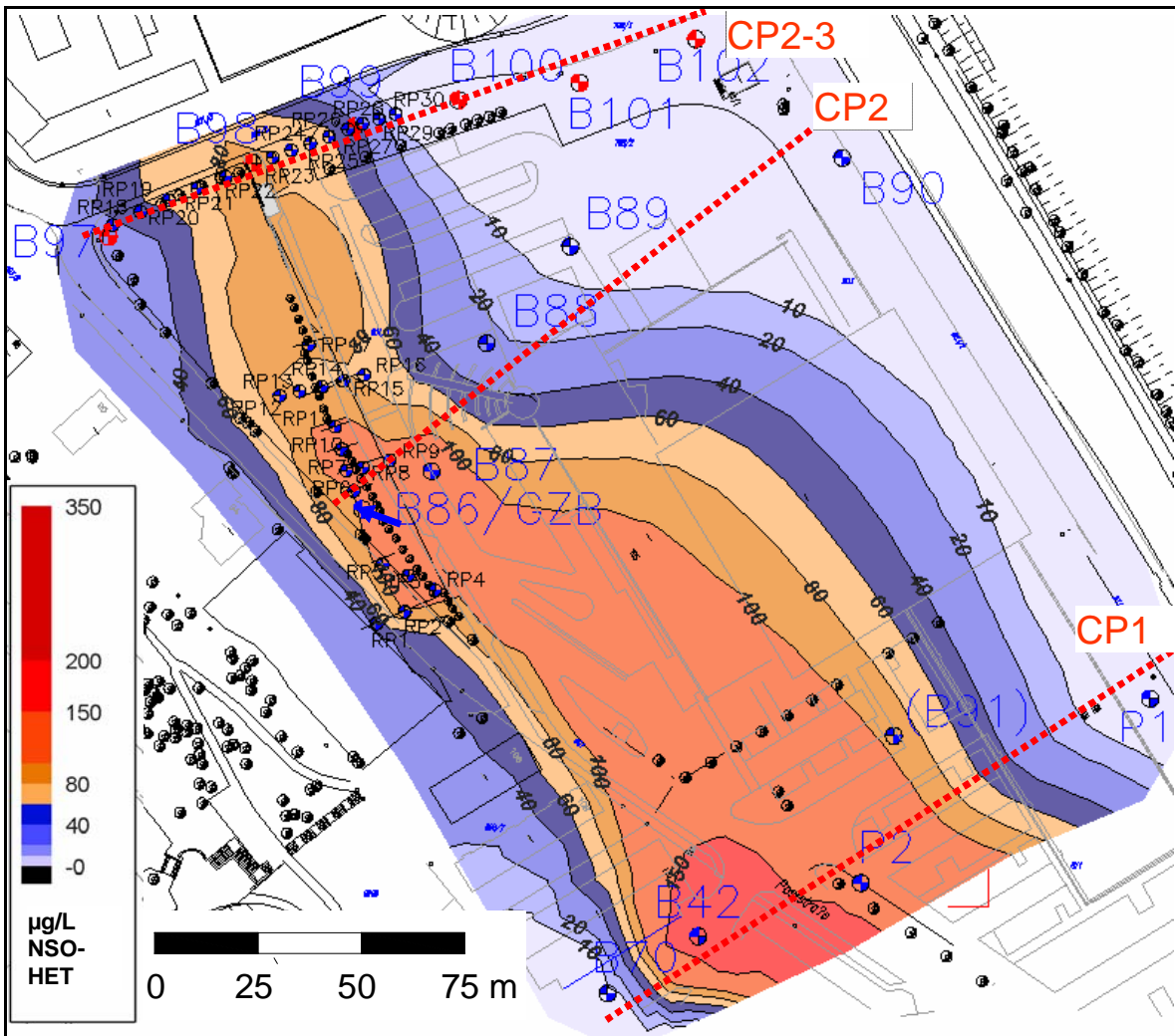


Abbildung 10: Konzentrationsverteilung NSO-HET vor Zugabe von H₂O₂

2.4.5. Tracerversuche

Auf den Technischen Bericht Nr. 2007 / 017 (VEG 28) „Bestimmung der hydraulischen Wirksamkeit eines Grundwasserzirkulationsbrunnens „Testfeld Süd“ mittels Tracerversuchen“, erstellt durch VEGAS wird verwiesen.

Im ersten Schritt der Pilotanwendung wurden drei Tracerversuche zur Bestimmung der Erfassungsbreite des GZB sowie der unterstromigen Ausbreitung des angereicherten Grundwassers durchgeführt. Zeitgleich zum ersten Tracerversuch (Zugabe an RP2, s. Abbildung 11) wurde mit der Luftsauerstoffzugabe zur Stimulierung des mikrobiologischen Abbaus der NSO-HET begonnen.

Die Tracertests zeigten, dass selbst mit einer Förderrate des GZB von ca. 4 m³/h eine oberstromige Erfassungsbreite um 18 - 20 m erzielt wird. Das Strömungsmodell (s. Kapitel 2.8) wurde entsprechend den Durchbruchzeiten über Veränderung der vertikalen Anisotropie des Aquifers ($k_{\text{hor}}/k_{\text{vert}}$: 1 → 6) und der Porosität (0,25 → 0,15) angepasst (Abbildung 11). Die unterstromige Ausbreitung des konservativen Tracers (Uranin) entsprach der Hauptströmungsrichtung (NNW) entlang einer Linie GZB-B98 (Abbildung 12). Es wurde die gesamte Transsekte RP12 - RP16, ca. 30 m unterstromig des GZB erfasst. Entgegen der numerischen Modellierung konnte bei dem zweiten und dritten Tracertest Uranin 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 mit einer mittleren Abstandsgeschwindigkeit von 1,6 m/d. Auch an den östlich hiervon gelegenen Messstellen (RP24..B99..RP28) konnte ein Durchbruch des Tracers festgestellt werden. Die Breite des Tracerdurchbruchs im Abstand von 80 m zum GZB lag bei ca. 60 m und bestätigt die Erhöhung der transversalen Dispersion durch den GZB. Die weiter östlich gelegenen Messstellen zeigten keinen Tracerdurchbruch.

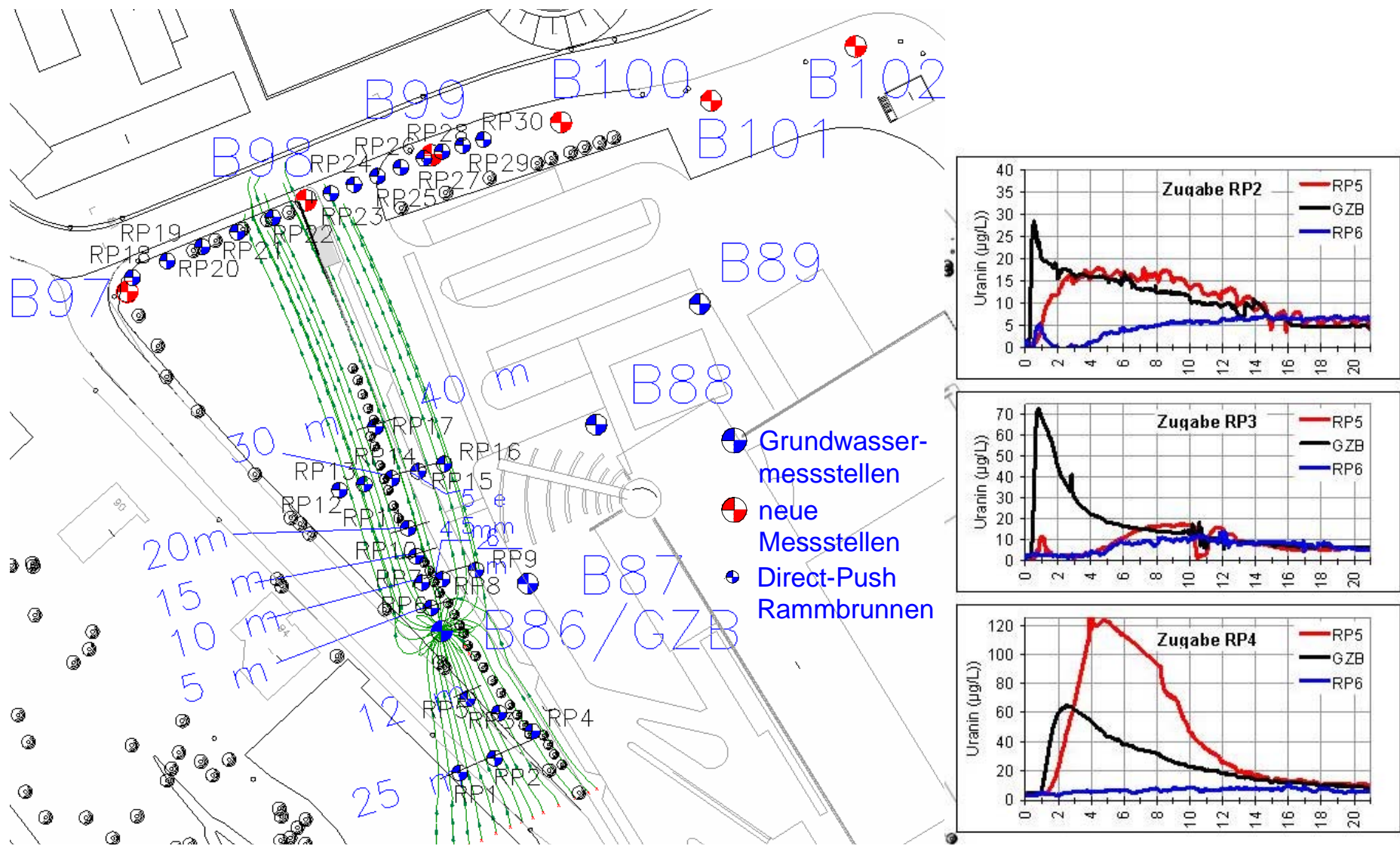


Abbildung 11: Lageplan Testfeld Süd mit angepasster Strömungssimulation und Tracerdurchbruch an Messstellen im Bereich der Strömungswalze

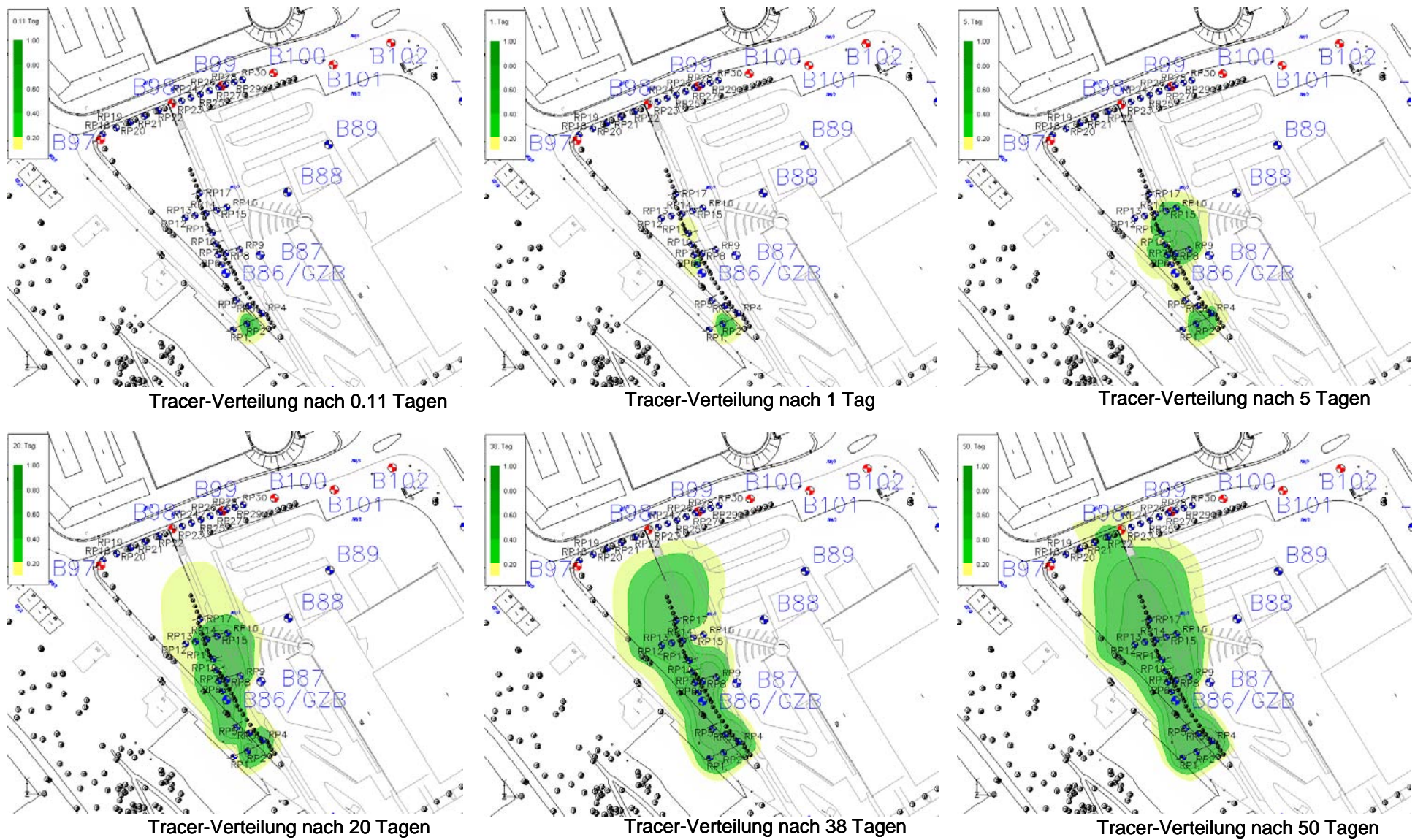


Abbildung 12: Ausbreitung des Tracers, Uranin-Zugabe in RP2

Die Auswertung der Uranintracertests erfolgte mittels der Momentenmethode nach Käss (1992) zur Bestimmung der dominanten und mittleren Abstandsgeschwindigkeit, des Dispersionskoeffizienten D_L , bzw. der Längsdispersivität α_L für die einzelnen Messpegel. Bei der Ermittlung der Kenngrößen Abstandsgeschwindigkeit, mittlere Fließgeschwindigkeit, Dispersionskoeffizient und Dispersivität wurde die Entfernung und die dominierende Abstandsgeschwindigkeit zum GZB, der den Mittelpunkt der Strömungswalze bildet, berücksichtigt.

Die Wirkung des GZB lässt sich anhand der Abstandsgeschwindigkeiten erkennen. Mit hoher Geschwindigkeit (~ 10 m/d) erfasst der GZB den Tracer und gibt ihn in die äußeren Bereiche der Strömungswalze ab. In der Walze verbleibt ein Großteil des Tracers und strömt langsam ab. Der erste Schub Tracer, eingeleitet über die äußere Zirkulation, strömt rasch ab. Die Hauptmasse Tracer strömt mit einer Abstandsgeschwindigkeit um 1,6 m/d weiter (RP10 -13, RP14, RP15, RP17 – B98). Der Dispersionskoeffizient liegt im Mittel bei 5×10^{-5} m²/s und damit im feldüblichen Rahmen. Nicht eingerechnet ist der hohe Dispersionskoeffizient um den GZB (8×10^{-4} m²/s).

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.

Tabelle 6: Advektive und dispersive Kennwerte Tracertest 1 (Uranin-Zugabe in RP2)

Pegel	Abstandsgeschwindigkeit v_a [m/d]	mittlere Fließgeschwindigkeit $v_{10,5}$ [m/d]	Dispersionskoeffizient [m ² /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 ¹	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

¹Durchbruch fraglich, Konzentrationen von Uranin im Bereich des Hintergrundwertes

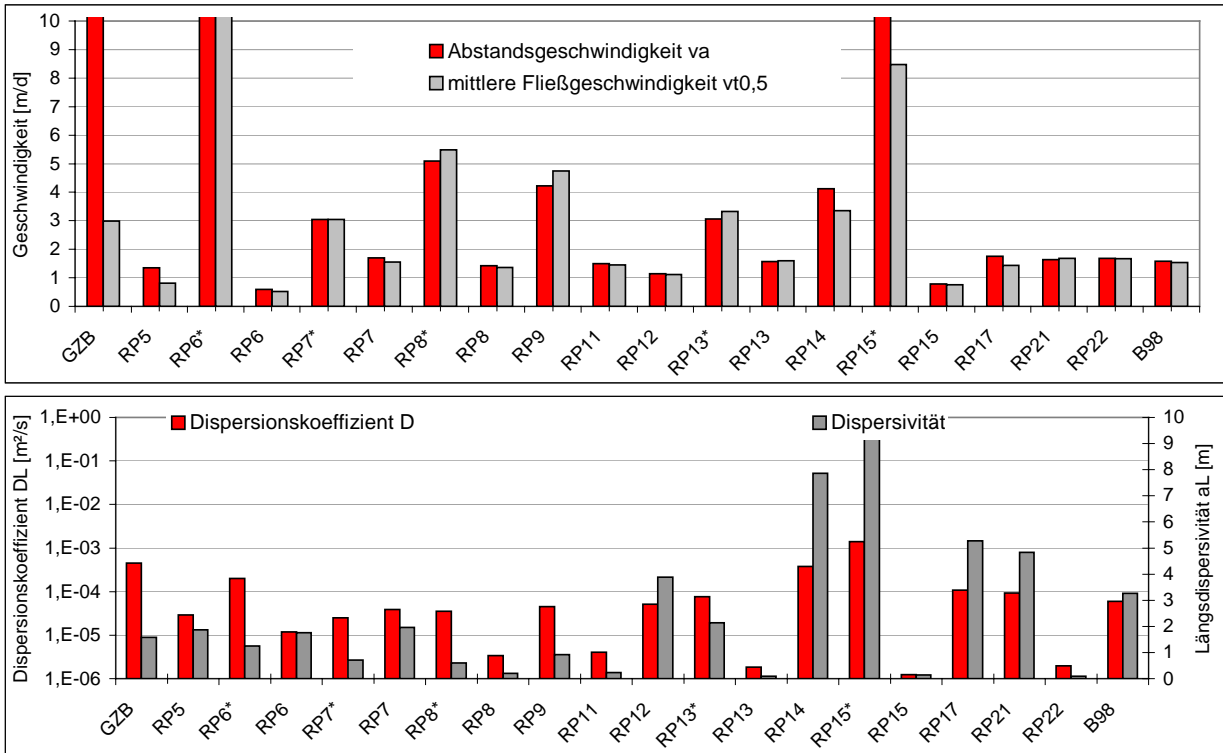


Abbildung 13: Darstellung der Abstandsgeschwindigkeit, der mittleren Fließgeschwindigkeit, der Dispersionskoeffizienten und der Dispersivitäten (Uranin-Zugabe in RP2)

Die Längsdispersivität α_L liegt im Mittel aller Tracertests, nicht eingerechnet die vergleichsweise hohen Werte des GZB (α_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.

Tabelle 7: Dispersivität α_L ermittelt aus den Markierungsversuchen

	Dispersivität α_L (ohne GZB) [m]
Tracertest Uranin 2	1,72
Tracertest Uranin 1	2,26
Tracertest Uranin 3	2,44
Gesamt (Mittelwert)	2,14

Anhand der Grundwassergleichenpläne (Oktober 2006 und Februar 2007, siehe Abbildung 14) 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 im November 2005 berechnet. Aus der mittleren effektiven Porosität und den 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 (Kurzumpversuchen durch CDM Jungbauer, 2003) und an CP2-3 (B97 – B99): $1,4 \times 10^{-3}$ bis $2,0 \times 10^{-3}$ m/s (Kurzumpversuche durch CDM Jungbauer, 2005).

Tabelle 8: Durchlässigkeitswerte k_f [m/s], Pumpversuche CDM [3]

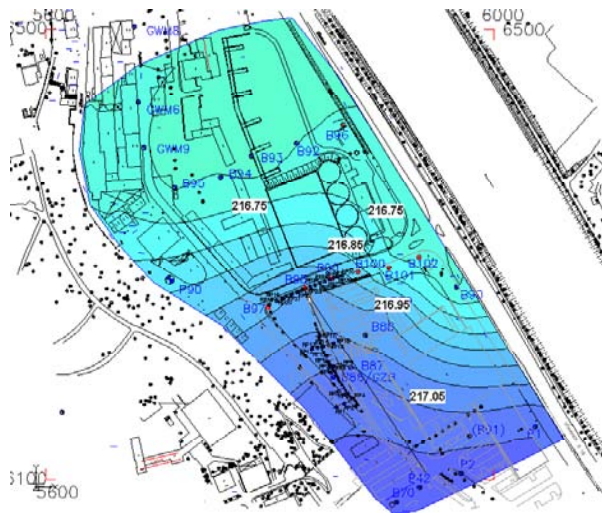
Kontrollebene CP2				
B86	B87	B88	B89	B90
$1,9 \times 10^{-3}$	$4,2 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$4,8 \times 10^{-4}$	$7,5 \times 10^{-3}$

Tabelle 9: Durchlässigkeitswerte k_f [m/s] , Pumpversuche CDM [3]

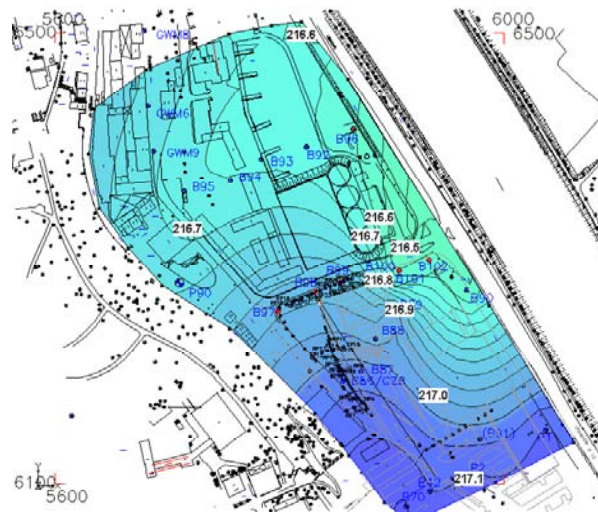
Kontrollebene CP3				
B92	B93	B94	B95	GWM11
$1,2 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-2}$	$9,7 \times 10^{-3}$

Tabelle 10: Durchlässigkeitswerte k_f [m/s] , Pumpversuche CDM [4]

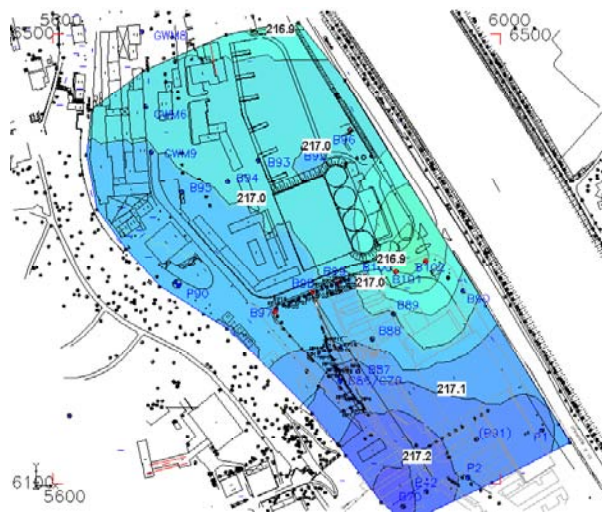
CP3 Ost	Kontrollebene CP2-3					
B96	B97	B98	B99	B100	B101	B102
$1,4 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-3}$	$5,6 \times 10^{-3}$	$9,9 \times 10^{-3}$



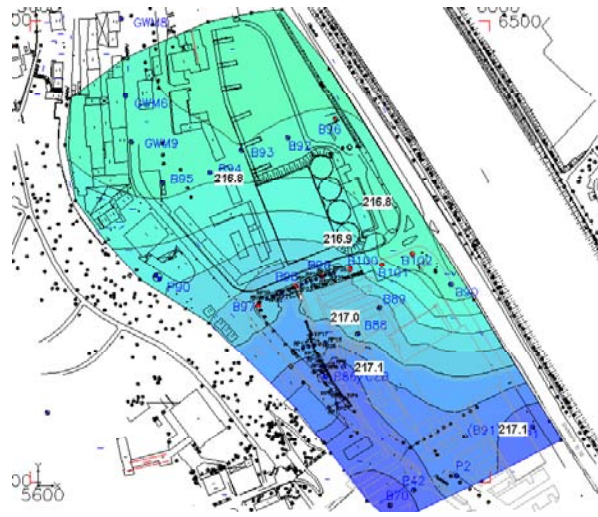
Grundwasserstände im Januar 2006



Grundwasserstände im April 2006



Grundwasserstände im Oktober 2006



Grundwasserstände im Februar 2007

Abbildung 14: Grundwassergleichenpläne (CP1 – CP3)

2.5. Durchführung der Pilotanwendung

2.5.1. Sauerstoffzugabe

Die initiale Belüftung des Aquifers erfolgte über Einmischung von Luftsauerstoff in den umgewälzten Grundwasserstrom des GZB. Die Konzentrationen lagen um 4,5 mg/L, es wurden ca. 0,8 kg/d Sauerstoff eingeleitet. Nach einer Woche konnte eine Erhöhung des Sauerstoffgehalts nur im Nahbereich des GZB festgestellt werden (RP6: 4,4 mg/L, RP7 – RP10: um 1,5 mg/L). Zeitgleich konnte ein deutlicher Abbau der NSO-HET im Nahbereich des GZB (RP6 – RP10) mit einem Rückgang der Konzentrationen von 30 – 90 µg/L auf Werte zwischen 0,3 und 7 µg/L beobachtet werden.

Vor der O₂-Dosierung

Nach der O₂-Dosierung

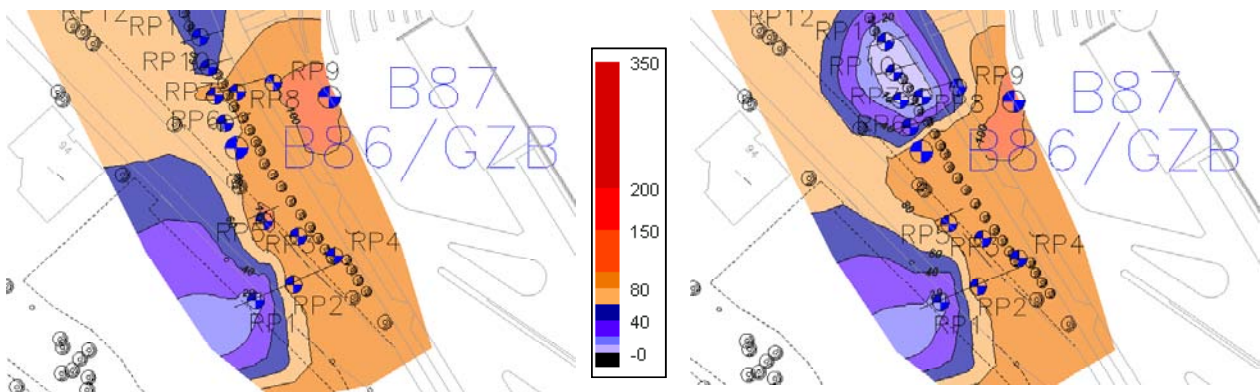


Abbildung 15: Rückgang der NSO-HET Konzentrationen im Nahbereich des GZB bei initialer Sauerstoffzugabe

Während der Zugabe von Luftsauerstoff konnte ein kontinuierlicher Anstieg des Grundwasserstands im Filterbereich des GZB festgestellt werden. Bereits zwei Tagen nach Beginn der Zugabe von Luftsauerstoff wurde die Bildung von Eisenhydroxid in der Zirkulationsströmung des GZB festgestellt, offensichtlich konnte nur ein Teil des ausgefällten Eisenhydroxids über die anlageninternen Sandfilter abgefiltert werden (Volumen Sand: ca. 30 L). Ein Öffnen der Filter mit Austausch des Filtersands belegte zwar die Abtrennung des rot gefärbten Eisenschlamm, jedoch war dies nicht wirkungsvoll genug, um eine Verockerung des Brunnens zu vermeiden.

Die Analyse des abgetrennten Filterschlamm, bzw. Sandfiltermaterials zeigte einen hohen Gehalt von 8 g Eisen je kg Filtersand und einen geringen Anteil von 0,09 g Mangan je kg Sand. Deutlich höher lag der Anteil an Calcium (22 g/kg Filtermaterial), der Anteil Magnesium lag bei ca. 1 g/kg. Neben der Bildung von Eisenoxiden kann offensichtlich auch eine Versinterung Ursache des Rückgangs der Infiltrationsleistung am GZB sein. Vergleicht man die Wasserinhaltsstoffe am GZB (Fe: 6 - 11 mg/L, Ca: 315 – 370 mg/L, s. Anlage A8) mit den Anteilen auf dem Filtermaterial, so nimmt die Versinterung einen vergleichsweise geringen Anteil ein.

Nach neun Tagen Betrieb stand Grundwasser im Bereich des GZB auf dem Gelände an, während der Wasserstand an einem zusätzlich abgeteuften Pegel, ca. 2 m Abstand zum GZB auf 2 m u. GOK lag. Ursache war die massive Verockerung des oberen Filternahbereichs durch gebildetes Eisenhydroxid.

Der Volumenstrom am GZB lag bei 8 m³/h. Mit zunehmender Zeitdauer stieg der Wasserstand im Zugabebereich des GZB. Von anfangs 40 cm Druckhöhe (ca. 3,1 m u. GOK) stieg der Wert nach acht Tagen auf ca. 2,5 m, also 1 m u. GOK. Der Sandfilter wurde ausgetauscht und die Füllung durch feines Filtermaterial ersetzt. Im weiteren Verlauf des GZB-Betriebes stiegen die Druckhöhen jedoch weiter an. Die Förderrate des GZB wurde sukzessive erniedrigt und eine zusätzliche Förderpumpe mit Entnahme des Wassers im Brunnenbereich > 1 m u. GOK oberhalb des eingebauten oberen Packers in Betrieb genommen.

Nach 15 Tagen Luftsauerstoffzugabe wurde diese gestoppt, um über die Zirkulation des anströmenden, durch den GZB erfassten anaeroben Grundwassers die Verockerungen (Fe(III) → Fe(II)) rückzulösen. Die Maßnahme führte zu einer leichten Verbesserung. Nach ca. acht Tagen trat jedoch eine Stationarität bei einer Förderrate um 2,5 m³/h ein.

Über Messung des Grundwasserstands in einem zusätzlich installierten Überwachungspegel (1" HDPE, Teufe 4,5 m, "RP-GZB"), unterstromig von B86 im Abstand von ca. 1,5 m gelegen, und dem installierten Pegel RP6 (ca. 5 m unterstromig von B86) konnte festgestellt werden, dass im engeren Bereich der Strömungswalze des GZB ein starker Druckgradient vorlag. Der Grundwasserstand im RP-GZB lag bei ca. 2,3 m u. GOK, derjenige in RP6 bei ca. 3,5 m. u. GOK. Der Wert von RP6 lag im Bereich des natürlichen Grundwasserstands. Über Variation der Förderleistungen des GZB (2, 4, 8 m³/h) konnte festgestellt werden, dass der Grundwasserstand an RP6 leicht fällt (um 3 - 5 cm) bei Erhöhung der Förderrate, jedoch ansteigt an RP-GZB (10 - 20 cm).

Somit konnte von folgender Situation ausgegangen werden:

1. der Entnahmehbereich des GZB (Teufe ca. 6,2 - 7,2 m) hat einen Radius von mehr als 5 m und zeigte keine Verockerungen
2. der Zugabebereich (Teufe ca. 3,5 - 5 m) mit einem Durchmesser von ca. 2 m im Bereich zwischen 5 - 6 m war stark verockert
3. die direkte Zugabe von Luftsauerstoff, bzw. Wasserstoffperoxid in die Strömungswalze des GZB würde in Folge die Lage verschlechtern

Als Maßnahmen zur Enteisung des Brunnennahbereichs wurde am 08.09.2006 eine Säurespülung mit einer 50%-igen Schwefelsäure-Lösung durchgeführt. Die Einsatzkonzentration am GZB lag bei 5 g H₂SO₄ je L umgewälzten Grundwassers. Insgesamt wurden ca. 15 kg Schwefelsäure eingesetzt. Der Ablauf der Säurespülung verlief reibungslos.

1. Spülung des GZB mit einem Volumenstrom von 2 m³/h mit Zugabe von Schwefelsäure: pH 1,5 für die Dauer von einer Stunde. Das Eisen aus der Verockerung sollte in einem Bereich mit ca. 1,2 - 1,5 m Durchmesser um den GZB gelöst werden.
2. Während der Säurespülung wurden 0,5 m³/h des entnommenen Grundwassers abgeschlagen und neutralisiert. Durch die Neutralisation mit Natronlauge erfolgte die Ausfällung von Eisen(hydr)oxid, das abgetrennt wurde und die abgeschlagene und neutralisierte Wassermenge wurde über Wasseraktivkohle geleitet und in den Schmutzwasserkanal geleitet. Die Einleitungsmenge lag bei ca. 1,5 m³.
3. Nach Ende der Säurespülung wurde für die Dauer von ca. 3 Stunden Grundwasser mit einem Volumenstrom von insgesamt 1 m³/h sowohl aus dem oberen, als auch unteren Filterbereich des GZB entnommen und neutralisiert / behandelt und kanalisiert. Die Wasserentnahme wurde gestoppt, als der pH größer 6,5 für eine Dauer von 45 min lag. Die kanalisierte Menge lag bei ca. 6 m³ mittels Aktivkohle gereinigten Grundwassers.
4. Wiederinbetriebnahme des GZB mit einem Volumenstrom von 4 m³/h mit Überwachung des pH-Werts, der sich innerhalb von 3 Stunden auf pH 7 einstellte.

Die Menge an eingesetzter Natronlauge zur Behandlung des Abwassers lag bei ca. 30 kg. In der entnommenen Spüllösung konnten Eisenkonzentrationen bis 40 g/L bestimmt werden. Nach ca. einer Stunde sanken die Werte auf < 1 g/L ab. Zum Ende der Spülung mit Schwefelsäure lag die Eisenkonzentration um 200 mg/L. Während der Neutralisationsphase fielen die Eisengehalte langsam ab und lagen mit Umstellung auf die Zirkulationsströmung bei ca. 15 mg/L.

2.5.2. Intermittierender Betrieb: NA Phase

Die Luftzugabe wurde in Folge der Verockerung ausgeschaltet. Nach der durchgeführten Säurespülung konnte der GZB mit Förderraten um 4 m³/h ohne weiteren nennenswerten Anstieg des Wasserstands betrieben werden. Ohne Zugabe von Oxidationsmittel sollte eine natürliche Eisenreduzierung über das anaerobe Grundwasser im weiteren Bereich des GZB erfolgen. Mit dieser Förderrate konnte dieselbe Erfassungsbreite erreicht werden wie ursprünglich für einen Volumenstrom von 10 m³/h angesetzt war. Innerhalb von zwei Monaten konnte ein Rückgang des biologischen Abbaus der NSO-HET und PAK auf Werte im Bereich der Konzentrationen vor Beginn der Sauerstoffzugabe beobachtet werden (Abbildung 16). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass bei der Bestimmung der Daten vom Januar 2006 noch keine Rammpegel installiert waren. Die Daten spiegeln insofern nur die Konzentrationen an B86 und B87 wider.

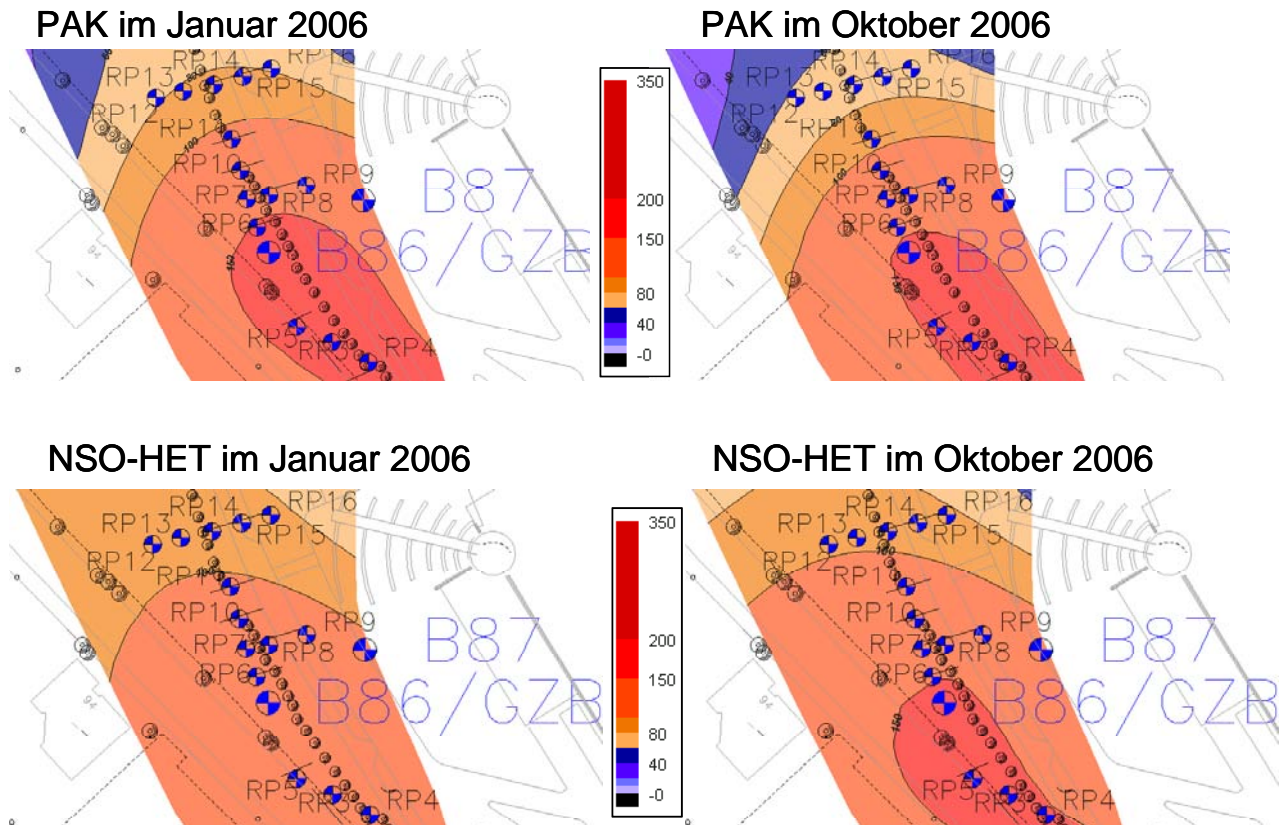


Abbildung 16: Verteilung der Schadstoffkonzentrationen im Nahbereich des GZB

2.5.3. Wasserstoffperoxidzugabe

Aufgrund der massiven Verockerung bei der Zugabe von Luftsauerstoff wurde vor Beginn der Zugabe von Wasserstoffperoxid im Dezember 2006 eine Feinfilteranlage (100-50-10 μm Filter) zur Abtrennung des gefällten Eisens eingebaut. Mit einem reduzierten Volumenstrom von ca. 2,8 m^3/h und Eisengehalten von 15 mg/l im Zulauf und 3 mg/L im Ablauf der Feinfilteranlage ergab sich eine abgeschiedene Masse Eisen von ca. 800 g/d und eine Abtrennung von ca. 80 % der Eisenfracht. Die Filteranlage bestand aus zwei parallel geschalteten Sackfiltern, die regelmäßig regeneriert wurden. Aufgrund der sich stark ändernden Druckverhältnisse durch Eisenablagerung auf den Filtern, schwankten die Grundwasserförderraten erheblich. Entsprechend problematisch war die konstante Zugabe von Wasserstoffperoxid, was anhand der Schwankungen des Redoxpotenzials zu erkennen ist (Abbildung 17). Der Verbrauch bzw. die Zugabemenge des Wasserstoffperoxid unterlag ebenfalls den starken Schwankungen und lag im Bereich zwischen 0,05 und 0,25 kg/h bzw. 1 und 6 kg/d mit maximal 6,3 kg/d (Abbildung 18). Nach der Umstellung des Systems lag der Verbrauch im Bereich um 3 bis 4 kg/d .

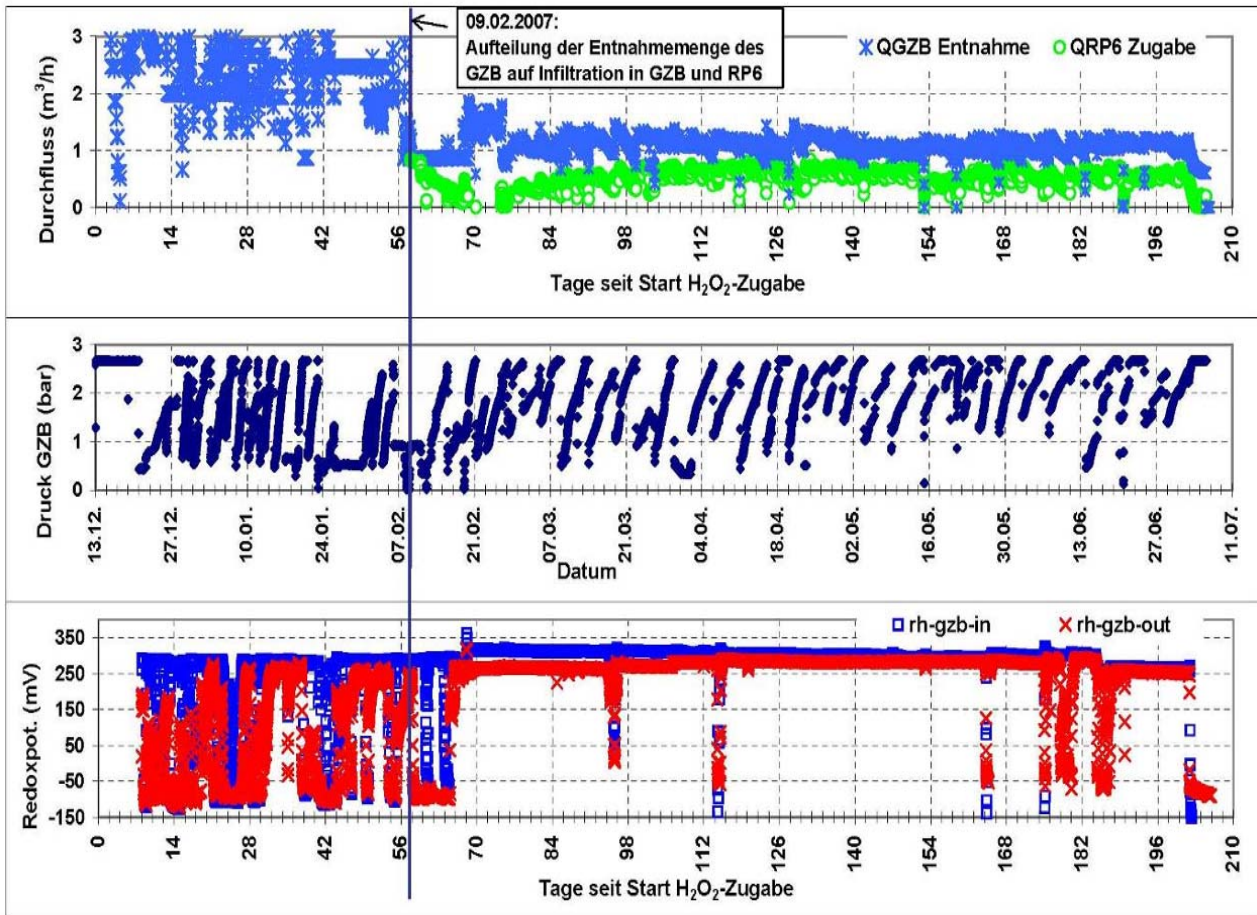


Abbildung 17: oben: Volumenströme Entnahme GZB (QGZB) und Infiltrationsbrunnen (QRP6); Mitte: Filterdruck an Zugabestelle; unten: Redoxpotenzial Zugabe GZB (blau) und Entnahme GZB (rot)

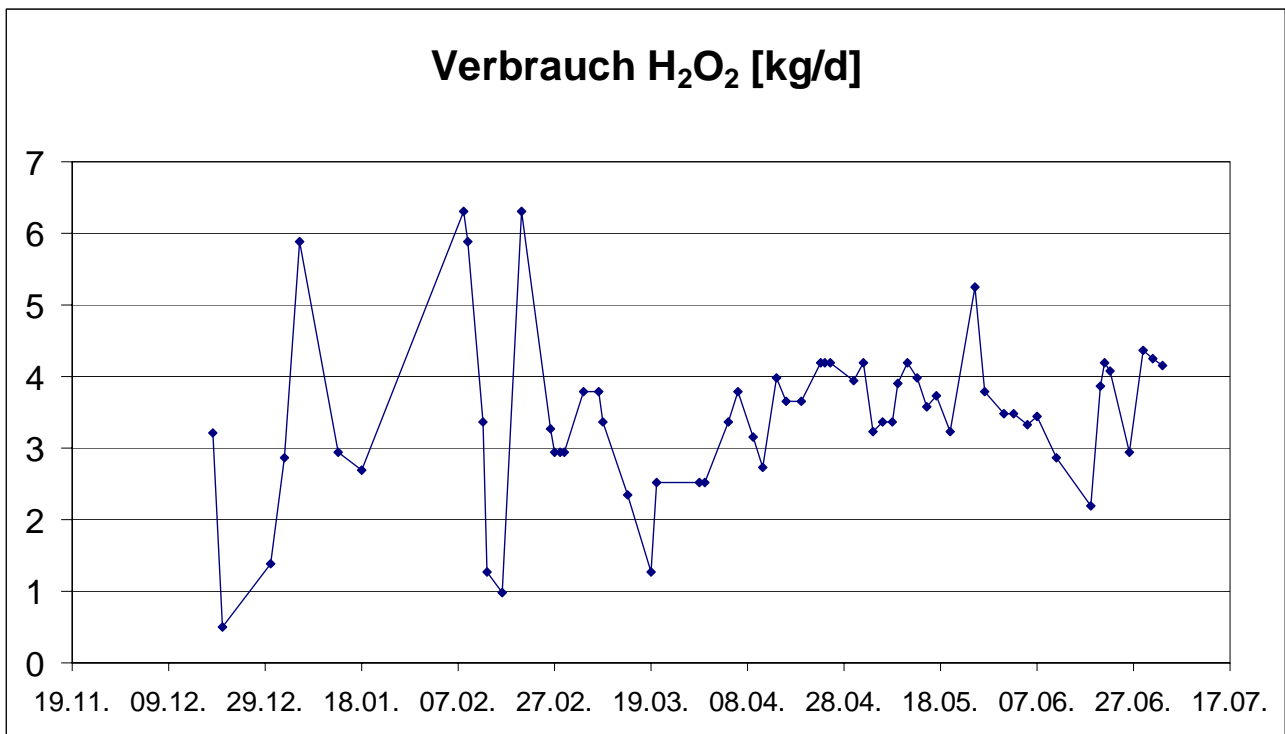


Abbildung 18: Zugaberate von Wasserstoffperoxid in den GZB

Zudem kam es im Verlauf der Wasserstoffperoxidzugabe zu einem wiederholten Anstieg des Grundwassers im Nahbereich des GZB (ca. 1 m Abstand zum Brunnen), selbst für den reduzierten Volumenstrom von 2,8 m³/h. Dabei stieg der Wasserstand im GZB bereits nach 3 Wochen Zugabe von Wasserstoffperoxid bis zur POK an. Durch Installation einer Kreislaufpumpe wurde der Wasserstand im Pegelrohr des GZB auf 1 m u. GOK gehalten. Der Ringraum des Brunnens wurde entwässert und in den Aquifer über die unterhalb des Packers liegende Infiltrationsstrecke wieder zugegeben. Nach zwei Monaten reichte die interne Zirkulation nicht mehr aus, das Grundwasser stieg bis auf GOK an. Das Schluckvermögen des GZB sank auf maximal 200 L/h ab.

Über eine Bodenprobenahme im Nahbereich des GZB (ca. 0,5 m Abstand) mit Bestimmung des Anteils an Eisen auf dem Bodenkorn auf Zugabenniveau (Bereich 3 - 5 m u. GOK) sollten Informationen über eine nachhaltige Veränderung des Aquifers mit Eisenausfällung im Bodenkörper gewonnen werden. Der Vergleich der Bodenproben mit dem an CP2-3 ermittelten Eisengehalt im Boden zeigte keine deutliche Erhöhung des Gesamteisengehalts. Mit Gesamteisengehalten bis 14 g/kg Boden lagen die Gehalte im Bereich des natürlichen Hintergrundwerts. Die gemessenen Eisengehalte im Boden lagen z.B. in den Bodenproben, die während der Installation von B98 gewonnen wurden, größer als 14 g/kg. Die Werte im oberen Bereich der Strömungswalze waren jedoch im Vergleich zu den Gehalten im unteren Bereich (Entnahmebereich GZB) um annähernd 30% erhöht und lassen auf einen Eintrag von Eisen durch oxidiertes Eisen schließen.

Tabelle 11: Eisengehalte im Boden am GZB

		Projekt: KORA, Testfeld Süd	
		TFS 3,5-4,0m RP GZB2	TFS 4,5-4,8m RP GZB2
Parameter	Dimension		
Wassergehalt	%	18.0	12.7
Trockenrückstand	%	82.0	87.3
Sulfid	mg/kg	0.26	0.39
Eisen, gesamt	mg/kg TR	14200	11400
Mangan	mg/kg TR	320	270

Visuell konnten keine Auffälligkeiten, z.B. Verfärbung des Bohrguts festgestellt werden. Eine deutlich erhöhte Ablagerung von Eisen im Nahbereich des GZB im Vergleich zum natürlichen Gehalt konnte nicht beobachtet werden. Zudem konnte kein erhöhter TOC bestimmt werden, der als Maß für die Bildung von Biofilm angesehen werden kann.

Im abgeteufte Bohrloch der Bodenprobenahme mittels Rammsonde wurde ein zusätzlicher Grundwasserpegel (1" HDPE, SW 0,5 mm, Bodenkappe, Teufe 4,0 m, "RP-GZB2"), ca. 0,5 m parallelstromig von B86 zur Überwachung des Grundwasserstands, nahe der südöstlichen Ecke des Anlagencontainers installiert. Der Ringraum wurde mit einer Stärke von ca. 1 cm mit Filtersand (Körnung 2 – 3 mm) verfüllt.

Die Verockerung des GZB im Infiltrationsbereich und dem engeren Ringraum (ca. 1,5 m Durchmesser) sollte durch eine Säurespülung (H_2SO_4 , $2 < pH < 4$) aufgelöst werden. Die Säurespülung wurde mit ca. 18 kg einer konzentrierten Schwefelsäurelösung am 19.02.07 durchgeführt und in Vorgehensweise entsprach der ersten Spülung im September 2006. Aufgrund des anfänglich geringen Schüttvermögens des GZB musste zunächst mit geringem Volumenstrom ($0,5 \text{ m}^3/\text{h}$) begonnen werden. Entsprechend lag die Einsatzkonzentration der Schwefelsäure bei 7 g/L ($0,7 \%$). Der Ablauf war:

1. Spülung des GZB mit einem Entnahmestrom von $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ mit Zugabe einer $0,7\%$ -igen Schwefelsäure-Lösung (max. $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$) zur Einstellung von $pH < 2$ für die Dauer von 30 min. Nach Einstellung des pH-Werts im Entnahmestrom und in Folge des hohen Austrags an Eisen konnte die Infiltrationsmenge deutlich erhöht werden. Der Entnahmestrom lag bei $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, der Zugabestrom bei $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Spülung wurde über 3 h aufrecht erhalten.
2. Während der Säurespülung wurde zunächst $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ des entnommenen Grundwassers abgeschlagen und mit Natronlauge neutralisiert. Das ausgefallene Eisen(hydr)oxid wurde abgetrennt und die abgeschlagene und neutralisierte Wassermenge über Wasseraktivkohle

- geleitet und in den Schmutzwasserkanal geleitet. Nach 30 min Spülung konnte die abgeschlagene Menge auf ca. 0,5 m³/h erhöht werden. Insgesamt wurde ca. 1,5 m³ neutralisiertes, gereinigtes Grundwasser in die Kanalisation geleitet.
3. Nach Ende der Säurespülung wurde für die Dauer von 3 Stunden Grundwasser mit einem Volumenstrom von insgesamt 2 m³/h sowohl aus dem oberen, als auch unteren Filterbereich des GZB entnommen und neutralisiert / behandelt und kanalisiert. Die Wasserentnahme wurde gestoppt, als der pH-Wert über einen Zeitraum von ca. 30 min größer pH 6,5 lag. Es wurden 6 m³ Grundwasser neutralisiert, über Aktivkohle gereinigt und kanalisiert.
 4. Wiederinbetriebnahme des GZB mit einem Volumenstrom von 4 m³/h mit Überwachung des pH-Werts. Ca. 0,5 m³/h des mit Wasserstoffperoxid versetzten entnommenen Grundwassers wurde in einen Überwachungsbrunnen (RP6), ca. 5 m unterstromig des GZB eingeleitet.

Die Menge an eingesetzter Natronlauge zur Behandlung des Abwassers lag bei ca. 25 kg.

Die nach der Spülung realisierbare hohe Infiltrationsmenge von 4 m³/h musste nach 24 Stunden auf 2 m³/h aufgrund des Wasseranstiegs im Nahbereich des GZB auf ca. 1 m u. GOK reduziert werden. Auf nochmalige Säurespülungen wurde aufgrund des nur kurzfristigen Effekts während der Aerobisierung des Grundwassers verzichtet.

Zu einem stabilen Betrieb des Zirkulationssystems führte die Aufteilung des Zugabestroms nach der Säurespülung Anfang Februar 2007. Etwa 50% des Volumenstroms wurde über einen zusätzlichen Infiltrationsbrunnen (RP6, 2", vollverfiltert) im unterstromigen Bereich der Zirkulationsströmung des GZB zugegeben. In Folge von Verockerungen im Infiltrationsbereich des GZB lag die auf Dauer realisierbare Förderrate bei ca. 1,2 m³/h. Diese Grundwassermenge wurde aus dem GZB gefördert und mit H₂O₂ angereichert. Das sofort gefällte Eisenhydroxid wurde in den Filtern zu ca. 80% abgetrennt. Anschließend wurde das Grundwasser mit jeweils ca. 0,6 m³/h in den GZB und in RP6 infiltriert (s. Abbildung 17, oben). Das Schluckvermögen des GZB, also das Vermögen einer Wasserzugabe ohne Rückstau im Brunnen, lag bei ca. 5 % der ursprünglichen Menge zu Beginn der Aerobisierung (10 m³/h), bzw. 20% des Schluckvermögens zu Beginn der Zugabe von Wasserstoffperoxid. Das Strömungsmodell simulierte für die geänderte Betriebsweise des GZB einen Erfassungsbereich von ca. 12 m und eine Abgabebreite von ca. 14 m. Hydraulisch gesehen bedingt die Zugabe am unterstromig des GZB gelegenen RP6 eine größere Abgabebreite als einen Erfassungsbereich. Anhand der Ergebnisse der Tracertests wurde unterstromig des GZB eine Änderung der hydraulischen Leitfähigkeit angesetzt, die diesen Effekt begründen könnte.

Die H₂O₂-Konzentration des aufdotierten Grundwassers wurde aufgrund des hohen geogenen Sauerstoffbedarfs durch Fe(II) im Grundwasser und im Boden auf 50 mg/L eingestellt. Die angelegte Dosierleistung lag zwischen 0,1 – 0,25 kg/h Wasserstoffperoxid, dies entspricht einer

Sauerstoffzugabe zwischen 1,1 – 2,8 kg/d. Nach Umstellung des hydraulischen Systems (GZB mit Infiltrationsbrunnen) wurde die Zugabemenge infolge der erzielten unterstromigen Ausbreitung des Sauerstoffs (Abbildung 22) reduziert und auf 0,15 kg/h Wasserstoffperoxid, bzw. 1,7 kg/d Sauerstoff eingestellt.

Die entscheidenden Prozessgrößen der Zugabe sind in Tabelle 12 zusammengestellt.

Tabelle 12: Prozessgrößen Wasserstoffperoxidzugabe

Prozessgrößen GZB	Zugabe:	Entnahme:
Redoxpotenzial (nicht korrigiert)	(-100) bis +310 mV, Mittelwert: + 253 mV	-100 bis + 280 mV, Mittelwert +189 mV
Wasserstoffperoxidkonzentration	5 – 50 mg/L, Mittelwert: 32 mg/L	0 – 20 mg/L, Mittelwert: 8 mg/L
Sauerstoffkonzentrationen	2 – 20 mg/L, Mittelwert: 6,5 mg/L	1,2 – 8,5 mg/L, Mittelwert: 4,3 mg/L
Leitfähigkeit	ca. 1100 µS/cm	ca. 2200 µS/cm

Prozessgrößen Nahbereich GZB: RP6 .. RP11; 15 m Abstand zu GZB	
Sauerstoffkonzentrationen	RP-GZB, RP6, RP7: 1,5 – 20 mg/L, Mittelwert Strömungswalze: 8,7 mg/L, Mittelwert Nahbereich: 5,9 mg/L
H ₂ O ₂ -Konzentrationen	RP7 – RP11: 0 – 30 mg/L, Mittelwert Nahbereich: 3 mg/L

Durch die ENA-Maßnahme konnte der Aquifer unterstromig des GZB und im Bereich der Strömungswalze aerobisiert werden. Der angenommene instantane Zerfall von Wasserstoffperoxid zu Wasser und Sauerstoff konnte nachgewiesen werden, so dass in einem Abstand größer als 10 m unterstromig des GZB kein Wasserstoffperoxid mehr messbar war, s. Abbildung 29. Die potentielle Gefährdung des Grundwassers durch eine Chemikalie konnte mit den gewählten Einsatzmengen ausgeräumt werden.

Eine Aerobisierung des unterstromigen Aquifers (Abstand größer 30 m zum GZB) konnte im Zeitrahmen der 6-monatigen Zugabe von Wasserstoffperoxid nicht beobachtet werden. Dies wäre jedoch aufgrund der vergleichsweise hohen Einsatzmengen an Sauerstoff unter Berücksichtigung des Verbrauchs zur Oxidation des gelösten Eisens, sowie dem Bedarf der Biozönose selbst bei Erweiterung der hydraulischen Erfassung und Aerobisierung eines größeren Bereichs der Schadstofffahne auf Dauer zu erwarten gewesen.

2.6. Ergebnisse der Pilotanwendung

2.6.1. Betriebsparameter GZB

Nachfolgend sind die Betriebsparameter des GZB über seine gesamte Betriebszeit graphisch dargestellt. In Abbildung 19 oben ist die Entnahmemenge des GZB dargestellt. Die ursprüngliche Entnahmemenge von 10 m³/h ging im Laufe der Sauerstoffzugabe auf Grund von Verockerung im Infiltrationsbereich zurück und konnte in der NA-Phase nach der ersten Säurespülung konstant bei 4 m³/h gehalten werden. Mit Zugabe von Wasserstoffperoxid kam es zu starken Schwankungen in der Grundwasserförderung (zwischen dem 139. und 198. Tag). Nach Änderung des hydraulischen Systems konnten die Schwankungen verringert werden und die Entnahmemenge variierte überwiegend zwischen 0,8 und 1,2 m³/h. Im Verlauf der Redoxpotenziale (siehe Abbildung 19, mitte) sind die Betriebsphasen ebenfalls sichtbar. Während der Zugabe von Luftsauerstoff stiegen die Redoxpotenziale an, wobei verfahrensbedingt die Entnahmewerte geringer sind als die Zugabewerte. In der anschließenden NA-Phase gingen die Werte deutlich in den negativen Bereich. Mit Zugabe von Wasserstoffperoxid stiegen sie zwar tendenziell an, die Schwankungen in der Dosierung wirkten sich aber auch auf die Redoxpotenziale aus, die ebenfalls mit großen Schwankungen reagierten. Mit Änderung des hydraulischen Systems stieg das Redoxpotenzial auf Werte um 300 mV (nicht korrigiert). Kurze Aussetzer in der Dosierung sind am stark fallenden Redoxpotenzial erkennbar.

Der pH-Wert lag in der NA-Phase mit im Mittel 6,5 bei der Entnahme und 6,9 bei der Zugabe geringfügig niedriger als während der Zugabe der Elektronenakzeptoren (Entnahme: 6,8; Zugabe: 7,0).

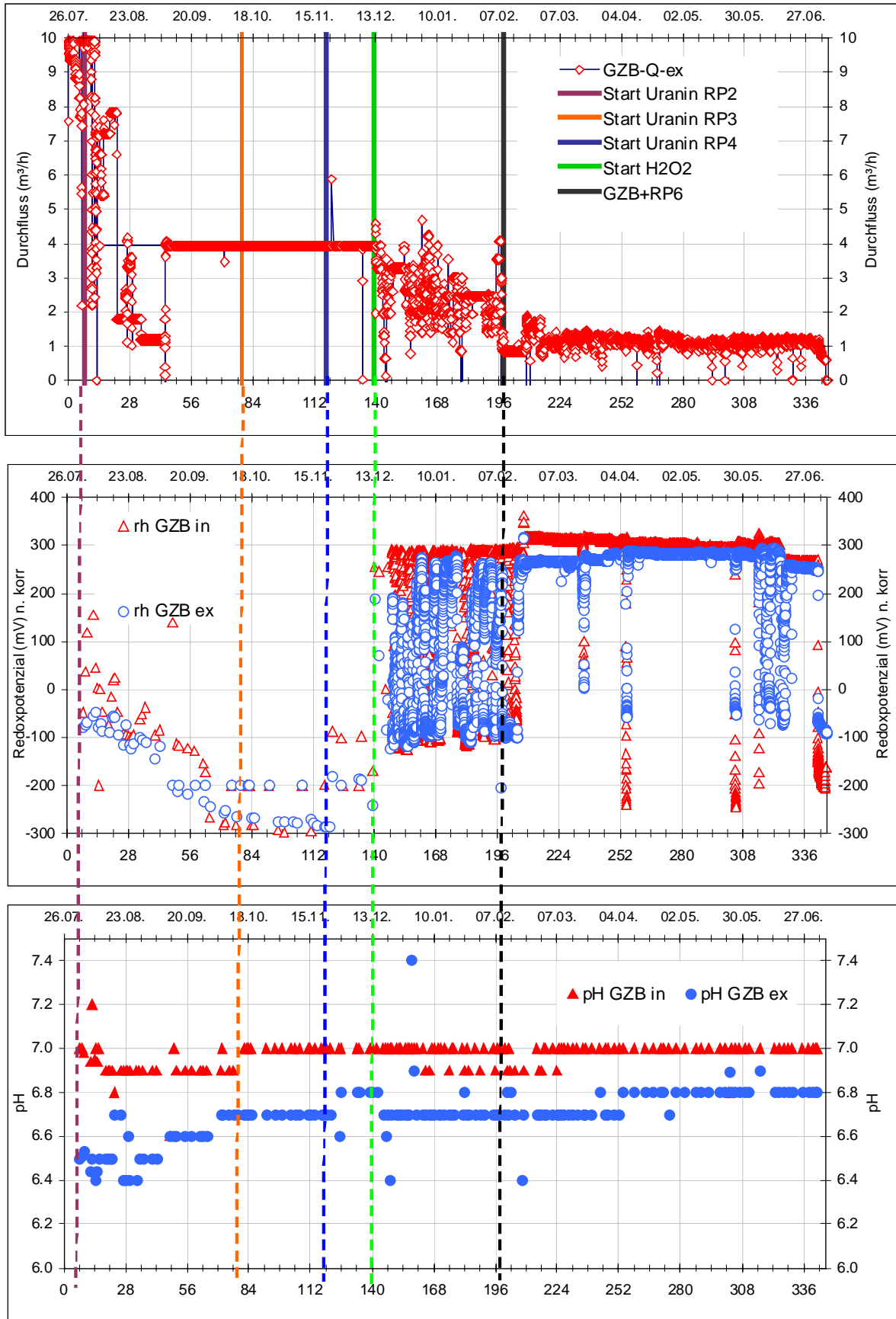


Abbildung 19: Messungen GZB: Durchfluss, Redoxpotenzial und pH-Wert

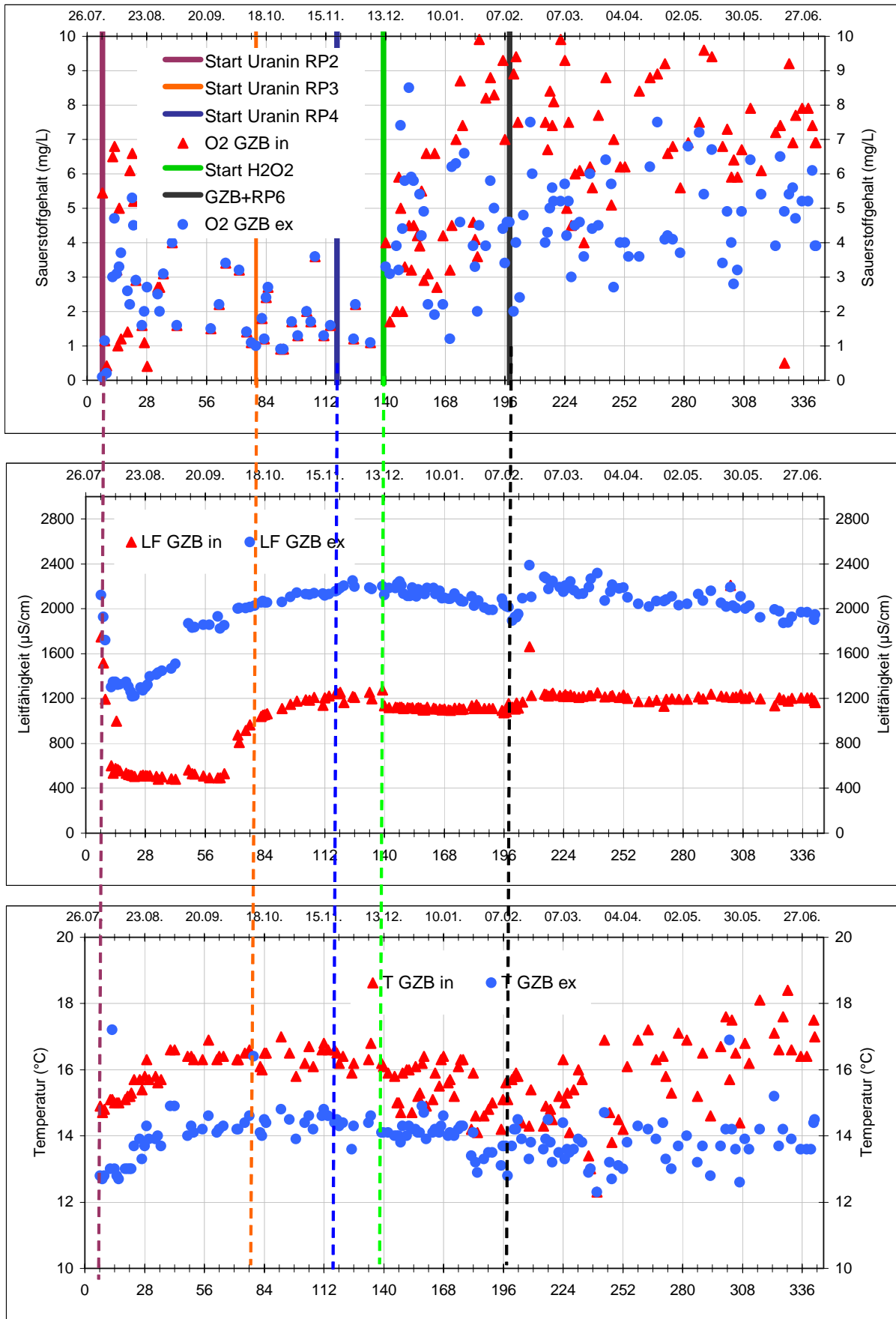


Abbildung 20: Messungen GZB: Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit und Temperatur

Mit Zugabe von Luftsauerstoff stiegen die Sauerstoffwerte im Infiltrationswasser innerhalb von vier Tagen auf Werte über 6 mg/L (Abbildung 20), im weiteren Verlauf kam es dann zu Schwankungen aufgrund der sich ändernden Förderrate mit Werten zwischen 1 bis 5 mg/L, bevor der Sauerstoffgehalt nach sechs Tagen wieder auf über 6 mg/L anstieg. Im entnommenen Grundwasser stiegen die Sauerstoffwerte mit zeitlicher Verzögerung ebenfalls an, lagen aber im Mittel 1 mg/L unterhalb der Werte im Infiltrationswasser. In der NA-Phase ohne Zugabe von Sauerstoff fielen die Werte auf Bereiche zwischen 1 bis 3 mg/L, wobei einzelne Entnahmewerte höher lagen. Zu Beginn der H₂O₂-Zugabe schwankten die Sauerstoffwerte in Anhängigkeit der Zugabe von Wasserstoffperoxid stark.

Während der Dosierung stieg der Sauerstoffgehalt im Infiltrationswasser auf über 6 mg/L an, fiel allerdings bei Abbruch der Dosierung sehr schnell wieder auf Werte zwischen 2 und 4 mg/L zurück. Die Sauerstoffgehalte im Entnahmewasser schwankten ebenfalls stark zwischen 1 und 8,5 mg/L. Mit Änderung des hydraulischen Systems konnten im Infiltrationswasser Sauerstoffgehalte von 5 bis 20 mg/L festgestellt werden, während die Gehalte im entnommenen Grundwasser zwischen 2 und 7,5 mg/L lagen.

Die Leitfähigkeit stieg sowohl in dem Entnahmewasser als auch in dem Zugabewasser während der Pilotanwendung um ca. 700, bzw. 900 µS/cm an. Der Unterschied in der Leitfähigkeit zwischen Zugabe und Entnahme kann auf die Abtrennung von Eisen und beobachtete Ausfällungen von Gips und Kalk im Rohrleitungssystem und auf den Filtern zurückgeführt werden.

Die Temperatur des Entnahmewassers schwankte zwischen 13°C und 15°C, während das Zugabewasser größere Schwankungen zwischen 14°C und 18°C aufwies, was sich mit dem Aufenthalt des Wassers an der Oberfläche erklären lässt, also mit den Einflüssen der Umgebungstemperatur.

In Anhang A8 sind die Analysenergebnisse der Grundwasserproben aus dem GZB aufgelistet und in Tabelle 13 ist der Wertebereich der Analysenergebnisse dargestellt. Untersucht wurden Trübung, Färbung, Geruch, Ammonium, Kaliumpermanganatverbrauch, Cyanide, Phenole, Kohlenwasserstoffe, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoff, Säurekapazität bis pH 4,3, Summe Erdalkalien (Gesamthärte), Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Eisen, Mangan, Chlorid, Nitrat, Sulfat, Nitrit, freie Kohlensäure und der Trockenrückstand. Ein direkter und konsistenter Einfluss der ENA-Maßnahme auf die Werte ist nicht erkennbar (s. Abbildung 21). Es kann jedoch festgestellt werden, dass kein negativer Einfluss der Zugabe von Wasserstoffperoxid auf die Wasserqualität im Vergleich vor der Maßnahme erfolgt.

Tabelle 13: Wertebereich der Analyseergebnisse der Grundwasserproben aus dem GZB

Ammonium in [mg/L]	Cyanide in [mg/L]	Phenole in [mg/L]	pH – Wert	Sauerstoff in [mg/L]	Calcium in [mg/L]	Magnesium in [mg/L]
0,06 – 3,34	0,05 – 0,17	0,01 – 0,1	6,5 – 7,0	0 – 5,7	315 – 370	68 – 73

Natrium in [mg/L]	Kalium in [mg/L]	Eisen in [mg/L]	Mangan in [mg/L]	Chlorid in [mg/L]	Nitrat in [mg/L]	Sulfat in [mg/L]
78 – 88	10,7 – 13,0	6,7 – 11,1	0,69 – 0,9	153 – 170	5,7 – 7,2	469 – 588

KMnO ₄ -Verbrauch in [mg/L]	Säurekapazität bis pH 4,3 in [mmol/L]	Summe Erdalkalien (Gesamthärte) in [°dH]	Kohlenwasserstoffe in [mg/L]
2,09 – 26,0	11,0 – 12,5	60,9 – 68,1	0,1 – 0,5

freie Kohlensäure in [mg/L]	Trockenrückstand in [g/L]	elektrische Leitfähigkeit in [mS/cm]	Nitrit in [mg/L]
88 – 172	1,67 – 1,85	1,45 – 2,27	< 4

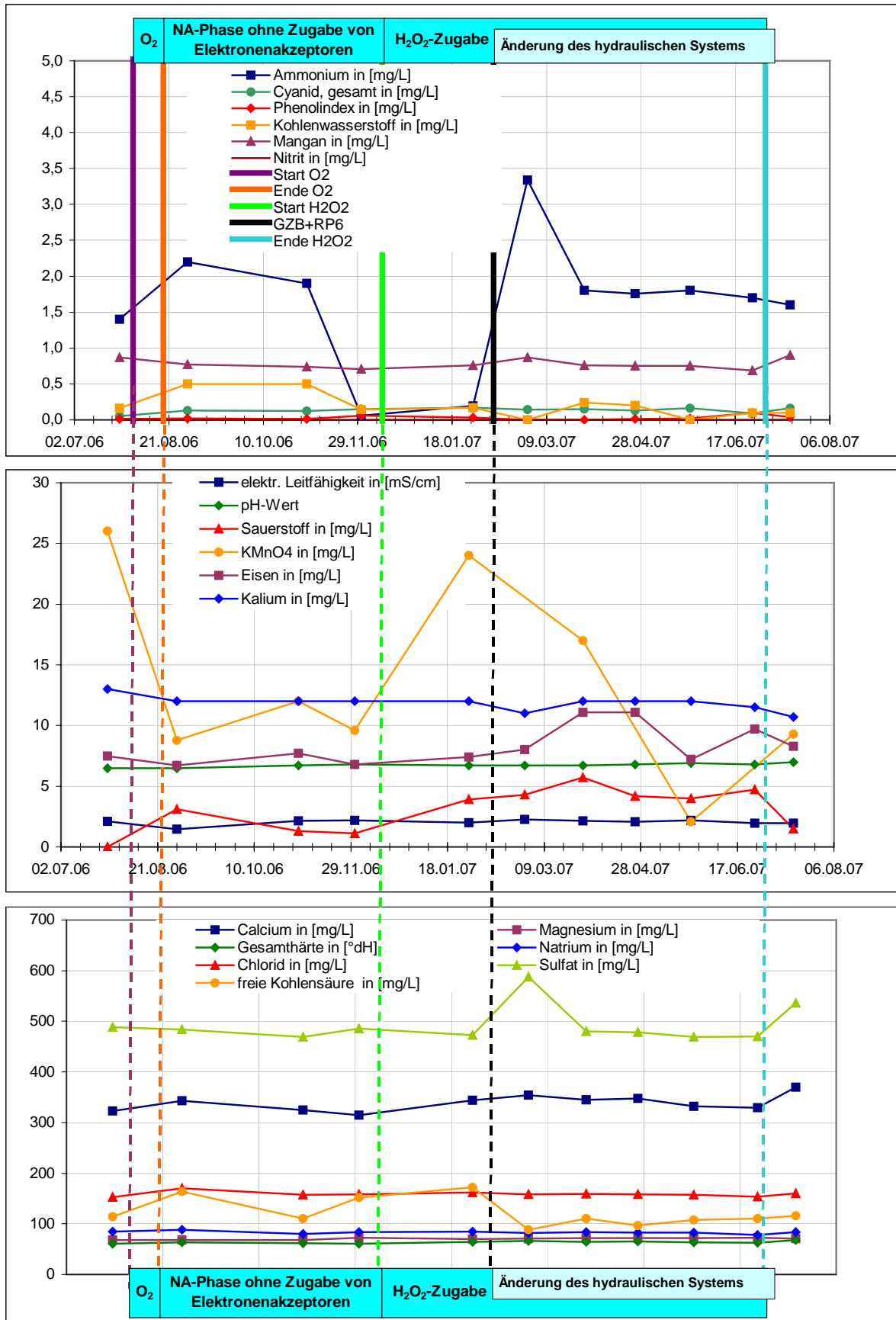


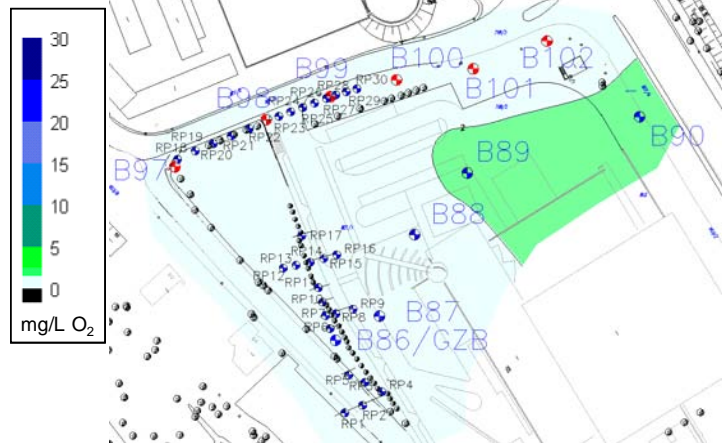
Abbildung 21: Analysenergebnisse der Grundwasserproben aus dem GZB

2.6.2. Entwicklung der Sauerstoffkonzentrationen

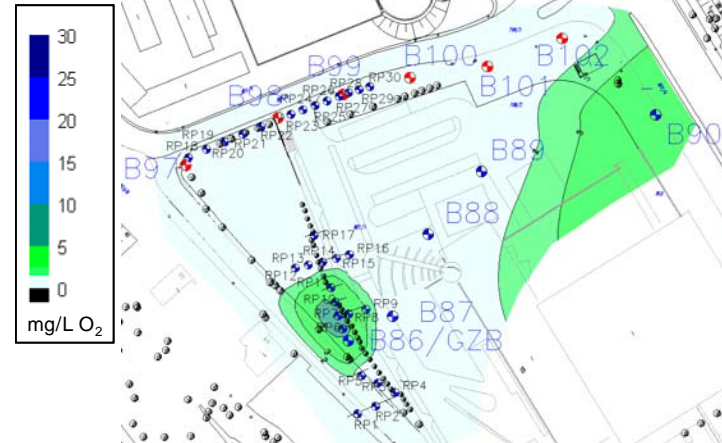
Erhöhte Sauerstoffkonzentrationen konnten nur im Nahbereich des GZB und unterstromig in einem Abstand bis 25 m mit Werten zwischen 1,5 - 16 mg/l gemessen werden. An der Kontrollebene RP12 - 16 (Abstand zu GZB ca. 30 m) konnten keine aeroben Verhältnisse festgestellt werden (O_2 -Gehalt < 1,5 mg/l), wohl aber eine verstärkte Ausfällung von Eisen in den Brunnenrohren. Dies lässt den Schluss einer sich ausbildenden Fe(III)-Zone im Aquifer auf Höhe der Messebene RP12 – 16 mit Rückgang der hydraulischen Durchlässigkeit zu. Diese Annahme konnte anhand eines Vergleichs der Wasserstände nicht dokumentiert werden, da die Höhenunterschiede zu gering waren. Untermuert wird diese These jedoch durch die nach 5-monatiger Zugabe von Wasserstoffperoxid festgestellten verstärkten lateralen Ausbreitung von Sauerstoff (Abbildung 22 rechts), die auf eine Umströmung des Bereiches schließen lässt. Die Sauerstoffverteilung ab April 2007 blieb bis zum Ende der Feldanwendung im Juni 2007 unverändert.

Der Eintrag von Sauerstoff in den Aquifer war im Rahmen der 6-monatigen Anwendung in der Ausdehnung begrenzt. Eine großräumigere Ausbreitung, auch in Fließrichtung des Grundwassers wäre erst nach mehrjährigem Betrieb zu erwarten. Die transversale Ausbreitung ist jedoch deutlich und lässt eine Aerobisierung der Schadstofffahne im Bereich von CP2 erwarten.

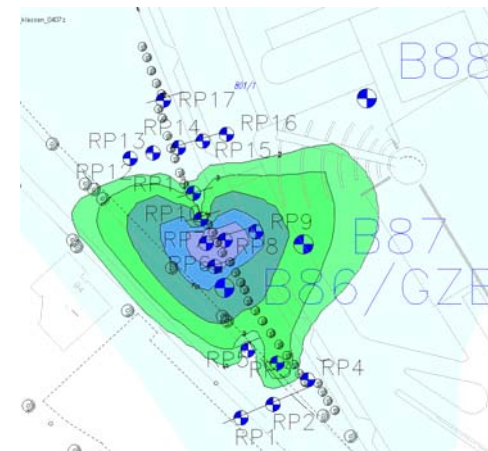
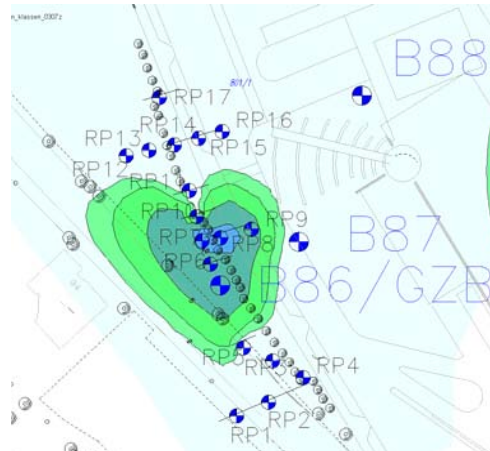
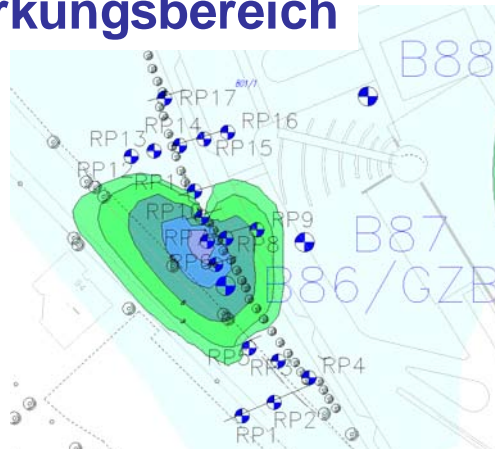
Oktober 2006: Ausgangszustand



Dezember 2006: 2 Wochen Zugabe



Wirkungsbereich



Februar 2007: 2 Wo GZB-RP6

März 2007

April 2007: 5 Monate Betrieb

Abbildung 22: Entwicklung des Sauerstoffgehalts im Grundwasser im Nahbereich des GZB

2.6.3. Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen

Bereits nach 2 Wochen H₂O₂-Zugabe konnten im Nahbereich des GZB (RP6 - RP11) verringerte NSO-HET-Gehalte bestimmt werden. Auch im weiteren Abstrom des GZB (RP12 – RP17) lagen die Werte deutlich niedriger (Abbildung 23 oben rechts) als die Konzentrationen vor Beginn der Zugabe (Abbildung 23 oben links). Ein Rückgang im Abbau konnte mit Änderung des hydraulischen Systems und Nutzung von RP6 als Infiltrationsbrunnen beobachtet werden, da die „Abbauzone“ unterstromig verlagert wurde. Im März stiegen die Abbauleistungen wieder an. Der Abbau steigerte sich im weiteren Verlauf der Anwendung, s. Abbildung 23 unten rechts. Die Konzentrationen sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

Tabelle 14: Übersicht NSO-HET GZB-Entnahme

	Vor Zugabe H ₂ O ₂	14 Tage nach Zugabe	Nach 4 Monaten Zugabe	Nach 6 Monaten Zugabe
Wertebereich NSO-HET [µg/L]	81 – 161	69 – 91	68 – 124	70 – 88
Mittelwert NSO-HET [µg/L]	105,2	80	89	80

Tabelle 15: Übersicht NSO-HET im Nahbereich GZB (RP6 – RP11)

	Vor Zugabe H ₂ O ₂	14 Tage nach Zugabe	Ende April	Nach 6 Monaten Zugabe
Wertebereich NSO-HET [µg/L]	95 – 118	12 – 61	5 – 59	4 – 52
Mittelwert NSO-HET [µg/L]	107	35	25	25

Tabelle 16: Übersicht NSO-HET im Abstrombereich GZB (RP12 – RP16)

	Vor Zugabe H ₂ O ₂	14 Tage nach Zugabe	Ende April	Nach 6 Monaten Zugabe
Wertebereich NSO-HET [µg/L]	50 – 91	26 – 62	31 – 57	1,4 – 41
Mittelwert NSO-HET [µg/L]	72	42	49	20

Tabelle 17: Übersicht NSO-HET an der CP2-3 (B97 – B99, inkl. RP18 – RP30)

	Vor Zugabe H ₂ O ₂	14 Tage nach Zugabe	Ende April	Nach 6 Monaten Zugabe
Wertebereich NSO-HET [µg/L]	1 - 86	22 – 76	2 – 71	15 – 44
Mittelwert NSO-HET [µg/L]	56	57	33	32

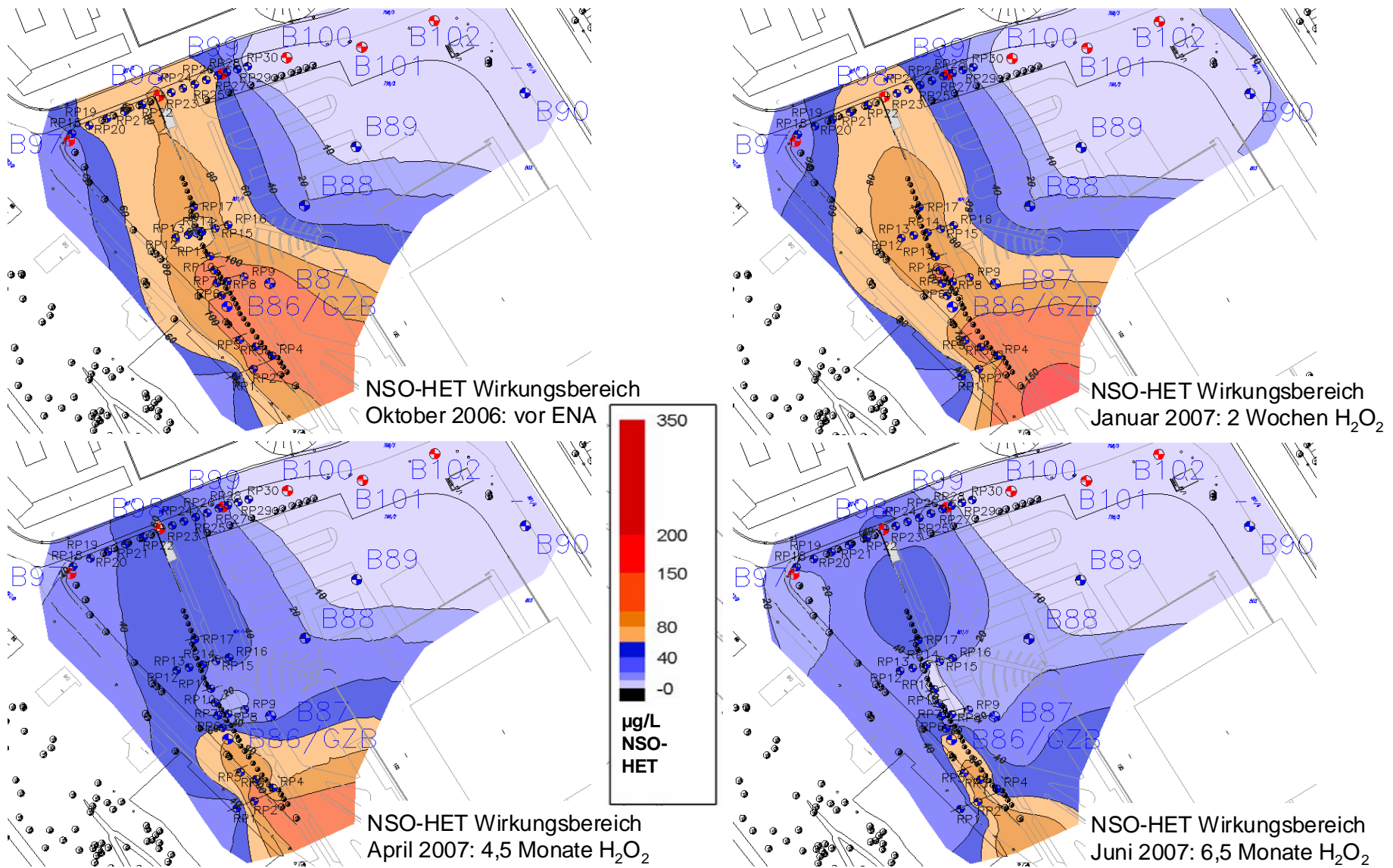


Abbildung 23: Entwicklung der NSO-HET Konzentrationen im Wirkungsbereich bei Zugabe H₂O₂

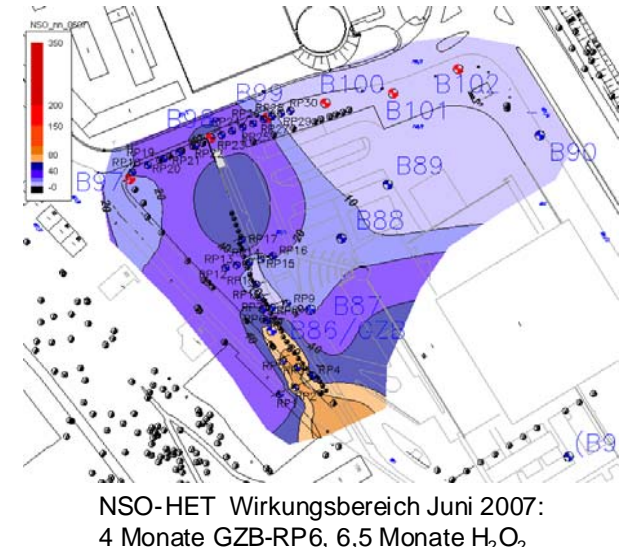
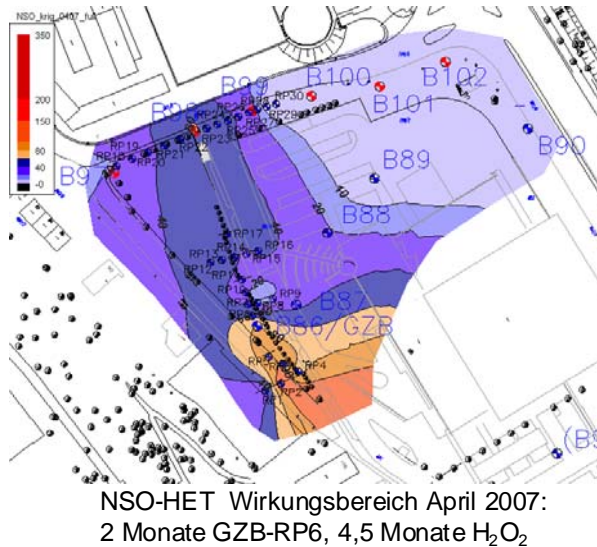
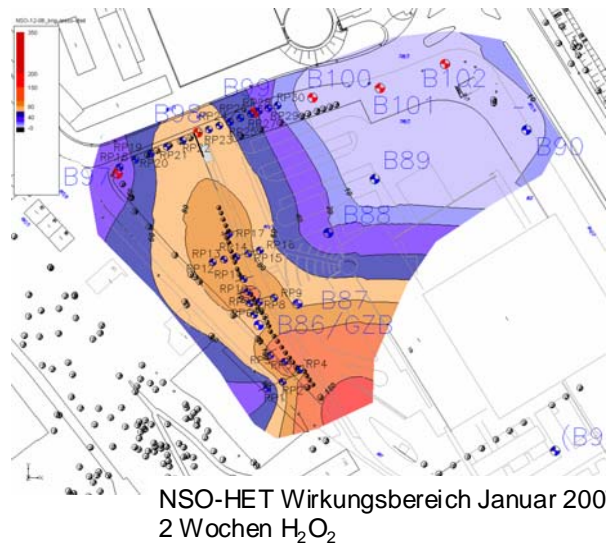
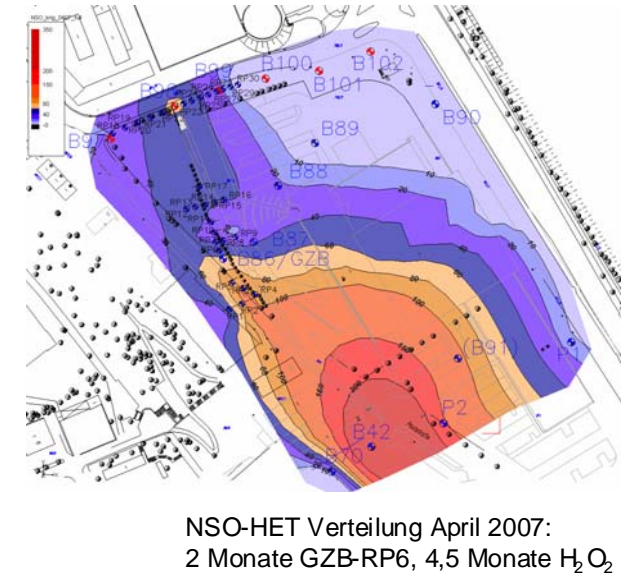
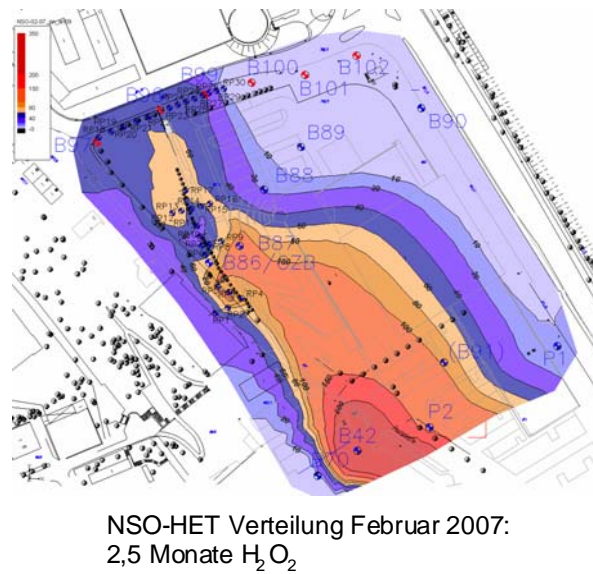
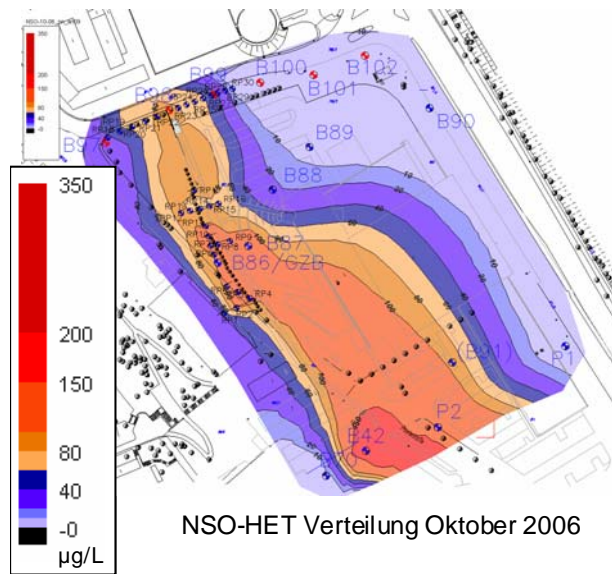


Abbildung 24: Entwicklung der NSO-HET Konzentrationen zu Stichtagsmessungen (oben) und im Wirkungsbereich bei Zugabe H₂O₂

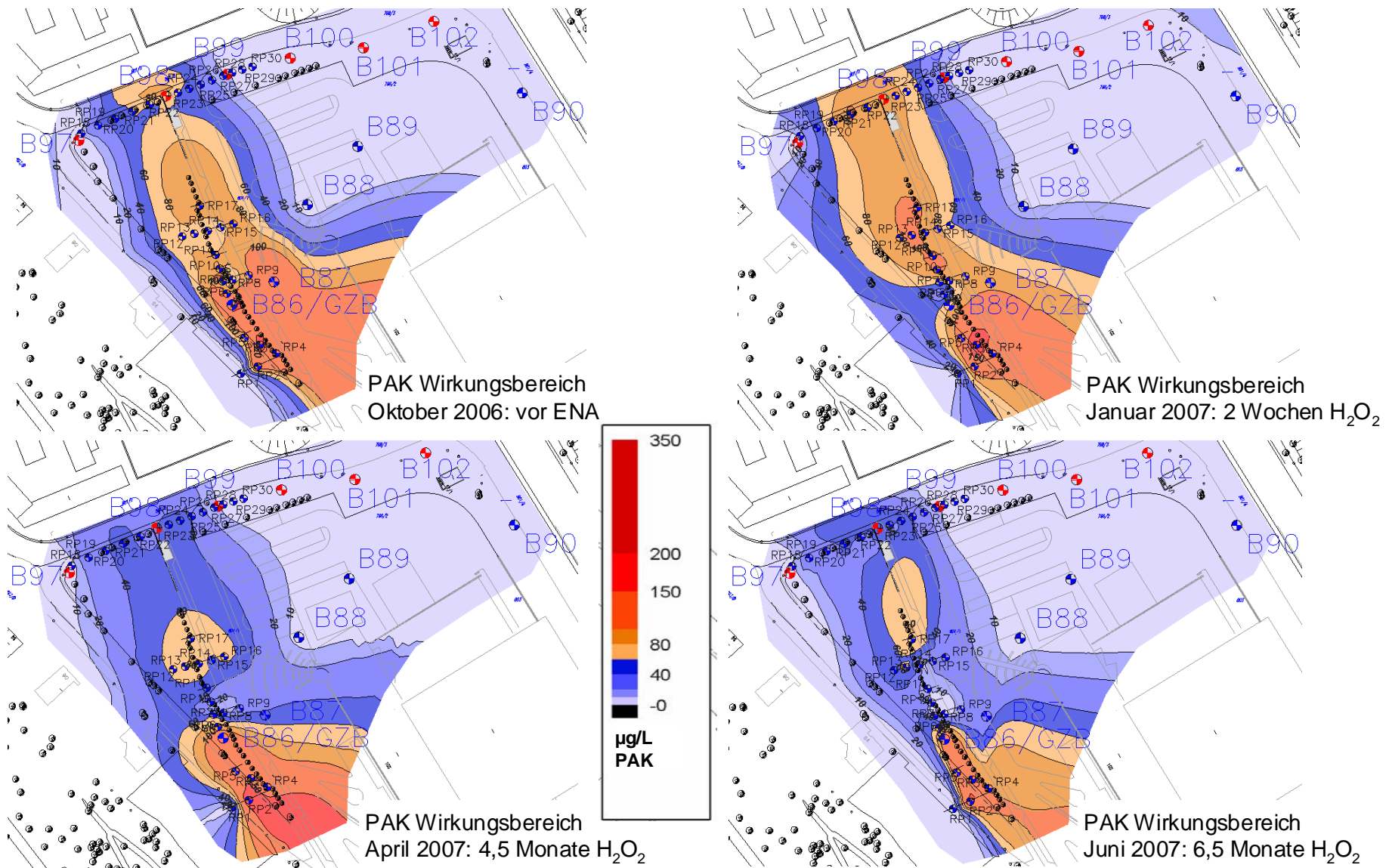


Abbildung 25: Entwicklung der PAK Konzentrationen im Wirkungsbereich bei Zugabe H₂O₂

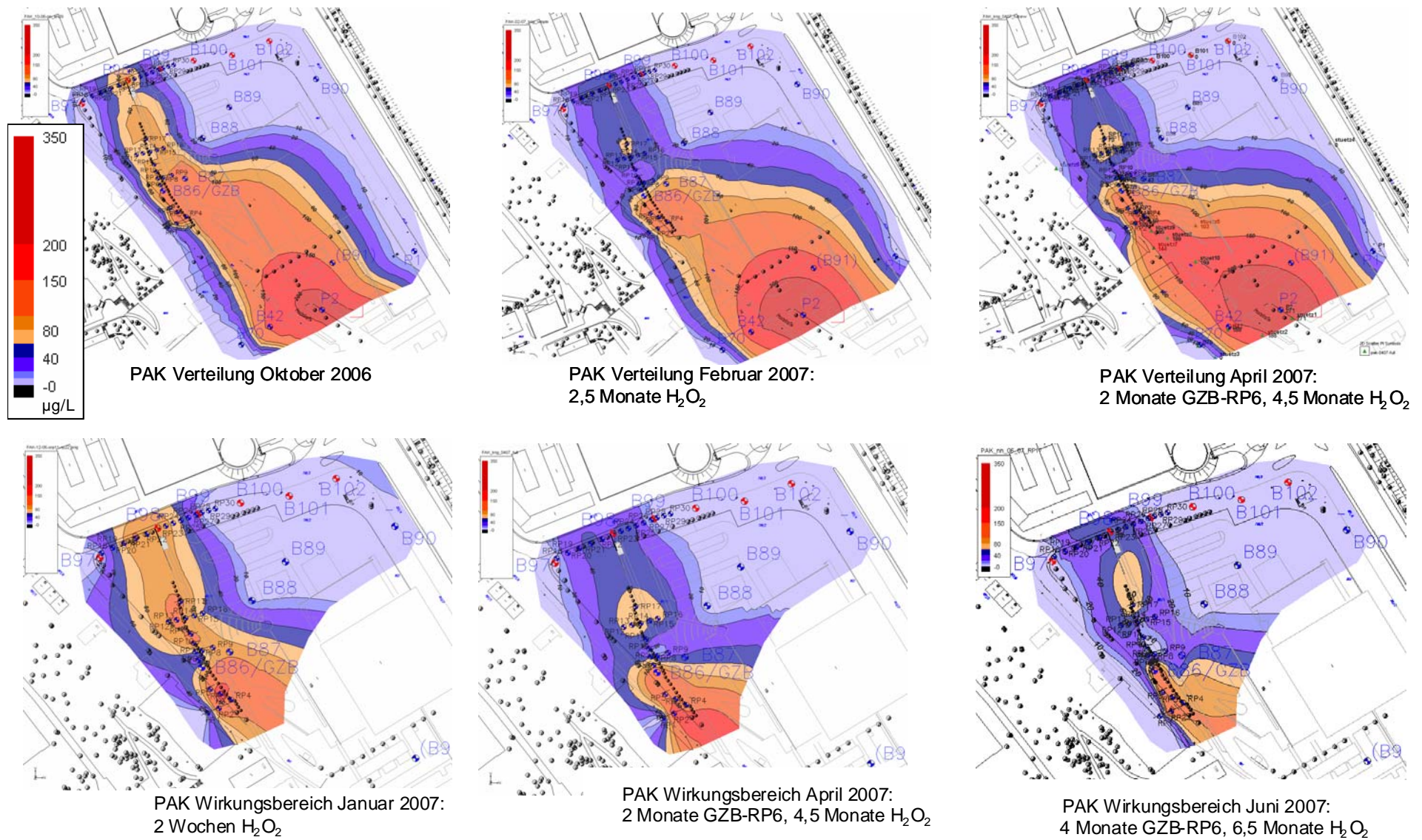


Abbildung 26: Entwicklung der PAK Konzentrationen zu Stichtagsmessungen (oben) und im Wirkungsbereich bei Zugabe H₂O₂

Für die PAK mit dem dominierenden Schadstoff Acenaphthen konnte ein ähnlich gutes Abbauverhalten wie bei den NSO-HET beobachtet werden. Zwei Wochen nach Beginn der H₂O₂-Zugabe konnte zunächst nur im Nahbereich des GZB (RP6-11) ein Abbau beobachtet werden (Abbildung 25 oben rechts).

Der biologische Abbau der PAK entwickelte sich in Folge räumlich langsamer, jedoch stärker als für die NSO-HET. Nach 6 Monaten H₂O₂-Zugabe fielen auch die Konzentrationen im Abstrom des GZB (RP12 – RP 16). An RP17, also 40 m unterstromig des GZB, lagen die PAK-Konzentration auch nach 6 Monaten noch bei 92 µg/L, wobei die PAK-Konzentration an B98 und den umliegenden Rammpegeln RP21 - 23, also ca. 40 m unterstromig von RP17, bei 42 µg/L lag.

Ein zeitlicher Vergleich der Analysenergebnisse an der Kontrollebene CP2-3 zeigt eine geringere mittlere PAK-Konzentration im Oktober 2006 im Vergleich zu den Daten nach 14 Tagen Zugabe von H₂O₂. Diese Beobachtung könnte auf den zeitlichen Versatz durch die Durchströmung des Aquifers mit geringer belastetem Grundwasser aus der initialen Sauerstoffzugabe im August 2006 resultieren. Die Werte aus der Stichtagsbeprobung im Januar 2006 zeigten Konzentrationen zwischen 20 – 103 µg/L, mit einem Mittelwert von 50 µg/L. Die nachfolgenden Tabellen verdeutlichen dies.

Tabelle 18: Übersicht PAK GZB-Entnahme

	Vor Zugabe H ₂ O ₂	14 Tage nach Zugabe	Nach 4 Monaten Zugabe	Nach 6 Monaten Zugabe
Wertebereich PAK [µg/L]	154 – 177	83 – 135	129 – 137	135 – 147
Mittelwert PAK [µg/L]	165	109	133	139

Tabelle 19: Übersicht PAK im Nahbereich GZB (RP6 – RP11)

	Vor Zugabe H ₂ O ₂	14 Tage nach Zugabe	Ende April	Nach 6 Monaten Zugabe
Wertebereich PAK [µg/L]	49 - 115	0,7 – 45	0,1 – 37	0,3 – 9
Mittelwert PAK [µg/L]	76	15	12	3

Tabelle 20: Übersicht PAK im Abstrombereich GZB (RP12 – RP16)

	Vor Zugabe H ₂ O ₂	14 Tage nach Zugabe	Ende April	Nach 6 Monaten Zugabe
Wertebereich PAK [µg/L]	50 – 77	27 – 63	49 – 74	25 – 71
Mittelwert PAK [µg/L]	63	45	60	42

Tabelle 21: Übersicht PAK an der CP2-3 (B97 – B99, inkl. RP18 – RP30)

	Vor Zugabe H ₂ O ₂	14 Tage nach Zugabe	Ende April	Nach 6 Monaten Zugabe
Wertebereich PAK [µg/L]	0,1 - 99	1,2 - 111	0,1 - 81	0,1 - 62
Mittelwert PAK [µg/L]	33	55	26	24

2.6.4. Entwicklung der Keimzahlen

Im Rahmen der Überwachung der Maßnahme wurden in regelmäßigen Abständen auch die im Feld vorhandenen Bakterien bestimmt. Dies erfolgte über ein Kultivierungsverfahren (MPN). Neben den aeroben Gesamtkeimzahlen (GKZ) wurden auch die Schadstoffverwerter und die denitrifizierenden und eisenreduzierenden Bakterien untersucht.

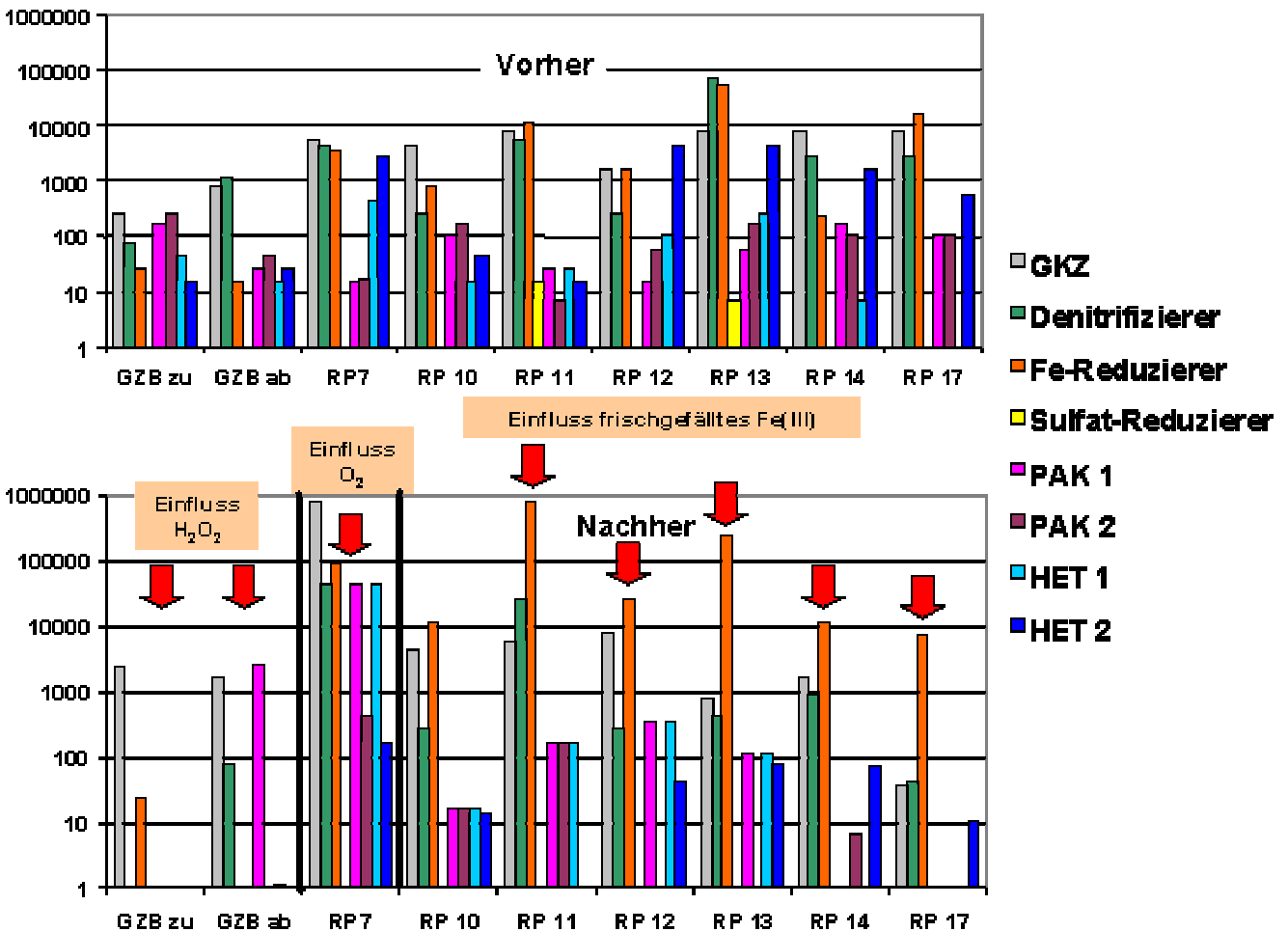


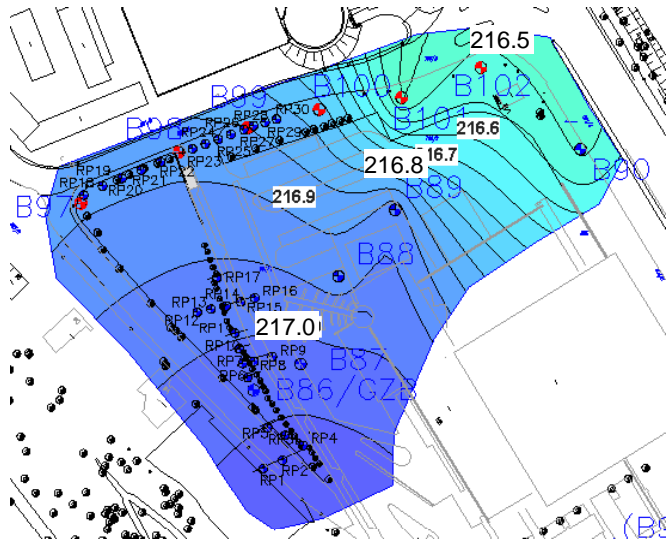
Abbildung 27: Vergleich der Keimzahlen im Wirkungsbereich des GZB vor und nach ENA

Nach Beginn der H₂O₂-Dosierung war im GZB Zu- und Ablauf keiner der Organismengruppen in höheren Konzentrationen mehr vorhanden (Abbildung 27). Dies ist auf die toxische Wirkung des Wasserstoffperoxids zurückzuführen. Es zeigte sich jedoch, dass im direkten Abstrom (RP 7), wo die höchsten Sauerstoffkonzentrationen gefunden wurden, die aeroben GKZ innerhalb des

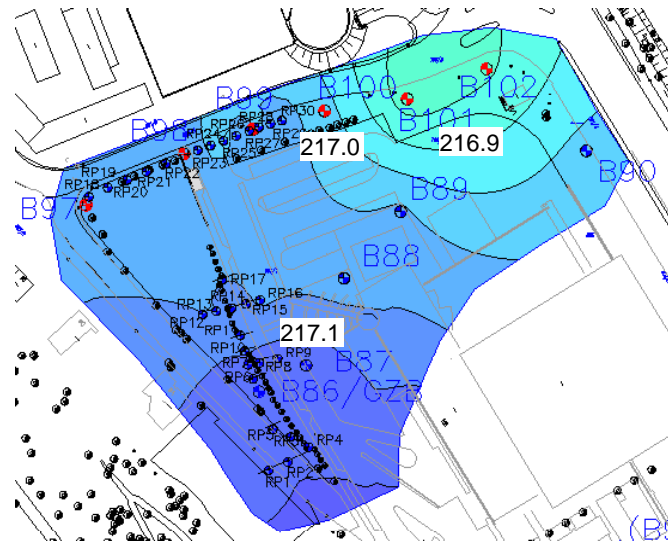
untersuchten Zeitraums von $5,6 \times 10^3$ auf $6,6 \times 10^5$ anstiegen. In ähnlichem Verhältnis stiegen in diesem Bereich auch die Schadstoffverwerter an. In den Bereichen, in denen nach Einleitung von Sauerstoff oder H_2O_2 frisch gefälltes Fe(III) vorlag, konnte eine Zunahme der Eisenreduzierer von fast zwei Zehnerpotenzen ermittelt werden (RP11 – RP17, Abbildung 27). Dies weist auf eine Zehrung des organischen Kohlenstoffs und einer Verwertung der Schadstoffe unter eisenreduzierenden Bedingungen hin. Diese Tatsache stellt einen interessanten Aspekt in Bezug auf eine abwechselnde Betriebsweise des GZB mit und ohne Zugabe von Sauerstoff unter Nutzung des frisch gefällten Eisenhydroxids und der anaeroben Abbau-Prozesse dar.

2.6.5. Einfluss der Zugabe von Wasserstoffperoxid auf den Aquifer

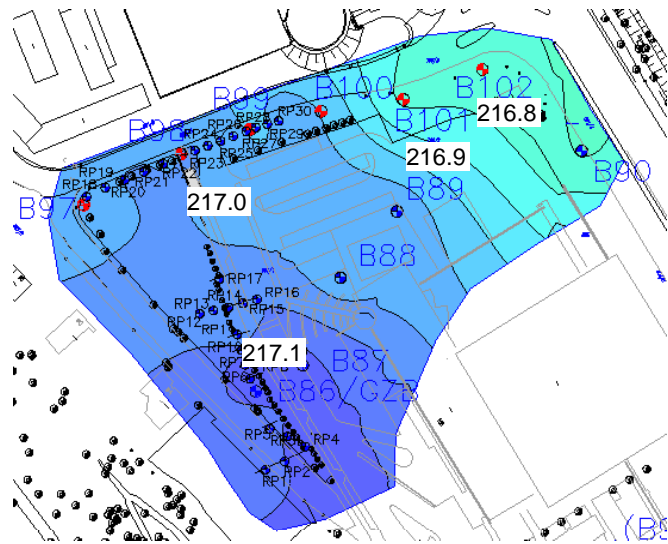
Die Grundwasserstände zwischen CP2 und CP2-3 zeigten zu den Stichtagsmessungen nur einen geringen Schwankungsbereich (s. Abbildung 28). Die Wasserstoffperoxidkonzentrationen lagen zu Beginn der Maßnahme nur am GZB und nach der Änderung des hydraulischen Systems mit Zugabe in RP6 auch in diesem Pegel deutlich über 30 mg/L. In RP7 lag die Konzentration unter 10 mg/L. An den Kontrollpegeln RP5 (oberstromig des GZB) und RP9 wurde über die gesamte Anwendung kein Wasserstoffperoxid gefunden und die Konzentration an RP11 bis RP17 lagen unterhalb von 2 mg/L (s. Abbildung 29). Ein deutlicher Einfluss der Zugabe von Wasserstoffperoxid, bzw. von Sauerstoff infolge der instantanen Umsetzung des Wasserstoffperoxids konnte am Redoxpotenzial auf dem Testfeld beobachtet werden, s. Abbildung 31. Die weiteren Feldmessgrößen wie die Leitfähigkeit, die Wassertemperatur und der pH-Wert zeigten indifferente Veränderungen (Abbildung 31 bis Abbildung 34).



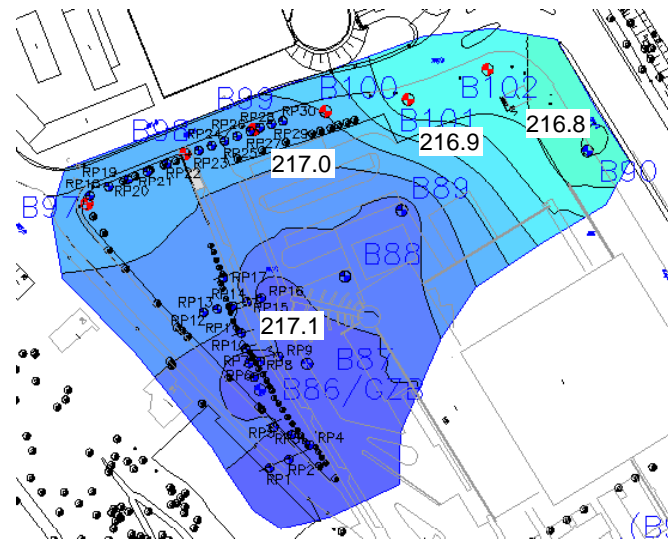
Grundwasserstände im April 2006



Grundwasserstände im Oktober 2006



Grundwasserstände im Februar 2007



Grundwasserstände im Juni 2007

Abbildung 28: Grundwasserstände im Bereich zwischen CP2 und CP2-3

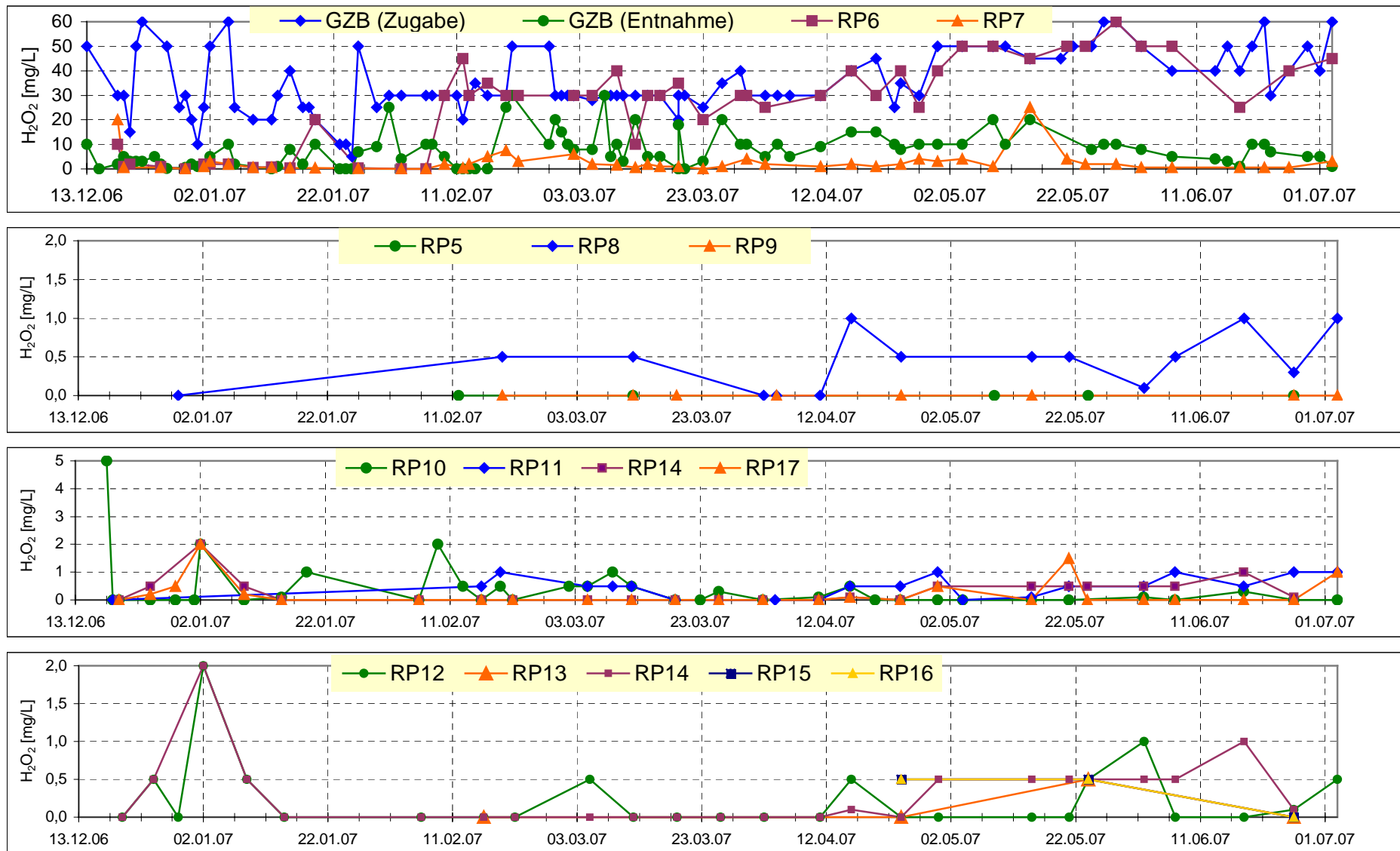


Abbildung 29: H_2O_2 -Konzentrationen am GZB und im Nahbereich

Ähnlich der Verteilung des Redoxpotenzials und des Sauerstoffs entwickelte sich der Eisengehalt im Grundwasser. In Folge der Abtrennung von Eisen im GZB und der Schaffung oxidierender Bedingungen fielen die unterstromigen Eisengehalte ab. Auffällig ist der laterale Rückgang der Eisengehalte im Bereich von RP12 – RP16, bzw. in östlicher Richtung bis zu B88, die der Sauerstoffausbreitung entspricht.

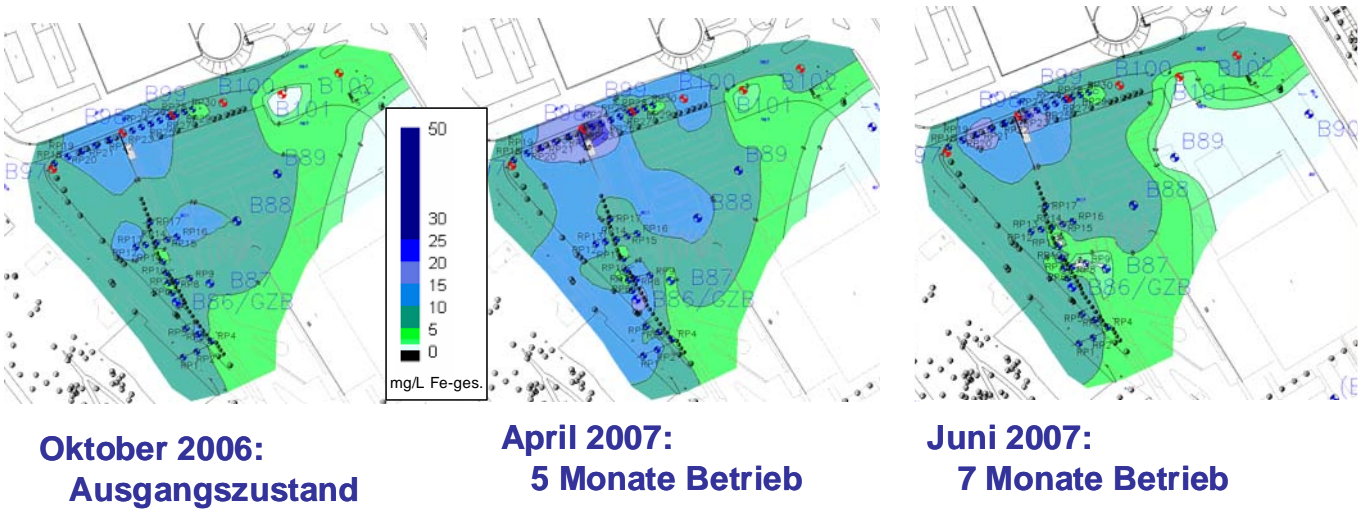
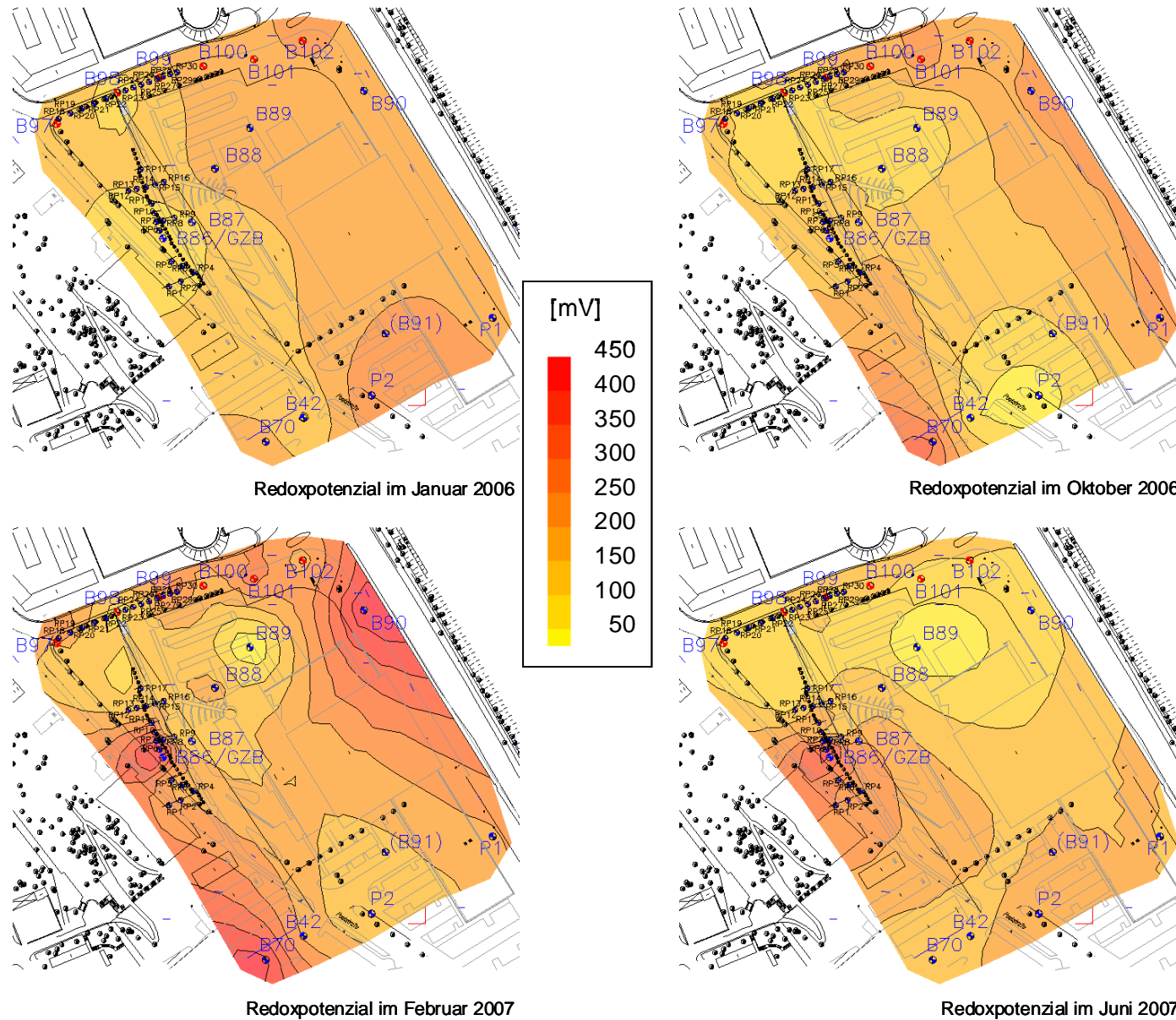


Abbildung 30: Zeitlicher Verlauf der räumlichen Verteilung an Fe_{gesamt}

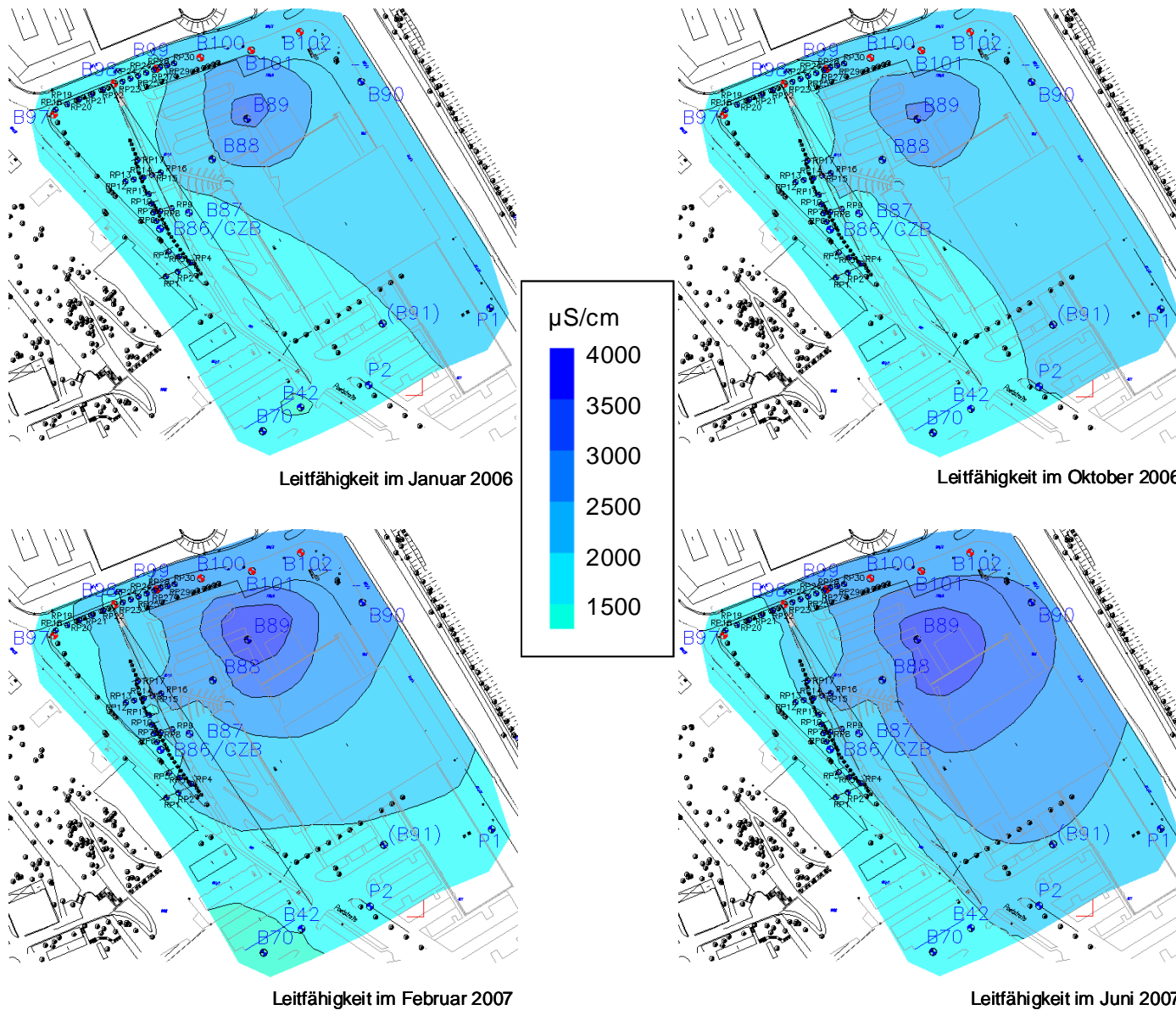
Der direkte Vergleich der Eisenkonzentrationen vor Beginn und zum Ende der Maßnahme zeigt verringerte Konzentrationen im Bereich der mit Sauerstoff erschlossenen Bereiche an, wohingegen im weiteren Abstrom eine deutliche Erhöhung vorlag. Die höchsten Eisengehalte wurden zum Ende der Anwendung an der Kontrollebene CP2-3 bestimmt. Hier liegt die Vermutung der Reduktion des über die Sauerstoffzugabe zu Fe(III) oxidierten Fe(II) durch mikrobielle Aktivitäten nahe, wie sie auch im direkten Abstrom der Schadensquelle erfolgt und zur Freisetzung des löslichen Fe(II) führt.



Entsprechend den natürlichen Abbauprozessen lagen die höchsten Redoxpotenziale auf dem Testfeld in Bereichen geringer Schadstoffkonzentrationen.

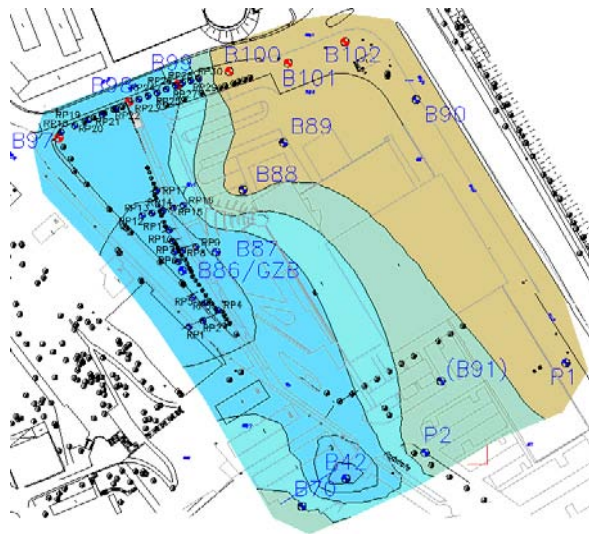
Insbesondere parallelstromig zum Neckar und im Bereich des Einflusses von Hangwasserzutritt um B70 sind Werte größer 250 mV bei geringen Schadstoffgehalten anzutreffen. Mit Beginn der Zugabe von Wasserstoffperoxid (Abbildung 31, unten) konnte eine deutliche Erhöhung um den GZB und im direkten Unterstrom bis auf Höhe des Querriegels RP12 – RP16 analog den Sauerstoffkonzentrationen bestimmt werden. Im Nahbereich des GZB (RP6, RP7 – RP11), wurden die höchsten Werte auf dem Testfeld bestimmt.

Abbildung 31: Redoxpotenzial im Testfeld an Stichtagsmessungen

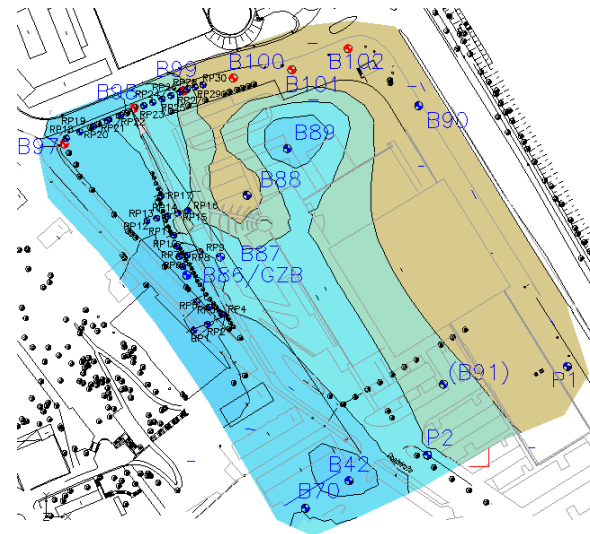


Grundsätzlich zeigt die zeitliche Entwicklung einen Anstieg der Leitfähigkeit im Testfeld auf. Eine klare Zuordnung kann nicht erfolgen, jedoch scheint die Zunahme der Leitfähigkeit ausgehend von einem Mineralwasserzustrom aus einem vermuteten Gipskeuper Aufbruch im Bereich von B89 nach Westen zur Centerline zu wandern (Abbildung 32, unten).

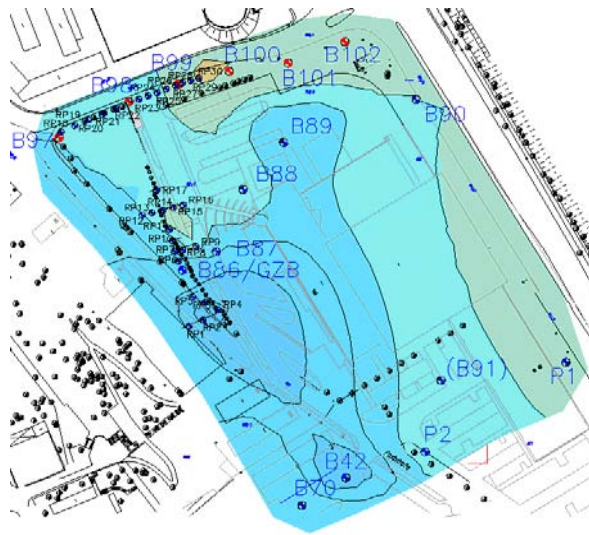
Abbildung 32: Leitfähigkeit im Testfeld während Stichtagsmessungen



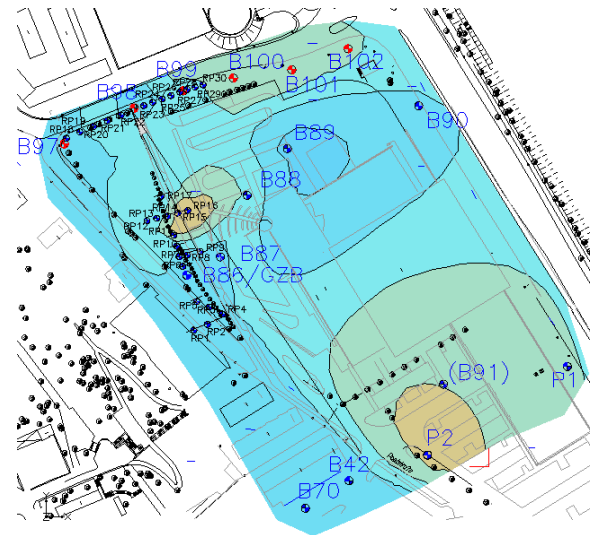
pH-Wert im Januar 2006



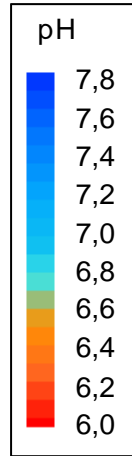
pH-Wert im Oktober 2006



pH-Wert im Februar 2007

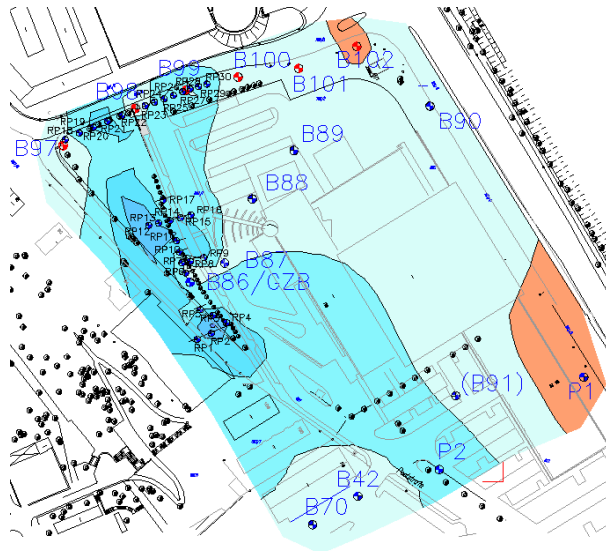


pH-Wert im Juni 2007

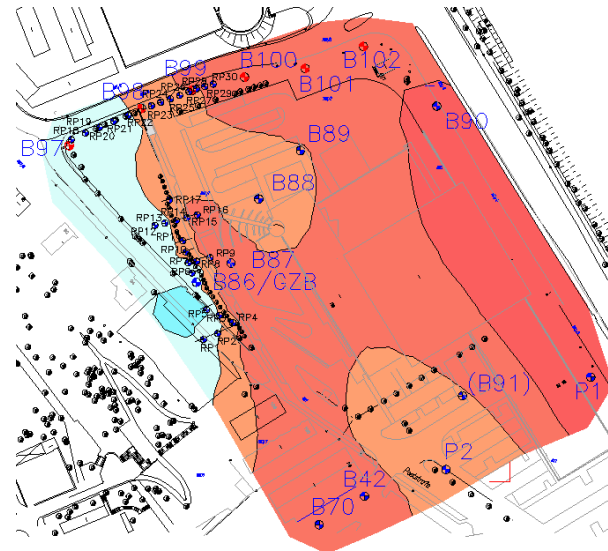


Insgesamt stieg der pH-Wert im Bereich des Testfelds über die Zeit leicht an. Bei insgesamt neutralen Bedingungen, konnten leicht verringerte Werte am Kontrollquerschnitt RP12 – RP16 bestimmt werden. Inwieweit dies auf mikrobielle Aktivitäten, bzw. geochemische Prozesse, wie die Reduktion des Fe(III) zu Fe(II) zurückzuführen ist, bleibt ungeklärt (Abbildung 33, unten).

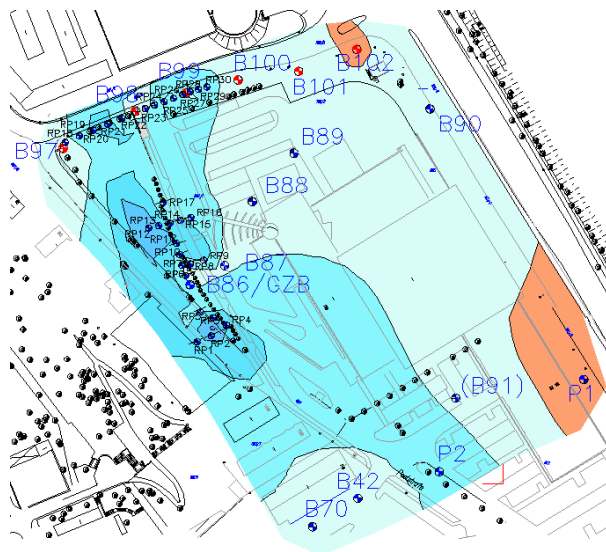
Abbildung 33: pH-Wert im Testfeld während Stichtagsmessungen



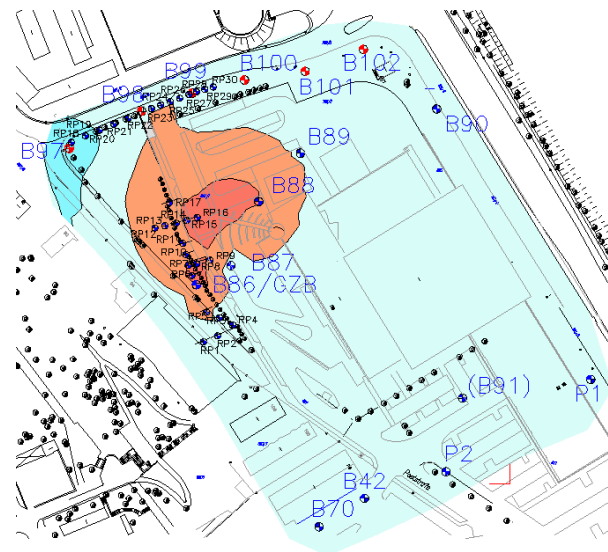
Wassertemperatur im Januar 2006



Wassertemperatur im Oktober 2006



Wassertemperatur im Februar 2007



Wassertemperatur im Juni 2007

Die Temperaturmessungen zeigten für die Sommermonate grundsätzlich höhere Werte auf. Aufgrund der Messung der Wassertemperatur nach Förderung des Grundwassers an der Atmosphäre können Quereinflüsse der Umgebungstemperatur nicht von der Hand gewiesen werden. Auffällig sind die erhöhten Temperaturen unterstromig des GZB im Juni 2007 (Abbildung 34, unten). Die durch mikrobielle Aktivitäten erzeugte Erhöhung der Wassertemperatur kann thermodynamisch gesehen nicht die Ursache einer Temperaturerhöhung um 1 – 2 K sein, wenngleich dies als Indiz zu werten wäre.

Abbildung 34: Wassertemperatur im Testfeld während Stichtagsmessungen

2.7. Schadstofffrachten und räumliche Konzentrationsverteilung nach der ENA-Maßnahme

Zur Kontrolle und Verifizierung der ENA-Maßnahme wurde die integrale Erkundung (Frachtbestimmung über IPVs) in dem von dem Grundwasserzirkulationsbrunnen erfassten Abstrombereich wiederholt, d.h. an der Kontrollebene CP2 Ersatz an der Grundwassermessstelle B86 mit dem GZB und an der neuen Kontrollebene CP2-3 im Bereich der von der Messstelle B86 ausgehenden, von der Integralmessung an B86 erfassten Stromröhre (Bestimmung über numerische Modellierung). Die Situation ist in Abbildung 35 dargestellt. Für die Beschreibung der Pumpversuche wird auf den technischen Bericht ZAG BA/3255-2007 „Dokumentation von 2 Pumpversuchen im Abstrom des Geländes Gaswerk Gaisburg in Suttgart-Ost“ der Universität Tübingen, bzw. Göttingen verwiesen.

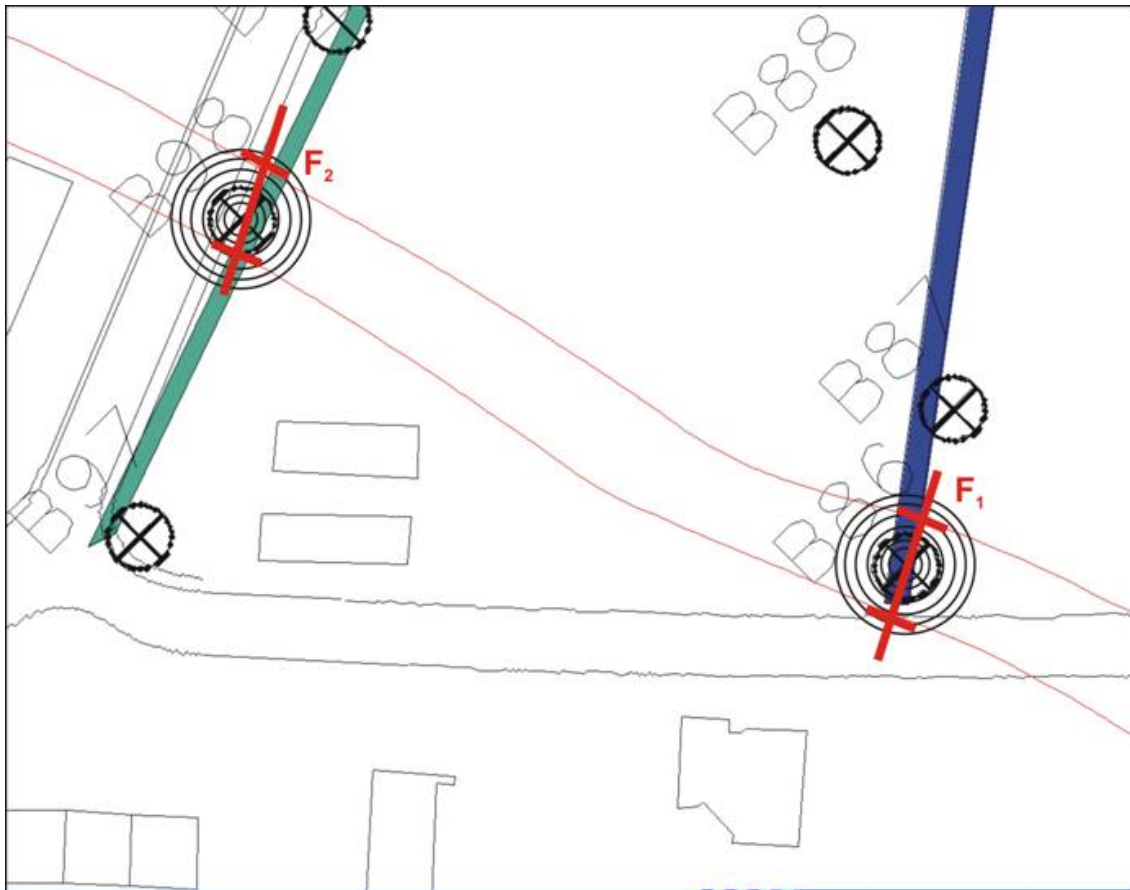


Abbildung 35: Immissionspumpversuche mit Erfassungsbereich zur Quantifizierung der Frachtreduktion durch die ENA-Maßnahme

Durch den Vergleich der Frachtabnahmen zwischen den beiden Teil-Kontrollebenen vor und nach der ENA-Maßnahme lässt sich der Erfolg der ENA überprüfen. Die Auswertung der IPVs (s. Bockelmann et al., 2001) führt zur Bestimmung der Natural-Attenuation-Ratenkonstanten 1. Ordnung (λ) für die Hauptkontaminanten Acenaphthen, Methylbenzofurane und

Dimethylbenzofurane. Die Ergebnisse bestätigen eine signifikante Erhöhung der Frachtabnahme durch den GZB-Betrieb mit H₂O₂-Zugabe und eine Verdopplung der NA-Ratenkonstanten.

Tabelle 22: NA-Ratenkonstanten

λ [d ⁻¹]	2006	2007
Acenaphthen	0,00187	0,00413
Methylbenzofurane	0,00512	0,01143
Dimethylbenzofurane	0,00275	0,00448

Im Untersuchungszeitraum wurden die Schadstofffrachten um mehr als 50% reduziert. Bei Fortführung der ENA-Maßnahme ist eine weitere Frachtreduzierung zu erwarten (Szenariomodellierung unter Berücksichtigung reaktiver Transportprozesse).

2.8. Einsatz numerischer Simulationen zum Einsatz des GZB während der Pilotanwendung TFS

Die Dimensionierung und hydraulische Auslegung des GZB zur Pilotanwendung auf dem Testfeld Süd erfolgte analog der Vorgehensweise beim Experiment in der VEGAS Rinne über den Aufbau eines kleinräumigen numerischen Modells des Testfelds (Software Modflow2000 u. MTD3D: GMS 6.0 ©, Brigham Young University, Utah USA). Die numerische Simulation des GZB in B86 (Abbildung 38) mit einem Durchsatz von 10 m³/h ergab einen Erfassungsbereich der gesamten Aquifermächtigkeit von 8 – 10 m. Dieser Durchsatz war Grundlage zur Bemessung der Dosierungsanlage, der Auswahl der Anlagenteile und der Bestimmung der erforderlichen Menge an Wasserstoffperoxid als Elektronenakzeptor.

Das „numerische Modellgebiet“ (Abbildung 36) umfasst eine Fläche von ca. 8 ha (400 x ca. 200 m) und ist begrenzt im Westen durch den Talrand des Neckartals, im Osten durch den Neckar, im Norden durch die Kontrollebene CP3 und im Süden durch die Kontrollebene CP1. Entsprechend den hydrogeologischen Gegebenheiten ist der südliche und nördliche Rand des Modells über eine Festpotenzial-Bedingung (constant head) definiert. Die angesetzten Wasserstände entsprechen den Pegelständen einer Stichtagsmessung im Februar 2004. Während der Kalibrierung des Modells wurden die Wasserstände vom Januar 2006 implementiert, die lediglich Änderungen im cm-Bereich im Vergleich zu den Daten aus 2004 zeigten.

Der östliche Modellrand wurde aufgrund der Abspundung des Neckars, bereichsweise bis auf den Aquitard (Rote Mergel, Bochinger Horizont) und der vorhandenen Staustufe im Neckar als Festpotenzialrand (river) definiert, wobei sich durch die Implementierung der Spundwände im südlichen Bereich geringe diffuente und im nördlichen Bereich geringe effluente Bedingungen für den Grundwasserfluss in Richtung Neckar ergeben.

Entsprechend der geologischen Struktur des Neckartalabbruchs im westlichen Modellrand wurden grundsätzlich no-flow-Bedingungen eingestellt. Der Hangwasserzutritt in das Neckartal wurde über einen seitlichen Zufluss (river) in der Dimension von ca. 20% des gesamten Grundwasserflusses auf 2 der insgesamt 9 vertikalen Modellebenen (Layer) im Bereich der Grundwasserhöhe realisiert. Zudem liegen geologische Störungen, sogenannte Klingen im Bereich des Neckartalabbruchs vor. Grundwasser (Gipskeuper) und Hangwasser fließt über diese Störungen lokal in die Neckaraue ab. Der Wasserzutritt über die Klingen wurde über Kalibrierung des Modells auf ca. 30% des Grundwasserflusses bestimmt.

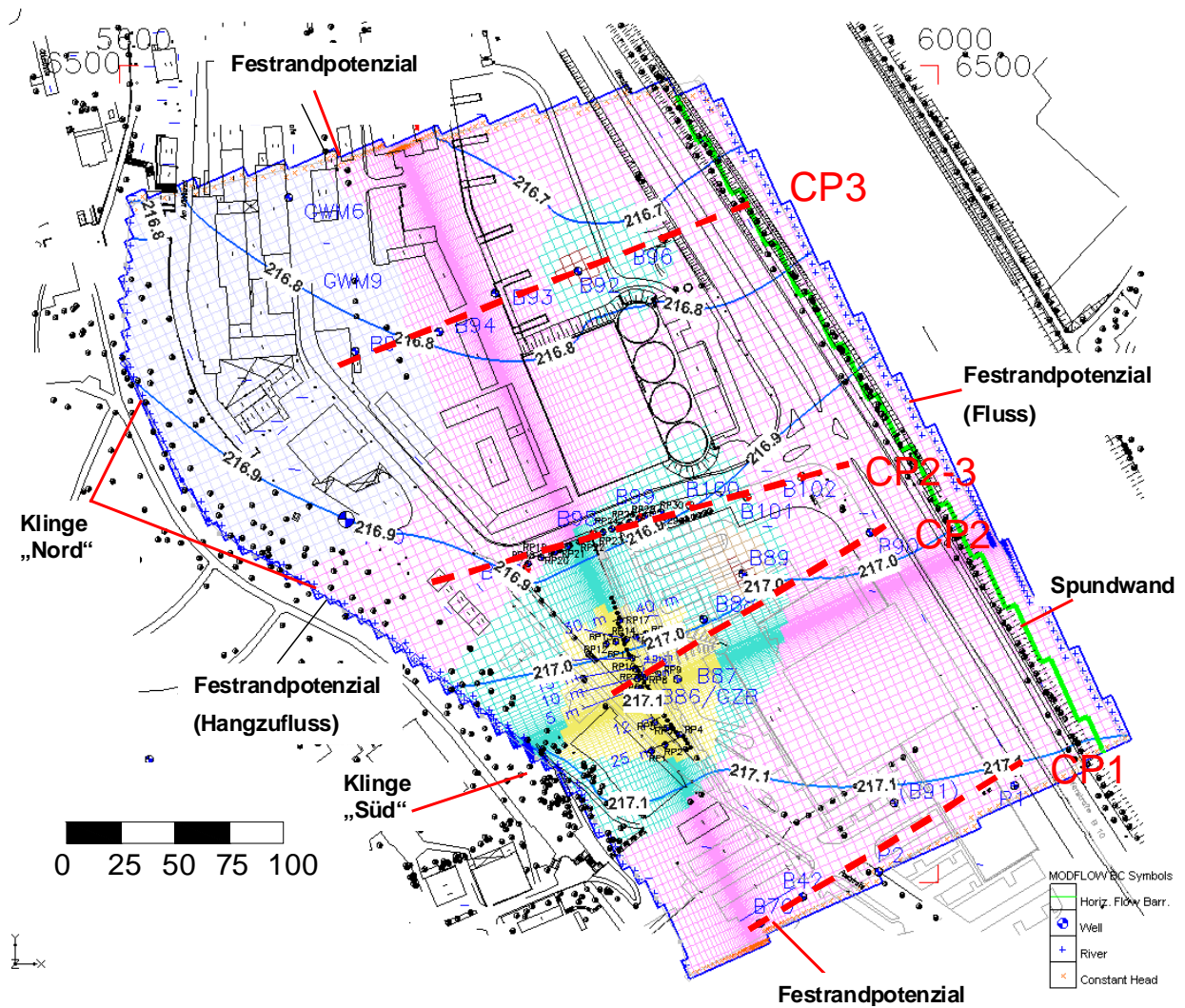


Abbildung 36: Aufsicht Numerisches Modell TFS

Die Zellgröße im Modell lag bei durchschnittlich 5 x 5 x 0,75 m (L x B x H) und wurde im Bereich des GZB (B86) auf 0,15 x 0,15 x 0,5 m zur Simulation des Brunnens verfeinert. Insgesamt waren 9 Modellebenen über eine Mächtigkeit von ca. 5 m angeordnet. Die Struktur der Layer konnte über eine GMS-implizierte Interpolation der Bodenbeschaffenheit und –art entsprechend den geologischen Bodenansprachen der Brunnenbohrprofile nachgebildet werden und schließt die Bestimmung, bzw. Abschätzung der hydraulischen Leitfähigkeit der Sedimente (Neckarkiese, Sande, Lehme), bzw. verwitterten Festgesteine (Rote Mergel) ein. Ein Querschnitt in Ost-West-Richtung durch den Modellaquifer auf Höhe der Kontrollebene CP2 verdeutlicht dies.

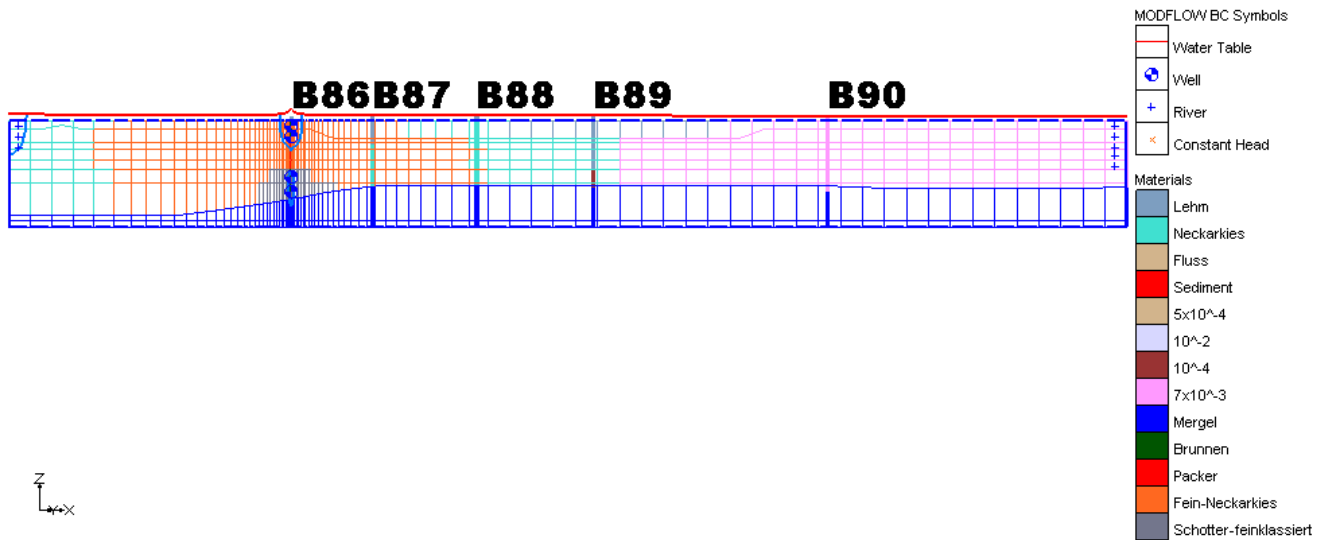


Abbildung 37: Querschnitt durch das numerische Modell

Die Kalibrierung des numerischen Modells erfolgte über die gemessenen Grundwasserstände (Stichtagsmessung) unter Berücksichtigung der Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeiten (Pumpversuche in Grundwassermessstellen), sowie der geologischen Schichtenlagerung des Untergrundes.

Der Einzugsbereich des GZB für eine Förderrate von 10 m³/h (Entnahme im unteren Filterbereich, Zugabe oben) betrug im kalibrierten Modell ca. 10 m. Entlang der simulierten Grundwasserströmungsrichtung ausgehend vom GZB wurde die „Centerline“ der Grundwasserpegel (RP) zur Bestimmung der Wirksamkeit der ENA-Maßnahme errichtet.

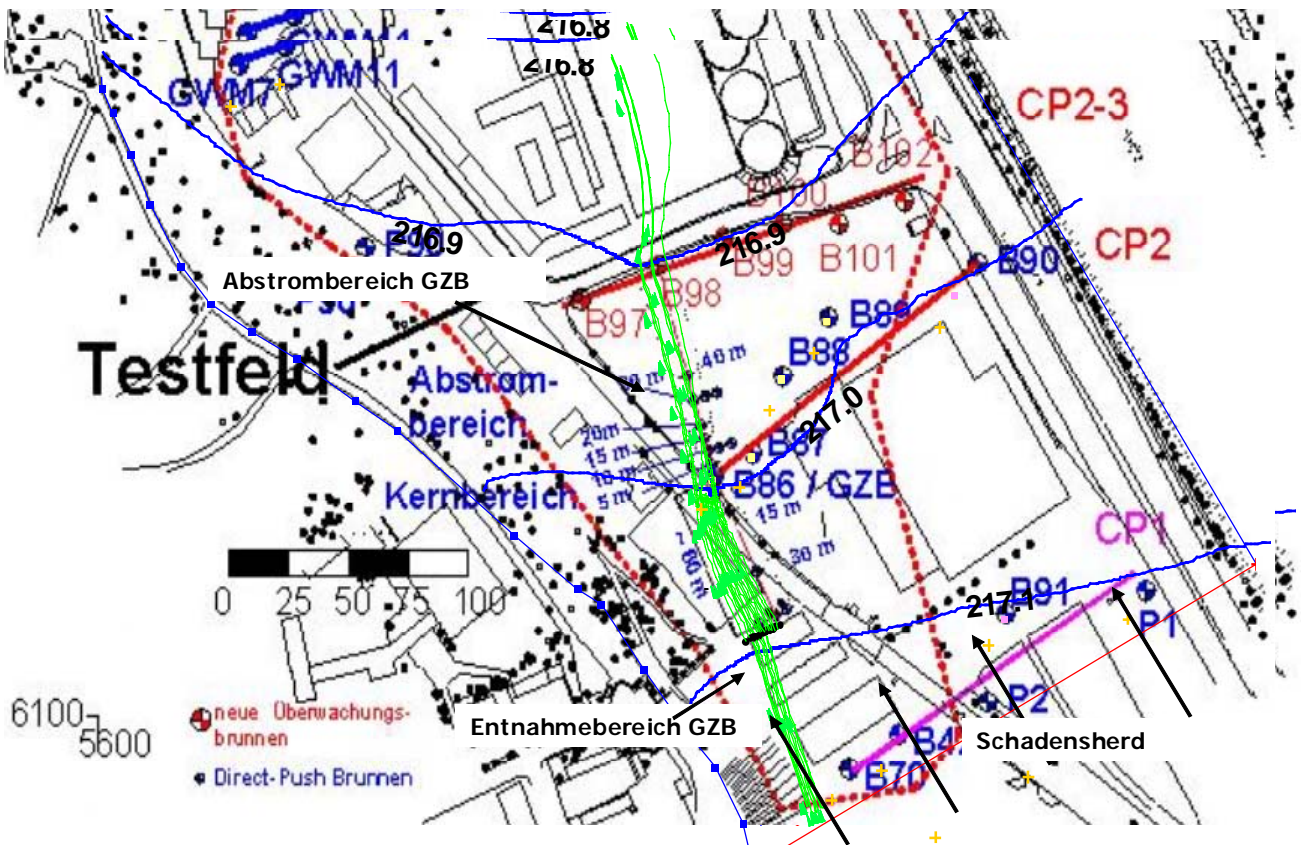


Abbildung 38: Numerische Simulation des GZB mit 10 m³/h Förderrate

Der tatsächliche Einzugsbereich des GZB und die Grundwasserströmungsrichtung konnten im Rahmen von drei Markierungsversuchen mit Zugabe des konservativen Tracers Uranin in oberstromig des GZB gelegene Pegel (RP2, 3 und 4) bestimmt werden. Die Tracertests dienten der Diskretisierung der Modellzellen im Einzugsbereich des GZB und entlang der Grundwasserhauptströmungsrichtung ausgehend vom GZB. Das kleinräumige numerische Modell wurde somit validiert, angepasst und verifiziert.

Die Tracertests zeigten, dass selbst mit einer Förderrate des GZB von ca. 4 m³/h eine oberstromige Erfassungsbreite um 18 - 20 m erzielt wird. Das Strömungsmodell wurde entsprechend den Durchbruchzeiten über Veränderung der vertikalen Anisotropie des Aquifers (1 → 6) und der Porosität (0,25 → 0,15) im Bereich von B86 – B87 angepasst.

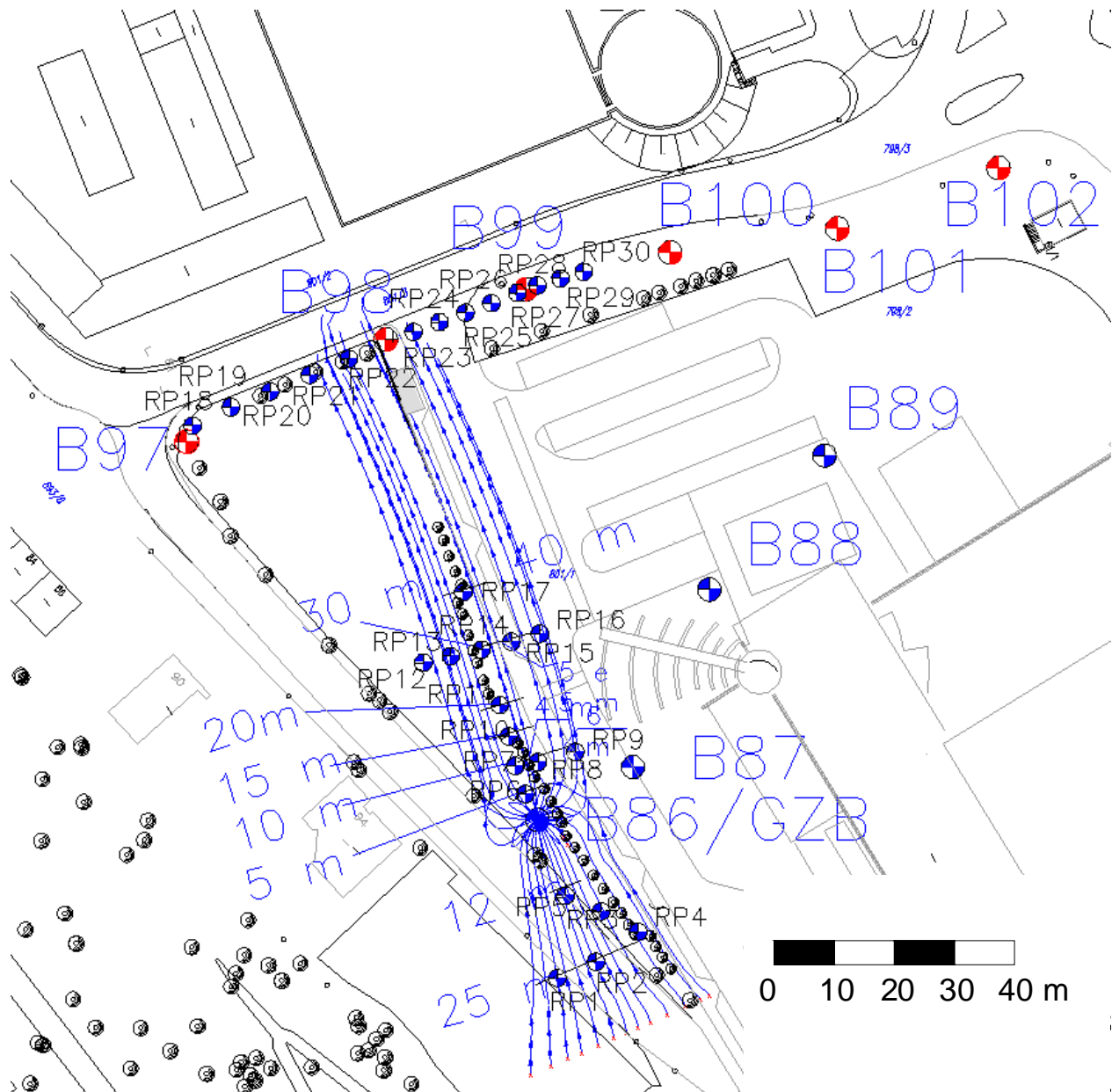


Abbildung 39: Numerische Simulation des GZB nach Markierungsversuchen

Zur Simulation der vergleichsweise kurzen Durchbruchzeit des Tracers am GZB (B86) wurde zudem die hydraulische Leitfähigkeit im unteren Bereich des geringmächtigen Aquifers (ca. 3,5 m Mächtigkeit) von 2×10^{-3} m/s auf 7×10^{-3} m/s erhöht.

Das validierte numerische Modell wurde im Verlauf der ENA-Pilotanwendung auf dem Testfeld eingesetzt, um die Auswirkungen der geänderten Betriebsweise des GZB mit Zugabe eines Teilstroms des entnommenen Grundwassers in den Pegel RP6 zu bestimmen. Die Änderung der Betriebsweise war infolge der Verockerung des Zugabefilterbereichs des GZB erforderlich geworden. RP6 ist im Abstand von 5 m unterstromig des GZB abgeteuft und wurde als Satellitenbrunnen betrieben. In diesem Bereich wurde die Zellgröße nochmals auf 5 x 5 cm (L x B) verfeinert, um den Pegel in 1 ½“-Ausführung als Infiltrationsbrunnen modellieren zu können.

- Entnahme GZB unten: $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$
- Zugabe GZB oben: $0,5 - 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$
- Zugabe RP6: $0,6 - 0,7 \text{ m}^3/\text{h}$

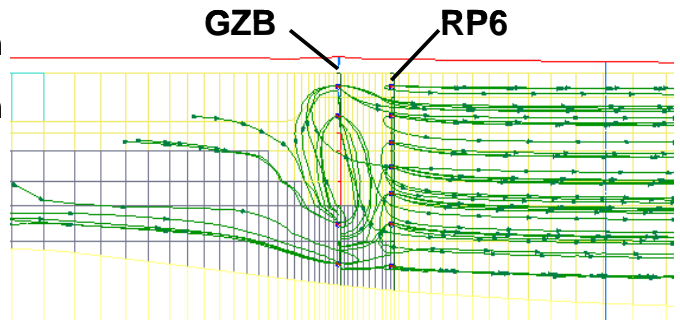
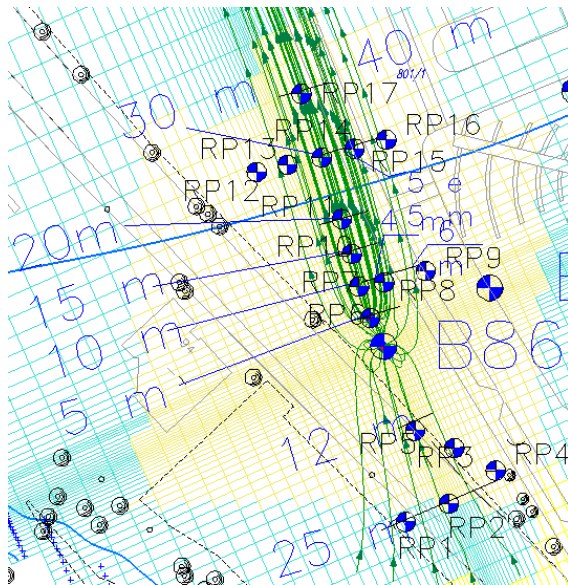


Abbildung 40: Numerische Simulation der geänderten Betriebsweise des GZB (Februar 2007)

Die Strömungssimulation zeigte selbst für den minimierten Durchsatz des GZB mit einer Entnahmerate von $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ und einer gleichmäßigen Aufteilung der Zugabe in den GZB und in RP6 eine Erfassungsbreite von 14 m . Die Abgabebreite war mit 16 m größer als die Entnahmebreite, was in der Bildung eines Staupunkts der Infiltration in RP6 und einem angenommenen Wechsel in der hydraulischen Durchlässigkeit unterstromig des GZB begründet liegt. Im Querschnitt betrachtet (Abbildung 40, rechts) kann man im unteren Bereich des Aquifers die Rückströmung des in RP6 infiltrierten, mit Wasserstoffperoxid aufkonzentrierten Grundwasser erkennen. Dies war ein wichtiger Aspekt in der Aufrechterhaltung der umlaufenden Strömungswalze zur Einmischung von H_2O_2 und führte zur Dimensionierung der in beide Brunnen infiltrierten Wassermengen.

Das aufgebaute Grundwassermodell konnte nach Abschluss der Pilotanwendung zur hydraulischen Auslegung einer ENA-Demonstrationsanwendung und der Planung einer „ENA-Komplettsanierung“ eingesetzt werden. Ziel des Modelleinsatzes sind die Bestimmung der erforderlichen Anzahl an GZB, bzw. Satelliten-Infiltrationsbrunnen, der erforderlichen Durchflüsse und der zu erwartenden Erfassungs- und Abgabebreiten. Zudem sollte der Bedarf an Wasserstoffperoxid zur 40 und 80%-igen Erfassung der Schadstofffahne ermittelt werden.

Auf Wunsch des Standorteigners wurde ein Demonstrationsprojekt mit einer Laufzeit von zwei Jahren dimensioniert. In der Demonstrationsphase sollten ca. 40 % der Schadstofffahne erfasst

werden, mittels H_2O_2 über eine automatisierte Anlage das Grundwasser aerobisiert und der NSO-HET Abbau kontrolliert werden.

Strömungstechnisch genügt zur Erfassung von 40% der Schadstofffracht eine Verdoppelung der Entnahmerate am GZB (2,7 m^3/h) und eine annähernd gleichmäßige Zugabe in den oberen Filterbereich des GZB (0,5 m^3/h), in RP6 (0,6 m^3/h) und in RP8 und RP9 mit je 0,8 m^3/h .

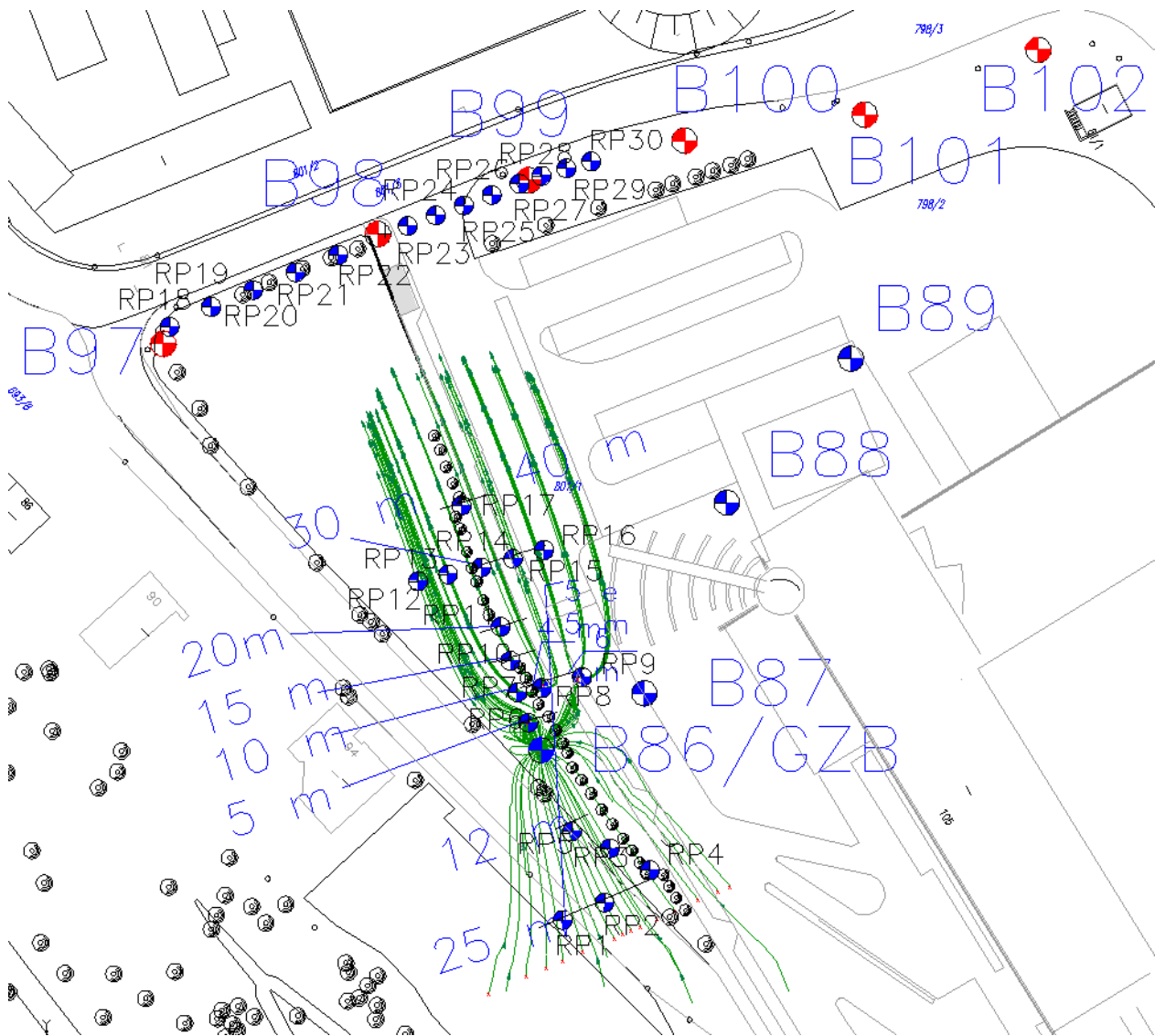


Abbildung 41: Strömungssimulation der Demonstrationsphase mit Erfassung von 40% der Schadstofffracht

Die Erfassungsbreite würde mit ca. 30 m etwa verdoppelt und die Zugabebreite des homogen eingemischten aerobisierten Grundwassers läge zwischen 30 - 35 m.

Zur Planung einer „ENA-Gesamtsanierung“ wurde die Erfassung von ca. 80% der Schadstofffracht angesetzt. Die entsprechende hydraulische Simulation basiert auf der Installation eines zweiten GZB in der vorhandenen Grundwassermessstelle B87 und der Aufteilung der Injektionsströme auf insgesamt vier Pegel. Zwei neue Pegel (RP31 und RP32) müssten installiert werden. Der gesamte

Entnahmestrom läge bei 4 m³/h, die einzelnen Fördermengen sind nachfolgend zusammengestellt. Die Erfassungs- und Zugabebreite läge um 40, bzw. 50 m.

Tabelle 23: Fördermengen der einzelnen Brunnen zur Planung ENA

Ort	Art	m³/h
B86	Entnahme GZB	-1.9
B86	Zugabe GZB	0.5
RP6	Zugabe RP6	0.6
RP9	Zugabe RP9	0.8
B87	Entnahme GZB	-2.1
B87	Zugabe GZB	0.5
RP31	Zugabe RP31	0.8
RP32	Zugabe RP32	0.8

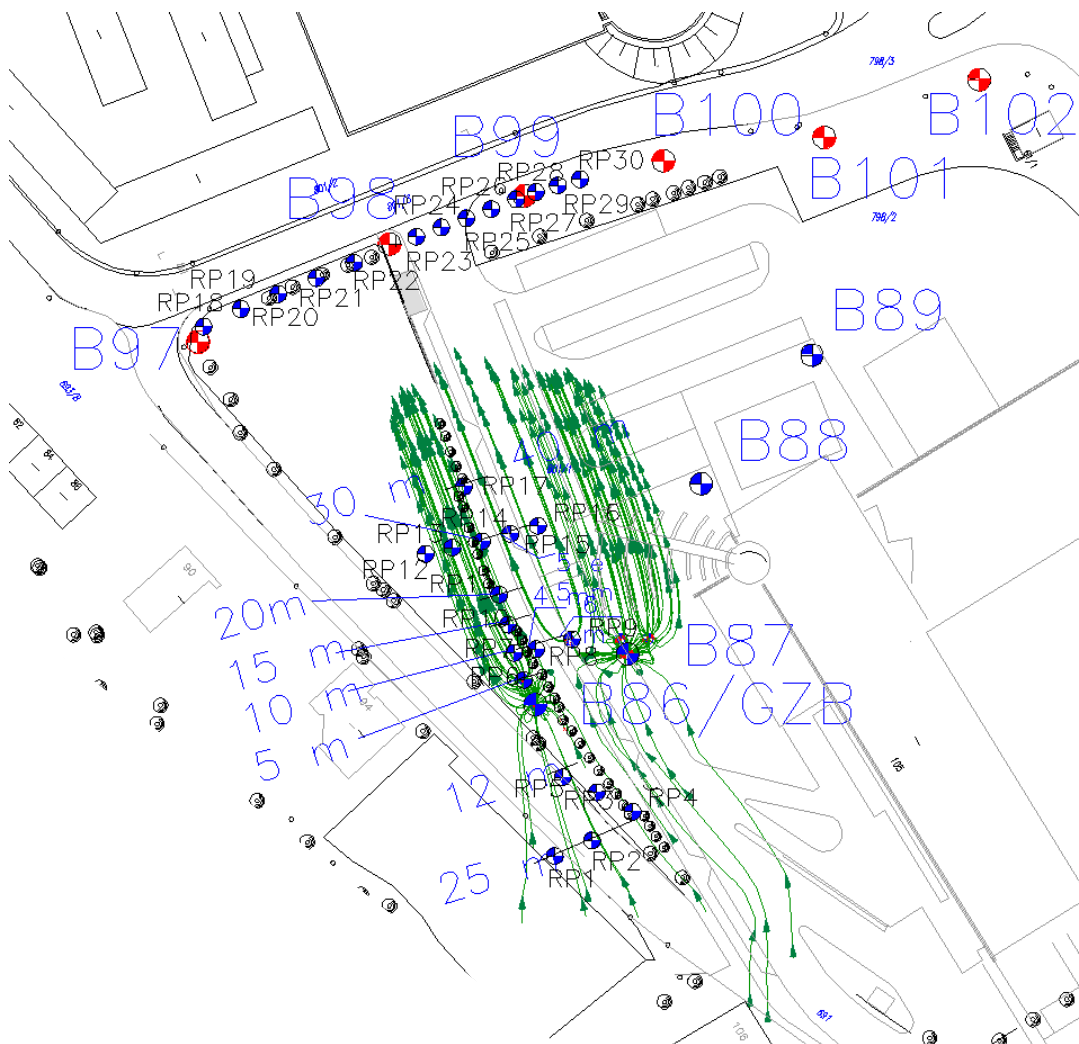


Abbildung 42: Strömungsmodellierung zur Erfassung von 80% der Schadstofffracht

3. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der am Standort verfolgte ENA-Ansatz konnte verwirklicht werden. Die Kombination der Methoden zur Bestimmung der Schadstofffrachten mittels Immissionspumpversuchen, die Durchführung von Tracerversuchen zur Bestimmung des Wirkungsbereichs des GZB, die Installation von kleinskaligen Rammpegeln zur Überwachung der Wirksamkeit der Maßnahme („Centerline“-Methode), die Steigerung des aeroben biologischen Abbaus von NSO-HET mittels Zugabe von Wasserstoffperoxid und die Methodik zur Auswahl und Umsetzung der effektiven Einmischung von Elektronenakzeptoren mittels eines GZB, waren der Schlüssel zum Erfolg. Das Ziel einer deutlichen und konstanten Reduzierung der Schadstofffrachten konnte im Rahmen der Pilotanwendung am Standort innerhalb von 6 Monaten erreicht werden. Die Schadstoffkonzentrationen im Wirkungsbereich der Pilotanwendung (Fahnenbreite ca. 30 - 40 m) konnten zwischen 55 – 80% reduziert werden.

Detaillierte Aussagen über die Aerobisierung des Aquifers, die Schadstoffverteilung sowie die Verteilung von gelöstem Eisen konnte mit Hilfe kleinkalibriger Rammpegel getroffen werden. Die vergleichsweise günstig zu installierenden Pegel dienen der räumlichen, genauen Auflösung von Schadstoffkonzentrationen ohne Störung der natürlichen Strömungsverhältnisse.

Die Grundlagenuntersuchungen im Modellaquifer „Große Rinne“ waren hinsichtlich der Entwicklung, numerischen Simulation und dem Langzeittest der Infiltrationstechnik erforderlich. Über Veränderung der Art und Menge des Elektronenakzeptors (Luftsauerstoff, Wasserstoffperoxid und Sulfat) konnte der Nachweis der Wirksamkeit der Technologie mit Abbauraten größer 95% erbracht werden. Der im Rahmen der Untersuchungen festgestellte Zerfall von Wasserstoffperoxid zu Wasser und Sauerstoff im annähernd stöchiometrischen Verhältnis im Bereich der Strömungswalze des GZB führte zur wasserrechtlichen Genehmigungsfähigkeit des Verfahrens. Derselbe Zerfall konnte in der Pilotanwendung nachgewiesen werden.

Im Gegensatz zu den Bedingungen im Testfeld Süd erfolgte der Betrieb des GZB in der VEGAS Rinne unproblematisch. Ursache war der geringe Eisengehalt des eingesetzten Wassers.

Problematisch für den Einsatz des GZB, bzw. aller Injektionsmethoden von Wasserstoffperoxid (Sauerstoff) ist der hohe Eisengehalt im Grundwasser der Schadstofffahne. Die während der Pilotanwendung gemessenen Gehalte lagen um 15 mg/L Eisen. Analysenergebnisse aus den Jahren vor Beginn der Pilotanwendung lagen kleiner 1 mg/L Eisen. Die aus den hohen Eisengehalten resultierende Verockerung des Filternahbereichs führte zu einem starken Rückgang des infiltrierbaren, mit Wasserstoffperoxid versetzten Grundwassers. Die auf Dauer infiltrierbare Grundwassermenge sank um einen Faktor 5 – 20 ab. Als praktikable Methode zur Steigerung und Aufrechterhaltung der erforderlichen Mindestfördermenge (Erfassungsbereich 12 – 15 m) hat sich die Installation, bzw. Nutzung von kleinskaligen Infiltrationsbrunnen im unterstromigen Bereich der

Zirkulationswalze des GZB erwiesen. Grundsätzlich ist bei Anwendung aerobisierender ENA-Maßnahmen eine Aufbereitungsstufe zur Enteisung des geförderten Grundwassers vorzusehen. Alternative Technologien, bei denen das Grundwasser nicht gefördert, mit Wasserstoffperoxid oder Sauerstoff versetzt und re-infiltriert wird, wie z.B. ORC oder Infiltrationslanzen bieten keine Möglichkeit der Enteisung. Die Gefahr der In-Situ-Eisenausfällung ist hierbei stets gegeben. In passiv arbeitenden Systemen, wie „reaktive Wände“ ist ähnlich dem GZB die Möglichkeit der Enteisung über die Installation von Schräglamellenabscheidern gegeben.

Während der Zugabe von Wasserstoffperoxid konnte eine in Strömungsrichtung „wandernde Eisenwand“ mit Ausfällung von Eisen in den Rammpegeln beobachtet werden. Diese Beobachtung ging einher mit der Entwicklung der Sauerstoffkonzentrationen (Aerobisierung des Aquifers). Das ausgefallene dreiwertige Eisen kann durch die Mikroorganismen als Elektronenakzeptor beim anaeroben Abbau der NSO-HET genutzt werden und trägt zur Reduktion der Schadstofffracht bei. Ein Einfluss auf die Grundwasserhydraulik wird vermutet und wird über die transversale Ausbreitung der Aerobisierung indiziert. Anhand der Grundwasserstände in den Beobachtungsbrunnen konnte ein Nachweis der Änderung der Grundwasserströmung nicht erbracht werden.

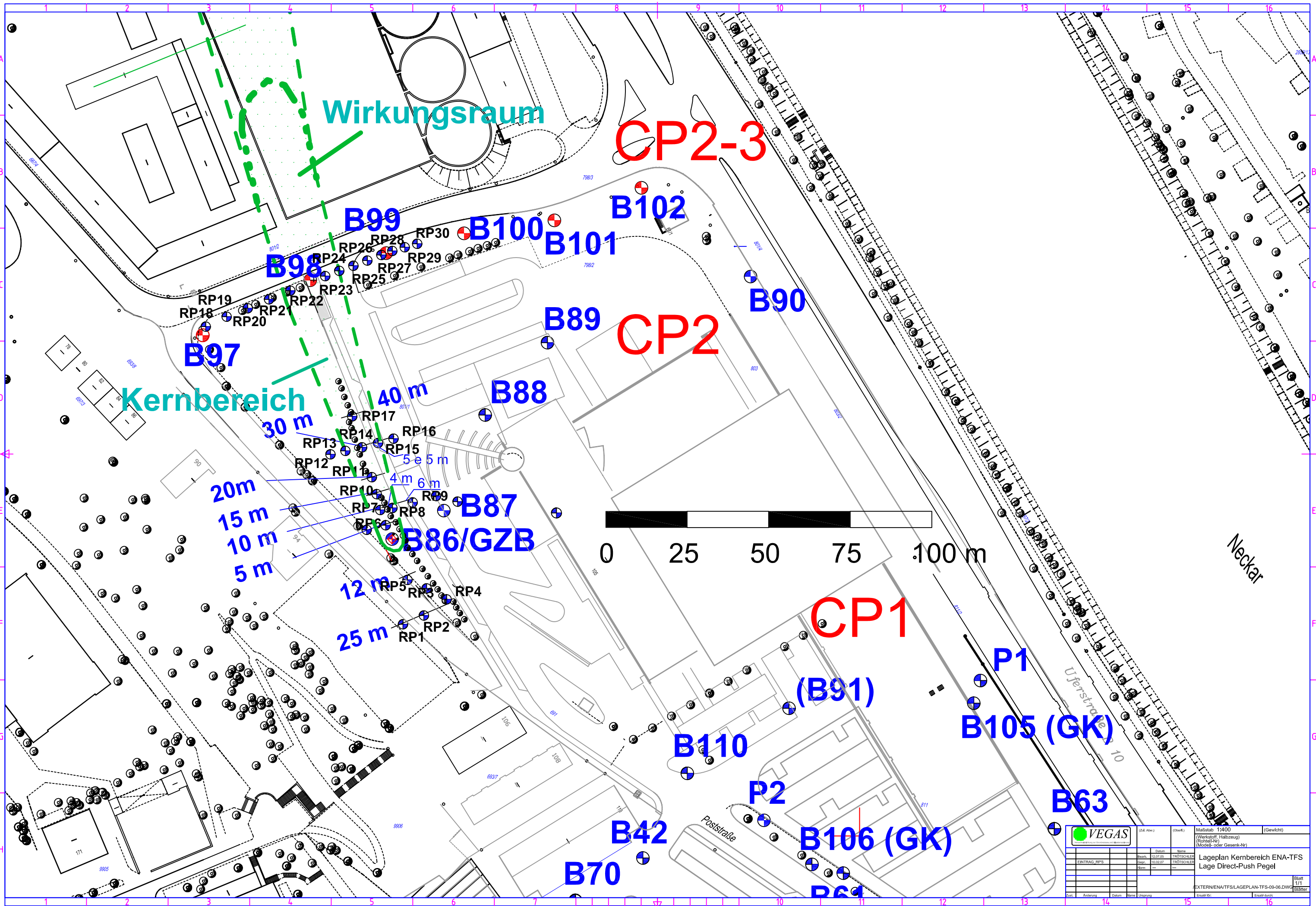
Zur hydraulischen Bemessung und Auslegung eines Grundwasserzirkulationssystems hat sich die Nutzung eines dreidimensionalen Strömungsmodells (MODFLOW2000) als geeignet erwiesen. Nach Aufbau eines standortbezogenen, mittelskaligen Modells ist die Kalibrierung, bzw. Adaption anhand von Tracerversuchen angeraten, um den Betrieb von ggf. mehreren erforderlichen GZB-Systemen gesichert zu dimensionieren.

Der Einsatz von Immissionspumpversuchen zur Quantifizierung der Schadstofffrachten anhand von Kontrollebenen ist für gut durchlässige Aquifere geeignet. Es können genaue Aussagen über Schadstofffrachten und die Förderung von biologischen Abbauprozessen getroffen werden. Im Rahmen der Pilotanwendung konnte sowohl ein natürlicher Abbau der NSO-HET zwischen den Kontrollebenen CP2 und CP2-3 nachgewiesen werden, als auch eine Verdoppelung der Abbaurate durch die ENA-Maßnahme.

4. ANHANG

- A1 Lageplan TFS
- A2 Probenahmeplan ENA-TFS
- A3 Kontinuierliche Wasserstandsmessung TFS
- A4 Koordinaten Messstellen und Grundwasserstände Wirkungsbereich GZB (Angaben in m. NN)
- A5 Vor-Ort-Werte
 - A5.1: pH-Wert
 - A5.2: Redoxpotenzial
 - A5.3: Sauerstoffgehalt
 - A5.4: Temperaturwerte
 - A5.5: Leitfähigkeit
 - A5.6: Wasserstoffperoxid
- A6 Analysenergebnisse der Probennahmen
 - A6.1: Summe der heterozyklischen Kohlenwasserstoffe
 - A6.2: Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe
 - A6.3: Summe BTEX
 - A6.4: Summe CKW
 - A6.5: Eisengehalt
- A7 Ausbauplan Grundwasserzirkulationsbrunnen
- A8 Monatliche Analysen der relevanten Wasserinhaltsstoffe des GZB

A1 Lageplan TFS

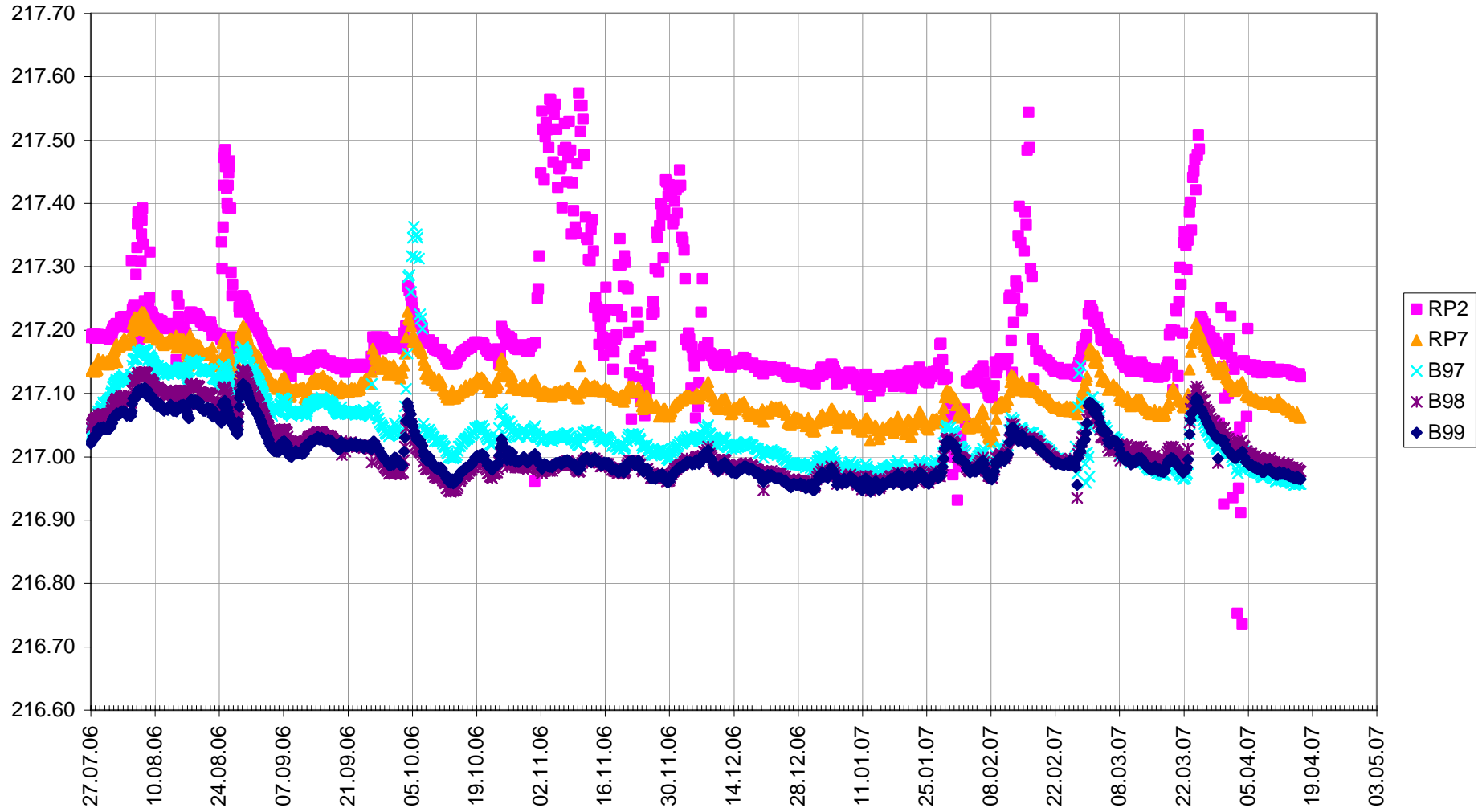


VEGAS		(Zust. Abw.)	(Vorbere.)	Masstab: 1:400	(Gewicht)
				(Werkstoff-Hilfszeug) (Rohentwurf)	
				(Model- oder Gesenk-Nr)	
ENTRAG RPS	Bezd.	Datum	Name	Lageplan Kernbereich ENA-TFS Lage Direct-Push Pegel	
	Gepr.	11.02.07	TRÖTSCHLER		
			Erstellt durch:	Blatt 1/1	
			Erstellt durch:	Blätter	

A2 Probenahmeplan ENA-TFS

A3 Kontinuierliche Wasserstandsmessung TFS

Wasserstände [m. NN]



A4 Koordinaten Messstellen und Grundwasserstände Wirkungsbereich GZB (Angaben in m. NN)

Grundwasserstand

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	POK	18. - 20.01.06		21.04.06		25.10.06		20.12.06	
				Abstich in m	GW über NN	Abstich in m	GW über NN	Abstich in m	GW über NN	Abstich in m	GW über NN
B42	3515933,00	5406091,00	220,30	3,19	217,11	3,20	217,10	3,13	217,17		
B70	3515911,70	5406079,50	220,45	3,30	217,15	3,30	217,16	3,21	217,24		
B87	3515872,67	5406199,56	220,95	3,90	217,06	3,93	217,03	3,81	217,14		
B88	3515885,43	5406228,98	221,36	4,49	216,87	4,51	216,86	4,34	217,02		
B89	3515904,41	5406251,04	220,26	3,31	216,96	3,33	216,94	3,19	217,07		
B90	3515967,52	5406271,35	220,51	3,73	216,78	3,93	216,59	3,64	216,87		
P1*	3516037,00	5406149,00	221,02	3,33	217,70	3,91	217,11	2,37	217,05		
P2	3515971,00	5406105,00	220,46	3,29	217,17	3,31	217,16	3,36	217,10		
RP1	3515860,06	5406164,90	220,35					3,22	217,13	4,32	216,03
RP2	3515866,47	5406167,58	220,23					3,08	217,15	3,20	217,03
RP3	3515867,29	5406175,88	220,58					3,44	217,14	3,53	217,05
RP4	3515873,44	5406172,53	220,91					3,77	217,14	3,85	217,06
RP5	3515861,44	5406178,49	220,06					2,96	217,10	3,30	216,76
RP GZB	3515857,17	5406192,49	221,41							3,40	218,01
RP GZB2	3515858,45	5406191,05	221,76								
GZB	3515856,74	5406191,02	220,64	3,58	217,06						
RP6	3515854,76	5406195,48	220,75					3,60	217,15	3,70	217,05
RP7	3515853,08	5406199,92	220,81					3,66	217,15	3,72	217,09
RP8	3515856,83	5406200,54	220,84					3,71	217,13	3,78	217,06
RP9	3515853,10	5406199,90	220,61					3,48	217,13	3,55	217,06
RP10	3515852,01	5406204,77	220,80					3,72	217,08	3,80	217,00
RP11	3515850,51	5406209,98	220,70					3,63	217,07	3,72	216,98
RP12	3515837,84	5406216,97	220,49					3,44	217,05	3,50	216,99
RP13	3515842,41	5406218,04	220,60					3,55	217,05	3,62	216,98
RP14	3515847,52	5406219,12	220,67					3,60	217,07	3,70	216,97
RP15	3515852,41	5406220,44	220,42					3,36	217,06	3,45	216,97
RP16	3515857,16	5406221,79	220,38					3,34	217,04	3,42	216,96
RP17	3515844,50	5406228,62	220,61					3,56	217,05	3,60	217,01
B97	3515798,68	5406253,48	220,03	3,09	216,94	3,14	216,89	3,00	217,03	3,10	216,93
RP18	3515799,62	5406256,13	219,84					2,82	217,02	2,90	216,94
RP19	3515806,01	5406259,17	219,85					2,82	217,03	2,95	216,90
RP20	3515812,48	5406261,75	219,88					2,85	217,03	3,02	216,86
RP21	3515819,00	5406264,49	219,88					2,86	217,02	2,93	216,95
RP22	3515825,53	5406267,14	219,89					2,88	217,01	2,98	216,91
B98	3515831,64	5406270,35	219,87	2,92	216,95	2,99	216,88	2,83	217,04	2,94	216,93
RP23	3515836,22	5406271,60	219,82					2,80	217,02	2,87	216,95
RP24	3515840,53	5406273,23	219,96					2,98	216,98	3,04	216,92
RP25	3515844,86	5406274,78	219,99					3,00	216,99	3,08	216,91
RP26	3515849,13	5406276,39	220,18					3,17	217,01	3,25	216,93
RP27	3515853,43	5406278,08	220,26					3,25	217,01	3,35	216,91
B99	3515854,88	5406278,65	220,21	3,29	216,92	3,36	216,85	3,23	216,99	3,30	216,91
RP28	3515856,79	5406279,32	220,26					3,27	216,99	3,33	216,93
RP29	3515860,60	5406280,45	220,33					3,31	217,02	3,39	216,94
RP30	3515864,42	5406281,52	220,42					3,40	217,02	3,47	216,95
B100	3515878,76	5406284,72	220,57	3,69	216,88	3,80	216,77	3,60	216,97	3,68	216,89
B101	3515906,46	5406288,69	220,79	4,05	216,75	4,36	216,44	3,97	216,82	4,01	216,78
B102	3515933,14	5406298,68	221,05	4,30	216,75	4,53	216,52	4,21	216,84	4,30	216,75
B92	3515823,98	5406399,17	220,40	3,70	216,70	3,79	216,61				
B93	3515783,68	5406388,34	218,62	1,96	216,66	1,99	216,64				
B94	3515756,38	5406369,59	220,60	3,90	216,71	3,95	216,65				
B95	3515715,54	5406359,89	220,33	3,64	216,70	3,68	216,66				
B96	3515865,55	5406415,07	220,90	4,19	216,71	4,34	216,56				
P90	3515710,85	5406277,40	219,92	3,15	216,77	3,18	216,74				
GWM 6	3515682,72	5406435,17	219,08	2,29	216,79						
GWM 9	3515687,75	5406395,52	219,23	2,72	216,51						

Grundwasserstand

GW-Messstelle	26.12.06		02.01.07		17.01.07		23.01.07		29.01.07		26. - 27.02.2007	
	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
B42											3,15	217,15
B70											3,26	217,19
B87									3,80	217,15	3,83	217,12
B88									4,34	217,02	4,40	216,96
B89									3,18	217,08	3,23	217,03
B90									3,65	216,86	3,67	216,84
P1*											3,27	216,15
P2											3,41	217,05
RP1									3,23	217,12	3,27	217,08
RP2									3,10	217,13	3,13	217,10
RP3									3,45	217,13	3,47	217,11
RP4									3,78	217,13	3,80	217,11
RP5									2,95	217,11	2,99	217,07
RP GZB	2,78	218,63	3,14	218,27	3,71	217,70	3,65	217,76	3,70	217,71	4,02	217,39
RP GZB2											1,70	220,06
GZB											0,80	219,84
RP6			3,77	216,98			3,65	217,10	3,70	217,05	1,40	219,35
RP7			3,70	217,11			3,71	217,10	3,75	217,06	3,67	217,14
RP8	4,69	216,15	3,75	217,09					3,77	217,07	3,73	217,11
RP9	3,59	217,02	3,55	217,06					3,55	217,06	3,48	217,13
RP10			3,75	217,05			3,76	217,04	3,75	217,05	3,74	217,06
RP11	4,34	216,36	3,70	217,00					3,63	217,07	3,68	217,02
RP12			3,48	217,01	3,50	216,99	3,49	217,00	3,50	216,99	3,47	217,02
RP13	4,28	216,32	3,59	217,01	3,61	216,99			3,57	217,03	3,58	217,02
RP14			3,65	217,02	3,66	217,01	3,65	217,02	3,60	217,07	3,64	217,03
RP15	3,42	217,00	3,41	217,01	3,42	217,00						
RP16	3,39	216,99	3,39	216,99	3,40	216,98			3,35	217,03	3,33	217,05
RP17			3,59	217,02	3,62	216,99	3,60	217,01	3,56	217,05	3,60	217,01
B97	4,06	215,97	3,05	216,98	3,05	216,98			3,00	217,03	3,05	216,98
RP18	2,89	216,95	2,96	216,88	2,88	216,96			2,80	217,04		
RP19	2,91	216,94	2,87	216,98	2,90	216,95			2,82	217,03	2,87	216,98
RP20	2,95	216,93	2,91	216,97	2,92	216,96			2,85	217,03	2,84	217,04
RP21	2,92	216,96	2,89	216,99	2,91	216,97			2,84	217,04	2,88	217,00
RP22	2,95	216,94	2,91	216,98	2,94	216,95			2,86	217,03	2,89	217,00
B98	2,92	216,95	2,88	216,99	2,90	216,97			2,85	217,02	2,87	217,00
RP23	2,89	216,93	2,85	216,97	2,88	216,94			2,80	217,02	2,81	217,01
RP24	3,02	216,94	2,99	216,97	3,02	216,94			2,95	217,01	2,99	216,97
RP25	3,04	216,95	3,01	216,98	3,03	216,96			2,95	217,04	3,00	216,99
RP26	3,24	216,94	3,22	216,96	3,22	216,96			3,15	217,03	3,21	216,97
RP27	3,32	216,94	3,30	216,96	3,32	216,94			3,25	217,01		
B99	3,28	216,93	3,23	216,98	3,27	216,94			3,20	217,01	3,27	216,94
RP28	3,34	216,92	3,31	216,95	3,34	216,92			3,26	217,00		
RP29	3,40	216,93	3,39	216,94	3,40	216,93			3,33	217,00	3,37	216,96
RP30	3,49	216,93	3,47	216,95	3,48	216,94			3,40	217,02	3,43	216,99
B100	3,65	216,92	3,63	216,94	3,68	216,89			3,60	216,97	3,62	216,95
B101	4,02	216,77	4,00	216,79	4,02	216,77			4,00	216,79	4,01	216,78
B102	4,26	216,79	4,26	216,79	4,26	216,79			4,23	216,82		
B92											3,64	216,76
B93											1,87	216,75
B94											3,81	216,79
B95											3,55	216,78
B96											4,14	216,76
P90											3,08	216,84
GWM 6											2,46	216,62
GWM 9											2,67	216,56

A5 Vor-Ort-Werte

A5.1: pH-Wert

pH-Wert

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	18. - 20.01.06	25.10.06	20.12.06	29.01.07	26. - 27.02.07	12.03.07
B42	3515933,00	5406091,00	7,2	7,1			7,2	
B70	3515911,70	5406079,50	6,8	6,9			6,9	
B87	3515872,67	5406199,56	7,0	6,9	6,9		7,0	
B88	3515885,43	5406228,98	6,7	6,6	6,7		6,8	
B89	3515904,41	5406251,04	6,7	7,0			7,0	
B90	3515967,52	5406271,35	6,7	6,6			6,8	
P1	3516037,00	5406149,00	6,7	6,6			6,8	
P2	3515971,00	5406105,00	6,8	6,8			6,9	
RP1	3515860,06	5406164,90		7,1	7,9	7,1	7,1	
RP2	3515866,47	5406167,58		7,2	7,0		7,3	
RP3	3515867,29	5406175,88		7,1	7,1	7,2	7,2	
RP4	3515873,44	5406172,53		6,9	6,9	7,0	7,2	
RP5	3515861,44	5406178,49		7,1			7,2	7,2
RP GZB	3515857,17	5406192,49						
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	7,1	7,0	6,7	6,7	6,7	6,7
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02			7,0	7,0	7,0	7,0
RP6	3515854,76	5406195,48		7,0		6,9	7,1	7,0
RP7	3515853,08	5406199,92		7,0		6,7	7,0	7,0
RP8	3515856,83	5406200,54		6,9		7,3	6,8	6,8
RP9	3515853,10	5406199,90		6,9		7,0	6,8	6,9
RP10	3515852,01	5406204,77		6,9		6,8	6,9	6,9
RP11	3515850,51	5406209,98		6,7		6,7	6,7	6,7
RP12	3515837,84	5406216,97		7,0	6,8	6,8	6,9	
RP13	3515842,41	5406218,04		7,0	6,8	6,8	6,8	
RP14	3515847,52	5406219,12		6,8	6,9	6,6	6,8	6,9
RP15	3515852,41	5406220,44		6,9	6,9	6,7	6,8	
RP16	3515857,16	5406221,79		6,8	6,9	6,9	6,8	
RP17	3515844,50	5406228,62		6,9	6,9	6,8	6,9	7,1
B97	3515798,68	5406253,48	6,9	6,9	6,9		6,9	
RP18	3515799,62	5406256,13		6,9				
RP19	3515806,01	5406259,17		7,4			6,8	
RP20	3515812,48	5406261,75		6,9			6,8	
RP21	3515819,00	5406264,49		6,9	6,9		6,8	
RP22	3515825,53	5406267,14		6,9	6,9		6,9	
B98	3515831,64	5406270,35	7,0	6,9	6,9		6,9	
RP23	3515836,22	5406271,60		6,8	6,9		6,8	
RP24	3515840,53	5406273,23		6,8	6,9		6,8	
RP25	3515844,86	5406274,78		6,8	6,8		6,8	
RP26	3515849,13	5406276,39		6,9	6,9		6,8	
RP27	3515853,43	5406278,08		6,9				
B99	3515854,88	5406278,65	6,9	6,8	6,8		6,8	
RP28	3515856,79	5406279,32		6,7	6,7			
RP29	3515860,60	5406280,45		6,6			6,6	
RP30	3515864,42	5406281,52		6,6			6,7	
B100	3515878,76	5406284,72	6,6	6,6			6,7	
B101	3515906,46	5406288,69	6,6	6,6			6,7	
B102	3515933,14	5406298,68	6,7	6,6			6,7	
GWM 9	3515687,75	5406395,52					7,0	
B92	3515823,98	5406399,17	6,9				6,9	
B93	3515783,68	5406388,34	6,8				6,8	
B94	3515756,38	5406369,59	6,8				6,8	
B95	3515715,54	5406359,89	6,9				6,9	
B96	3515865,55	5406415,07	6,8				6,8	

pH-Wert

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	29.03.07	04. / 11.04.07	24.04.07	24.05.07	26.06.07	25.07.07
B42	3515933,00	5406091,00					7,0	
B70	3515911,70	5406079,50						
B87	3515872,67	5406199,56	8,0		6,5	6,8	6,9	6,9
B88	3515885,43	5406228,98	6,7		6,3	6,7	6,8	
B89	3515904,41	5406251,04					7,0	
B90	3515967,52	5406271,35						
P1	3516037,00	5406149,00						
P2	3515971,00	5406105,00					6,7	
RP1	3515860,06	5406164,90	7,1		7,0	6,9	7,0	7,0
RP2	3515866,47	5406167,58	7,2		7,1	7,0	7,0	7,1
RP3	3515867,29	5406175,88	7,1		7,1	7,1	7,0	7,1
RP4	3515873,44	5406172,53	7,0		7,0	6,9	6,9	6,9
RP5	3515861,44	5406178,49	7,1	7,1	7,1	7,0	7,0	
RP GZB	3515857,17	5406192,49						
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	6,7	6,8	6,8	6,9		7,0
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02	7,0	7,0	7,0	6,8		
RP6	3515854,76	5406195,48	7,0	7,2	7,0	7,0	7,0	6,9
RP7	3515853,08	5406199,92	6,8	7,0	6,9	6,9	6,9	6,9
RP8	3515856,83	5406200,54		7,0	6,9		6,8	7,0
RP9	3515853,10	5406199,90		7,0	6,9		6,9	6,9
RP10	3515852,01	5406204,77	6,9	6,9	6,8		6,8	6,9
RP11	3515850,51	5406209,98		6,8	6,7		6,6	6,7
RP12	3515837,84	5406216,97	7,0		6,9	6,8	6,8	
RP13	3515842,41	5406218,04	6,9		6,9	6,9	6,8	
RP14	3515847,52	5406219,12	6,9		6,9	6,8	6,8	6,9
RP15	3515852,41	5406220,44	6,9		6,9	6,7	6,7	
RP16	3515857,16	5406221,79	6,9		6,9	6,8	6,6	
RP17	3515844,50	5406228,62	7,6		6,9	6,9	6,9	7,0
B97	3515798,68	5406253,48	6,5		6,5	6,9	7,0	
RP18	3515799,62	5406256,13	6,4		6,9			
RP19	3515806,01	5406259,17	6,5		7,0			
RP20	3515812,48	5406261,75	6,5		7,6		6,8	
RP21	3515819,00	5406264,49	6,5		7,0	7,3	6,8	
RP22	3515825,53	5406267,14	6,5		6,9	7,0	6,8	
B98	3515831,64	5406270,35	6,5		6,5	6,9	7,0	
RP23	3515836,22	5406271,60	6,4		6,8	6,8	6,8	
RP24	3515840,53	5406273,23	6,4		6,7	6,8	6,8	
RP25	3515844,86	5406274,78	6,4		6,8	6,8	6,8	
RP26	3515849,13	5406276,39	6,4		6,8	6,8	6,9	
RP27	3515853,43	5406278,08	6,5		6,9		6,9	
B99	3515854,88	5406278,65	6,5		6,4	6,9	6,9	
RP28	3515856,79	5406279,32	6,4		6,7	6,7		
RP29	3515860,60	5406280,45	6,3		6,7			
RP30	3515864,42	5406281,52	6,4		6,7			
B100	3515878,76	5406284,72			6,3		6,7	
B101	3515906,46	5406288,69			6,4			
B102	3515933,14	5406298,68			6,3			
GWM 9	3515687,75	5406395,52						
B92	3515823,98	5406399,17						
B93	3515783,68	5406388,34						
B94	3515756,38	5406369,59						
B95	3515715,54	5406359,89						
B96	3515865,55	5406415,07						

A5.2: Redoxpotenzial

Redoxpotenzial

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	18. - 20.01.06	25.10.06	20.12.06	29.01.07	26. - 27.02.07	12.03.07
B42	3515933,00	5406091,00	-81	-108			25	
B70	3515911,70	5406079,50	17	151			260	
B87	3515872,67	5406199,56	-74	-73	-37		-150	
B88	3515885,43	5406228,98	22	-77	-1		-42	
B89	3515904,41	5406251,04	7	-118			-189	
B90	3515967,52	5406271,35	20	56			297	
P1	3516037,00	5406149,00	22	61			29	
P2	3515971,00	5406105,00	90	-143			-50	
RP1	3515860,06	5406164,90		-25	183	-62	50	
RP2	3515866,47	5406167,58		-72	42		20	
RP3	3515867,29	5406175,88		-90	21	-120	8	
RP4	3515873,44	5406172,53		45	13	270	43	
RP5	3515861,44	5406178,49		-22			5	-73
RP GZB	3515857,17	5406192,49						
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	-82	-73	-90	191	271	269
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02			167	287	264	265
RP6	3515854,76	5406195,48		33		313	280	287
RP7	3515853,08	5406199,92		-50		339	366	290
RP8	3515856,83	5406200,54		-63		122	420	217
RP9	3515853,10	5406199,90		-20		31	504	41
RP10	3515852,01	5406204,77		-94		272	322	-41
RP11	3515850,51	5406209,98		25		317	398	201
RP12	3515837,84	5406216,97		-80	-167	6	180	
RP13	3515842,41	5406218,04		-29	-159	15	178	
RP14	3515847,52	5406219,12		0	-143	166	51	6
RP15	3515852,41	5406220,44		-79	-133	13	57	
RP16	3515857,16	5406221,79		-61	-114	-55	312	
RP17	3515844,50	5406228,62		-81	-156	-54	440	-49
B97	3515798,68	5406253,48	-32	-49	38		-50	
RP18	3515799,62	5406256,13		-49				
RP19	3515806,01	5406259,17		-89			42	
RP20	3515812,48	5406261,75		-88			349	
RP21	3515819,00	5406264,49		-67	16		400	
RP22	3515825,53	5406267,14		-45	15		409	
B98	3515831,64	5406270,35	-87	-76	-39		-100	
RP23	3515836,22	5406271,60		-64	6		448	
RP24	3515840,53	5406273,23		-68	3		469	
RP25	3515844,86	5406274,78		-61	-104		442	
RP26	3515849,13	5406276,39		-72	-113		413	
RP27	3515853,43	5406278,08		-78				
B99	3515854,88	5406278,65	-36	-80	-37		-69	
RP28	3515856,79	5406279,32		-61	-79			
RP29	3515860,60	5406280,45		-45			48	
RP30	3515864,42	5406281,52		72			122	
B100	3515878,76	5406284,72	25	-31			-19	
B101	3515906,46	5406288,69	26	72			127	
B102	3515933,14	5406298,68	42	-4			8	
GWM 9	3515687,75	5406395,52					245	
B92	3515823,98	5406399,17	10				79	
B93	3515783,68	5406388,34	15				184	
B94	3515756,38	5406369,59	139				243	
B95	3515715,54	5406359,89	10				217	
B96	3515865,55	5406415,07	13				224	

Redoxpotenzial

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	29.03.07	04. / 11.04.07	24.04.07	24.05.07	26.06.07	25.07.07
B42	3515933,00	5406091,00					-21	
B70	3515911,70	5406079,50						
B87	3515872,67	5406199,56	-51		96	205	45	-25
B88	3515885,43	5406228,98	23		-3	-35	-30	
B89	3515904,41	5406251,04					-173	
B90	3515967,52	5406271,35						
P1	3516037,00	5406149,00						
P2	3515971,00	5406105,00					0	
RP1	3515860,06	5406164,90	-41		-35	-61	89	-78
RP2	3515866,47	5406167,58	-150		8	-108	59	-97
RP3	3515867,29	5406175,88	-112		-6	-1118	70	-104
RP4	3515873,44	5406172,53	-23		-32	-60	64	-19
RP5	3515861,44	5406178,49	-126	-70	-94	-8	86	
RP GZB	3515857,17	5406192,49						
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	272	285	282	287		-29
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02	262	301	304	311		
RP6	3515854,76	5406195,48	289	238	292	277	260	248
RP7	3515853,08	5406199,92	273	259	294	289	165	211
RP8	3515856,83	5406200,54		218	289		109	31
RP9	3515853,10	5406199,90		25	99		-63	-66
RP10	3515852,01	5406204,77	-55	-78	-22		-96	-74
RP11	3515850,51	5406209,98		82	34		88	74
RP12	3515837,84	5406216,97	-61		-89	-43	-90	
RP13	3515842,41	5406218,04	-39		164	-64	-88	
RP14	3515847,52	5406219,12	-26		-69	15	36	-42
RP15	3515852,41	5406220,44	-16		-64	-66	-58	
RP16	3515857,16	5406221,79	-19		-65	-63	-26	
RP17	3515844,50	5406228,62	-58		-82	-85	-96	-78
B97	3515798,68	5406253,48	-41		18	-83	-71	
RP18	3515799,62	5406256,13	151		-39			
RP19	3515806,01	5406259,17	-80		-69			
RP20	3515812,48	5406261,75	92		-108		-116	
RP21	3515819,00	5406264,49	-74		-89	-57	-86	
RP22	3515825,53	5406267,14	-55		-88	-65	-92	
B98	3515831,64	5406270,35	-71		-49	-77	-93	
RP23	3515836,22	5406271,60	-10		-36	-53	-75	
RP24	3515840,53	5406273,23	-58		-63	-71	-58	
RP25	3515844,86	5406274,78	-44		-70	-70	89	
RP26	3515849,13	5406276,39	-19		-34	-58	-76	
RP27	3515853,43	5406278,08	44		-36		-80	
B99	3515854,88	5406278,65	-45		-28	-81	-77	
RP28	3515856,79	5406279,32	165		-14	-40		
RP29	3515860,60	5406280,45	-5		-32			
RP30	3515864,42	5406281,52	193		56			
B100	3515878,76	5406284,72			15		-35	
B101	3515906,46	5406288,69			45			
B102	3515933,14	5406298,68			45			
GWM 9	3515687,75	5406395,52						
B92	3515823,98	5406399,17						
B93	3515783,68	5406388,34						
B94	3515756,38	5406369,59						
B95	3515715,54	5406359,89						
B96	3515865,55	5406415,07						

A5.3: Sauerstoffgehalt

Sauerstoffgehalt

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	18. - 20.01.06	25.10.06	20.12.06	29.01.07	26. - 27.02.07	12.03.07
B42	3515933,00	5406091,00	0,1	0,8			0,2	
B70	3515911,70	5406079,50	0,7	0,6			0,6	
B87	3515872,67	5406199,56	0,0	0,0			0,1	
B88	3515885,43	5406228,98	0,1	0,0			0,2	
B89	3515904,41	5406251,04	0,2	1,6			0,2	
B90	3515967,52	5406271,35	1,0	1,8			3,3	
P1	3516037,00	5406149,00	0,4	2,8			0,2	
P2	3515971,00	5406105,00	0,0	0,4			0,1	
RP1	3515860,06	5406164,90				0,4	6,4	
RP2	3515866,47	5406167,58			0,3		4,9	
RP3	3515867,29	5406175,88		0,3	0,2	0,4	3,9	
RP4	3515873,44	5406172,53		0,2	0,2	4,1	4,7	
RP5	3515861,44	5406178,49					5,3	0,3
RP GZB	3515857,17	5406192,49			5,1		12,2	
RP GZB2	3515858,45	5406191,05					20,0	
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	0,0	0,9	7,4	3,9	4,0	4,5
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02			5,0	8,2	7,5	6,0
RP6	3515854,76	5406195,48			5,7	2,4	26,2	2,6
RP7	3515853,08	5406199,92		0,2	5,1	0,5	25,7	
RP8	3515856,83	5406200,54		0,2		2,4	7,1	6,8
RP9	3515853,10	5406199,90		0,2		0,4	1,9	1,7
RP10	3515852,01	5406204,77		0,1	4,9	0,3	1,2	0,3
RP11	3515850,51	5406209,98		0,2	0,5	0,4	3,1	0,7
RP12	3515837,84	5406216,97		0,2	0,5	0,5	1,3	
RP13	3515842,41	5406218,04		0,5	0,5	0,5	1,1	
RP14	3515847,52	5406219,12		0,6	0,8	0,4	0,8	0,6
RP15	3515852,41	5406220,44		0,3	0,5	0,3	1,1	
RP16	3515857,16	5406221,79		0,2	0,6	0,3	0,9	
RP17	3515844,50	5406228,62		0,3	0,3	0,3	0,6	0,3
B97	3515798,68	5406253,48	0,1	0,1			0,4	
RP18	3515799,62	5406256,13		0,6				
RP19	3515806,01	5406259,17		0,3			0,8	
RP20	3515812,48	5406261,75		0,2			0,6	
RP21	3515819,00	5406264,49		0,2	0,3		0,6	
RP22	3515825,53	5406267,14		0,3	0,2		0,5	
B98	3515831,64	5406270,35	0,0	0,0	0,2		0,1	
RP23	3515836,22	5406271,60		0,1	0,1		0,6	
RP24	3515840,53	5406273,23		0,2	0,3		0,8	
RP25	3515844,86	5406274,78		0,2	0,3		1,2	
RP26	3515849,13	5406276,39		0,1			1,0	
RP27	3515853,43	5406278,08		0,1				
B99	3515854,88	5406278,65	0,0	0,0			0,2	
RP28	3515856,79	5406279,32		0,1	0,7			
RP29	3515860,60	5406280,45		0,1			1,4	
RP30	3515864,42	5406281,52		0,5			0,8	
B100	3515878,76	5406284,72	0,2	0,0			0,3	
B101	3515906,46	5406288,69	0,2	0,0			0,2	
B102	3515933,14	5406298,68	0,4	0,1				
GWM 9	3515687,75	5406395,52					0,4	
B92	3515823,98	5406399,17	0,1				0,2	
B93	3515783,68	5406388,34	0,2				0,2	
B94	3515756,38	5406369,59	0,0				0,3	
B95	3515715,54	5406359,89	0,2				0,1	
B96	3515865,55	5406415,07	0,2				0,3	

Sauerstoffgehalt

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	29.03.07	11.04.07	24.04.07	24.05.07	26.06.07	25.07.07
B42	3515933,00	5406091,00					0,2	
B70	3515911,70	5406079,50						
B87	3515872,67	5406199,56	0,6		2,7	4,3	4,1	1,1
B88	3515885,43	5406228,98	0,2		0,4	0,0	0,4	
B89	3515904,41	5406251,04					0,4	
B90	3515967,52	5406271,35						
P1	3516037,00	5406149,00						
P2	3515971,00	5406105,00					0,1	
RP1	3515860,06	5406164,90	0,4		0,5	0,2	0,1	0,1
RP2	3515866,47	5406167,58	0,3		1,1	0,2	0,3	0,3
RP3	3515867,29	5406175,88	0,2		3,1	0,1	0,5	0,3
RP4	3515873,44	5406172,53	0,3		0,2	0,2	0,1	0,2
RP5	3515861,44	5406178,49	0,2		0,3	0,3	0,3	
RP GZB	3515857,17	5406192,49		17,0	17,9			
RP GZB2	3515858,45	5406191,05		20,0	26,6			
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	5,7	3,6	4,2	4,0		1,5
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02	5,1	8,4	6,6	5,9		
RP6	3515854,76	5406195,48	5,7	9,4	23,3	12,3	15,1	13,2
RP7	3515853,08	5406199,92	13,1	2,5	31,8	40,0	26,3	4,3
RP8	3515856,83	5406200,54		1,4	25,8		20,0	1,2
RP9	3515853,10	5406199,90			5,3		2,3	1,1
RP10	3515852,01	5406204,77	0,2	2,0	1,5		0,9	1,0
RP11	3515850,51	5406209,98		1,1	0,9		0,7	1,0
RP12	3515837,84	5406216,97	1,4	2,5	0,2	0,2	2,0	
RP13	3515842,41	5406218,04	0,7		0,4	0,3	0,7	
RP14	3515847,52	5406219,12	0,2	1,2	0,2	0,6	3,5	1,0
RP15	3515852,41	5406220,44	0,1		0,2	0,2	1,0	
RP16	3515857,16	5406221,79	0,2		0,2	0,2	0,7	
RP17	3515844,50	5406228,62	0,2	1,1	0,2	0,2	0,7	1,0
B97	3515798,68	5406253,48	0,3		0,4	0,1	0,1	
RP18	3515799,62	5406256,13	1,5		0,4			
RP19	3515806,01	5406259,17	0,3		0,3			
RP20	3515812,48	5406261,75	0,4		0,1		1,2	
RP21	3515819,00	5406264,49	0,1		0,1	0,5	0,9	
RP22	3515825,53	5406267,14	0,5		0,1	0,4	0,9	
B98	3515831,64	5406270,35	0,2		0,4	0,0	0,2	
RP23	3515836,22	5406271,60	0,4		0,3	0,2	0,3	
RP24	3515840,53	5406273,23	0,2		0,1	0,0	0,1	
RP25	3515844,86	5406274,78	0,3		0,1	0,0	0,5	
RP26	3515849,13	5406276,39	0,2		0,1	0,0	0,1	
RP27	3515853,43	5406278,08	0,3		0,1		0,1	
B99	3515854,88	5406278,65	0,2		0,4	0,0	0,2	
RP28	3515856,79	5406279,32	1,2		0,5	0,0		
RP29	3515860,60	5406280,45	0,1		0,1			
RP30	3515864,42	5406281,52	0,3		0,3			
B100	3515878,76	5406284,72			0,3		0,1	
B101	3515906,46	5406288,69			0,3			
B102	3515933,14	5406298,68			0,9			
GWM 9	3515687,75	5406395,52						
B92	3515823,98	5406399,17						
B93	3515783,68	5406388,34						
B94	3515756,38	5406369,59						
B95	3515715,54	5406359,89						
B96	3515865,55	5406415,07						

A5.4: Temperaturwerte

Temperatur

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	18. - 20.01.06	25.10.06	20.12.06	29.01.07	26. - 27.02.07	12.03.07
B42	3515933,00	5406091,00		16,6			14,7	
B70	3515911,70	5406079,50	15,3	16,1			14,1	
B87	3515872,67	5406199,56		16,6			14,3	
B88	3515885,43	5406228,98	15,2	15,3			14,7	
B89	3515904,41	5406251,04	15,4	0,2			14,8	
B90	3515967,52	5406271,35	14,8	17,2			14,2	
P1	3516037,00	5406149,00	14,7	17,5			15,3	
P2	3515971,00	5406105,00	12,8	15,2			13,7	
RP1	3515860,06	5406164,90			12,8	12,1	13,0	
RP2	3515866,47	5406167,58			11,5		9,5	
RP3	3515867,29	5406175,88		16,0	14,2	12,9	13,7	
RP4	3515873,44	5406172,53		16,4	14,1	12,2	13,0	
RP5	3515861,44	5406178,49		13,5			13,1	14,6
RP GZB	3515857,17	5406192,49						
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02		16,0	15,0	14,6	14,3	15,4
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02			14,0	13,3	13,6	13,6
RP6	3515854,76	5406195,48		12,7			16,1	15,5
RP7	3515853,08	5406199,92		15,7			13,3	13,4
RP8	3515856,83	5406200,54		16,2		10,4	12,8	14,7
RP9	3515853,10	5406199,90		16,4		12,9	12,2	14,3
RP10	3515852,01	5406204,77		15,4			12,3	14,1
RP11	3515850,51	5406209,98		15,7			12,1	14,0
RP12	3515837,84	5406216,97		14,6	13,9	13,1	10,9	
RP13	3515842,41	5406218,04			14,0	13,1	12,7	
RP14	3515847,52	5406219,12		15,1	14,3	12,9	13,2	14,4
RP15	3515852,41	5406220,44		15,6	14,7	10,3	11,9	
RP16	3515857,16	5406221,79		16,4	15,1	13,3	13,2	
RP17	3515844,50	5406228,62		15,5	14,8	14,2	13,6	14,9
B97	3515798,68	5406253,48	13,6	14,3	14,5		14,7	
RP18	3515799,62	5406256,13		14,1				
RP19	3515806,01	5406259,17		14,3			12,8	
RP20	3515812,48	5406261,75		14,5			12,3	
RP21	3515819,00	5406264,49		14,1	13,4		12,4	
RP22	3515825,53	5406267,14		14,3	13,7		12,9	
B98	3515831,64	5406270,35	14,1	15,4	15,5		14,7	
RP23	3515836,22	5406271,60		15,6	13,9		13,5	
RP24	3515840,53	5406273,23		15,7	14,0		12,3	
RP25	3515844,86	5406274,78		15,7	14,7		13,0	
RP26	3515849,13	5406276,39		16,1	14,0		12,7	
RP27	3515853,43	5406278,08		16,0				
B99	3515854,88	5406278,65	15,1	15,9	16,2		15,4	
RP28	3515856,79	5406279,32		15,7	13,6			
RP29	3515860,60	5406280,45		15,8			12,5	
RP30	3515864,42	5406281,52		16,3			13,2	
B100	3515878,76	5406284,72	15,9	16,7			15,1	
B101	3515906,46	5406288,69	14,8	16,4			14,5	
B102	3515933,14	5406298,68	14,9				15,1	
GWM 9	3515687,75	5406395,52					14,4	
B92	3515823,98	5406399,17	13,2				13,1	
B93	3515783,68	5406388,34	12,9				12,6	
B94	3515756,38	5406369,59	14,1				13,5	
B95	3515715,54	5406359,89	14,1				16,1	
B96	3515865,55	5406415,07	13,9				13,6	

Temperatur

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	29.03.07	04. / 11.04.07	24.04.07	24.05.07	26.06.07	25.07.07
B42	3515933,00	5406091,00					14,0	
B70	3515911,70	5406079,50						
B87	3515872,67	5406199,56	12,8		14,5	16,8	14,8	16,0
B88	3515885,43	5406228,98	14,0		14,2	16,2	16,1	
B89	3515904,41	5406251,04					14,9	
B90	3515967,52	5406271,35						
P1	3516037,00	5406149,00						
P2	3515971,00	5406105,00					14,0	
RP1	3515860,06	5406164,90	12,6		14,9	15,6	14,3	16,2
RP2	3515866,47	5406167,58	11,6		14,3	16,1	14,3	16,8
RP3	3515867,29	5406175,88	13,5		14,2	15,1	15,6	15,4
RP4	3515873,44	5406172,53	13,0		14,2	14,4	14,2	15,8
RP5	3515861,44	5406178,49	12,7	14,0	14,5	15,6		
RP GZB	3515857,17	5406192,49						
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	14,7	16,9	15,8	15,7		17,9
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02	13,2	14,3	13,3	16,9		
RP6	3515854,76	5406195,48	15,1	14,0	16,6	18,1	16,6	16,3
RP7	3515853,08	5406199,92	13,5	14,1	16,8	16,4	15,6	16,0
RP8	3515856,83	5406200,54		12,0	16,6		15,3	16,0
RP9	3515853,10	5406199,90		12,3	16,3		15,9	16,2
RP10	3515852,01	5406204,77	13,9	14,7	15,6		15,7	16,1
RP11	3515850,51	5406209,98		12,1	16,4		15,7	16,1
RP12	3515837,84	5406216,97	12,1		15,2	17,5	15,5	
RP13	3515842,41	5406218,04	13,0		16,3	15,9	15,5	
RP14	3515847,52	5406219,12	12,5		15,0	15,9	15,5	15,9
RP15	3515852,41	5406220,44	13,6		15,6	17,3	17,6	
RP16	3515857,16	5406221,79	14,0		15,4	16,5	16,6	
RP17	3515844,50	5406228,62	13,3		15,6	15,5	15,5	16,5
B97	3515798,68	5406253,48	13,7		13,5	14,4	13,8	
RP18	3515799,62	5406256,13	11,2		13,2			
RP19	3515806,01	5406259,17	12,6		14,6			
RP20	3515812,48	5406261,75	12,6		13,4		14,0	
RP21	3515819,00	5406264,49	13,8		14,1	16,0	14,2	
RP22	3515825,53	5406267,14	14,1		14,6	15,4	14,2	
B98	3515831,64	5406270,35	14,7		14,1	15,7	14,9	
RP23	3515836,22	5406271,60	14,8		16,2	17,8	15,4	
RP24	3515840,53	5406273,23	15,3		15,7	17,5	15,5	
RP25	3515844,86	5406274,78	14,8		15,9	17,4	15,5	
RP26	3515849,13	5406276,39	14,6		15,5	16,4	14,6	
RP27	3515853,43	5406278,08	13,5		14,9		14,5	
B99	3515854,88	5406278,65	13,6		14,9	17,2	14,3	
RP28	3515856,79	5406279,32	13,7		15,5	17,3		
RP29	3515860,60	5406280,45	14,0		14,2			
RP30	3515864,42	5406281,52	13,3		15,2			
B100	3515878,76	5406284,72			14,7		14,8	
B101	3515906,46	5406288,69			14,5			
B102	3515933,14	5406298,68			15,7			
GWM 9	3515687,75	5406395,52						
B92	3515823,98	5406399,17						
B93	3515783,68	5406388,34						
B94	3515756,38	5406369,59						
B95	3515715,54	5406359,89						
B96	3515865,55	5406415,07						

A5.5: Leitfähigkeit

Leitfähigkeit

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	18. - 20.01.06	25.10.06	20.12.06	29.01.07	26. - 27.02.07	12.03.07
B42	3515933,00	5406091,00	1432	359			1507	
B70	3515911,70	5406079,50	1657	326			1422	
B87	3515872,67	5406199,56	1767	1838	1830		2350	
B88	3515885,43	5406228,98	2420	2170	2130		2560	
B89	3515904,41	5406251,04	3140	3090			4020	
B90	3515967,52	5406271,35	2160	2160			2570	
P1	3516037,00	5406149,00	2080	468			1943	
P2	3515971,00	5406105,00	1943	2010			1943	
RP1	3515860,06	5406164,90		1729	1955	1855	1809	
RP2	3515866,47	5406167,58		1840	2100		2090	
RP3	3515867,29	5406175,88		1710	2230	2080	2020	
RP4	3515873,44	5406172,53		1789	2330	2220	2110	
RP5	3515861,44	5406178,49		1957			2140	1619
RP GZB	3515857,17	5406192,49						
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	1553	1792	2240	2009	2283	2163
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02			1123	1111	1237	1220
RP6	3515854,76	5406195,48		2040		1677	2240	1790
RP7	3515853,08	5406199,92		1779		1741	2210	1679
RP8	3515856,83	5406200,54		1802		2150	2180	1726
RP9	3515853,10	5406199,90		1950		2560	2290	1842
RP10	3515852,01	5406204,77		1732		1413	2250	1672
RP11	3515850,51	5406209,98		1660		1444	1560	1620
RP12	3515837,84	5406216,97		1705	2150	2060	2130	
RP13	3515842,41	5406218,04		1654	2180	1539	2120	
RP14	3515847,52	5406219,12		1830	2270	2460	2440	1930
RP15	3515852,41	5406220,44		1966	2350	2940	2510	
RP16	3515857,16	5406221,79		2160	2560	2630	2670	
RP17	3515844,50	5406228,62		1796	2230	2240	2320	1838
B97	3515798,68	5406253,48	1507	1532	1557		1587	
RP18	3515799,62	5406256,13		1542				
RP19	3515806,01	5406259,17		1691			2140	
RP20	3515812,48	5406261,75		1729			2000	
RP21	3515819,00	5406264,49		1791	2420		2300	
RP22	3515825,53	5406267,14		1767	2380		2210	
B98	3515831,64	5406270,35	1731	1871	1842		1861	
RP23	3515836,22	5406271,60		2010	2610		2660	
RP24	3515840,53	5406273,23		2080	2650		2520	
RP25	3515844,86	5406274,78		2050	1100		2500	
RP26	3515849,13	5406276,39		1931	1100		2400	
RP27	3515853,43	5406278,08		1687				
B99	3515854,88	5406278,65	1910	2040	2020		2510	
RP28	3515856,79	5406279,32		2170	1200			
RP29	3515860,60	5406280,45		2280			3100	
RP30	3515864,42	5406281,52		2350			2440	
B100	3515878,76	5406284,72	2450	2340			2670	
B101	3515906,46	5406288,69	2470	2280			2660	
B102	3515933,14	5406298,68	2240	2030			2580	
GWM 9	3515687,75	5406395,52					1102	
B92	3515823,98	5406399,17	2180				1801	
B93	3515783,68	5406388,34	2290				1788	
B94	3515756,38	5406369,59	1622				1597	
B95	3515715,54	5406359,89	1433				1188	
B96	3515865,55	5406415,07	2350				1955	

Leitfähigkeit

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	29.03.07	04. / 11.04.07	24.04.07	24.05.07	26.06.07	25.07.07
B42	3515933,00	5406091,00					1870	
B70	3515911,70	5406079,50						
B87	3515872,67	5406199,56	2270		2030	1985	2230	2380
B88	3515885,43	5406228,98	2104		2440	2340	2600	
B89	3515904,41	5406251,04					3740	
B90	3515967,52	5406271,35						
P1	3516037,00	5406149,00						
P2	3515971,00	5406105,00					2450	
RP1	3515860,06	5406164,90	1777		1779	1780	1750	1820
RP2	3515866,47	5406167,58	2050		2070	1960	1940	2040
RP3	3515867,29	5406175,88	2080		2050	2040	2000	2120
RP4	3515873,44	5406172,53	2240		2170	2150	2020	2200
RP5	3515861,44	5406178,49	2060	1861	2060	2040	2010	
RP GZB	3515857,17	5406192,49						
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	2150	2041	2079	2190		2430
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02	1218	1173	1192	2210		
RP6	3515854,76	5406195,48	2240	1964	2200	2180	1947	2340
RP7	3515853,08	5406199,92	1492	1944	2160	2160	1890	2400
RP8	3515856,83	5406200,54		1972	2200		1930	2400
RP9	3515853,10	5406199,90		2100	2300		2050	2390
RP10	3515852,01	5406204,77	1615	1922	2140		1636	2140
RP11	3515850,51	5406209,98		1927	2200		1761	2100
RP12	3515837,84	5406216,97	1580		2220	2170	1916	
RP13	3515842,41	5406218,04	1616		2150	2170	1908	
RP14	3515847,52	5406219,12	1825		2300	2420	2210	2390
RP15	3515852,41	5406220,44	1967		2470	2460	2590	
RP16	3515857,16	5406221,79	2066		2460	2480	2880	
RP17	3515844,50	5406228,62	1788		2330	2310	2070	2340
B97	3515798,68	5406253,48	1982		1794	1865	1921	
RP18	3515799,62	5406256,13	1572		1962			
RP19	3515806,01	5406259,17	2090		2210			
RP20	3515812,48	5406261,75	1585		2090		1539	
RP21	3515819,00	5406264,49	2300		2350	2350	1811	
RP22	3515825,53	5406267,14	2080		2210	2240	1992	
B98	3515831,64	5406270,35	2400		2134	2370	2360	
RP23	3515836,22	5406271,60	2670		2610	2560	2530	
RP24	3515840,53	5406273,23	2560		2620	2570	2600	
RP25	3515844,86	5406274,78	2540		2560	2560	2390	
RP26	3515849,13	5406276,39	2420		2420	2470	2440	
RP27	3515853,43	5406278,08	2060		2270		2350	
B99	3515854,88	5406278,65	2410		2320	2450	2550	
RP28	3515856,79	5406279,32	2360		2640	2420		
RP29	3515860,60	5406280,45	2850		2860			
RP30	3515864,42	5406281,52	3340		3220			
B100	3515878,76	5406284,72			2580		2820	
B101	3515906,46	5406288,69			2490			
B102	3515933,14	5406298,68			2320			
GWM 9	3515687,75	5406395,52						
B92	3515823,98	5406399,17						
B93	3515783,68	5406388,34						
B94	3515756,38	5406369,59						
B95	3515715,54	5406359,89						
B96	3515865,55	5406415,07						

A5.6: Wasserstoffperoxid

Wasserstoffperoxid

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	20.12.06	25.12.06	29.12.06	02.01.07	09.01.07	15.01.07	06.02.07	16.02.07	21.02.07	05.03.07	12.03.07	19.03.07	26.03.07	02.04.07
RP GZB	3515857,17	5406192,49	2,0	2,0	0,5	30,0	1,0	0,5	0,0	0,0	1,0	30,0	5,0		25,0	
RP GZB2	3515858,45	5406191,05								0,0	20,0	25,0	10,0		25,0	
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	3,0	2,0	0,5	5,0		8,0	10,0	0,0		8,0	20,0	18,0	20,0	5,0
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02	15,0		30,0	50,0	20,0	40,0	30,0	30,0		28,0	30,0	30,0	35,0	30,0
RP6	3515854,76	5406195,48	2,0	1,0	0,0	2,0	0,5	0,4	0,0	35,0	30,0	30,0	10,0	35,0		25,0
RP7	3515853,08	5406199,92		0,5	0,0	3,0	0,5	0,3	0,0	5,0	3,0	2,0	0,5	1,0	1,0	2,0
RP8	3515856,83	5406200,54			0,0								0,5			0,0
RP9	3515853,10	5406199,90											0,0	0,0		
RP10	3515852,01	5406204,77	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	0,3	0,0
RP11	3515850,51	5406209,98								0,5		0,5	0,5	0,0		
RP12	3515837,84	5406216,97	0,0	0,5	0,0	2,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
RP13	3515842,41	5406218,04								0,0						
RP14	3515847,52	5406219,12	0,0	0,5		2,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RP15	3515852,41	5406220,44														
RP16	3515857,16	5406221,79														
RP17	3515844,50	5406228,62	0,0	0,2	0,5	2,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	11.04.07	16.04.07	20.04.07	24.04.07	30.04.07	04.05.07	15.05.07	21.05.07	24.05.07	02.06.07	07.06.07	18.06.07	26.06.07	03.07.07
RP GZB	3515857,17	5406192,49	2,0		30,0	30,0	0,5	20,0	2,0			40,0	40,0	1,0		4,0
RP GZB2	3515858,45	5406191,05	30,0	30,0	30,0	30,0	40,0	45,0	10,0	50,0		50,0	40,0	4,0		30,0
GZB Entnahme	3515856,74	5406191,02	9,0	15,0	15,0	8,0	10,0	10,0	20,0			8,0	5,0	1,0		1,0
GZB Zugabe	3515856,74	5406191,02	30,0	40,0	45,0	35,0	50,0	50,0	45,0			50,0	40,0	40,0		60,0
RP6	3515854,76	5406195,48	30,0	40,0	30,0	40,0	40,0	50,0	45,0	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	40,0	45,0
RP7	3515853,08	5406199,92	1,0	2,0	1,0	2,0	3,0	4,0	25,0	4,0	2,0	0,5	0,5	0,5	0,5	3,0
RP8	3515856,83	5406200,54	0,0	1,0		0,5			0,5	0,5		0,1	0,5	1,0	0,3	1,0
RP9	3515853,10	5406199,90				0,0			0,0						0,0	0,0
RP10	3515852,01	5406204,77	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,1	0,0	0,3	0,0	0,0
RP11	3515850,51	5406209,98	0,0	0,5		0,5	1,0	0,0	0,1	0,5		0,5	1,0	0,5	1,0	1,0
RP12	3515837,84	5406216,97	0,0	0,5		0,0	0,0		0,0	0,0	0,5	1,0	0,0	0,0	0,1	0,5
RP13	3515842,41	5406218,04				0,0					0,5				0,0	
RP14	3515847,52	5406219,12	0,0	0,1		0,0	0,5		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,1	
RP15	3515852,41	5406220,44				0,5					0,5				0,0	
RP16	3515857,16	5406221,79				0,5					0,5				0,0	
RP17	3515844,50	5406228,62	0,0	0,1		0,0	0,5		0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

A6 Analysenergebnisse der Probennahmen

A6.1: Summe der heterozyklischen Kohlenwasserstoffe

Summe der NSO-HET-Analysenwerte

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	26.10.05	18. - 20.01.06	08. - 09.07.06	18. / 26.07.06	25.10.06	12.12.06	20.12.06	30.12.06 / 02.01.07	29.01.07	12. / 19.02.07
B70	3515911,7	5406079,5		nn			0,8					
B86 (Zugabe)	3515856,6	5406190,8										72,0
B86 (Entnahme)	3515856,6	5406190,8		131,9		81,4	161,0			69,1	82,0	99,0
B87	3515872,7	5406199,6		105,5		104,3	114,4		77,4			
B88	3515885,4	5406229,0		29,1		23,8	21,0		20,6			
B89	3515904,4	5406251,0		nn			6,2					
B90	3515966,6	5406271,5		nn			1,5					
B91	3515978,2	5406139,0		35,3								
B97	3515798,7	5406253,5	43,8	74,0		63,6	22,2		22,3			
B98	3515831,6	5406270,4	59,6	117,9		44,4	85,7		75,0			
B99	3515854,9	5406278,6	26,6	56,2		48,3	57,2		58,2			
B100	3515878,8	5406284,7	2,1	5,0		3,5	2,9					
B101	3515906,5	5406288,7	nn	0,3			0,0					
B102	3515933,1	5406298,7	nn	nn			0,0					
P1	3516037,0	5406149,0		nn			1,9					
P2	3515971,0	5406105,0		44,6			137,9					
GWM6	3515683,2	5406435,0										
GWM8	3515679,3	5406500,6										
GWM9	3515676,7	5406539,4										
P90	3515710,9	5406277,4										
P1-Nord	3515759,4	5406595,9		nn								
P3-Nord	3515711,0	5406581,0										
B92	3515824,0	5406399,2		nn								
B93	3515783,7	5406388,3		nn								
B94	3515756,4	5406369,6		0,6								
B95	3515715,5	5406359,9		nn								
B96	3515865,6	5406415,1	0,3	nn								
B28	3515949,0	5406045,0		357,3								
B42	3515933,0	5406091,0		211,0			183,7					
B47	3515942,0	5406027,0		1044,0								
B56	3515948,0	5405992,0		2761,5								
B79	3515954,9	5405962,7		422,6								
B85	3515946,6	5406052,0		472,6								
RP1	3515860,1	5406164,9			15,1		33,1		26,3		27,6	
RP2	3515866,5	5406167,6			90,2		121,9		91,6			
RP3	3515867,3	5406175,9			91,5		161,0		134,6		115,2	
RP4	3515873,4	5406172,5			84,9		106,8		91,0		0,5	
RP5	3515861,4	5406178,5			103,8		109,5	112,5		86,2		95,0
RP6	3515854,8	5406195,5			57,8		94,6	66,5		16,6	3,9	68,0
RP7	3515853,1	5406199,9			97,6		115,6	102,7		19,6	1,6	2,0
RP8	3515856,8	5406200,5			97,7		98,9	101,7		32,8	1,5	6,0
RP9	3515853,1	5406199,9			83,2		6,6	94,4		50,5	15,2	81,0
RP10	3515852,0	5406204,8			51,8		117,5	107,4		61,5	22,0	41,0
RP11	3515850,5	5406210,0			32,8		7,6	48,7		31,6	1,1	10,0
RP12	3515837,8	5406217,0			73,0		85,6		89,3		62,4	
RP13	3515842,4	5406218,0			65,8		60,2		100,1		35,8	
RP14	3515847,5	5406219,1			43,1		49,6		83,2			
RP15	3515852,4	5406220,4			36,6		90,5		89,2		25,6	
RP16	3515857,2	5406221,8			68,6		74,0		67,8		45,3	
RP17	3515844,5	5406228,6			26,6		101,1		103,3		66,6	
RP18	3515799,6	5406256,1			63,4		46,8					
RP19	3515806,0	5406259,2			30,1		70,4					
RP20	3515812,5	5406261,8			59,9		64,1					
RP21	3515819,0	5406264,5			65,5		82,8		73,1			
RP22	3515825,5	5406267,1			59,2		76,6		69,2			
RP23	3515836,2	5406271,6			35,1		73,2		75,9			
RP24	3515840,5	5406273,2			52,1		66,9		64,0			
RP25	3515844,9	5406274,8			54,9		75,5		57,3			
RP26	3515849,1	5406276,4			47,7		59,1		47,0			
RP27	3515853,4	5406278,1			54,6		71,9					
RP28	3515856,8	5406279,3			24,1		32,2		25,7			
RP29	3515860,6	5406280,5			14,4		16,8					
RP30	3515864,4	5406281,5			0,7		1,0					

Summe der NSO-HET-Analysenwerte

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	26. - 27.02.07	12.03.07	29.03.07	04. / 11.04.07	24.04.07	10. / 15.05.07	24.05.07	26.06.07	25.07.07
B70	3515911,7	5406079,5	1,3								
B86 (Zugabe)	3515856,6	5406190,8	79,1						66,7	64,0	
B86 (Entnahme)	3515856,6	5406190,8		68,4	88,0	81,7	82,6	123,6	82,8	70,0	88,3
B87	3515872,7	5406199,6	110,7				34,2			19,7	73,6
B88	3515885,4	5406229,0	18,0				21,0			16,8	
B89	3515904,4	5406251,0	0,0							0,0	
B90	3515966,6	5406271,5	1,7								
B91	3515978,2	5406139,0									
B97	3515798,7	5406253,5	57,8		28,1		21,7			15,1	
B98	3515831,6	5406270,4	120,6		71,7		71,2			43,7	
B99	3515854,9	5406278,6	51,6				37,6			25,3	
B100	3515878,8	5406284,7	1,4				1,0			1,3	
B101	3515906,5	5406288,7	1,5				0,0				
B102	3515933,1	5406298,7	0,0				0,0				
P1	3516037,0	5406149,0	10,3								
P2	3515971,0	5406105,0	139,4							31,0	
GWM6	3515683,2	5406435,0									
GWM8	3515679,3	5406500,6									
GWM9	3515676,7	5406539,4	0,0								
P90	3515710,9	5406277,4									
P1-Nord	3515759,4	5406595,9									
P3-Nord	3515711,0	5406581,0									
B92	3515824,0	5406399,2	0,0								
B93	3515783,7	5406388,3	0,1								
B94	3515756,4	5406369,6	0,2								
B95	3515715,5	5406359,9	0,0								
B96	3515865,6	5406415,1	0,0								
B28	3515949,0	5406045,0									
B42	3515933,0	5406091,0	315,2							160,0	
B47	3515942,0	5406027,0									
B56	3515948,0	5405992,0									
B79	3515954,9	5405962,7									
B85	3515946,6	5406052,0									
RP1	3515860,1	5406164,9	23,8		31,4		22,4		13,8	21,4	11,5
RP2	3515866,5	5406167,6	103,7		134,0		125,5		51,7	88,2	85,7
RP3	3515867,3	5406175,9	99,9		112,9		100,2		58,1	96,5	111,9
RP4	3515873,4	5406172,5	87,6		70,3		70,6		63,7	54,4	57,4
RP5	3515861,4	5406178,5	115,1	77,5	109,3	93,8	97,5	134,8	111,1	82,9	
RP6	3515854,8	5406195,5	50,5	68,5	71,6	38,6	52,3	71,5	51,0	48,6	0,4
RP7	3515853,1	5406199,9	19,8	17,2	1,9	35,7	30,0	37,5	46,9	39,5	1,2
RP8	3515856,8	5406200,5	7,4	0,9		0,6	4,9	4,5		4,9	40,8
RP9	3515853,1	5406199,9	58,3	59,3		83,6	59,0	66,1		52,2	72,9
RP10	3515852,0	5406204,8	42,3	29,6	50,0	32,5	25,0	30,1		3,9	18,5
RP11	3515850,5	5406210,0	23,5	0,0		22,0	6,6	0,4		0,0	16,9
RP12	3515837,8	5406217,0	80,2		66,9		56,9		47,2	24,7	
RP13	3515842,4	5406218,0	65,1		61,7		57,4		55,7	40,5	
RP14	3515847,5	5406219,1	52,1	33,8	46,3		47,3		39,1	1,4	39,4
RP15	3515852,4	5406220,4	49,1		53,9		30,7		24,9	12,6	
RP16	3515857,2	5406221,8	66,0		44,1		51,9		44,9	19,9	
RP17	3515844,5	5406228,6	62,7	55,3	65,2		57,2		63,2	53,9	55,5
RP18	3515799,6	5406256,1					17,1				
RP19	3515806,0	5406259,2	55,9				44,3				
RP20	3515812,5	5406261,8	44,7				30,6			16,2	
RP21	3515819,0	5406264,5	66,9				49,6			39,8	
RP22	3515825,5	5406267,1	63,2				40,3			34,7	
RP23	3515836,2	5406271,6	54,3				43,6			29,1	
RP24	3515840,5	5406273,2	53,1				40,9			34,7	
RP25	3515844,9	5406274,8	63,8				45,0			37,4	
RP26	3515849,1	5406276,4	54,6				35,8			35,3	
RP27	3515853,4	5406278,1					36,4			35,7	
RP28	3515856,8	5406279,3					9,7				
RP29	3515860,6	5406280,5	7,9				4,8				
RP30	3515864,4	5406281,5	0,9				2,4				

A6.2: Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe

Summe der PAK-Analysenwerte

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	26.10.05	18. - 20.01.06	08. - 09.07.06	25.10.06	12.12.06	20.12.06	30.12.06 / 02.01.07	29.01.07	12. / 19.02.07
B70	3515911,7	5406079,5		0,1		0,6					
B86 (Zugabe)	3515856,6	5406190,8				154,1					112,9
B86 (Entnahme)	3515856,6	5406190,8		169,0		95,5			83,1	118,0	162,1
B87	3515872,7	5406199,6		133,0				92,9			
B88	3515885,4	5406229,0		6,7		5,6		6,2			
B89	3515904,4	5406251,0		0,0		0,1					
B90	3515966,6	5406271,5		0,0		0,0					
B91	3515978,2	5406139,0		5,5							
B97	3515798,7	5406253,5	21,3	20,0		2,8		2,6			
B98	3515831,6	5406270,4	74,6	103,0		99,0		102,0			
B99	3515854,9	5406278,6	10,5	25,0		24,5		25,5			
B100	3515878,8	5406284,7	0,6	0,0		0,1					
B101	3515906,5	5406288,7	0,1	0,0		nn					
B102	3515933,1	5406298,7	0,1	0,0		nn					
P1	3516037,0	5406149,0		0,0		0,7					
P2	3515971,0	5406105,0		34,0		218,3					
GWM6	3515683,2	5406435,0									
GWM8	3515679,3	5406500,6									
GWM9	3515676,7	5406539,4									
P90	3515710,9	5406277,4									
P1-Nord	3515759,4	5406595,9		0,0							
P3-Nord	3515711,0	5406581,0									
B92	3515824,0	5406399,2		0,0							
B93	3515783,7	5406388,3		0,0							
B94	3515756,4	5406369,6		0,2							
B95	3515715,5	5406359,9		0,0							
B96	3515865,6	5406415,1	0,9	0,0				65,4		6,1	
B28	3515949,0	5406045,0		115,0							
B42	3515933,0	5406091,0		182,0		165,4					
B47	3515942,0	5406027,0		624,0							
B56	3515948,0	5405992,0		3632,0							
B79	3515954,9	5405962,7		398,0							
B85	3515946,6	5406052,0		310,0							
RP1	3515860,1	5406164,9			0,2	0,5		0,3		0,4	
RP2	3515866,5	5406167,6			122,8	134,3		144,0			
RP3	3515867,3	5406175,9			127,4	167,2		194,0		148,2	
RP4	3515873,4	5406172,5			117,7	109,8		111,0		0,4	
RP5	3515861,4	5406178,5			162,6	90,3	116,0		115,0		128,0
RP6	3515854,8	5406195,5			44,7	64,1	4,0		0,5	4,4	110,0
RP7	3515853,1	5406199,9			104,5	115,0	70,9		0,7	2,1	0,1
RP8	3515856,8	5406200,5			110,9		83,0		1,2	0,2	0,1
RP9	3515853,1	5406199,9			80,7	49,3	76,1		16,6	3,0	54,1
RP10	3515852,0	5406204,8			58,1		110,1		45,3	25,5	16,0
RP11	3515850,5	5406210,0			29,4	5,1	48,2		21,7	1,2	6,4
RP12	3515837,8	5406217,0			104,0	77,2		96,7		62,7	
RP13	3515842,4	5406218,0			79,6	64,1		113,0		51,1	
RP14	3515847,5	5406219,1			62,7	49,7		89,6		0,2	
RP15	3515852,4	5406220,4			38,1			88,5		26,5	
RP16	3515857,2	5406221,8			93,9	59,9		59,1		41,4	
RP17	3515844,5	5406228,6			101,8	91,8		106,5		76,8	
RP18	3515799,6	5406256,1			24,1	2,5					
RP19	3515806,0	5406259,2			5,2	52,1					
RP20	3515812,5	5406261,8			66,5	40,3					
RP21	3515819,0	5406264,5			81,8	71,2		111,9			
RP22	3515825,5	5406267,1			36,4	49,2		56,0			
RP23	3515836,2	5406271,6			46,4	53,2		84,7			
RP24	3515840,5	5406273,2			56,2	41,2		75,1			
RP25	3515844,9	5406274,8			53,3	43,8		73,0			
RP26	3515849,1	5406276,4			14,9	7,3		14,7			
RP27	3515853,4	5406278,1			30,8	32,2					
RP28	3515856,8	5406279,3			0,3	0,8		1,2			
RP29	3515860,6	5406280,5			nn	0,2					
RP30	3515864,4	5406281,5			nn	0,1					

Summe der PAK-Analysenwerte

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	26. - 27.02.07	12.03.07	29.03.07	04. / 11.04.07	24.04.07	10. / 15.05.07	24.05.07	26.06.07	25.07.07
B70	3515911,7	5406079,5	nn								
B86 (Zugabe)	3515856,6	5406190,8	81,6						112,3	114,2	
B86 (Entnahme)	3515856,6	5406190,8		128,5	134,8	129,0	134,0	137,0	134,6	134,8	147,0
B87	3515872,7	5406199,6	100,1				42,8			30,0	90,0
B88	3515885,4	5406229,0	4,4				4,1			6,4	
B89	3515904,4	5406251,0	0,0							0,0	
B90	3515966,6	5406271,5	nn								
B91	3515978,2	5406139,0									
B97	3515798,7	5406253,5	3,4		3,0		3,0			2,3	
B98	3515831,6	5406270,4	95,9		80,1		81,3			61,7	
B99	3515854,9	5406278,6	17,2				10,9			10,6	
B100	3515878,8	5406284,7	nn				0,0			0,0	
B101	3515906,5	5406288,7	nn				0,0				
B102	3515933,1	5406298,7	nn				0,0				
P1	3516037,0	5406149,0	2,5								
P2	3515971,0	5406105,0	270,7							65,5	
GWM6	3515683,2	5406435,0									
GWM8	3515679,3	5406500,6									
GWM9	3515676,7	5406539,4	nn								
P90	3515710,9	5406277,4									
P1-Nord	3515759,4	5406595,9									
P3-Nord	3515711,0	5406581,0									
B92	3515824,0	5406399,2	nn								
B93	3515783,7	5406388,3	nn								
B94	3515756,4	5406369,6	0,1								
B95	3515715,5	5406359,9	nn								
B96	3515865,6	5406415,1	nn								
B28	3515949,0	5406045,0									
B42	3515933,0	5406091,0	187,5							201,2	
B47	3515942,0	5406027,0									
B56	3515948,0	5405992,0									
B79	3515954,9	5405962,7									
B85	3515946,6	5406052,0									
RP1	3515860,1	5406164,9	0,5		0,3		0,2		0,4	0,3	0,5
RP2	3515866,5	5406167,6	151,4		181,2		199,1		162,4	161,5	149,7
RP3	3515867,3	5406175,9	127,8		128,2		144,0		156,4	104,2	149,6
RP4	3515873,4	5406172,5	112,2		87,9		102,7		86,6	98,5	79,8
RP5	3515861,4	5406178,5	151,6	109,2	116,9	134,0	147,6	130,0	156,3	139,5	
RP6	3515854,8	5406195,5	56,1	127,8	109,9	88,0	82,4	115,0	94,4	80,9	0,1
RP7	3515853,1	5406199,9	0,1	0,2	0,3	44,0	0,2	1,1	26,9	0,4	0,1
RP8	3515856,8	5406200,5	1,5	0,2		0,1	0,1	0,7		0,3	25,0
RP9	3515853,1	5406199,9	86,0	111,4		124,4	98,8	112,0		112,0	127,0
RP10	3515852,0	5406204,8	33,7	39,1	50,6	45,0	36,9	45,0		9,2	26,8
RP11	3515850,5	5406210,0	22,5	0,4		28,5	9,5	0,7		0,1	20,3
RP12	3515837,8	5406217,0	54,4		61,3		64,7		58,5	45,4	
RP13	3515842,4	5406218,0	75,0		74,1		79,2		85,3	71,2	
RP14	3515847,5	5406219,1	53,3	52,4	60,9		84,1		66,6	0,8	63,0
RP15	3515852,4	5406220,4	44,7		52,9		49,4		40,0	24,7	
RP16	3515857,2	5406221,8	55,3		48,6		73,6		53,6	25,3	
RP17	3515844,5	5406228,6	66,1	81,5	72,2		73,1		81,7	92,1	81,0
RP18	3515799,6	5406256,1					2,8				
RP19	3515806,0	5406259,2	14,5				37,5				
RP20	3515812,5	5406261,8	46,1				29,0			14,4	
RP21	3515819,0	5406264,5	70,6				62,1			54,9	
RP22	3515825,5	5406267,1	29,4				24,0			20,5	
RP23	3515836,2	5406271,6	53,1				43,4			29,3	
RP24	3515840,5	5406273,2	38,1				42,3			47,1	
RP25	3515844,9	5406274,8	52,2				48,2			49,2	
RP26	3515849,1	5406276,4	13,5				13,8			20,0	
RP27	3515853,4	5406278,1					18,5			22,5	
RP28	3515856,8	5406279,3					0,1				
RP29	3515860,6	5406280,5	0,1				0,1				
RP30	3515864,4	5406281,5	0,1				0,1				

A6.3: Summe BTEX

BTEX-Analysenwerte

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	26.10.05	18. - 20.01.06	08. - 09.07.06	25.10.06	12.12.06	20.12.06	30.12.06 / 02.01.07	29.01.07	12. / 19.02.07
B70	3515911,7	5406079,5		0,0		nn					
B86 (Zugabe)	3515856,6	5406190,8									0,2
B86 (Entnahme)	3515856,6	5406190,8		0,2		0,7			0,1	0,2	0,2
B87	3515872,7	5406199,6		0,1		0,9		0,2			
B88	3515885,4	5406229,0		0,0		nn		nn			
B89	3515904,4	5406251,0		0,0		nn					
B90	3515966,6	5406271,5		0,0		nn					
B91	3515978,2	5406139,0		0,0							
B97	3515798,7	5406253,5	0,8	0,0		nn		nn			
B98	3515831,6	5406270,4	1,2	0,1		0,6		0,5			
B99	3515854,9	5406278,6	0,9	0,0		0,2		0,2			
B100	3515878,8	5406284,7	1,3	0,0		nn					
B101	3515906,5	5406288,7	1,2	0,0		nn					
B102	3515933,1	5406298,7	1,1	0,0		nn					
P1	3516037,0	5406149,0		0,0		nn					
P2	3515971,0	5406105,0		0,0		3,8					
GWM6	3515683,2	5406435,0									
GWM8	3515679,3	5406500,6									
GWM9	3515676,7	5406539,4									
P90	3515710,9	5406277,4									
P1-Nord	3515759,4	5406595,9		0,0							
P3-Nord	3515711,0	5406581,0									
B92	3515824,0	5406399,2		0,0							
B93	3515783,7	5406388,3		0,0							
B94	3515756,4	5406369,6		0,0							
B95	3515715,5	5406359,9		0,0							
B96	3515865,6	5406415,1	1,3	0,0							
B28	3515949,0	5406045,0		240,8							
B42	3515933,0	5406091,0		0,8		1,0					
B47	3515942,0	5406027,0		1816,8							
B56	3515948,0	5405992,0		8787,7							
B79	3515954,9	5405962,7		69,1							
B85	3515946,6	5406052,0		474,0							
RP1	3515860,1	5406164,9			0,1	0,2		0,2		0,2	
RP2	3515866,5	5406167,6			7,9	1,3		0,5			
RP3	3515867,3	5406175,9			9,3	0,7		0,4		0,4	
RP4	3515873,4	5406172,5			13,8	0,5		0,2		nn	
RP5	3515861,4	5406178,5			7,4	0,5	0,3		0,2		0,2
RP6	3515854,8	5406195,5			5,0	0,4	nn		0,1	nn	0,2
RP7	3515853,1	5406199,9			9,9	1,0	0,3		nn	nn	nn
RP8	3515856,8	5406200,5			9,0	0,7	0,3		nn	nn	nn
RP9	3515853,1	5406199,9			4,8	0,6	0,2		nn	nn	0,1
RP10	3515852,0	5406204,8			6,2	0,8	0,3		nn	nn	nn
RP11	3515850,5	5406210,0			2,9	nn	0,2		nn	nn	nn
RP12	3515837,8	5406217,0			5,7	0,7		0,3		nn	
RP13	3515842,4	5406218,0			3,8	0,4		0,3		nn	
RP14	3515847,5	5406219,1			2,3	0,3		0,2		nn	
RP15	3515852,4	5406220,4			2,7	0,5		0,2		nn	
RP16	3515857,2	5406221,8			3,4	0,5		0,2		nn	
RP17	3515844,5	5406228,6			3,3	0,7		0,4		nn	
RP18	3515799,6	5406256,1			2,0	0,1					
RP19	3515806,0	5406259,2			0,1	0,6					
RP20	3515812,5	5406261,8			0,4	0,3					
RP21	3515819,0	5406264,5			1,6	0,6		0,4			
RP22	3515825,5	5406267,1			0,4	0,3		0,3			
RP23	3515836,2	5406271,6			0,4	0,3		0,3			
RP24	3515840,5	5406273,2			0,2	0,2		0,3			
RP25	3515844,9	5406274,8			0,2	0,2		0,3			
RP26	3515849,1	5406276,4			0,1	0,2		0,2			
RP27	3515853,4	5406278,1			0,2	0,3					
RP28	3515856,8	5406279,3			nn	nn		nn			
RP29	3515860,6	5406280,5			nn	nn					
RP30	3515864,4	5406281,5			nn	nn					

BTEX-Analysenwerte

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	26. - 27.02.07	12.03.07	29.03.07	04. / 11.04.07	24.04.07	09. / 15.05.07	24.05.07	26.06.07	25.07.07
B70	3515911,7	5406079,5	nn								
B86 (Zugabe)	3515856,6	5406190,8	nn						0,4	0,3	
B86 (Entnahme)	3515856,6	5406190,8		0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
B87	3515872,7	5406199,6	0,1				nn			0,0	0,3
B88	3515885,4	5406229,0	nn				nn			0,0	
B89	3515904,4	5406251,0	nn							0,0	
B90	3515966,6	5406271,5	nn								
B91	3515978,2	5406139,0									
B97	3515798,7	5406253,5	nn		nn		nn			0,0	
B98	3515831,6	5406270,4	0,2		0,1		0,1			0,1	
B99	3515854,9	5406278,6	0,1				nn			0,0	
B100	3515878,8	5406284,7	nn				nn			0,0	
B101	3515906,5	5406288,7	nn				nn				
B102	3515933,1	5406298,7	nn				nn				
P1	3516037,0	5406149,0	nn								
P2	3515971,0	5406105,0	0,7							0,6	
GWM6	3515683,2	5406435,0									
GWM8	3515679,3	5406500,6									
GWM9	3515676,7	5406539,4	nn								
P90	3515710,9	5406277,4									
P1-Nord	3515759,4	5406595,9									
P3-Nord	3515711,0	5406581,0									
B92	3515824,0	5406399,2	nn								
B93	3515783,7	5406388,3	nn								
B94	3515756,4	5406369,6	nn								
B95	3515715,5	5406359,9	nn								
B96	3515865,6	5406415,1	nn								
B28	3515949,0	5406045,0									
B42	3515933,0	5406091,0	1,7							4,1	
B47	3515942,0	5406027,0									
B56	3515948,0	5405992,0									
B79	3515954,9	5405962,7									
B85	3515946,6	5406052,0									
RP1	3515860,1	5406164,9	nn		nn		nn		0,1	0,0	0,0
RP2	3515866,5	5406167,6	0,4		0,6		0,7		0,6	0,6	0,5
RP3	3515867,3	5406175,9	0,5		0,5		0,6		0,8	0,7	0,8
RP4	3515873,4	5406172,5	0,4		0,5		0,6		0,4	0,4	0,4
RP5	3515861,4	5406178,5	0,6	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	
RP6	3515854,8	5406195,5	0,1	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,0
RP7	3515853,1	5406199,9	nn	nn	nn	0,2	0,2	0,0	0,3	0,3	0,0
RP8	3515856,8	5406200,5	nn	nn		nn	nn	0,0		0,1	0,3
RP9	3515853,1	5406199,9	nn	0,1		0,3	0,3	0,4		0,4	0,3
RP10	3515852,0	5406204,8	nn	nn	nn	nn	nn	0,0		0,0	0,0
RP11	3515850,5	5406210,0	nn	nn		0,3	nn	0,0		0,0	0,0
RP12	3515837,8	5406217,0	nn		0,1		nn		0,0	0,0	
RP13	3515842,4	5406218,0	nn		nn		0,3		0,3	0,4	
RP14	3515847,5	5406219,1	nn	0,1	nn		0,1		0,1	0,0	0,1
RP15	3515852,4	5406220,4	nn		nn		nn		0,0	0,1	
RP16	3515857,2	5406221,8	nn		nn		nn		0,0	0,0	
RP17	3515844,5	5406228,6	nn	nn	nn		nn		0,1	0,3	0,2
RP18	3515799,6	5406256,1					nn				
RP19	3515806,0	5406259,2	1,2				0,4				
RP20	3515812,5	5406261,8	nn				nn			0,1	
RP21	3515819,0	5406264,5	0,1				nn			0,0	
RP22	3515825,5	5406267,1	0,2				0,1			0,0	
RP23	3515836,2	5406271,6	0,2				0,1			0,0	
RP24	3515840,5	5406273,2	0,1				nn			0,0	
RP25	3515844,9	5406274,8	0,2				0,1			0,0	
RP26	3515849,1	5406276,4	0,1				0,1			0,0	
RP27	3515853,4	5406278,1					nn			0,0	
RP28	3515856,8	5406279,3					nn				
RP29	3515860,6	5406280,5	nn				nn				
RP30	3515864,4	5406281,5	nn				nn				

A6.4: Summe CKW

CKW-Analysenwerte

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	26.10.05	18. - 20.01.06	08. - 09.07.06	25.10.06	12.12.06	20.12.06	30.12.06 / 02.01.07	29.01.07	12. / 19.02.07
B70	3515911,7	5406079,5		0,0		nn					
B86 (Zugabe)	3515856,6	5406190,8									0,2
B86 (Entnahme)	3515856,6	5406190,8		0,2					0,1	0,2	0,3
B87	3515872,7	5406199,6		0,2		0,3		0,2			
B88	3515885,4	5406229,0		0,0		0,2		0,1			
B89	3515904,4	5406251,0		0,0							
B90	3515966,6	5406271,5		0,0							
B91	3515978,2	5406139,0		0,1							
B97	3515798,7	5406253,5	0,1	0,1		0,2		0,1			
B98	3515831,6	5406270,4	0,1	0,2		0,2		0,2			
B99	3515854,9	5406278,6	0,1	0,1		0,2		0,2			
B100	3515878,8	5406284,7	<0,1	0,0		0,2					
B101	3515906,5	5406288,7	<0,1	0,0		0,1					
B102	3515933,1	5406298,7	<0,1	0,0		0,1					
P1	3516037,0	5406149,0		0,1		0,2					
P2	3515971,0	5406105,0		0,2		0,4					
GWM6	3515683,2	5406435,0									
GWM8	3515679,3	5406500,6									
GWM9	3515676,7	5406539,4									
P90	3515710,9	5406277,4									
P1-Nord	3515759,4	5406595,9		0,0							
P3-Nord	3515711,0	5406581,0									
B92	3515824,0	5406399,2		0,1							
B93	3515783,7	5406388,3		0,0							
B94	3515756,4	5406369,6		0,0							
B95	3515715,5	5406359,9		0,0							
B96	3515865,6	5406415,1	nn	0,0							
B28	3515949,0	5406045,0		0,0							
B42	3515933,0	5406091,0		0,2		0,2					
B47	3515942,0	5406027,0		0,0							
B56	3515948,0	5405992,0		0,0							
B79	3515954,9	5405962,7		0,0							
B85	3515946,6	5406052,0		0,0							
RP1	3515860,1	5406164,9			0,0	0,0		nn		0,1	
RP2	3515866,5	5406167,6			0,2	0,3		0,1			
RP3	3515867,3	5406175,9			0,2	0,2		0,2		0,2	
RP4	3515873,4	5406172,5			0,2	0,1		0,1		nn	
RP5	3515861,4	5406178,5			0,2	0,3	0,3		0,2		0,2
RP6	3515854,8	5406195,5			0,2	0,2	0,3		0,1	nn	0,2
RP7	3515853,1	5406199,9			0,2	0,2	0,3		nn	nn	nn
RP8	3515856,8	5406200,5			0,2		0,2		0,1	nn	nn
RP9	3515853,1	5406199,9			0,2	0,2	0,1		0,1	nn	0,2
RP10	3515852,0	5406204,8			0,2		0,2		0,1	nn	nn
RP11	3515850,5	5406210,0			0,1	nn	nn		nn	nn	nn
RP12	3515837,8	5406217,0			0,2	0,2		0,2		0,2	
RP13	3515842,4	5406218,0			0,2	0,1		0,2		nn	
RP14	3515847,5	5406219,1			0,1	nn		0,2		nn	
RP15	3515852,4	5406220,4			0,1			0,1		nn	
RP16	3515857,2	5406221,8			0,2	0,1		0,1		0,1	
RP17	3515844,5	5406228,6			0,2	0,2		0,2		0,1	
RP18	3515799,6	5406256,1			0,2	nn					
RP19	3515806,0	5406259,2			0,1	0,1					
RP20	3515812,5	5406261,8			0,1	0,1					
RP21	3515819,0	5406264,5			0,2	0,1		0,2			
RP22	3515825,5	5406267,1			0,1	0,1		0,2			
RP23	3515836,2	5406271,6			0,2	0,2		0,2			
RP24	3515840,5	5406273,2			0,2	0,2		0,1			
RP25	3515844,9	5406274,8			0,1	0,2		0,1			
RP26	3515849,1	5406276,4			0,1	nn		0,1			
RP27	3515853,4	5406278,1			0,1	0,1					
RP28	3515856,8	5406279,3			0,1	0,2		0,1			
RP29	3515860,6	5406280,5			0,1	0,1					
RP30	3515864,4	5406281,5			0,0	nn					

CKW-Analysenwerte

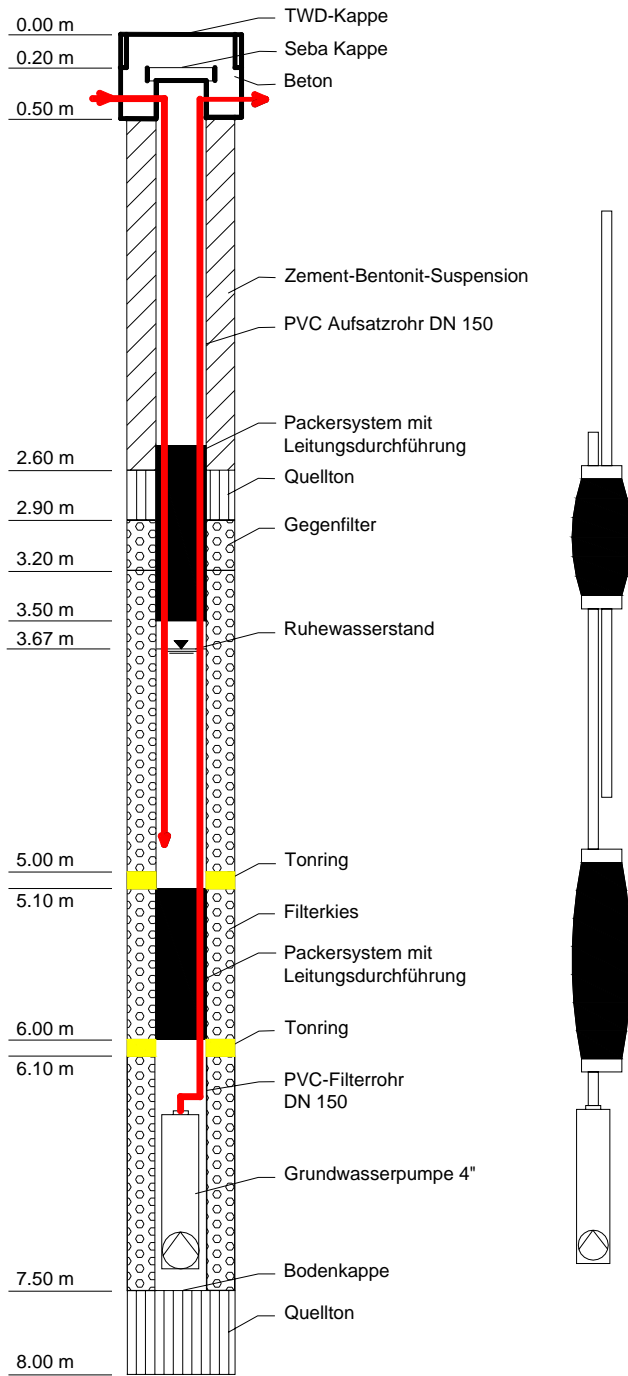
GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	26. - 27.02.07	12.03.07	29.03.07	04. / 11.04.07	24.04.07	09. / 15.05.07	24.05.07	26.06.07	25.07.07
B70	3515911,7	5406079,5	0,2								
B86 (Zugabe)	3515856,6	5406190,8	0,2						0,1	0,2	
B86 (Entnahme)	3515856,6	5406190,8		0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
B87	3515872,7	5406199,6	0,2				0,1			0,1	1,1
B88	3515885,4	5406229,0	0,2				0,2			0,1	
B89	3515904,4	5406251,0	nn							0,0	
B90	3515966,6	5406271,5	0,1								
B91	3515978,2	5406139,0									
B97	3515798,7	5406253,5	0,1		nn		0,1			0,0	
B98	3515831,6	5406270,4	0,2		0,2		0,2			0,2	
B99	3515854,9	5406278,6	0,2				0,2			0,1	
B100	3515878,8	5406284,7	0,1				nn			0,0	
B101	3515906,5	5406288,7	nn				nn				
B102	3515933,1	5406298,7	0,1				0,1				
P1	3516037,0	5406149,0	0,6								
P2	3515971,0	5406105,0	0,3							0,5	
GWM6	3515683,2	5406435,0									
GWM8	3515679,3	5406500,6									
GWM9	3515676,7	5406539,4	0,1								
P90	3515710,9	5406277,4									
P1-Nord	3515759,4	5406595,9									
P3-Nord	3515711,0	5406581,0									
B92	3515824,0	5406399,2	0,1								
B93	3515783,7	5406388,3	nn								
B94	3515756,4	5406369,6	0,1								
B95	3515715,5	5406359,9	0,1								
B96	3515865,6	5406415,1	nn								
B28	3515949,0	5406045,0									
B42	3515933,0	5406091,0	0,2							0,6	
B47	3515942,0	5406027,0									
B56	3515948,0	5405992,0									
B79	3515954,9	5405962,7									
B85	3515946,6	5406052,0									
RP1	3515860,1	5406164,9	0,1		0,1		0,1		0,0	0,1	0,1
RP2	3515866,5	5406167,6	0,2		0,2		0,3		0,2	0,2	0,2
RP3	3515867,3	5406175,9	0,2		0,2		0,2		0,2	0,2	0,2
RP4	3515873,4	5406172,5	0,2		0,1		0,2		0,1	0,1	0,2
RP5	3515861,4	5406178,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	
RP6	3515854,8	5406195,5	0,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0
RP7	3515853,1	5406199,9	0,1	0,1	nn	0,1	0,2	1,0	0,0	0,1	0,1
RP8	3515856,8	5406200,5	nn	0,1		nn	0,1	0,0		0,0	0,2
RP9	3515853,1	5406199,9	0,1	0,2		0,2	0,2	0,2		0,2	0,2
RP10	3515852,0	5406204,8	nn	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,0	0,1
RP11	3515850,5	5406210,0	nn	nn		nn	nn	0,0		0,0	0,0
RP12	3515837,8	5406217,0	0,1		0,1		0,2		0,0	0,1	
RP13	3515842,4	5406218,0	0,1		0,1		0,2		0,2	0,2	
RP14	3515847,5	5406219,1	0,1	0,1	nn		0,1		0,1	0,0	0,1
RP15	3515852,4	5406220,4	0,1		nn		0,1		0,1	0,0	
RP16	3515857,2	5406221,8	0,1		0,1		0,1		0,1	0,0	
RP17	3515844,5	5406228,6	0,2	0,2	0,2		0,2		0,1	0,2	0,2
RP18	3515799,6	5406256,1					0,1				
RP19	3515806,0	5406259,2	0,4				0,6				
RP20	3515812,5	5406261,8	nn				0,3			0,0	
RP21	3515819,0	5406264,5	0,1				0,2			0,2	
RP22	3515825,5	5406267,1	0,1				0,3			0,1	
RP23	3515836,2	5406271,6	0,1				0,2			0,1	
RP24	3515840,5	5406273,2	0,2				0,2			0,2	
RP25	3515844,9	5406274,8	0,2				0,3			0,2	
RP26	3515849,1	5406276,4	0,1				0,1			0,2	
RP27	3515853,4	5406278,1					0,1			0,2	
RP28	3515856,8	5406279,3					0,1				
RP29	3515860,6	5406280,5	nn				nn				
RP30	3515864,4	5406281,5	nn				nn				

A6.5: Eisengehalt

Eisen-Werte

GW-Messstelle	Rechtswert	Hochwert	Jan. 06	Jul. 06	Okt. 06	Mrz. 07	Apr. 07	Jun. 07
GZB Entnahme	3515856,7	5406191,02			11,0			7,5
GZB Zugabe	3515856,7	5406191,02	8,2	7,5	5,3		18,9	9,5
B87	3515872,7	5406199,56	11,0	9,6	10,0		4,3	1,4
B88	3515885,4	5406228,98	12,0	11,0	5,4		12,1	9,7
B89	3515904,4	5406251,04	3,7		0,1			0,1
B97	3515798,7	5406253,48	8,3	6,9	5,0		6,9	5,6
B98	3515831,6	5406270,35	13,0	11,0	12,0		19,3	13,5
B99	3515854,9	5406278,65	15,0	15,0	14,0		25,3	16,0
B100	3515878,8	5406284,72	13,0	8,5	8,4		14,5	9,1
B101	3515906,5	5406288,69	0,1		0,1		1,4	
B102	3515933,1	5406298,68	1,7		4,6		6,0	
P1	3516037,0	5406149,00	0,8		0,9			
P2	3515971,0	5406105,00	0,9		13,0			0,5
RP1	3515860,1	5406164,90		17,2	8,1			5,2
RP2	3515866,5	5406167,58		19,6	8,5			9,5
RP3	3515867,3	5406175,88		14,8	13,3			7,6
RP4	3515873,4	5406172,53		22,7	3,8			3,0
RP5	3515861,4	5406178,49		46,8	4,9	7,9		7,3
RP6	3515854,8	5406195,48		2,2	0,1	7,1		2,1
RP7	3515853,1	5406199,92		40,0	6,5	1,5		0,4
RP8	3515856,8	5406200,54		18,3	5,4			0,9
RP9	3515853,1	5406199,90		24,1	43,7			11,9
RP10	3515852,0	5406204,77		23,2	9,1	28,4		14,2
RP11	3515850,5	5406209,98		40,4	2,5			0,1
RP12	3515837,8	5406216,97		53,4	11,2			9,8
RP13	3515842,4	5406218,04		2,6	7,1			8,0
RP14	3515847,5	5406219,12		9,9	5,6	4,9		0,9
RP15	3515852,4	5406220,44		31,0	9,3			9,6
RP16	3515857,2	5406221,79		32,7	10,6			6,8
RP17	3515844,5	5406228,62		68,0	9,5	10,2		9,2
RP18	3515799,6	5406256,13		24,6	8,3			
RP19	3515806,0	5406259,17		16,9	12,3			
RP20	3515812,5	5406261,75		25,0	14,9			22,8
RP21	3515819,0	5406264,49		19,0	12,2			13,9
RP22	3515825,5	5406267,14		90,0	12,7			12,1
RP23	3515836,2	5406271,60		38,5	12,9			27,9
RP24	3515840,5	5406273,23		22,6	14,4			10,2
RP25	3515844,9	5406274,78		56,0	13,6			16,2
RP26	3515849,1	5406276,39		20,8	11,4			14,1
RP27	3515853,4	5406278,08		36,7	12,6			11,3
RP28	3515856,8	5406279,32		54,4	14,8			
RP29	3515860,6	5406280,45		22,2	14,1			
RP30	3515864,4	5406281,52		16,6	1,2			

A7 Ausbauplan Grundwasserzirkulationsbrunnen



A8 Monatliche Analysen der relevanten Wasserinhaltsstoffe des GZB

		B 86 26.07.06	B 86 31.08.06	B 86 02.11.06	B 86 01.12.06	B 86 / GZB 29.01.07	B 86 / GZB 27.02.07
Parameter	Dimension	Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser
Aussehen		klar	klar, wenig Bodensatz	klar, wenig Bodensatz	klar, wenig Bodensatz	klar, wenig Bodensatz	klar, wenig Bodensatz
Färbung		farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos
Geruch		nach Mineralöl	aromatisch	eigenartig	eigenartig	eigenartig	leicht eigenartig
Ammonium in [mg/L]	mg/l	1,4	2,2	1,9	0,06	0,195	3,34
Cyanid, gesamt in [mg/L]	mg/l	0,05	0,13	0,12	0,15	0,17	0,14
Phenolindex in [mg/L]	mg/l	0,01	0,02	0,01	0,06	0,03	< 0,01
Kohlenwasserstoff in [mg/L]	mg/l	0,16	0,50	0,50	0,14	0,17	< 0,1
Mangan in [mg/L]	mg/l	0,87	0,77	0,74	0,71	0,76	0,87
Nitrit in [mg/L]	mg/l	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4,0
elektr. Leitfähigkeit in [mS/cm]	mS/cm	2,12	1,45	2,14	2,19	2,01	2,27
pH-Wert		6,5	6,5	6,7	6,8	6,7	6,7
Sauerstoff in [mg/L]	mg/l	0,0	3,1	1,3	1,1	3,9	4,3
KMnO ₄ in [mg/L]	mg/l	26	8,8	12	9,6	24	
Säurekapazität bis pH 4,3 in [mmol/L]	mmol/l	12,5	11,5	11,5	11,0	11,7	11,9
Gesamthärte in [°dH]	°dH	60,9	63,7	61,2	60,9	64,2	65,9
Calcium in [mg/L]	mg/l	323	343	325	315	344	354
Magnesium in [mg/L]	mg/l	68	68	68	73	70	71
Natrium in [mg/L]	mg/l	85	88	80	84	85	82
Chlorid in [mg/L]	mg/l	153	170	157	158	162	158
Sulfat in [mg/L]	mg/l	488	484	469	486	473	588
freie Kohlensäure in [mg/L]	mg/l	114	164	110	152	172	88
Kalium in [mg/L]	mg/l	13	12	12	12	12	11
Eisen in [mg/L]	mg/l	7,5	6,7	7,7	6,8	7,4	8,0
Nitrat in [mg/L]	mg/l	< 2	7	6	< 2	7	< 2,0
Trockenrückstand	g/l	1,853	1,843	1,671	1,69	1,708	1,752

		B 86 / GZB 29.03.07	B 86 / GZB 25.04.07	B 86 / GZB 24.05.07	B 86 / GZB 26.06.07	B 86 / GZB 16.07.07
Parameter	Dimension	Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser	Grundwasser
Aussehen		klar, wenig Bodensatz	klar	klar	klar	klar, wenig Bodensatz
Färbung		farblos	farblos	farblos	farblos	gelblich
Geruch		leicht eigenartig	leicht eigenartig	eigenartig	ohne Befund	eigenartig
Ammonium in [mg/L]	mg/l	1,8	1,8	1,8	1,70	1,600
Cyanid, gesamt in [mg/L]	mg/l	0,15	0,13	0,16	0,09	0,16
Phenolindex in [mg/L]	mg/l	< 0,01	0,01	0,02	0,10	0,04
Kohlenwasserstoff in [mg/L]	mg/l	0,24	0,20	<0,1	0,10	0,10
Mangan in [mg/L]	mg/l	0,76	0,75	0,75	0,69	0,90
Nitrit in [mg/L]	mg/l	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4,0
elektr. Leitfähigkeit in [mS/cm]	mS/cm	2,15	2,08	2,19	1,97	1,94
pH-Wert		6,7	6,8	6,9	6,8	7,0
Sauerstoff in [mg/L]	mg/l	5,7	4,2	4,0	4,7	1,5
KMnO ₄ in [mg/L]	mg/l	17		2		9
Säurekapazität bis pH 4,3 in [mmol/L]	mmol/l	12,0	11,7	11,1	11,2	11,6
Gesamthärte in [°dH]	°dH	64,8	65,2	63,1	62,9	68,1
Calcium in [mg/L]	mg/l	345	348	332	329	370
Magnesium in [mg/L]	mg/l	72	72	72	73	71
Natrium in [mg/L]	mg/l	84	83	83	78	84
Chlorid in [mg/L]	mg/l	159	158	157	154	160
Sulfat in [mg/L]	mg/l	480	478	469	470	536
freie Kohlensäure in [mg/L]	mg/l	110	96	108	110	116
Kalium in [mg/L]	mg/l	12	12	12	12	11
Eisen in [mg/L]	mg/l	11,1	11,1	7,2	9,7	8,3
Nitrat in [mg/L]	mg/l	< 2	< 2	6	< 2	< 2,0
Trockenrückstand	g/l	1,724	1,768	1,801	1,78	1,676