

Einwohnergemeinde Muttenz / BL

S C + P

**Deponie Feldreben
Muttenz / BL**

**Altlastenvoruntersuchung
Technische Untersuchung, 2. Etappe**

Bern

Wollerau

Zürich

Olten: Jurastrasse 6, CH-4600 Olten
Telefon: 062 205 54 00
Telefax: 062 205 54 09
e-mail: scpolten@scpag.ch

Inhalt

1. Einleitung und Auftrag	12
2. Hydrogeologische Übersicht	14
2.1. Historische und geografische Übersicht	14
2.2. Geologie	15
2.3. Hydrogeologie	16
3. Hydrogeologische Felduntersuchungen	18
3.1. Angetroffene Untergrundverhältnisse (Bohrungen)	18
3.2. Grundwasserverhältnisse	23
3.2.1. Grundwasservorkommen	23
3.2.2. Fliessverhältnisse	24
3.2.3. Lage, Gefälle und Schwankungen des Grundwasserspiegels	27
3.2.4. Zusammenhang mit der Grundwasseranreicherung	30
3.3. Pumpversuche	32
3.3.1. Kurzpumpversuche	32
3.3.2. Belastungspumpversuche	33
3.4. Zusammenfassende Folgerungen	39
4. Deponieinhalt	40
4.1. Überblick der Felduntersuchungen	40
4.2. MIP-Sondierungen	41
4.3. Bodengasmessungen	45
4.4. Kernbohrungen	48
4.5. Ergebnisse Laboruntersuchungen (chemische Analysen)	51
4.5.1. Materialproben und Untersuchungsprogramm	51
4.5.2. Resultate der Einzelstoffanalytik	52
4.5.3. Screenig-Resultate	55
4.5.4. Eluatteste nach AltIV	56
4.6. Zusammenfassende Folgerungen	59
4.6.1. Schlussfolgerungen der Feld- und Laboruntersuchungen	59
4.6.2. Schadstoffpotential (Deponieinhalt)	60
5. Chemische Analysen des Grundwassers	63
5.1. Untersuchungsprogramm	63
5.1.1. Durchgeführte Probenahmen	63
5.1.2. Analysenprogramm	65
5.2. Zusammenfassender Überblick	66



5.3. Allgemeine Beschaffenheit des Grundwassers.....	69
5.4. Gesamtmineralisation und Redoxverhältnisse.....	70
5.5. Anorganische Schadstoffe	73
5.6. Organische Schadstoffe	74
5.7. Ergebnisse der Screenings	80
5.8. Analysergebnisse der Belastungspumpversuche	84
5.9. Zusammenfassende Folgerungen.....	88
6. Beurteilung der Altlastensituation	90
6.1. Repräsentativität der Untersuchungsergebnisse	90
6.2. Umweltbeeinflussung durch die Deponie Feldreben.....	91
6.2.1. Ausmass der Schadstoffbelastung im Grundwasser.....	91
6.2.2. Vergleich mit Richt- und Konzentrationswerten AltIV	91
6.3. Emissionsverhalten	96
6.4. Beurteilung nach Altlastenverordnung	97
7. Schlussbetrachtungen.....	98



Tabellen

Tabelle 1: ausgeführte Kernbohrungen (2 Etappe TU)	8
Tabelle 2: Untersuchungsprogramm Deponie Feldreben (gesamte TU)	13
Tabelle 3: massgebende Grundwasserstände (Feldreben)	27
Tabelle 4: Unterbrüche der Grundwasseranreicherung	31
Tabelle 5: Kurzpumpversuche (neue Bohrungen Deponie Feldreben).....	32
Tabelle 6: Versuchsanordnung Belastungspumpversuche Feldreben 2006.....	34
Tabelle 7 : Auswertung Belastungspumpversuche Feldreben	37
Tabelle 8 : Probenahme Bodenluft (Feldreben)	46
Tabelle 9 : Zusammenstellung Untersuchungsergebnisse Bodenluft (Feldreben)	47
Tabelle 10 : Materialtypen Deponiematerial	50
Tabelle 11 : Untersuchungsprogramm (Einzelstoffanalytik und Screenings).....	52
Tabelle 12 : Untersuchungsergebnisse Feststoffproben.....	53
Tabelle 13 : Untersuchungsergebnisse Eluatprobe nach AltIV (Säulentest)	59
Tabelle 14 : Schadstoffpotential Deponie Feldreben (Deponiemodell).....	61
Tabelle 15: durchgeführte Probenahmekampagnen	63



Tabelle 16: Massgebende Grundwasserstände (Deponie Feldreben).....	65
Tabelle 17 : Analysenprogramm (2. Etappe TU).....	66
Tabelle 18: Anorganische Schadstoffbelastung des Grundwassers (Einzelstoffanalytik)68	
Tabelle 19: Organische Schadstoffbelastung des Grundwassers (Einzelstoffanalytik) ...	68
Tabelle 20: Schwermetallgehalte und Borgehalt im Grundwasser.....	73
Tabelle 21: Zusammenstellung der Screening-Ergebnisse.....	82
Tabelle 22: Vergleich mit Indikatorwerten und AltIV-Konzentrationswerte.....	93
Tabelle 23: CKW-Konzentrationen (Nahfeld) und AltIV-Konzentrationswerte	94
Tabelle 24 : Bodenluft (Feldreben), Vergleich mit AltIV-Konzentrationswerten	95

Abbildungen

Abbildung 1: Ganglinien des Grundwasserspiegels (Feldreben)	28
Abbildung 2: Ganglinien des Grundwasserspiegels 13. – 21.12.2006	30
Abbildung 3: Ganglinien während Belastungspumpveruche	35
Abbildung 4: Berechneter Entnahmebereich in Funktion der Zeit.....	38
Abbildung 5: Schematische Darstellung der MIP-Sondierung	42
Abbildung 6: Beispiel einer MIP-Sondierung	43
Abbildung 7: Screening-Resultate Feststoffproben (nur Kernbohrungen)	56
Abbildung 8: box-plot-Diagramm Hauptbestandteile Anionen/Kationen	70
Abbildung 9: SO ₄ vs NO ₃ :.....	71
Abbildung 10: box-plot-Diagramm	72
Abbildung 11: box-plot-Diagramm Schwermetalle und Elemente	74
Abbildung 12: box-plot-Diagramm DOC, AOX und Σ CKW.....	75
Abbildung 13: box-plot-Diagramm CKW-Belastung	76
Abbildung 14: Ganglinien der CKW-Belastung im HMK-Grundwasser.....	77
Abbildung 15: box-plot-Diagramm Pestizide	79
Abbildung 16: Screening-Methode	81
Abbildung 17: elektrische Leitfähigkeit vs Perchlorethen-Gehalt	86
Abbildung 18: Perchlorethen vs Chloroform.....	86

Anhänge

- A1 Situation 1:10'000, Überblick, Deponien und Lage der Bohrungen und Messstellen
- A2 Darstellung der Grundwasserverhältnisse
 - a) Situation 1:10'000 mit Lage des Grundwasserspiegels am 18.12.2006 (MW)
 - b) Situation 1:2'500 mit Lage des Grundwasserspiegels am 18.09.2006 (NW)
 - c) Situation 1:2'500 mit Lage des Grundwasserspiegels am 18.12.2006 (MW)
 - d) Situation 1:2'500 mit Lage des Grundwasserspiegels am 16.10.2006 (HW)
- A3 Hydrogeologische Profile 1:2'500 / 500 (5-fach überhöht)
 - a) NW- SE („Deponieprofil“)
 - b) W – E (entlang Kriegstrasse)
- A4 Situation 1:2'500, mit Darstellung der geologischen Verhältnisse
 - a) Lage der Schotteruntergrenze
 - b) Felsoberfläche und -beschaffenheit
 - c) Deponiemächtigkeit und Schadstoffgehalt
- A5 Ergebnisse der MIP-Sondierungen
 - a) Situation 1: 2'500 mit Darstellung der PID-Summenwerte
 - b) Situation 1: 2'500 mit Darstellung der FID-Summenwerte
 - c) Situation 1: 2'500 mit Darstellung der DELCD-Summenwerte
- A6 Auswertung der Grundwasseranalysen, Situation 1:2'500
 - a) mit Darstellung der allgemeinen Leitparameter
 - b) mit Darstellung der Gesamtmineralisation (Anionen)
 - c) mit Darstellung der organischen Belastung
 - d) mit Darstellung der CKW-Belastung
- A7 Auswertung Belastungspumpversuche, Gangliniendarstellungen

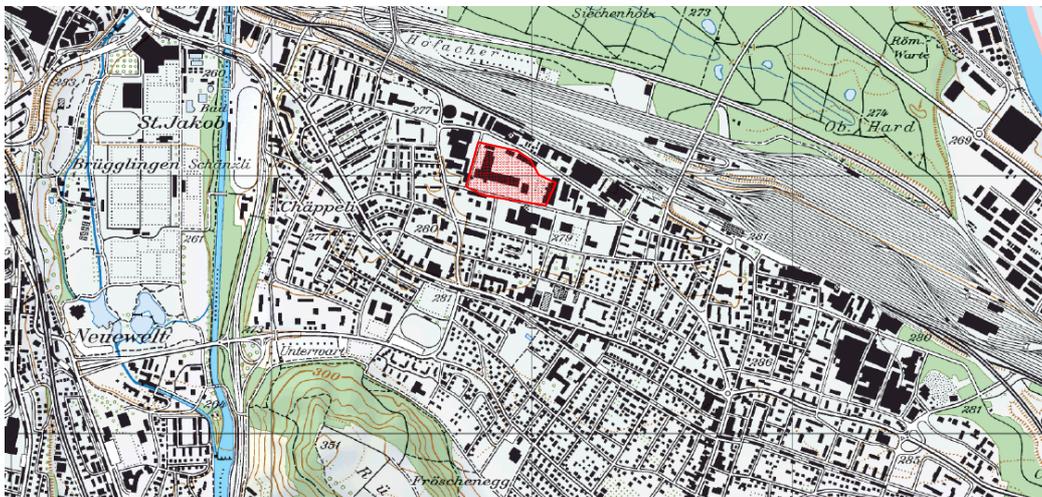
Beilagenbände (separat)

- B1 Dokumentation Kernbohrungen
 - a) Sondierprotokolle 1:100
 - b) Fotodokumentation
 - c) Probenahmeprotokoll
- B2 Laborresultate
 - a) Gemeinde Muttenz. Grundwasseruntersuchung Deponien Muttenz. Untersuchungsetappe II. Feldreben. Einzelstoffanalytik und Screenings. Messkampagne März, Juni und Juli 2006. Prüfberichte RWB laboratoire SA vom September 2007
 - b) Prüfberichte Prof. Dr. M. Oehme
 - c) Untersuchungsbericht Bodenluft. Labor DVGW, Karlsruhe



Projektangaben

Auftraggeber:	Einwohnergemeinde Muttenz Kirchplatz 3 4132 Muttenz
Projektleitung:	Laube & Klein AG Allmendweg 35 4450 Sissach
Involvierte Gremien:	Projektteam und Lenkungs-gremium: (Vertreter/innen der IG DRB, Projektleitung, Geotechni- sches Institut, Basel, der Grundeigentümer und der Ge- meinde Muttenz)
Koordinaten // Höhe	614'850 / 265'000 // ca. 280 m ü.M.
Auftrag:	Zusammenstellung und Beurteilung aller Untersuchungs- resultate gemäss Pflichtenheft vom 9.9.2005 (Schlussbe- richte 2. Etappe technische Untersuchung)



Filename / Version	Korreferat	Schlusskontrolle	Versand an	Datum
SO 966G_Schlussbericht Feldreben_v1	30.7.07 Da	4.8.07 Hm	3 (mail)	6.8.07
SO 966G_Schlussbericht Feldreben_v2	12.7.07 Da	17.9.07 Hm	3 (mail)	18.9.07
SO 966G_Schlussbericht Feldreben_def	21.9.07 3	26.9.07 Hm	4, 1	27.9.07

Empfänger (Firma / Name)

- 1 Bauverwaltung Muttenz
- 2 Lenkungs-gremium (A. Meyer)
- 3 Projektteam
- 4 Externe Experten

Ausgeführte Arbeiten

Als Beurteilungsgrundlage für die Ausarbeitung des vorliegenden Berichtes wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- Abteufen von 6 Kernbohrungen (Grundwassermessstellen: F6 bis F11) mit Tiefen zwischen 46.0 bis 55.6 m. November/Dezember 2005 (Ausführung durch StumpForatec AG, Mellingen)
- Durchführung von 5 Belastungspumpversuchen bei den Bohrungen F3.1, F4, F9, F11 und 21.E.25 vom 3.-21.4. sowie 14.-18.8.2006 (Ausführung durch StumpForatec AG, Mellingen; Probenahme durch RWB laboratoire SA, Porrentruy)
- Entnahme und Analyse von 73 Grundwasserproben zur chemischen Analyse im Rahmen der 2. Etappe TU vom September 2005, März, Mai und Juni 2006 (Durchführung durch RWB laboratoire SA, Porrentruy)
- Durchführen von 92 MIP-Sondierungen mit Tiefen zwischen 2.1 bis 19.4 m. im Mai bis August 2006 (Ausführung durch geo-log GmbH, Braunschweig)
- Entnahme von 14 Bodengasproben und 13 Linerproben (Ausführung durch geolog GmbH, Braunschweig)
- Analyse von 14 Bodengasproben (Labor DVGW, Karlsruhe)
- Abteufen von 6 Kernbohrungen (Deponieinhalt:KB-F-06/01 bis KB-F-06/06) mit Tiefen zwischen 15.2 bis 27.0 m im Oktober/November 2006 (Ausführung durch StumpForatec AG, Mellingen)
- Durchführung einer umfassenden Grundwasserspiegel-Stichtagsmessung am 18.12.2006 in allen zur Verfügung stehenden Beobachtungsrohren
- Geologische Aufnahme und Fotodokumentation der Sondierbohrungen
- Fachliche Begleitung aller Felduntersuchungen (MIP-Sondierungen, Belastungspumpversuche)
- Zusammenstellung und Aufbereitung der chemischen Analysenresultate
- Auswertung aller Untersuchungsergebnisse im Rahmen der 2. Untersuchungsetappe, grafische Darstellung, Beurteilung und Interpretation aller Untersuchungsergebnisse
- Verfassen des vorliegenden Berichtes

Tabelle 1: ausgeführte Kernbohrungen (2 Etappe TU)

Bohrung		Koordinaten	OKT	Tiefe	Ausbau		Grundwasserspiegel		
Feldbez.	Kant.-Nr.		[m ü.M.]	[m]	Verrohrung	Filterstrecke (m u.T.)	Datum	m u.T.	m ü.M.

Grundwassermessstellen

F6	21.P.063	614'765 / 265'060	279.73	46.0	PE Ø 4½"	20 - 38	18.12.06	21.90	257.54
F7	21.P.064	614'680 / 264'930	280.54	55.6	PE Ø 4½"	20 - 34	18.12.06	22.73	257.63
F8	21.P.065	614'820 / 264'933	280.13	48.0	PE Ø 4½"	16-23/43-47	18.12.06	22.41	257.54
F9	21.P.066	614'989 / 264'906	279.96	50.0	PE Ø 4½"	36 - 48	18.12.06	22.10	257.58
F10	21.P.067	614'798 / 265'251	277.60	55.4	PE Ø 4½"	30 - 50	18.12.06	19.89	257.60
F11	21.P.068	614'655 / 265'217	277.61	53.2	PE Ø 4½"	48 - 53	18.12.06	20.74	256.65

Deponieinhalt

KB06-01	21.P.069	614852 / 265023	279.12	27.0	PE Ø 4½"	20 - 27	18.12.06	21.60	257.52
KB06-02	21.P.070	614848 / 264968	279.72	20.0	kein Bohrlochausbau		beim Bohren kein Wasser		
KB06-03	21.P.071	614922 / 265008	279.60	27.0	PE Ø 4½"	18 - 27	18.12.06	21.86	257.52
KB06-04	21.P.072	614889 / 265056	279.28	18.0	kein Bohrlochausbau		beim Bohren kein Wasser		
KB06-05	21.P.073	614907 / 264953	279.55	15.2	kein Bohrlochausbau		beim Bohren kein Wasser		
KB06-06	21.P.074	615016 / 264965	279.63	21.4	kein Bohrlochausbau		beim Bohren kein Wasser		



Zusammenfassung

Bei der Deponie Feldreben handelt sich um eine zwischen ca. 1930 und 1967 aufgefüllte, rund 350 x 150 m grosse Kiesgrube, in welcher gemäss der historischen Untersuchung in erster Linie Aushub- und Bauschutt und nur untergeordnet bis 1959 auch Abfälle der chemischen Industrie eingelagert wurden. Die durchschnittliche Mächtigkeit der Deponie beträgt gemäss heutigem Kenntnisstand rund 10 – 15 m und das Gesamtvolumen schätzungsweise rund 650'000 m³.

Deponie Feldreben

S C + P

Im Rahmen der 2. Etappe TU waren im Wesentlichen der Zu- und Abströmbeereich im Nahbereich der Deponie noch besser abzuklären sowie eine Ermittlung der Ursachen der CKW-Verunreinigung durchzuführen.

2. Etappe TU

Der vorliegende Bericht fasst alle Untersuchungsergebnisse zusammen und kommt zum Schluss, dass im heutigen Kenntnisstand die Deponie Feldreben auf Stufe Voruntersuchung als sanierungsbedürftiger Standort gemäss Art. 9 der Altlastenverordnung zu beurteilen ist, dies aufgrund der erhöhten CKW-Belastung im westlichen und nördlichen Abstrombereich. Eine abschliessende Beurteilung ist allerdings im Rahmen der Gefährdungsabschätzung noch durchzuführen.

sanierungsbedürftiger Standort

Interpretation der Untersuchungsergebnisse

Hydrogeologie

Westlich der Deponie Feldreben verläuft eine markante Störungszone, welche den Hauptgrundwasserleiter unterbricht. Der südöstliche Deponieteil wird vom südlichen Ausläufer des Hardgrabens durchquert, so dass dort die Felsunterlage aus schlecht durchlässigen Gesteinen (Gipskeuper) besteht und einerseits zu subartesisch gespannten Druckverhältnissen führt und andererseits ein Abströmen von Deponiesickerwasser in nördliche Richtung entgegen der allgemeinen Fliessrichtung im Hauptmuschelkalk-Grundwasser ermöglicht. Im nördlichen Teil der Deponie besteht der Felsuntergrund aus Trigonodusdolomit und Hauptmuschelkalk, welche z.T. noch mit schlecht durchlässiger Übergangsschicht bedeckt sind, was ein nach Abfliessen von Sickerwasser im ungesättigten Bereich nach Norden begünstigt.

Geologische Untergrundverhältnisse

Im Bereich der Deponie Feldreben kommt es zur Mischung von aus Süden zuströmendem HMK-Grundwasser mit dem vom Grundwasserberg abströmenden mit Rheinfiltratwasser angereicherten Grundwasser. Die Grundwasserstände werden massgeblich durch die Grundwasseranreicherung der Hardwasser AG beeinflusst und es liegen im Deponiebereich ausgesprochen flache Gefällsverhältnisse vor.

Grundwasserfliessverhältnisse

Der Abströmbereich der Deponie Feldreben ist aufgrund des im ungesättigten Bereich gegenläufigen Gefälles der Schotteruntergrenze und der Durchlässigkeitsverhältnisse allseitig rund um die Deponie Feldreben zu propagieren. Ein eigentlicher Zustrombereich ist daher erst im weiter entfernten Bereich der Deponie oder im tieferen Aquiferbereich zu suchen.

Abströmbereich



Deponieinhalt

Im westlichen Deponiebereich konnte ein ca. 30 x 30 m grosser Bereich lokalisiert werden, wo früher Fels abgebaut wurde und die Felsoberfläche bis gegen 20 m u.T. liegt. Im und um diesen ehemaligen Felsabbau-Bereich befindet sich eine „zentrale Belastungszone“, welche hauptsächlich durch einen hohen Gehalt an leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe (CKW und BTEX) charakterisiert ist.

Schadstoffbelastung

Es ist davon auszugehen, dass höchstens $\frac{1}{4}$ des Deponiematerials (schätzungsweise maximal rund 100' bis 170'000 m³) stark mit Schadstoffen belastet sind. Rund $\frac{3}{4}$ des Deponiematerials sind nur schwach belastet. Der grösste Schadstoffherd liegt im mittleren Deponiebereich und kann gestützt auf die durchgeführten Untersuchungen relativ gut abgegrenzt werden. Rund die Hälfte der Schadstoffe sind organische Schadstoffe, namentlich Kohlenwasserstoffe (KW), PAK und CKW (Per- und Trichlorethen). Die andere Hälfte sind durch Schwermetalle (Blei, Zink, Chrom, Kupfer) verursacht.

Schadstoffpotential

Beeinflussung des Grundwassers durch die Deponie Feldreben

Im Nahfeld der Deponie Feldreben ist eine Deponiebeeinflussung zu erkennen, welche hauptsächlich zu einer Aufmineralisierung des Grundwassers führt und sich im Wesentlichen durch erhöhte Hydrogenkarbonat-, Sulfat- und Nitratgehalte im Grundwasser bemerkbar macht. Im nördlichen und westlichen Nahbereich der Deponie lässt sich darüber hinaus auch eine Belastung des Grundwassers mit chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW) nachweisen, im Wesentlichen hervorgerufen durch Per- und Trichlorethen sowie Hexachlorethan. Die festgestellte Schadstoffverteilung im Grundwasser deckt sich recht gut mit der „zentralen Belastungszone“ im Deponiekörper. Es lassen sich keine allzu grossen jahreszeitlichen bzw. grundwasserstandsbedingten Unterschiede feststellen.

Aufmineralisierung und CKW-Belastung

Neben der Hauptbelastung durch CKW ist die organische Deponiebeeinflussung im Nahfeld auch durch weitere, meist aber nur vereinzelt und in sehr niedrigen Konzentrationen unter 1 µg/l auftretende organische Schadstoffe belegt. Es handelt sich dabei um eine Vielzahl von verschiedenen „pharma- und chemietypischen“ Substanzen wie halogenierte Pyridine, chlorierte Butadiene, Aromatische Amine (Benzamine, Aniline), Schwefelaromate (Benzene), BTEX, Barbiturate und Arzneimittelrückstände (z.B. Carbamazepin). Allerdings ist der Anteil im Vergleich zur anorganischen Belastung gering, da

„pharma- und chemietypische“ Substanzen

auch die Gesamtsumme der nachgewiesenen Einzelsubstanzen abgesehen von einzelnen Ausnahmen meist nicht grösser als ca. 5- 10 µg/l ist.

Beurteilung nach Altlastenverordnung

Zusammenfassend betrachtet verursacht das austretendes Deponiesickerwasser neben der dominierenden Aufmineralisierung des Grundwassers auch eine organische Schadstoffbelastung. Es handelt sich dabei in erster Linie um eine deutlich erhöhte CKW-Belastung und untergeordnet um „pharma- und chemietypische“ Substanzen im Spurenbereich. Quantitativ betrachtet, handelt es sich dabei aber aufgrund der Konzentrationen im Spurenbereich allerdings um einen sehr geringen Einfluss, aus welchem sich im heutigen Kenntnisstand keine Hinweise auf eine unmittelbare Gefährdung des Schutzgutes Grundwasser ergeben.

*CKW-
Belastung*

Im Vergleich mit den AltIV-Konzentrationswerten zeigt sich „nur“ im westlichen und nördlichen Abstrombereich beim Perchlorethen eine eindeutige und klare Überschreitung des AltIV-Konzentrationswertes. Ebenfalls höhere Konzentrationen über 5 µg/l lassen sich beim Trichlorethen und Hexachlorethan im nördlichen Bereich nahe des Brunnens Florin feststellen. Bezüglich der Schwermetalle sowie anderer organischer Substanzen, wie Aniline, Phenole, PAK und BTEX sind sowohl gegenüber den Indikatorwerten als auch AltIV-Konzentrationswerten keine signifikanten Überschreitungen vorhanden.

*AltIV-
Konzentrationen*

Die erhöhten CKW-Konzentrationen im Abstrombereich und die organischen Spurenverunreinigungen aus Abfällen der chemischen Industrie werden erweisenermassen durch Beeinflussung des Grundwassers durch Deponiesickerwasser verursacht. Deshalb kommen wir im vorliegenden Fall zum Schluss, dass die Deponie Feldreben im heutigen Kenntnisstand gemäss Art. 9 der AltIV aufgrund der nachgewiesenen CKW-Belastungen auf Stufe Voruntersuchung als sanierungsbedürftiger belasteter Standort einzustufen ist.

sanierungsbedürftiger Standort

Die Notwendigkeit, Ziele und Dringlichkeit einer Sanierung sind dabei im Rahmen der parallel laufenden Gefährdungsabschätzung zu beurteilen.

Gefährdungsabschätzung



1. Einleitung und Auftrag

Die Deponie Feldreben ist eine der drei „Muttenzer Deponien“, welche im Rahmen einer umfassenden Altlastenvoruntersuchung seit 2001 in mehreren Teilschritten intensiv untersucht wurde (vgl. Grundlagen, S. 100). Die einzelnen Phasen der Untersuchung richten sich dabei streng nach dem Altlastenkonzept des BAFU (ehemals BUWAL). Die historischen Untersuchungen (HU) wurden im 2001 ausgeführt und dokumentieren den heutigen Wissensstand aus der umfangreichen Aktenlage [3]. Basierend auf dieser Grundlage wurde ein Pflichtenheft für die technische Untersuchung (TU) ausgearbeitet [5]. Die Ergebnisse sind als 1. Etappe TU im Bericht vom 31.1.2005 zusammengefasst [7] und zeigen, dass Emissionen aus dem Deponiekörper in das Grundwasser nachweisbar sind und sich im Wesentlichen eine Aufmineralisierung des Grundwassers und einen CKW-Eintrag umfassen. Ein quantitativ relevanter Eintrag von anderen anorganischen (Schwermetalle) oder organischen Schadstoffen aus der Deponie Feldreben ins Grundwasser wurde nicht festgestellt.

Frühere Untersuchungen

S C + P

Für eine abschliessende Beurteilung waren im Rahmen einer 2. Etappe die restlichen Vorgaben aus dem Gesamtkonzept [5] zu erfüllen, was im Wesentlichen eine Einbindung der gewonnenen Daten in einen regionalen Zusammenhang und Angaben zum Deponieinhalt (Schadstoffpotential) beinhaltete. Darüber hinaus waren aber auch noch offene Fragen aus der 1. Etappe zu klären. Insbesondere sollten die komplexen hydrogeologischen Verhältnisse im Nahbereich der Deponie noch besser abgeklärt werden, um eine klare Zuordnung eines Zu- und Abströmbereiches zu erhalten, sowie eine Ermittlung der Ursachen der CKW-Verunreinigung durchgeführt werden.

*Untersuchungsumfang
2. Etappe TU*

In der Stellungnahme des AUE zum Untersuchungsbericht der 1. Etappe [10] wurde ausserdem von Seiten der kantonalen Behörde gefordert, dass der Abstrombereich der Deponie nahezu vollständig durch Grundwassermessstellen erfasst sein sollte, und daher für eine abschliessende Beurteilung ein Ausbau des Messstellennetzes zwingend erforderlich sei. Der genaue Umfang der 2. Etappe TU ist in zwei Pflichtenheften festgehalten ([8], Bohrungen, Grundwasser-Untersuchungen sowie [9], Deponieinhalt).

*Pflichtenheft 2.
Etappe TU*

Gestützt auf unsere Offerte vom 31.1.2006 wurden wir von der Gemeinde Muttenz mit Vertrag vom 27.3.2006 mit der Durchführung der offerierten Leistungen beauftragt. Im Wesentlichen waren dabei die neuen Bohrungen für die 2. Etappe TU und die Belastungspumpversuche fachlich zu begleiten sowie die vorhandenen Pegelmessungen mit einzubeziehen. Für die Ausarbeitung des vorliegenden Schlussberichtes wurde schliesslich noch ein separates Pflichtenheft ausgearbeitet [11], in welchem die zu erörternden Gesichtspunkte

*Auftrag und
Zielsetzung
Schlussbericht*



te und Bearbeitungstiefe näher umschrieben sind. Ziel des vorliegenden Berichtes ist es, alle vorhandenen Untersuchungsergebnisse (inkl. 1. Etappe TU) gemäss den Vorgaben der Altlastenverordnung (Art. 9 – 12) zu interpretieren. Der Bericht soll schliesslich als Grundlage für die nachfolgende Gefährdungsabschätzung dienen. Für die Ausarbeitung dieses Schlussberichtes wurden wir gestützt auf unsere Offerte vom 9.1.2007 vom Projektleiter mit E-Mail vom 22.1.2007 beauftragt.

Um den Umfang des vorliegenden Berichtes auf ein vernünftiges Mass reduzieren zu können, wird vorausgesetzt, dass die wesentlichen Erkenntnisse aus den früheren Untersuchungen weitgehend bekannt sind. Der Bericht geht in erster Linie auf die neuen Erkenntnisse der aktuell durchgeführten Grundwasserüberwachung ein. Frühere Untersuchungsergebnisse oder Schlussfolgerungen werden nur soweit explizit erwähnt, als dass sie aufgrund der neuen Ergebnisse revidiert werden müssen oder für das Verständnis von Bedeutung sind. Bei der Datenzusammenstellung und der abschliessenden Beurteilung werden aber alle vorhandenen Resultate einbezogen, also auch diejenigen der 1. Etappe TU sowie Erkenntnisse aus der fortlaufenden Grundwasserüberwachung. Der Bericht befasst sich ausschliesslich mit den Untersuchungsergebnissen der Deponie Feldreben, welche gemäss den oben erwähnten Pflichtenheften zu beurteilen waren.

Berichtsinhalt

Zur abschliessenden Beurteilung der Deponie Feldreben stehen also zusammenfassend folgende Untersuchungen zur Verfügung:

Tabelle 2: Untersuchungsprogramm Deponie Feldreben (gesamte TU)

Schutzgut	Untersuchungsmethode	1. Etappe TU	2. Etappe TU
		Anzahl (Zeitraum)	Anzahl (Zeitraum)
Luft	Boden- und Raumluftmessungen	2 Kampagnen à je 6 Messstellen (Mai/Juni 2004)	-
Oberboden	Chemische Analysen	2 Feststoffproben VBBo (März 2004)	-
Untergrund	Sondierbohrungen im Deponieumfeld	7 Kernbohrungen (Okt. 2003 - März 2004)	6 Kernbohrungen (Nov 2005 – Feb. 2006)
Grundwasser	Hydraulische Versuche	7 Pumpversuche (Dauer 1h – 1.5 Tage; Nov 2003, März 2004)	6 Kurzpumpversuche (Dauer 1h) März 2006
		1 Flowmeter (F5)	5 Belastungspumpversuche (E.25, F3t, F9, F10, F11)
	Chemische Analyse	42 Grundwasserproben (2 Kampagnen) März-April resp. Juli 2004	73 Grundwasserproben (4 Kampagnen) Sept. 05 – Juli 06
	Grundwasserspiegelmessungen	regelmässige Abstichmessungen und kontinuierliche Aufzeichnungen	
	Isotopenuntersuchungen	22 Wasserproben (Juli 2004)	-



	Markerversuch	6 Tracer, 22 Entnahmestellen (April - Sept. 2004)	-
Deponie-inhalt	MIP-Sondierungen	-	92 MiP-Sondierungen bis max. 19.2 m
	Bodengasmessungen		14 Bodenluftproben
	Kernbohrungen	-	6 Kernbohrungen (Okt./Nov. 2006)
	Chemische Analysen Deponiematerial	-	43 Materialproben aus Kernbohrungen und Linerproben
	Eluatteste		2 Eluatteste nach AltIV

Mitunter stellt der vorliegende Bericht bzw. die ausgewerteten Daten eine wichtige Grundlage für die Gefährdungsabschätzung dar, welche parallel dazu erstellt und in einem separaten Bericht abgehandelt wird.

Gefährdungsabschätzung

2. Hydrogeologische Übersicht

2.1. Historische und geografische Übersicht

Bei der Deponie Feldreben handelt sich um eine zwischen ca. 1930 und 1967 aufgefüllte, rund 350 x 150 m grosse Kiesgrube, in welcher gemäss der historischen Untersuchung in erster Linie Aushub- und Bauschutt und nur untergeordnet auch Abfälle der chemischen Industrie eingelagert wurden (davon gemäss HU [3] schätzungsweise weniger als 1'000 m³ Abfälle der chemischen Industrie). Heute ist das Gelände überwiegend überbaut und wird industriell und gewerblich genutzt.

Aushub- und Bauschuttdeponie

Die durchgeführten Bohrungen im Deponiekörper haben inzwischen gezeigt, dass die Mächtigkeit der Deponie deutlich geringer ist als ursprünglich angenommen (rund 15 – 20 m statt 20 – 24 m), so dass gemäss heutigem Kenntnisstand von einem Gesamtvolumen von rund 650'000 m³ ausgegangen werden kann (vgl. Kap. 4). Der Deponieperimeter basiert auf den Annahmen der HU [3] und konnte mit den durchgeführten Sondierungen weitgehend bestätigt werden.

Deponievolumen

Die Deponie Feldreben liegt im Industriegebiet nordwestlich des Dorfkerns von Muttenz und befindet sich hydrogeologisch betrachtet inmitten des Grundwassergebietes von Muttenz. Im ganzen Gebiet werden die Grundwasserverhältnisse massgebend durch die intensive Grundwassernutzung beeinflusst (Entnahmen und Anreicherung). Der Betrachtungsperimeter muss daher weit über den eigentlichen Deponierand gelegt werden, dies nicht zuletzt auch im Hinblick auf die Beurteilung einer allfälligen Grundwasserbeeinträchtigung.

Betrachtungsperimeter



tigung oder –beeinflussung. Auf eine eingehende Beschreibung der Nutzungs- und Grundwasserverhältnisse wird hier aber aus Platzgründen verzichtet, da diese als bekannt vorausgesetzt werden. Das Untersuchungsgebiet selber beschränkt sich auf das nahe Umfeld rund um die Deponie. Es wird zwischen einem Nahfeld im unmittelbaren Randbereich (Abstand zum Deponierand max. 20 – 50 m) und einem Fernfeld mit weiter entfernten Messstellen bis rund 200 – 300 m Distanz zur Deponie unterschieden.

Zur Verfeinerung des Messstellennetzes wurden in den Lücken des bestehenden Messnetzes insgesamt 6 neue Bohrungen (F6 bis F11, vgl. Anh. A2) abgeteuft. Angesichts der mächtigen Lockergesteinsschichten mussten die Bohrungen tiefer als ursprünglich vorgesehen abgeteuft werden.

neue Bohrungen

2.2. Geologie

Der Schichtaufbau des Felsuntergrundes ist stark durch eine Horst-Graben-Tektonik geprägt. Die Deponie Feldreben liegt einerseits östlich des ungefähr Nord-Süd verlaufenden, über 1000 m tief eingesunkenen Rheintalgrabens, wo der Felsuntergrund entlang der sog. Rheintalflexur mit der ganzen stratigrafischen Schichtabfolge nahezu senkrecht gestellt wurde. Andererseits befindet sich die Deponie Feldreben zusätzlich im Bereich des nordost-südwest-verlaufenden Hardgrabens, welcher im Felsuntergrund zu senkrechten Verschiebungsbeträgen von bis zu 50 m und mehr geführt hat. Weiter östlich des Betrachtungsgebietes verläuft schliesslich der rund 500 m breite nordost-südwest-gerichtete Wartenberg-Graben, in welchem der Felsuntergrund um mehr als 100 m abgesenkt wurde.

Grabenstruktur

Generell fallen im Gebiet von Muttenz die (tektonisch nicht beanspruchten) Gesteinsschichten mit leichter Neigung nach Süden ein. Entsprechend besteht der oberste Felsuntergrund im Norden aus älteren Gesteinen als im Süden. Der Hauptmuschelkalk (HMK) erstreckt sich vom Rhein ungefähr bis ins Gebiet des Rangierbahnhofs. Von dort bis ungefähr zum Dorfzentrum wird er von Trigonodus-Dolomit überlagert. Südlich und südwestlich davon stehen schliesslich Keupermergel an.

Felsuntergrund

Die Felsoberfläche liegt im südlichen Betrachtungsgebiet bis zum Bereich der Gleisanlagen im Mittel in einer Tiefe von rund 15-20 m u.T., entsprechend einer Kote von rund 260-270 m ü.M. Sie fällt generell in nördliche Richtung ab und befindet sich nördlich der Gleisanlagen bereits rund 30-40 m unter der Terrainoberfläche (ca. 240-250 m ü.M.). Die Felsoberfläche weist aber im Detail eine komplexe Struktur mit zahlreichen „Löchern“ oder „Senken“ auf, welche in engem Zusammenhang mit der Grabenstruktur und vermutlich auch mit alten Karst- und Verwitterungserscheinungen stehen.

Felsoberfläche

Über dem Fels wurde in den Bohrungen oft eine meist geringmächtige, lehmig-kiesige Übergangsschicht erbohrt, welche sich zwischen der eigentlichen Felsoberfläche und dem darüber liegenden sandig-kiesigen Niederterrassen-Schotter befindet. Stellenweise ist diese Übergangsschicht auch mächtiger ausgebildet, speziell im Bereich von tektonischen Störzonen. Zuoberst liegen in der Regel geringmächtige und feinkörnige Deckschichten.

Lockergesteine



2.3. Hydrogeologie

Die Grundwasserverhältnisse im Betrachtungsgebiet sind im Anhang A2a in einer Grundwasserkarte mit Darstellung der Fliessverhältnisse am 18.12.2006 bei hohem Mittelwasserstand veranschaulicht. Dieser Wasserstand kann als repräsentativ für einen normalen Grundwasserzustand betrachtet werden, so wie er bei „Normalbetrieb“ der Grundwasseranreicherung der Hardwasser AG während der überwiegenden Dauer des Jahres vorherrscht [12].

*Fliessverhältnisse am
18.12.2006*

Die natürlichen Fliessverhältnisse in Grundwassergebiet von Muttenz werden durch die intensive Grundwassernutzung bzw. Grundwasseranreicherung und -entnahmen (Hardwasser AG, Industrie Schweizerhalle, vgl. Gebiet Hard) grossräumig derart verändert, dass es zu einer dauerhaften Ausbildung eines „Grundwasserberges“ im Gebiet Hard und zu „Grundwassersenkungen“ sowohl im Gebiet Hard als auch Schweizerhalle kommt. Dieser „Grundwasserberg“ lässt sich im Isohypsenbild in Anhang A2a im Hardwald als markantestes Element im nördlichen Grundwassergebiet deutlich erkennen. Dieser fällt sowohl nach Westen wie nach Osten mehr oder weniger gleichmässig ab. Nach Süden hingegen bildet sich eine Art „Hochzone“, welche mit flachem Gefälle über die Deponie Feldreben verläuft und bei der Deponie Margelacker mit leichtem Gegengefälle wieder ansteigt. Beidseits dieser „Hochzone“ lässt sich jeweils auf einem vergleichsweise schmalen Streifen ein relativ steiles Gefälle des Grundwasserspiegels feststellen. Nach diesen Gefällsstufen liegen wieder ausgesprochen flache Fliessverhältnisse vor.

*genereller
Überblick*

Der Grundwasserleiter (Aquifer) wird im südlichen Grundwassergebiet von Muttenz durch den geklüfteten, rund 50-60 m mächtigen Hauptmuschelkalk (untergeordnet Trigonodusdolomit) gebildet. Das HMK-Grundwasser zirkuliert dabei in verschiedenen Tiefenlagen hauptsächlich innerhalb von meist geringmächtigen stark wasserführenden Horizonten und offenen Klüften (Kluft- und Karstaquifer). Innerhalb des Hauptmuschelkalk-Aquifers besteht sowohl lateral als auch vertikal praktisch überall eine durchgehende hydraulische Verbindung. In nördlicher Richtung (Gebiet Hard) tritt das Grundwasser in den Niederterrassenschotter über.

Grundwasserleiter

Im Grundwassergebiet sind ausserdem einzelne "Grundwasser-Inseln" vorhanden, nämlich dort, wo die Felsoberfläche hoch liegt und gut durchlässiger Felsuntergrund aus Hauptmuschelkalk oder Trigonodusdolomit gänzlich fehlt. Diese werden vom HMK-Grundwasser weitgehend umströmt, so dass dort praktisch kein oder höchstens wenig Grundwasser zirkuliert. Solche Bereiche befinden sich einerseits unmittelbar westlich und nordöstlich der Deponie Feldreben und andererseits im westlichen Teilbereich der Deponie Margelacker (vgl. Anhang A2a).

"Grundwasser-Inseln"



Die Zu- und Abströmverhältnisse im Bereich der Deponie Feldreben werden durch die nahegelegenen Grundwassernutzungen massgeblich beeinflusst (Anreicherung Hardwasser AG, Entnahme Florin und Schweizerhalle). Das (mit Rheinfiltratwasser angereicherte) Grundwasser fliesst einerseits vom „Grundwasserberg“ im Gebiet Hardwald in Richtung zur Deponie Feldreben, so dadurch einen generellen Zustrom des Grundwassers zur Deponie aus nordöstlicher Richtung erfolgt (vgl. Isohypsendarstellung in Anh. A2a). Das Grundwasser fliesst andererseits auch als Folge der laufenden Grundwasserentnahme (Florin) in entgegengesetzter Richtung, d.h. zumindest vom nördlichen Deponiebereich nach Norden zum Brunnen Florin. Dies ist sowohl durch den Markierversuch als auch die Detailauswertung der Pegelaufzeichnungen belegt. Demzufolge beschränkt sich der Abstrombereich nicht nur auf den südlichen Deponieteil, sondern befindet sich allseitig rund um die Deponie verteilt. Dies mag auf den ersten Blick befremden, kann jedoch erstens hydrogeologisch plausibel erklärt werden (vgl. dazu Erläuterungen in Kap. 3.2.2) und steht zweitens auch mit den chemischen Analysen gut in Einklang (vgl. Kap. 5.6).

Zu- und Abstrombereich Feldreben

Die Grundwasserentnahme durch den Brunnen Florin lässt sich bei mittlerem und hohem Grundwasserstand im Isohypsenbild kaum erkennen, da vermutlich der Zufluss aus der Grundwasseranreicherung Hard so gross ist, dass der sich bildende Trichter fortlaufend aufgefüllt wird. Bei niedrigen Grundwasserständen kann ansatzweise ein Absenktrichter beobachtet werden (vgl. Anh. A2b sowie Kap. 3.2.4). Gestützt auf den Markierversuch sowie die chemischen Analysen ist davon auszugehen, dass das von der Deponie abfließende Sickerwasser grösstenteils vom Brunnen Florin gefasst wird. Das Pumpwasser des Brunnens Florin enthält gemäss den Isotopenuntersuchungen auch einen grossen Teil an Rheinfiltratwasser (ca. $\frac{3}{4}$).

Brunnen Florin

3. Hydrogeologische Felduntersuchungen

3.1. Angetroffene Untergrundverhältnisse (Bohrungen)

Sondierarbeiten

Die genauen Sondierstandorte waren bereits im Rahmen des Pflichtenheftes festgelegt worden¹. Im Rahmen der 2. Etappe TU (inkl. Deponieinhalt) wurden insgesamt 12 Bohrungen abgeteuft (vgl. Tabelle 1).

neue Bohrungen

Eine erste Serie von sechs Bohrungen (F6 bis F11) wurde im Winter 2005/06 im (nord)westlichen und südlichen Nahfeld rund um die Deponie ausgeführt. Diese Bohrungen wurden als neue Grundwasserentnahmestellen ausgebaut. Ursprünglich war vorgesehen, die Bohrungen bis rund 10 m in die grundwasserführenden Felsschichten einzubinden (ca. 35 - 40 m u.T.). Es mussten aber sämtliche Bohrungen deutlich tiefer abteuft werden, einerseits weil die neuen Bohrstandorte im Bereich von Störungszonen lagen, so dass der kompakte Fels nicht oder erst in grösserer Tiefe erreicht wurde; und andererseits weil der grundwasserführende HMK erst in grösserer Tiefe anstand bzw. von mächtigen Keupermergeln überlagert ist.

*Grundwasser-
messstellen*

Eine zweite Serie Bohrungen wurde zur Erkundung des Deponieinhaltes im Herbst 2006 abgeteuft (KB-F-06/01 bis KB-F-06/06). Diese Bohrungen liegen alle im Deponiebereich und wurden aufgrund der Ergebnisse der MIP-Sondierungen platziert (vgl. Kap. 4.2). Diese Bohrungen reichten auch alle bis in den Felsuntergrund und liefern daher für die Interpretation der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse ebenfalls wichtige Erkenntnisse. Nachfolgend wird bei diesen Bohrungen vorerst aber nur auf die (natürlichen) Untergrundverhältnisse eingegangen; die Beschreibung des erbohrten Deponiematerials erfolgt in Kap. 3.1.

*Bohrungen
Deponieinhalt*

Die detaillierten Sondierprotokolle inkl. einer Fotodokumentation sind im Beilage B1 enthalten. Gestützt auf die Sondierergebnisse (inkl. Bohrungen der 1. Etappe) können die Untergrundverhältnisse wie folgt beschrieben werden (vgl. auch hydrogeologische Profile im Anhang A3):

Sondierprotokolle

Tektonik

Der Felsuntergrund im Bereich der Deponie Feldreben wird durch eine ausgeprägte Tektonik (Horst-Graben-Strukturen) geformt, welche vertikale Versatzbeträge benachbarter Gesteinspakete von bis zu 50 m bewirkt hat.

*Horst-Graben-
Strukturen
erschweren
Zuordnung*

¹ Die Platzierung erfolgte zur Erfassung der lokalen Fliessverhältnisse in denjenigen Bereichen, in denen noch Datenlücken bestanden, und aufgrund von überschlagsmässigen Abschätzungen des Anstrombereiches [8]





Entlang solcher tektonischen Grenzen sind tief reichende Störungszone(n) ausgebildet, in denen der Gesteinsverband stratigrafisch gestört und/oder teilweise auch verkippt ist. Dies erschwert oftmals auch eine genaue Zuordnung der einzelnen Bohrungen in das geologische Umfeld. Die geologisch-tektonischen Verhältnisse im Umfeld der Deponie Feldreben können wie folgt zusammengefasst werden (vgl. Anhänge A4):

Weiter westlich der Deponie, d.h. westlich der Birsfelderstrasse ist der Felsuntergrund tektonisch weniger gestört und besteht aus Trigonodusdolomit (21.C.236), welcher aber z.T. noch stratigrafisch von Keupermergeln überlagert wird (F11). Hingegen belegen mehrere Bohrungen (21.P.1, 21.P.2, F1 F7), dass im unmittelbar westlichen Nahbereich der Deponie bis in grössere Tiefe (> 125 m u.T.) kein Hauptmuschelkalk vorhanden ist, sondern Tone und Mergel der Anhydritgruppe anstehen. Somit verläuft westlich der Deponie Feldreben eine ungefähr Nord-Süd-verlaufende Störungszone, welche inzwischen durch mehrere Bohrungen (F1, F7, F10) sicher belegt ist und durch welche die Felsschichten um mindestens 50 m versetzt wurden. Tektonisch gesehen handelt es sich dabei um einen ca. 150 - 200 m breiten Horst, welcher vermutlich die südliche Fortsetzung des bereits bekannten, im Bereich des Rangierbahnhofes verlaufenden Horstes bildet. Die Gesteinsschichten sind leicht verkippt und fallen generell mit ca. 10-15° nach Osten ein. Mit dem Bohrstandorten F2 und F6 dürfte gerade noch das östliche Ende erbohrt worden sein².

*Störungszone,
Horst*

Ungefähr in der nordwestlichen Deponiehälfte sowie auch nördlich der Deponie liegen wieder "normale" ungestörte Verhältnisse mit leicht nach Süden einfallenden Felsschichten (Felsoberfläche aus Hauptmuschelkalk bzw. Trigonodusdolomit).

*nordwestliche
Deponiehälfte*

Die andere, d.h. südöstliche Deponiehälfte befindet sich im Bereich des rund 200 m breiten Ausläufers des Hardgrabens, welcher einen vertikalen Versatz von rund 20–30 m aufweist, so dass die Felsoberfläche dort aus Lettenkohle oder auch Keupermergel besteht. Der Hardgraben bildet somit sowohl das südliche als auch das östliche Umfeld der Deponie. Wie die Sondierungen zeigen ist er breiter als ursprünglich angenommen und reicht etwas bis zur Deponiemitte.

Hardgraben

² Denkbar ist auch eine etwas breitere Störungszone bzw. Breite des Horstes, welcher sich bis in den Rand der Deponie Feldreben hinein reicht. Aufgrund der (vermuteten) Verkipfung würde aber auch in diesem Fall sowieso Hauptmuschelkalk im (nord)westlichen Deponiebereich anstehen (Bohrung F5).

Lockergesteine

Abgesehen von den bewusst in den Deponiekörper abgeteuften Bohrungen wurde mit den beiden Bohrungen F6 und F8 gerade noch knapp die Deponie erbohrt (Deponiemächtigkeit rund 7 – 10 m, vgl. dazu auch Kap. 3.1). In den übrigen Bohrungen ausserhalb des Deponiekörpers wurden überall bis max. 3 - 4 m u.T. meist geringmächtige künstliche Auffüllungen aus überwiegend siltigem Kies angetroffen. Darunter sind teilweise noch feinkörnige Deckschichten anzutreffen (F7, F10).

*künstliche
Auffüllungen,
Deckschichten*

Unter den Deckschichten bzw. direkt unter den künstlichen Auffüllungen steht sandig-kiesiger Niederterrassenschotter an. Dieser besteht aus sauberem bis schwach siltigem Kies mit reichlich Sand. Der Verlauf der Schotteruntergrenze ist in Anhang A4 als Isolinien-darstellung veranschaulicht. Daraus wird ersichtlich, dass die Schotteruntergrenze im zentralen Deponiebereich auf einer Kote von rund 265 – 270 m ü.M., d.h. also rund 10 – 15 m unter der Terrainoberfläche verläuft. Die Schotteruntergrenze bildet dort einen „unterirdischen Hügel“, welcher von SE in Richtung NW einerseits breiter wird und andererseits auch flach abfällt. Beidseits dieses „Schotterhügels“ fällt die Schotteruntergrenze deutlich ab und liegt in der südwestlichen Deponieecke rund 5 m (rund 260 m ü.M. resp. 20 m u.T.) bzw. im östlichen Deponiebereich sogar bis 10 m tiefer (rund 255 m ü.M. resp. 25 m u.T.). Entsprechend diesem Verlauf ist bzw. war die Schottermächtigkeit im Bereich der Deponie Feldreben deutlichen lateralen Unterschieden unterworfen. Dies dürfte vermutlich auch der Grund für die unterschiedliche Deponiesohle resp. frühere Kiesgrubensohle gewesen sein (vgl. Kap. 2).

Niederterrassenschotter

In der meisten Bohrungen wurden unter dem Schotter wie bereits in den früher Bohrungen noch ältere Lockergesteine angetroffen. Es handelt sich dabei um eine unterschiedlich mächtige, heterogen zusammengesetzte Übergangsschicht, die sowohl aus überwiegend feinkörnigen Sedimenten (toniger Silt mit wenig Kies) als auch aus siltigem Kies besteht und meist moränenartig, d.h. kompakt gelagert ist. Die Mächtigkeit der Übergangsschicht beträgt rund 2 – 6 m und kann vor allem in den nördlich und westlich der Deponie abgeteuften Bohrungen beobachtet werden (z.B. F2, F3, F6, KB06/01), hingegen weiter nordwestlich der Deponie (Bohrungen F10, F11) sowie im südöstlichen Deponiebereich (F4, F9, KB-F-06/06) fehlen solche Ablagerungen. Der an den drei früheren Bohrstandorten F1, F2 und F3 angetroffene „ältere Schotter“ [7] kam ebenfalls in keiner der neuen Bohrung zum Vorschein, so dass diese nur sehr lokal auftreten dürften und daher keine zusammenhängende Schicht darstellen.

ältere Ablagerungen

In den Bohrungen F6, F7 und F10 wurde im Gegensatz zu den anderen Bohrungen unter dem Schotter bzw. der Übergangsschicht der kompakte Fels entweder erst in grösserer Tiefe (rund 45 bis 55 m u.T.) oder gar nicht angetroffen. Bei diesem rund 30 – 40 m mächtigen Zwischenbereich handelt es

Störungszone





sich um eine tektonische Störungszone, in welcher das Gesteinsmaterial komplett zerschert worden ist und entweder nur noch bruchstückhaft vorliegt (toniger Silt, bei F6 mit eingelagerten eckigen Kalksteinkomponenten und bei F10 mit Gipslagen) oder überwiegend aus feinkörnigen Lockergesteinen besteht (F7, toniger Silt mit wenig Sand und Kies). Untergeordnet können darin auch gut gerundete (kristalline) Kieskomponenten enthalten sein.

Gesamthaft betrachtet verläuft diese Störungszone bzw. stark zerscherte Gesteinsverband ungefähr in Nord-Südliche Richtung entlang des westlichen Deponiebereiches und steht in engem Zusammenhang mit dem oben erwähnten „Horst“. Mangels Bohraufschlüssen ist die nördliche und südliche Fortsetzung nicht genau bekannt. Sie könnte aber ev. mit der bei der Deponie Margelacker festgestellten Störungszone übereinstimmen.

„Horst“.

Felsoberfläche

Die Deponie Feldreben liegt im Bereich von tektonischen Störungszonen und Verwerfungen, so dass der Felsuntergrund neben Verkarstungserscheinungen auch durch Bruch-Tektonik oftmals stark zerschert ist. Dadurch wechselt die lithologische Beschaffenheit lateral rasch und auch die Felsoberfläche weist eine ausgeprägte wechselnde Topographie mit einem unebenen Verlauf auf. Im Anhang A4 wurde versucht anhand der bestehenden Bohraufschlüsse den Verlauf der Felsoberfläche als Isolinien-Darstellung wiederzugeben.

Felstopographie

Grundsätzlich lässt sich ein ähnliches Bild wie bei der Schotteruntergrenze feststellen: Die Felsobergrenze liegt im zentralen Bereich am höchsten (rund 265 – 270 m ü.M bzw. 10 – 15 u.T.), und bildet einen rund 150 m breiten SE-NW verlaufenden Felsrücken. Beidseits dieses Felsrückens taucht die Felsoberfläche mehr oder weniger steil ab und liegt im östlichen Deponiebereich rund 10 m tiefer (bis ca. Kote 255 m ü.M. bzw. rund 25 m u.T.). Lokal zeigt der Fels hier trichterartige Felsvertiefungen (z.B. 21.T.34).

Felsrücken im zentralen Deponiebereich

Im süd- und nordwestlichen Deponiebereich taucht die (kompakte) Felsoberfläche ebenfalls markant ab (z.T. bis unter Kote 250 - 230 m ü.M. bzw. bis in eine Tiefe von rund 30 - 50 m u.T.) und wird hier vor allem durch die oben beschriebene Störungszone geprägt. Hier besteht der Untergrund faktisch gesehen also bis in grössere Tiefe nur aus Lockergesteinen, welche heterogen zusammengesetzt sind (toniger Silt bis siltiger Kies). Weiter westlich, d.h. westlich der Birsfelderstrasse liegt die Felsoberfläche wieder auf „normalem“ Niveau, d.h. auf einer Kote von rund 260 – 265 m ü.M. (rund 15 – 20 m u.T.).

tiefe Felslage im Westen

Felsgesteine

Im Anhang A4 ist die Beschaffenheit des Felsuntergrund angegeben. Der Felsuntergrund besteht im Bereich der Deponie aus verschiedenen Felsformationen, welche den Deponiebereich grundsätzlich in drei Zonen gliedern lässt:

Im Bereich des Hardgrabens besteht der Felsuntergrund zuoberst aus Gipskeuper, welcher oftmals stark verwittert ist und aus verschiedenen gefärbten (grau, beige, rötlich) tonigem Silt mit cm-mächtigen Gipslagen besteht. Davon betroffen ist eine SW-NE verlaufende Zone durch den zentralen Deponiebereich. Aufgrund der mehrheitlich tonig-siltigen Zusammensetzung ist der Gipskeuper nur schlecht wasserdurchlässig und dementsprechend grundsätzlich als Grundwasserstauer einzustufen. Die maximale Mächtigkeit beträgt rund 15 – 20 m (F3, F8). Desweiteren steht auch nordwestlich der Deponie (F11) Gipskeuper mit einer Mächtigkeit von rund 10 m an.

Zentrale Zone aus Gipskeuper (mittlerer Keuper)

Unter dem Gipskeuper (F3, F8, F11) sowie als oberste Felsschicht (F9) steht sog. Lettenkohle des Unteren Keupers an. Es handelt sich hier im Wesentlichen um beigen Dolomit, welcher oftmals stark verwittert ist (toniger Silt mit Dolomit- und Kalkbruchstücken). Die erbohrte Mächtigkeit betrug rund 3 – 8 m. Gestützt auch auf frühere Sondierungen ist davon auszugehen, dass im ganzen südöstlichen Deponieteil der oberste Felsuntergrund durch Lettenkohle gebildet wird. Die Lettenkohle gilt grundsätzlich als Aquifer, wie dies auch mit der Bohrung F8 bestätigt werden konnte (vgl. Bohrprofil in Beilage B1).

SE-Deponiebereich mit Lettenkohle (Unterer Keuper)

In allen Bohrungen im nordwestlichen Deponiebereich besteht der Felsuntergrund aus Trigonodusdolomit oder Hauptmuschelkalk. Aufgrund der z.T. ausgeprägten Verkarstungserscheinungen ist sowohl der Trigonodusdolomit als auch der Hauptmuschelkalk gut wasserdurchlässig (Kluft- und Karstaquifer). Beim Trigonodusdolomit handelt es sich um verwitterten dolomitischen Kalk und Dolomit, welcher zahlreiche z.T. mit lehmigem Material verfüllte Hohlräume aufweist oder teilweise in Folge tektonischer Beanspruchung stark bis vollständig verwittert ist (F9, F11, KB-F-06/03). Die erbohrte Mächtigkeit beträgt rund 15 m. Der Hauptmuschelkalk besteht aus hellem massigem Kalk mit einer teilweise rauhackenartigen Struktur (F4, F5, F9, F11), ist oft stark verkarstet und weist z.T. mit Kies verfüllte Hohlräume von mehreren Metern Mächtigkeit auf. Die ganze Schichtmächtigkeit wurde vor allem in den Bohrungen der 1. Etappe vollständig erbohrt und beträgt rund 55 - 60 m (F4, F5). Dabei wurden an der Basis bis rund 1 m mächtige offene Karsthohlräume angetroffen.

NW-Deponiebereich mit Trigonodusdolomit und Hauptmuschelkalk (oberer Muschelkalk)

Unmittelbar westlich der Deponie Feldreben befindet sich die erwähnte Störungszone bzw. „Horst“. Dort besteht der Felsuntergrund bis in grössere Tiefe aus der Dolomit- und Sulfatzone der Anhydritgruppe. Die Dolomitzone wurde in den neuen Bohrungen F6 und F7 erbohrt, wobei das Gefüge aber durch Verwitterung (F7) oder tektonische Beanspruchung (F6) stark gestört ist. Gemäss den Sondieraufschlüssen der 1. Etappe besteht die Dolomitzone aus meist fein laminiertem dolomitischem Mergel mit Zwischenlagen von Anhydrit. Die gesamte Mächtigkeit wurde nur in der früheren F2 erbohrt und beträgt dort rund 12 m. Bei der Sulfatzone handelt sich um grauen, fein laminierten Mergel, welcher viele cm-mächtige helle Gipslagen enthält. Das Gestein ist

Dolomit- und Sulfatzone der Anhydritgruppe (mittlerer Muschelkalk)





oft stark deformiert, d.h. duktil verfaltet oder aber spröde verformt (brechziöses Aussehen). Die gesamte Schichtmächtigkeit wurde in keiner Sondierung vollständig aufgeschlossen, sie beträgt jedoch mehr als 35 m. Allerdings dürfte es sich aufgrund der tektonischen Verformung nicht um die primäre sedimentäre Mächtigkeit handeln. Sowohl die Dolomit- als auch die Sulfatzone sind aufgrund der eher feinkörnigen Zusammensetzung schlecht wasserundurchlässig und bilden daher den Grundwasserstauer.

3.2. Grundwasserverhältnisse

3.2.1. Grundwasservorkommen

Entsprechend den oben dargestellten geologisch-tektonischen Untergrundverhältnisse sind auch die Grundwasserverhältnisse im Bereich der Deponie Feldreben sehr komplex. Generell stellen Trigonodusdolomit und Hauptmuschelkalk den Grundwasserleiter (Aquifer) des Hauptgrundwasservorkommens von Muttenz dar³. Diese Gesteinsschichten sind zwar im ganzen Deponiebereich vorhanden, aber aufgrund der tektonischen Verwerfungen nicht in einheitlicher Tiefenlage. Zudem werden sie abschnittsweise von schlecht durchlässigen Schichten überlagert (Übergangsschicht, Gipskeuper, Lettenkohle).

Grundwasserleiter

Im nordwestlichen Deponiebereich (ausserhalb des Hardgrabens) sowie nördlich der Deponie folgt direkt unter den Lockergesteinen der grundwasserführende Aquifer aus Trigonodusdolomit und Hauptmuschelkalk. Da dort die Felsoberfläche relativ hoch liegt (vgl. Kap. 3.1), befindet sich der Grundwasserspiegel innerhalb der Felsschichten und liegt als freier und ungespannter Wasserspiegel vor (Kluft- bzw. Karstaquifer).

nordwestlicher Deponiebereich

Demgegenüber steht der Hauptaquifer im Bereich des Hardgrabens bzw. im südöstlichen Deponiebereich erst in etwas grösserer Tiefe an und wird von mehr oder weniger schlecht durchlässigen Schichten (Gipskeuper, Lettenkohle) überlagert. Dadurch herrschen dort generell gespannte Grundwasserverhältnisse vor. Da der vertikale Versatz des Hardgrabens hier aber nicht allzu gross ist, steht der Aquifer dennoch im ganzen Deponiebereich einen einheitlich, hydraulisch verbundenen Grundwasserleiter dar. Dies bedeutet, dass das Grundwasser ungehindert unter dem Hardgraben durchfliessen kann. Südlich des Hardgrabens liegen wieder ungespannte Grundwasserverhältnisse vor (freier Grundwasserspiegel im Trigonodusdolomit).

südöstlicher Deponiebereich

³ Untergeordnet wirkt auch die über dem Trigonodusdolomit liegende Lettenkohle als Grundwasserleiter. Im Bereich der Deponie Feldreben ist dies aber vernachlässigbar, da dort in den Bohrungen (F9, KB-F-06/06) in diesen Schichten keine Grundwasser angetroffen wurde.

Westlich der Deponie Feldreben fehlt hingegen der Hauptaquifer komplett, so dass dort infolge der tiefliegenden Felsoberfläche das Grundwasser ausschliesslich in der mit Lockergesteinen gefüllten Störungszone zirkuliert. Es handelt sich dabei um überwiegend feinkörnige Schichten (toniger Silt bis Sand), lokal sind aber auch kiesreiche Zonen (z.B. „älterer Schotter bei F2) vorhanden. Dieses Lockergesteinsgrundwasser steht in direktem hydraulischen Kontakt mit dem Hauptaquifer, so dass hier ebenfalls ein Durchfliessen von Grundwasser möglich ist (allerdings mit reduzierter Fliessgeschwindigkeit). Westlich der Störungszone ist der Haupt- bzw. Felsaquifer wieder vorhanden, wobei teilweise aber noch subartesisch gespannte Verhältnisse vorliegen (F11).

*Westlich der
Deponie Feld-
reben*



Nordöstlich der Deponie Feldreben taucht die Felsoberfläche (und damit auch der Hauptaquifer) rasch ab, so dass der Grundwasserspiegel über die Felsoberfläche zu liegen kommt. Dementsprechend kommt es hier ebenfalls zu einem Lockergesteinsvorkommen, welches ein oberes Stockwerk darstellt (getrennt durch eine rund 20 m mächtige Gipskeuperschicht, vgl. Bohrung F3.1). Allerdings steht auch dieses obere (Lockergesteins)grundwasser in engem hydraulischem Kontakt mit dem unteren Hauptaquifer (entweder über vertikal verlaufende Störungen und Klüften im Fels oder seitlich ausserhalb des Hardgrabens).

*Nordöstlich der
Deponie Feld-
reben*

3.2.2. **Fliessverhältnisse**

Bezüglich der Fliessrichtung des Grundwassers konnten sowohl mit den neuen Bohrungen als auch mit den ausgeführten Stichtagsmessungen die bisherigen Fliessverhältnisse (im Hauptaquifer) praktisch uneingeschränkt bestätigt werden (vgl. Darstellung der Grundwasserverhältnisse in Anh. A2). Zusätzlich haben aber vor allem die neuen Bohrungen im Deponiekörper wertvolle Hinweise auf die Sickerpfade im ungesättigten Bereich erbracht.

Fliessrichtung

Ungesättigte Zone im Deponiebereich

Generell ist davon auszugehen, dass das einsickernde Meteorwasser sowie auch das aus der Deponie ausfliessende Sickerwasser⁴ je nach Beschaffenheit bzw. Durchlässigkeit der Schotteruntergrenze entweder dort gestaut wird (im Fall von schlecht durchlässiger Untergrenze, wie feinkörnige Übergangsschicht oder Gipskeuper, vgl. Anh. A4), oder mehr oder weniger direkt in den Hauptaquifer einsickert (dort wo dieser die Schotteruntergrenze darstellt).

*Sickerfähigkeit
des Untergrun-
des*

⁴ Die Deponie liegt praktisch überall über dem Grundwasserspiegel, so dass allfälliges Sickerwasser zuerst im ungesättigten Bereich abfließt (vgl. auch Kap. 2).

Im Anhang A4a (Schotteruntergrenze) sind deshalb die mutmasslichen Durchlässigkeitsverhältnisse dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass die Schotteruntergrenze mehr oder weniger in der ganzen südöstlichen Deponiehälfte sowie in einem in Richtung NW zeigenden „Sporn“ durch schlecht durchlässige Gesteine gebildet werden. Dort ist – wenn überhaupt – nur ein untergeordnetes Einsickern in den tieferen Untergrund bzw. zum Hauptaquifer möglich. In diesem Bereich wird das Sickerwasser entsprechend dem Verlauf der Schotteruntergrenze abfließen, und zwar sowohl nach SW als auch nach NE, im nördlichen Deponiebereich auch noch nach N (vgl. Anh. A3). Dementsprechend ist vor allem in der südwestlichen und nordöstlichen Deponieecke sowie im nördlichen Deponiebereich mit einem verstärkten Einsickern von Deponiesickerwasser zu rechnen. Dies wird durch das Belastungsmuster durch CKW im Grundwasser weitgehend bestätigt (vgl. Kap. 5.6). Darüber hinaus ist aber ein zusätzliches Versickern entlang von vertikalen Verwerfungszonen nicht auszuschliessen.

Schotteruntergrenze



Gesättigte Zone im Hauptaquifer

Generell fliesst das Grundwasser im Hauptaquifer (Trigonodusdolomit und Hauptmuschelkalk) ausgehend von der Grundwasseranreicherung im Gebiet Hard praktisch in alle Richtungen ab („Grundwasserberg“ der Grundwasseranreicherung der Hardwasser AG, vgl. Anh. A3). Somit resultiert für die Deponie Feldreben überwiegend ein von NE nach SW gerichteter Grundwasserzufluss. Es handelt sich dabei allerdings nicht um reines Grundwasser sondern um zu eine Mischung von Rheinwasserinfiltrat aus der Anreicherung und dem eigentlichen HMK-Grundwasser, welches vermutlich im unteren Aquiferbereich zuströmt. Dieser Zustrom wird zusätzlich durch den Pumpbetrieb Florin unterstützt.

Zufluss und Mischung mit Rheinwasserinfiltrat

Im Bereich der Deponie Feldreben herrschen schliesslich ausgesprochen flache Gefällsverhältnisse vor. Anlässlich der Stichtagsmessung vom 18.12.2006 konnten sowohl nördlich als auch südlich der Deponie generell höhere Grundwasserstände als in der Deponiemitte gemessen werden. Im Norden wird dies durch den „Grundwasserberg“ verursacht, während dies im Süden durch einen Hangwasserzufluss aus dem Gebiet Margelacker hervorgerufen wird, wo der Grundwasserspiegel rund 1.5 m höher liegt und daher generell eine nach Norden gerichtete Strömungsrichtung anzunehmen ist. Die Deponie befindet sich somit im Mischungsbereich von aus NE zufließendem Rheinwasserinfiltrat mit aus Süden zuströmendem HMK-Grundwasser⁵.

flache Gefällsverhältnisse

⁵ Diese Tatsache lässt sich auch anhand der Isolinienanstellung der elektr. Leitfähigkeit (vgl. Anh. Ax) erkennen, wonach die Leitfähigkeitswerte vom Südrand der Deponie bis zum Nordrand massiv abnehmen (Verdünnung der Gesamtmineralisation).

Speziell im Gebiet nördlich der Deponie Feldreben zeigt das Isohypsenbild ein „fingerartiges“ Abströmen des Grundwasserbergs auf. Dieses Bild bestätigt sich auch bei andern (hier nicht näher dargestellten) Stichtagsmessungen. Ebenso können dadurch die beim Markerversuch [6] festgestellten Abströmrichtungen und Fliesszeiten plausibel erklärt werden.

Abströmrichtung Grundwasserberg

Die tiefsten Grundwasserspiegelkoten im Bereich der Deponie liessen sich in den beiden Bohrungen in der Deponiemitte ermitteln (257.52 m ü.M. in KB-F-06/01 und 03). Praktisch rundherum ist der Grundwasserspiegel geringfügig um rund 2 – 10 cm höher. Angesichts dieser minimalen Spiegeldifferenzen ist eine detaillierte Angabe der Fliessrichtung im Bereich der Deponie nicht zuverlässig möglich⁶. Wie das Isohypsenbild jedoch schön zeigt, ist am ehesten ein Abströmen des Grundwassers aus dem Gebiet Feldreben in westlicher oder südöstlicher Richtung anzunehmen. Inwieweit ein Abströmen nach Westen jedoch tatsächlich statt findet, ist unklar, da ein Durchströmen der rund 100 m breiten Störungszone in grösserem Ausmass vermutlich nur untergeordnet stattfindet. Dies insbesondere deshalb, weil die Störungszone „inselartig“ (ohne eigentlichen Hauptgrundwasserleiter) im Grundwassergebiet liegt, bzw. weder Niederterrassenschotter noch Hauptmuschelkalk als potentielle Grundwasserleiter vorhanden sind. Es ist daher eher anzunehmen, dass ein erheblicher Anteil des Grundwassers aus dem Bereich der Deponie Feldreben in südöstliche Richtung abfliesst.

mutmassliche Strömungsrichtung

Unter Berücksichtigung der Sickerpfade im ungesättigten Bereich (vgl. oben) kann zusammenfassend ein „allseitiger“ Abstrombereich rund um die Deponie Feldreben propagiert werden. Allfälliges Sickerwasser aus der Deponie wird sich im ungesättigten Bereich entgegen der allgemeinen Grundwasserfliessrichtung im HMK-Grundwasser eher in der SW und NE-Deponieecke sowie auch am nördlichen Deponierand ansammeln bzw. in diesen Bereichen am ehesten ins Grundwasser übertreten. Nach dem Übertritt in den gesättigten Bereich im HMK-Grundwasser kommt schliesslich wieder die allgemeine Fliessrichtung im Hauptaquifer zum Tragen. Südlich der Deponie biegt die Grundwasserfliessrichtung allmählich nach SE und strömt schliesslich in Richtung zur „Grundwassersenke“ im Gebiet Schweizerhalle.

„allseitiger“ Abstrombereich

⁶ Wie die Messaufzeichnungen bei F5 belegen, lassen sich auch bei „konstantem“ Betrieb der Grundwasseranreicherung Schwankungen im cm-Bereich innerhalb von wenigen Stunden feststellen. Da es sich bei der durchgeführten Stichtagsmessung nicht um eine Simultanmessung (gleiche Messzeit) handelt, können durchaus Unterschiede von 2 bis 3 cm aus Messeffekten auftreten.



3.2.3. Lage, Gefälle und Schwankungen des Grundwasserspiegels

Der Grundwasserspiegel befindet sich im Bereich der Deponie Feldreben rund 20 – 23 m unter der Terrainoberfläche (mittlerer Grundwasserstand rund 257.5 m ü. M). Der Wasserspiegel weist bei normalen Verhältnissen ein Gefälle von weniger als 1 ‰ auf, und kann wie oben erwähnt angesichts der täglichen Schwankungen nicht genau im Detail erfasst werden.

Grundwasser-
spiegel



In der Tabelle 3 sind die massgebenden Grundwasserstände (Niedrig-, Mittel- und Hochwasserstand) angegeben. Diese wurden vor allem gestützt auf die kontinuierlichen Pegelaufzeichnungen [12] sowie einzelne Stichtagsmessungen hergeleitet.

Grundwasser-
stände

Tabelle 3: massgebende Grundwasserstände (Feldreben)

Bohrung		Datenbasis	NW	MW	HW
Feld	Kant.-Nr.		[m ü.M.]	[m ü.M.]	[m ü.M.]
F1		Pegelschreiber (2004 – 07)	255.9	257.5	259.6
F2.1		Pegelschreiber (2004 – 07)	255.0	257.4	258.7
F2.2		6 Einzelmessungen (2004)	255.4	257.8	259.7
F3.1		Pegelschreiber (2004 – 07)	255.1	257.4	258.6
F3.2		Pegelschreiber (2004 – 07)	255.4	257.5	258.9
F4		Pegelschreiber (2004 – 07)	255.4	257.3	258.3
F5		Pegelschreiber (2004 – 07)	254.9	257.4	258.5
F6		7 Einzelmessungen (2006)	¹⁾	257.7	258.1
F7		7 Einzelmessungen (2006)	¹⁾	257.9	258.5
F8		7 Einzelmessungen (2006)	¹⁾	257.8	258.2
F9		7 Einzelmessungen (2006)	¹⁾	257.8	258.2
F10		7 Einzelmessungen (2006)	¹⁾	257.8	258.2
F11		7 Einzelmessungen (2006)	¹⁾	256.9	257.6
KB-F-06/01		Einzelmessung (18.12.07)		(257.52)	
KB-F-06/03		Einzelmessung (18.12.07)		(257.52)	

¹⁾ keine Niedrigwasserstände erfasst

Die jahreszeitlichen Schwankungen sind anhand der nachstehenden Abbildung 1 veranschaulicht, welche die in den kontinuierlichen Pegelschreiber aufgezeichneten Grundwasserstände darstellt. Daraus kann entnommen werden, dass alle Ganglinien des Grundwasserspiegels im Jahresverlauf nahezu parallel zueinander verlaufen. Der Grundwasserspiegel schwankt abgesehen von wenigen Ausnahmen normalerweise mit einer Amplitude von rund 1- 2 m zwischen einer Kote von rund 256.5 und 258.5 m ü.M. Die Schwankungen sind im Jahresverlauf sehr unregelmässig und lassen sich in direkten Zusammenhang mit der Grundwasseranreicherung stellen (vgl. unten). Durch

jahreszeitliche
Schwankungen

diese beträchtliche Beeinflussung sind keine natürlichen Schwankungen mehr eindeutig erkennbar (untergeordnet vermutlich aber trotzdem vorhanden).

Die Gefälls- und Fliessverhältnisse bei unterschiedlichem Grundwasserstand sind im Anhang A2 als Isohypsendarstellungen ausgewählter Stichtagsmessungen sowohl für den Mittelwasserstand (18.12.06) als auch für einen niedrigen (19.9.06) und hohen Wasserstand (16.10.06) dargestellt. Für den Mittelwasserstand wurden die Verhältnisse bereits beschrieben (vgl. Kap. 3.2.2).

Bei einem extremen Niedrigwasserstand, so wie er in Anhang A2b dargestellt ist (rund 2 m tiefer als bei Mittelwasser), sind die Fliessverhältnisse im Bereich der Deponie Feldreben deutlich anders als normalerweise. Der Grundwasserspiegel liegt dabei nun nördlich der Deponie rund 40 – 60 cm tiefer als südlich davon. Ein solcher Zustand kommt nur durch einen Unterbruch der Anreicherung zustande und ist demzufolge nur selten (wenige Tage pro Jahr) vorherrschend. Bedingt durch den Unterbruch kommt es zu einem sukzessiven „Abbau“ des Grundwasserberges, was dazu führt, dass das (mit Rheinfiltrat angereicherte) Grundwasser ausgehend vom Grundwasserberg nun ausschliesslich nach Nordwesten bzw. Westen abströmt und ausserdem den Brunnen Florin speist. Ein Abfliessen nach Süden bzw. Südosten findet dabei praktisch nicht mehr statt. Stattdessen strömt das Grundwasser aus dem Bereich der Deponie nun von Süden nach Norden bzw. Nordwesten praktisch vollständig dem Brunnen Florin zu.

unterschiedliche Grundwasserstände

Niedrigwasserstand

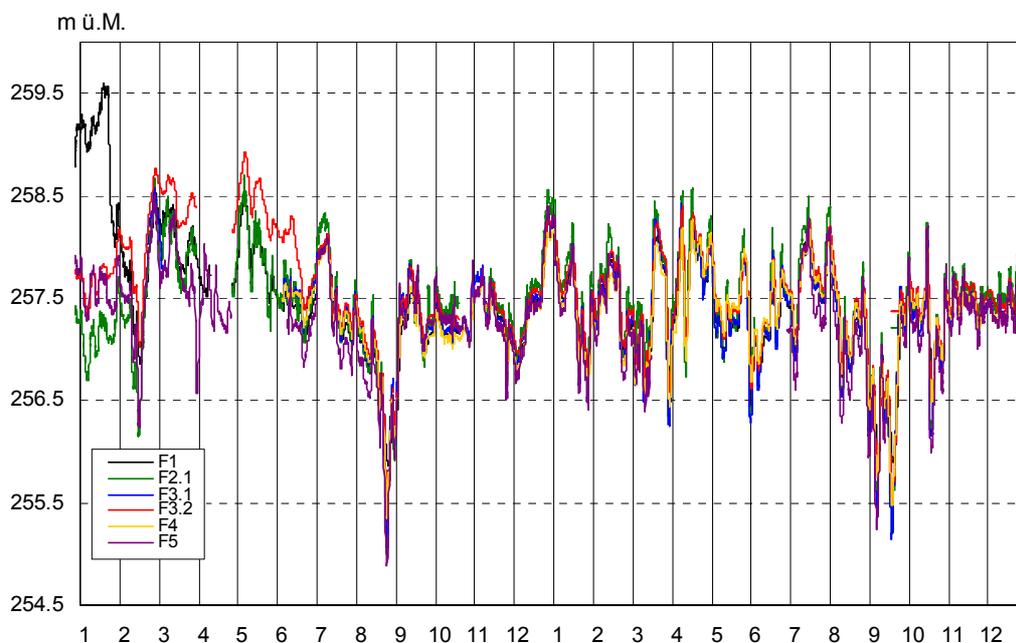


Abbildung 1:
Ganglinien des Grundwasserspiegels (Feldreben)

Bei einem solchen Niedrigwasserstand handelt es sich um einen zeitlich beschränkten und instationären Zustand von meist weniger als 1 – 2 Tagen, so dass zwar grundsätzlich das Gefälle des Grundwasserspiegels ändert, aber kaum relevante Mengen an Grundwasser dementsprechend bewegt werden. Solche kurzfristigen Veränderungen bewirken deshalb kaum messbare Veränderung im Grundwasserchemismus.

*instationärer
Zustand*

Die Isohypsendarstellung des Hochwasserstandes (Anh. A2) zeigt, dass bei hohem Grundwasserstand noch flachere Gefällsverhältnisse als beim Mittelwasserstand vorliegen⁷. Die Differenzen im Umfeld der Deponie sind nur sehr klein und betragen weniger als 5 cm, wobei tendenziell im Osten der Deponie Feldreben (F3.1, E.25) leicht tiefere Spiegellagen resultieren. Entsprechend kann im Bereich der Deponie Feldreben ein leichtes nach Osten gerichtetes Gefälle des Grundwasserspiegels konstruiert werden. Nach Nordwesten (C.236) nimmt das Gefälle wieder deutlich zu, was im Einklang mit der schlechter durchlässigen Störungszone im Westen der Deponie steht. Ganz im Westen der Deponie dürfte anhand des Isohypsenbildes auch ein Abströmen nach Westen bzw. Südwesten möglich sein.

*Grundwasser-
stand bei HW*

Die Komplexität der Grundwasserspiegellage im Nahbereich der Deponie Feldreben soll nochmals anhand der Abbildung 1 (repräsentativer Ganglinienverlauf bei Mittelwasser) erläutert werden. Die höchsten Wasserstände lassen sich praktisch immer im Nordwesten der Deponie feststellen (am 13./14.12 liegt F2.1 rund 10 - 20 cm höher), während der Grundwasserspiegel im übrigen Bereich rund um die Deponie praktisch auf gleichem Niveau liegt. Bei einem generellen Grundwasseranstieg (16. – 18.12.) steigt der Wasserspiegel im Norden (F3.1, F5) etwas rascher als im Süden (F1, F4) an und liegt somit im ganzen nördlichen Bereich leicht höher als im Süden.

*Ganglinienver-
lauf*

Bei sinkendem Grundwasserstand (19. – 22.12) fällt der Grundwasserspiegel wiederum im Norden rascher ab, während die von der Anreicherung weiter entfernten südlichen Bereiche (F1) langsamer reagieren und dort demzufolge kurzfristig ein leicht höherer Grundwasserspiegel als im Norden resultiert. Desweiteren zeigt der Ganglinienverlauf bei F3.2, dass das obere Lockergesteins-Grundwasser grundsätzlich gleich reagiert und daher in enger hydraulischer Verbindung mit dem HMK-Grundwasser steht. Ferner zeigen die beiden Messstellen F3.1 und F5 einen unruhigen „gezackten“ Ganglinienverlauf, was höchstwahrscheinlich durch den Pumpbetrieb Florin zurückzuführen ist.

*(Lockerge-
steinsgrund-
wasser*

⁷ Solche flache Gefällsverhältnisse können auch an anderen Stichtagen mit hohem Grundwasserspiegel beobachtet werden. Es handelt sich also nicht um einen Einzelfall sondern hat allgemeine Gültigkeit.



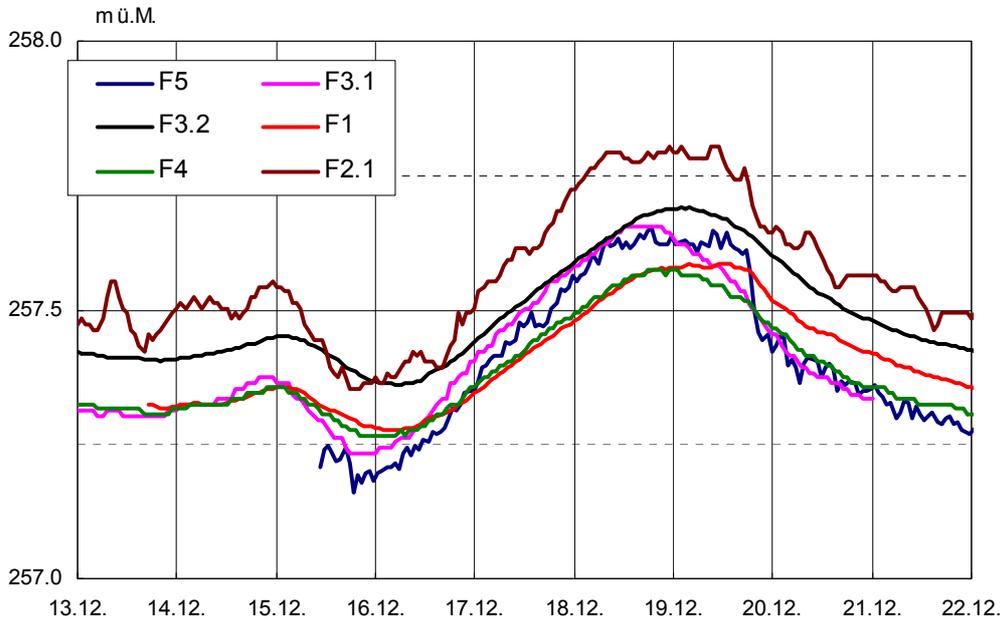


Abbildung 2:
Ganglinien des
Grundwasserspiegels 13. –
21.12.2006

SC + P

3.2.4. Zusammenhang mit der Grundwasseranreicherung

Der Grundwasserspiegel ist im Umfeld der Deponie Feldreben massgeblich durch die Grundwasseranreicherung der Hardwasser AG beeinflusst bzw. sogar bewusst gesteuert. Die detaillierten Zusammenhänge wurden bereits an verschiedenen anderen Berichten eingehend diskutiert und dargestellt ([3], [6], [7], [11]), so dass hier der Vollständigkeit halber nur noch die wichtigsten Erkenntnisse ohne eingehende Erläuterung wiedergegeben werden.

*wichtigste
Erkenntnisse*

Grundsätzlich bewirkt die Grundwasseranreicherung eine Erhöhung des Grundwasserspiegels im Bereich der Deponie Feldreben, welcher rund 4 m über dem natürlichen Stand ohne Grundwasseranreicherung liegen würde. Die Anreicherung führt nordöstlich der Deponie zu einem „Grundwasserberg“, dessen Höhe direkt durch die infiltrierte Wassermenge gesteuert ist. Ein rund 1-tägiger Unterbruch der Grundwasseranreicherung bewirkt eine rasche und relativ grosse Grundwasserspiegelabsenkung von über 1 m. Das ursprüngliche Niveau wird dabei erst nach mehreren Tagen (5-7 Tage) wieder erreicht.

*Grundwasser-
anreicherung*

Die Grundwasserspiegelschwankungen wirken sich hydraulisch zwar rasch im ganzen Umfeld der Deponie Feldreben aus, das Zufließen von Rheinfiltratwasser erfolgt aber sowohl zeitlich als auch anteilmässig unterschiedlich. Im Südenwesten der Deponie (F1) handelt es sich um einen reinen Druckausgleich, ohne dass dort nennenswerte Anteile an Infiltratwasser hingelangen. Im Norden der Deponie bewirkt die Infiltration eine generelle Verdünnung der Gesamtmineralisation durch zufließendes Rheinwasserinfiltrat. Dies verläuft im Nordwesten (F2.1) ausgeglichen und i.d.R. ohne grosse Mineralisations-

*Grundwasser-
spiegel-
schwankungen*



schwankungen, während im Nordosten (F3.1) durch zufließendes Rheinfiltratwasser markante und relativ kurzfristige Schwankungen der Mineralisation verursacht werden. Im Südosten (F4) findet ausserdem im Vergleich zum nördlichen Bereich der Deponie eine zeitliche Verzögerung statt.

Da sich bei einem Unterbruch die Grundwasserverhältnisse grundlegend ändern, soll mit der nachfolgenden Tabelle 4 die Häufigkeit solcher Unterbrüche aufgezeigt werden.

In den letzten 10 Jahren war die durchschnittliche tägliche Infiltrationsmenge mehr oder weniger gleich gross (ausser 1999) und betrug rund 80' bis 85'000 m³ pro Tag, die maximalen infiltrierten Mengen lagen bei rund 110' bis 140'000 m³/Tag. Im Mittel wird die Anreicherung während rund 15 – 20 Tagen reduziert (rund 5% im Jahr), d.h. es werden weniger als 40'000 m³/Tag angereichert. Davon sind rund 1/3 Unterbrüche mit vollständiger Einstellung der Anreicherung während des ganzen Tages (durchschnittlich rund 6 – 7 Tage pro Jahr, ca. 1-2% des Jahres). Mehrtägige Unterbrüche finden nur selten statt (2-tägige Unterbrüche ca. 1 – 2 x Jahr, keine längere Unterbrüche in den letzten 7 Jahren).

Unterbrüche

tägliche Infiltrationsmenge

Tabelle 4: Unterbrüche der Grundwasseranreicherung

Jahr	Infiltrationsmenge Q [m ³ pro Tag] ¹⁾		Anzahl Tage mit reduzierter Anreicherung		Davon mehrtägige Unterbrüche pro Jahr	
	Mittelwert	Maximum	Q < 40'000	Davon Q = 0	Max. 2 Tage	3 bis 4 Tage
1998	79'932	112'367	15	4	nie	1x
1999	72'111	113'911	47	15	1x	2x
2000	78'699	130'733	27	12	3x	nie
2001	82'489	117'939	14	4	1x	nie
2002	81'661	121'968	23	10	3x	nie
2003	85'132	131'013	11	2	1x	nie
2004	84'405	139'535	23	5	2x	nie
2005	84'525	112'564	5	3	1x	nie
2006	85'517	122'875	15	5	1x	nie
2007 (bis Juni)	87'684	111'097	6	1	nie	nie
Durchschnitt	81'258	-	19.0	6.7	1.4	0.3

¹⁾ Infiltrationsmengen gemäss Angaben der Hardwasser AG (Tagesmengen)

Gemäss mündlicher Auskunft der Hardwasser AG ist diese Zusammenstellung für die ganze Betriebszeit seit 1958 mehr oder weniger repräsentativ. Somit belegt diese Statistik die Wirksamkeit der Grundwasseranreicherung und untermauert, dass niedrige Grundwasserstände nur untergeordnet auftreten (weniger als 1-2% im Jahr).

Repräsentative Datengrundlage

3.3. Pumpversuche

3.3.1. Kurzpumpversuche

Im Anschluss an die erste Bohrkampagne wurden anfangs März 2006 in allen sechs neuen Bohrungen Kurzpumpversuche durchgeführt. Diese dauerten jeweils rund 1 Stunde. In der Bohrung F7 war die Ergiebigkeit so gering, dass selbst bei einer geringen Pumpmenge von 25 l/min das ganze Piezometerrohr leer gepumpt wurde (vollständige Absenkung von rund 14 m) und sich am unteren Filterende ein Gleichgewichtszustand einstellte. Demgegenüber war die Ergiebigkeit in der Bohrung F6 viel höher, so dass dort die Absenkung auch bei einer grösseren Pumpmenge (200 l/min) nur gerade 1 cm betrug. In der Tabelle 5 sind die wichtigsten Eckdaten der durchgeführten Pumpversuche zusammengefasst.

Versuchs-
durchführung



Tabelle 5: Kurzpumpversuche (neue Bohrungen Deponie Feldreben)

Bohrung		Dauer	Ruhe- Grw.sp. [m u.T.]	Pump- menge [l/min]	Grw. Mächtigg. [m]	Absenkung [m]	k-Wert [m/s]
Bez.	Datum						
F6	09.03.06	61 min.	22.21	200	15.8	0.01 (stationär)	ca. 1×10^{-2} (Störungszone)
F7	14.03.06	70 min.	23.90	25	14.1	13.60 (vollständige Absenkung)	ca. 6×10^{-6} (Störungszone)
F8	09.03.06	65 min.	22.80	7	3.0	22.92 (instationär, gespannt)	ca. 1×10^{-7} (Lettenkohle)
F9	10.03.06	61 min.	22.84	200	25.0	2.02 (stationär)	ca. 7×10^{-5} (HMK)
F10	10.03.06	60 min.	22.40	150	30.0	16.60 (stationär)	ca. 1×10^{-5} (Störungszone)
F11	13.03.06	61 min.	20.21	400	29.4	4.27 (gespannt)	ca. 6×10^{-5} (HMK)

Bemerkung: Die Berechnung der K-Werte erfolgte unter der vereinfachten Annahme von stationären homogenen Bedingungen. Aufgrund der teilweise vollständigen bzw. instationären Absenkungen sind die angegebenen Werte deshalb nur als Grössenordnung zu verstehen.

Mit Ausnahme der Bohrung F6 sind die ermittelten K-Werte bei allen Bohrungen vergleichsweise gering. Die beiden Pumpversuche im HMK (F9 und F11) ergaben vergleichbare K-Werte von rund 5×10^{-5} m/s, was nur einer bescheidenen Durchlässigkeit entspricht, dafür aber gut mit den bisherigen Pumpversuchsergebnissen im Umfeld der Deponie Feldreben (F2.1, F3.1, F4) übereinstimmt. Für die Lettenkohle (F8) wurde eine noch geringere Durchlässigkeit ermittelt (rund 100-fach tieferer K-Wert).

K-Werte

Für die übrigen Pumpversuche, welche alle innerhalb der westlich der Deponie gelegenen Störungszone liegen (F6, F7, F10) ergeben sich recht unterschiedliche K-Werte welche um mehrere Grössenordnungen auseinander liegen (rund 10^{-5} bis 10^{-2} m/s). Dies widerspiegelt somit die Heterogenität der Lockergesteinsfüllung der Störungszone.

Störungszone



3.3.2. Belastungspumpversuche

Versuchsdurchführung

Zur lückenlosen Erfassung des Abstrombereiches der Deponie wurde bei insgesamt fünf ausgewählten Bohrungen (F3.1, F4, F9, E.25 und F11) sog. Leistungs- oder Belastungspumpversuche durchgeführt⁸. Dabei wurde bei jedem Versuch während rund 3 Tagen konstant Grundwasser gefördert, um so den Entnahmebereich sukzessiv zu vergrössern und eine Mehrfachbeprobung mit Entnahme von mehreren Wasserproben zu ermöglichen (Ausführung und Feldmessungen durch StumpForatec). Nachfolgend werden die Ergebnisse der Felduntersuchungen zusammengefasst. Die Resultate der Grundwasseranalysen werden in Kap. 5.8 beschrieben.

Mehrfachbeprobung

Das Versuchsprogramm sowie die durchgeführten Überwachungsmessungen sind in der Tabelle 6 zusammengestellt. Die Aufzeichnungen aller gemessenen Grundwasserspiegellagen und Feldparameter (Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH, Sauerstoffgehalt) sind im Anh. A6 als Gangliniendarstellung veranschaulicht. Die Parameter elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert und Sauerstoffgehalt wurden jeweils vor Ort beim Entnahmehrunden mit Handmessgeräten in regelmässigen Abständen bestimmt, so dass eine mehr oder weniger kontinuierliche Aufzeichnung dieser Parameter während des Versuches vorhanden ist.

Versuchsprogramm

Die ersten 4 Versuche (F4, F9, F3.1 und E.25) wurden kurz hintereinander im April 2006 durchgeführt, während der letzte Versuch (F11) erst im August 2006 stattfand. In der Abbildung 3 ist der Verlauf des Grundwasserspiegels zum Probenzeitpunkt während der ersten Serie abgebildet. Daraus ist ersichtlich, dass die beiden ersten Versuche (F4 und F9) bei mittlerem sowie tendenziell ansteigendem Grundwasserstand und die beiden anderen Versuche (F3.1 und E.25) bei hohem, aber sinkendem Wasserstand erfolgten. Ge-

Versuchsdurchführung

⁸ Gemäss Pflichtenheft waren ursprünglich 8 solcher Versuche vorgesehen. Aufgrund der geringen Ergiebigkeit (F1, F7, F8) sowie gestützt auf die Erfahrungen bei den ersten Pumpversuchen wurde beschlossen, nicht alle vorgesehenen Versuche auszuführen. Die Versuche waren vor allem in der SE-Ecke der Deponie durchgeführt, da dort einerseits bessere Durchlässigkeitsverhältnisse als auch noch die grössten Unsicherheit bezüglich der Wasserqualität vorhanden waren.



nerell sind die festgestellten Schwankungen der Kontrollbohrungen in erster Linie auf die Grundwasseranreicherung zurückzuführen und sind praktisch nicht (F4, F9) oder nur sekundär durch die Pumpversuche beeinflusst (F3.1, E.25). Der Pumpversuch F11 wurde ebenfalls bei mittlerem und tendenziell sinkendem Grundwasserstand durchgeführt (hier nicht grafisch dargestellt), wobei auch dort keine klare Absenkung der benachbarten Kontrollbohrungen beobachtet werden konnte.

Tabelle 6: Versuchsanordnung Belastungspumpversuche Feldreben 2006

Versuch	F4	F9	F3.1	E.25	F11	
Zeitraum	3. – 5.4.	5. – 8.4.	10. – 13.4.	18. – 21.4.	14. – 18.8.	
Pumpdauer [Std]	43.3	60.6	76.8	69.4	94.8	
Max. Förderleistung	360 l/min	250 l/min	230 l/min	320 l/min	390 l/min	
Ges. Pumpmenge	938 m ³	908 m ³	1060 m ³	1333 m ³	2098 m ³	
Beobachtungsrohre (Handmessungen)	F8, F9, C232, E25, P3	F8, C232, E25, P3	F8, F9, C232, E25, P3	F8, F9, C232, P3	F10, F6, F7, C236, C230	
Pegelaufzeichnungen	F3.1, F1	F3.1, F4	F4, F1	F3.1, F4	F1, F2.1	
Probenahme (Stunden nach Pumpbeginn)	T0	1 min	0.8	1 min	1 min	4.0
	T1	5 min	1.1	0.5	0.5	18.7
	T2	4.7	13.7	5.8	7.0	41.8
	T3	16.3	23.9	17.9	19.2	66.6
	T4	29.2	36.5	29.5	33.9	90.7
	T5	43.3	48.0	42.0	52.4	-
	T6	-	60.5	57.8	69.3	-
	T7	-	-	76.8	-	-

Augrund der durch die Grundwasseranreicherung verursachten Spiegelschwankungen ist der Einfluss auf die benachbarten Kontrollbohrungen nicht immer eindeutig abzuleiten. Grundsätzlich konnte aber bei den in ungespannten Druckverhältnissen durchgeführten Versuche (F4, F9 und F11) keine Reaktionen bei den gemessenen Überwachungsbohrungen festgestellt werden. Hingegen ist bei den beiden Versuche F3.1 und E.25 infolge der gespannten Druckverhältnisse eine signifikante Absenkung erkennbar.

Druckverhältnisse

In der Regel wurde der Versuch von Beginn an mit der maximalen Pumpmenge ohne vorgängige Steigerungsphasen gefahren (ausser bei F9, wo während den ersten 12 Stunden eine etwas reduzierte Pumpmenge eingestellt wurde). Die Pumpmenge lag bei allen Versuchen in der gleichen Größenordnung von rund 250 – 400 l/min (vgl. Tabelle 6). Jeweils nach der Entnahme der letzten Grundwasserprobe wurden die Pumpen ausgeschaltet und es wurde der Wiederanstieg beobachtet. Gesamthaft wurden rund 1'000 bis 2'000 m³ Wasser gefördert. Eine detaillierte Darstellung der gemessenen Parameter ist im A7 grafisch dargestellt.

Pumpmengen

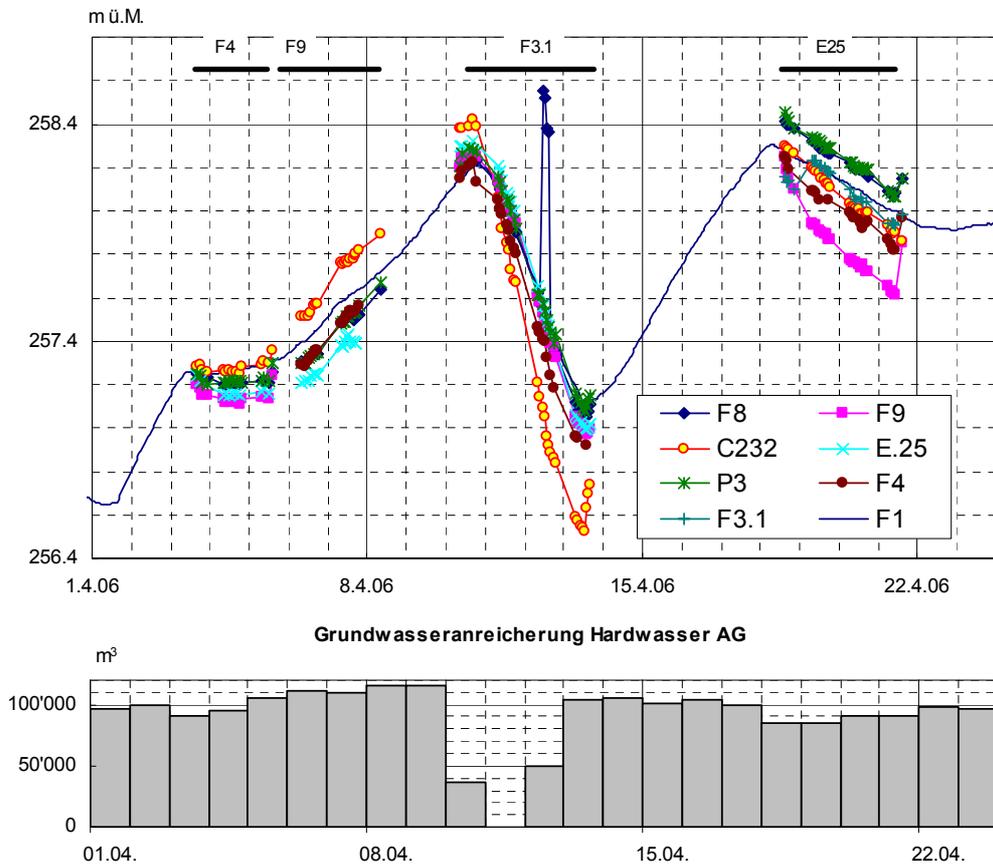


Abbildung 3:
 Ganglinien
 während Be-
 lastungspump-
 versuche



Ergebnisse der Feldmessungen

Nachfolgend wird auf jeden Belastungspumpversuch einzeln kurz eingegangen, wobei aber nur die wesentlichen Merkmale aufgeführt werden. Insbesondere werden analoge Feststellungen, welche für alle Versuche gültig sind, nur summarisch behandelt (vgl. dazu auch Grafiken in Anh. A7).

Der Grundwasserspiegel im Entnahmebrunnen beim Pumpversuch F4 sank bei Pumpbeginn innert Minuten um rund 3 m ab. In der Folge war bis ungefähr zur Versuchsmitte nochmals eine leichte Absenkung von rund 20 cm festzustellen, danach blieb der Grundwasserspiegel bis zum Versuchsende konstant, was vermutlich aber auf den allgemeinen Anstieg zurückzuführen ist. Mit dem Wiederanstieg konnte auch in den benachbarten Beobachtungsröhren als Reaktion darauf ein leichter Anstieg von rund 10 cm festgestellt werden (vor allem F9 und E.25). Bezüglich der gemessenen Feldparameter (el. LF, Temp., pH, O₂) zeigte eigentlich nur die elektrische Leitfähigkeit eine signifikante Erhöhung von rund 740 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf rund 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Zunahme von rund 8%). Die übrigen Parameter blieben abgesehen von kurzfristigen Schwankungen praktisch konstant.

*Pumpversuch
 F4*

Beim Pumpversuch F9 konnte in der Anfangsphase der Wasserspiegel im Entnahmebrunnen aus technischen Gründen nicht im Detail erfasst werden. Er lag nach rund ½ Tag Pumpdauer rund 4.5 m unter dem Ruhegrundwasserspiegel auf konstantem Niveau. Etwas nach der Versuchsmitte stieg der Wasserspiegel trotz gesteigerter Fördermenge um rund 1 m an, was auf die Grundwasseranreicherung zurückzuführen ist (vgl. oben). Bei Versuchsende war schliesslich wieder ein sofortiger Anstieg von rund 4 m zu beobachten. Die Wasserspiegel bei der Messstelle E.25 zeigt als einziger eine leichte Absenkung von rund 10 cm. Bei den übrigen Messstellen lässt sich keine Reaktion feststellen, was aber wahrscheinlich durch den allgemeinen Grundwasseraufstieg überdeckt worden ist. Die Feldparameter blieben mehr oder weniger konstant. Einzig in der Anfangsphase waren beim Sauerstoffgehalt grössere Schwankungen festzustellen (was aber auch durch einen Gerätefehler verursacht sein könnte). Interessanterweise zeigte die elektrische Leitfähigkeit in der Versuchsmitte grössere Schwankungen von rund 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (zuerst leicht Abnahme gefolgt von einer kurzfristigen Zunahme und einem allmählichem Abklingen, vgl. Anh. A7).

*Pumpversuch
F9*



Beim Pumpversuch F3.1 sank der Grundwasserspiegel im Entnahmebrunnen bei voller Pumpenleistung (230 l/min) zunächst sofort um rund 5.5 m ab. Auf diesem Niveau verharrte er knapp einen Tag bevor er dann abrupt um weitere 2 m absank. Bei Versuchsende lag der Grundwasserspiegel nochmals rund 1 m tiefer. Sowohl das abrupte als auch das kontinuierliche Absinken dürfte im Zusammenhang mit der regionalen Grundwasserabsenkung verursacht worden sein, denn gleichzeitig fielen auch alle gemessenen Überwachungspegel fast 2 m ab. Erwähnenswert ist hier noch das kurzfristige „anomale“ Verhalten des Grundwasserspiegels in der Bohrung F8 in der zweiten Versuchshälfte, da dort der Grundwasserspiegel entgegen dem regionalen Trend während rund 8 Stunden vorübergehend rund 1 m höher lag (am 12.4.06, vgl. 2. Grafik in Anh. A2). Da diese Messstelle auch das obere Grundwasserstockwerk umfasst, lässt sich dies mit einem erhöhten Zufluss von Lockergesteinsgrundwasser erklären (ausgelöst durch verstärkte Niederschlagsversickerung infolge ergiebiger Niederschläge). Bezüglich der gemessenen Feldparameter lässt sich einzig eine signifikante Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit feststellen, indem diese von anfänglich rund 720 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf 620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ abfiel (Rückgang um rund 15%). Tendenziell lässt sich auch eine sukzessive Zunahme des Sauerstoffgehaltes erkennen (von 4.8 auf 5.2 mg/l).

*Pumpversuch
F3.1*

Der Grundwasserspiegel im Entnahmebrunnen beim Pumpversuch E.25 sank zunächst innerhalb von 1 Stunde um rund 0.6 m ab und fiel dann bis zum Versuchsende mehr oder weniger kontinuierlich um einen weiteren Meter ab. Während der Versuchsphase zeigen auch alle gemessenen Kontrollbohrungen ein Abfallen von rund 0.4 – 0.7 m, was den regionalen Trend belegt. Beim Wiederanstieg zeigten vor allem die nahegelegenen Bohrungen eine rasche

*Pumpversuch
E25*



Reaktion mit einem Anstieg 0.2 - 0.3 m (F4, F9). Bei den Feldmessungen lassen sich zwei signifikante Veränderung feststellen: Einerseits nimmt die elektrische Leitfähigkeit kontinuierlich von rund 720 auf 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zu (rund 20%) und andererseits nimmt der Sauerstoffgehalt von anfänglich schwankenden Werten zwischen 6 -7 mg/l auf rund 4.5 mg/l ab. Insgesamt können aber etwa ab der Versuchsmitte wieder konstante Verhältnisse beobachtet werden.

Beim Pumpversuch F11 wurde in der Anfangsphase eine etwas grössere Absenkung von rund 4 m gemessen, welche sich dann aber für den Rest des Versuches konstant auf einem etwas höheren Niveau (rund 3 m Absenkung) einstellte (dafür dürfte eine allmähliche Entsandung der Bohrung verantwortlich sein). Bei den gemessenen Überwachungsbohrungen konnte trotz der gespannten Druckverhältnisse bei F11 keine Reaktionen festgestellt werden, was vermutlich durch die schlecht durchlässige Störungszone zu erklären ist. Die Feldparameter zeigten ebenfalls praktisch keine Veränderungen, einzig der Sauerstoffgehalt nahm kontinuierlich von 3.3 auf 4.7 mg/l zu.

*Pumpversuch
F11*

Ermittlung der hydrogeologischen Feldparameter

Die durchgeführten Belastungspumpversuche können auch dazu verwendet werden, die hydrogeologischen Feldparameter zu ermitteln. Mit Hilfe der gemessenen Grundwasserabsenkungen (und -anstiege) können sowohl die Durchlässigkeitsbeiwerte K als auch die Speicherkoeffizienten berechnet werden.

Sämtliche Messdaten wurden einerseits grafisch (als Ganglinien oder Diagramm) und andererseits mit der Auswertungssoftware Hydrotec (Version 5.2) für instationäre Zustände ausgewertet. Für die Herleitung der Durchlässigkeitsbeiwerte K wurden isotrope Verhältnisse des Aquifers angenommen, so dass die herkömmlichen Berechnungsformeln nach Theis eingesetzt wurden (teils gespannt, teils ungespannte Verhältnisse).

*subartesisch
gespannte
Grundwasser-
verhältnisse*

In der nachfolgenden Tabelle 7 sind die wichtigsten Ergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 7 : Auswertung Belastungspumpversuche Feldreben

Bohrung	Ruhe-Grw.sp.	abgesenk. Grw.sp.	Absenkung	Berechnungsmethode	k-Wert	Speicherkoeffizient
	[m ü.M.]	[m ü.M.]	[m]		[m/s]	[-]
F4	257.20	253.41	3.79	Agarwal & Theis	3×10^{-5}	6×10^{-3}
F9	257.15	253.69	3.46	Theis	1×10^{-4}	2×10^{-3}
F3.1	258.47	249.66	8.81	Theis	2×10^{-5}	4×10^{-3}
E.25	257.77	256.26	1.51	Agarwal & Theis	2×10^{-4}	2×10^{-2}
F11	256.81	253.79	3.02	Agarwal & Theis	6×10^{-5}	7×10^{-3}



Die Auswertung der Pumpversuche zeigt eine relativ gute Übereinstimmung der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte mit den durchgeführten Kurzpumpversuchen und den Speicherkoeffizienten untereinander. Die K-Werte liegen im Bereich von rund 2×10^{-5} bis 2×10^{-4} m/s. Die Speicherkoeffizienten variieren zwischen rund $2 - 7 \times 10^{-3}$. Aufgrund der relativ grossen Reichweite der Versuche stellen diese Werte repräsentative Durchschnittswerte (Mittelwerte) dar.

ermittelte K- und S-Werte

Aus den ermittelten Parametern lässt sich auch der Entnahmebereich (erfasste Abstrombreite) in Funktion der Zeit abschätzen. In der Abbildung 4 ist dies als Grafik veranschaulicht⁹. Daraus geht hervor, dass in der ersten Stunde das Grundwasser in der Regel aus einer Entfernung von rund 5 m zu den Entnahmebrunnen zugeflossen ist. Nach rund 3 Tagen Pumpdauer ist schliesslich eine Reichweite bzw. Entnahmeradius von rund 100 - 150 m erreicht.

Entnahmebereich

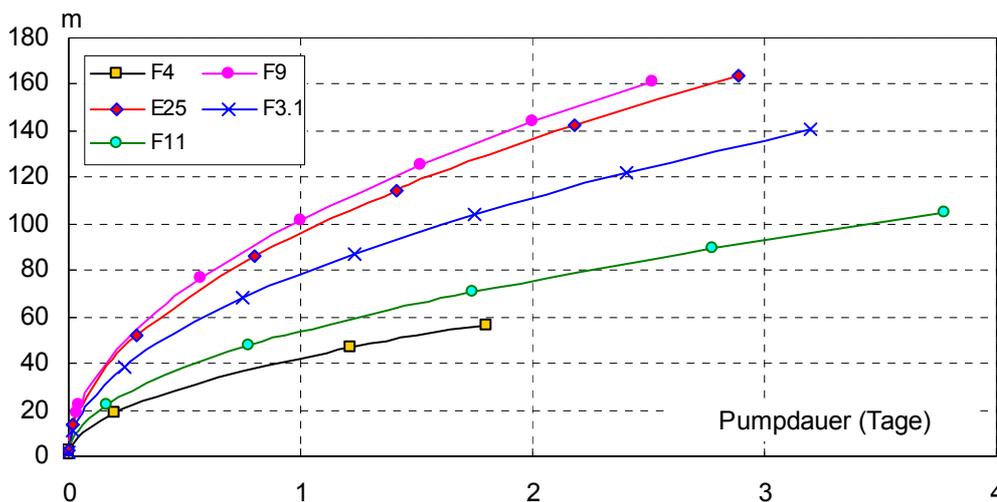


Abbildung 4: Berechneter Entnahmebereich in Funktion der Zeit (Belastungspumpversuche Feldreben. Jeder Punkt stellt eine Probenahme dar (T0 bis T6))

Fazit der Belastungspumpversuche

Zusammenfassend betrachtet zeigen alle durchgeführten Belastungspumpversuche ähnliche Versuchsergebnisse. Zum einen lassen sich hydraulische Auswirkungen auf die benachbarten Messstellen beobachten, welche je nach dem, ob gespannte oder ungespannte Druckverhältnisse vorliegen, mehr oder weniger weitreichend sind. Die festgestellten Absenkungen beschränken sich aber i.d.R. auf einen Radius von rund 50 - 150 m. Zum anderen konnten bei allen Versuchen keine bzw. nicht allzu grosse Veränderungen der Feldparameter festgestellt werden.

Entnahmebereich

⁹ Zur Herleitung der zeitlichen Absenkung wurde jeweils die mit den Bohrungen erschlossene Grundwassermächtigkeit eingesetzt. Berechnung als erste Näherung aus der Ableitung der Zylinderformel gem. [18]

Es lassen sich zwar gewisse Veränderungen in der elektrischen Leitfähigkeit und im Sauerstoffgehalt messen, diese betragen aber höchstens 10 – 20% und sind entweder nur kurzfristig (F9) oder pendeln sich bis zum Versuchsende wieder auf einen konstanten Wert ein. Dies ist durch eine Zumischung von unterschiedlich mineralisiertem Grundwasser (mit unterschiedlichem Sauerstoffgehalt) zu erklären. Bei den drei Bohrungen F4, F9 und E.25 mischt sich stärker mineralisiertes und bei der Bohrung F3.1 schwächer mineralisiertes Grundwasser dazu. Dies dürfte im ersten Fall durch einen erhöhten Anteil an Deponiesickerwasser zu erklären sein (vgl. dazu auch Kap. 3.2) und im anderen Fall mit einem höheren Anteil an Rheinwasserinfiltrat.

Mischung



Mit Hilfe der Belastungspumpversuche konnte also der Entnahmebereich der einzelnen Bohrung gesteigert (vergrössert) werden. Dadurch verändert sich teilweise auch die Beschaffenheit des geförderten Grundwassers, allerdings aber auch nur relativ langsam und nur in bescheidenem Umfang. Daher sind auch gänzlich neue, bisher unerfasste Sickerwasseranteile, welche z.B. zwischen zwei Entnahmestellen liegen könnten, sehr unwahrscheinlich (dies wird auch durch die chemischen Analysen bestätigt, vgl. Kap. 5).

*Vergrößerung
Entnahmebereich*

3.4. Zusammenfassende Folgerungen

Aufgrund der oben beschriebenen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse können die wesentlichen Untersuchungsergebnisse insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Beschaffenheit des Untergrundes unter und im Umfeld der Deponie Feldreben ist nun recht gut bekannt. Es kann sowohl die Lage der Schotter- und Felsuntergrenze, als auch die Beschaffenheit des Felsuntergrundes einigermaßen verlässlich angegeben werden:
 - Westlich der Deponie Feldreben verläuft eine markante Störungszone, welche den Hauptgrundwasserleiter unterbricht. Das Grundwasser kann hier allerdings im oberen Bereich im Lockergestein zirkulieren.
 - Der südöstliche Deponieteil wird vom südlichen Ausläufer des Hardgrabens durchquert, so dass dort die Felsunterlage aus schlecht durchlässigen Gesteinen (Gipskeuper) besteht und einerseits zu subartesisch gespannten Druckverhältnissen führt und andererseits ein Abströmen von einsickerndem Meteorwasser (sowie auch Deponiesickerwasser) in nördliche Richtung entgegen der allgemeinen Fließrichtung im HMK-Grundwasser ermöglicht.
 - Im nördlichen Teil der Deponie besteht der Felsuntergrund aus Trigonodusdolomit und Hauptmuschelkalk, welche z.T. noch mit schlecht durchlässiger Übergangsschicht bedeckt sind, was ein nach Abfließen von Sickerwasser im ungesättigten Bereich nach Norden begünstigt.

*Beschaffenheit
des Untergrundes*

Störungszone

Hardgraben

Felsuntergrund

- Die Grundwasserfliessverhältnisse im Hauptmuschelkalk sind dank des relativ engmaschigen Messnetzes ebenfalls gut bekannt:
 - Im Bereich der Deponie Feldreben kommt es zur Mischung von aus Süden zuströmendem HMK-Grundwasser mit dem vom Grundwasserberg abströmenden mit Rheinfiltratwasser angereicherten Grundwasser. *Grundwasserfliessverhältnisse
Mischung*
 - Die Grundwasserstände werden massgeblich durch die Grundwasseranreicherung der Hardwasser AG beeinflusst. Die Grundwasserspiegelschwankungen wirken sich hydraulisch zwar rasch im ganzen Umfeld der Deponie Feldreben aus, das Zufließen von Rheinfiltratwasser erfolgt aber sowohl zeitlich als auch anteilmässig unterschiedlich. *Grundwasserstände*
 - Die Gefällsverhältnisse sind im Deponiebereich ausgesprochen flach. Generell lässt sich aber eine nach Süden bis Südosten gerichtete Strömungsrichtung des Grundwassers ableiten. Kurzfristig können aber aufgrund veränderter Infiltrationsbedingungen die Fliessverhältnisse ändern, wobei dabei aber kaum relevante Grundwassermengen bewegt werden (in erster Linie handelt es sich dabei um einen hydraulischen Druckausgleich). *Gefällsverhältnisse*
- Der Abströmbereich der Deponie Feldreben ist aufgrund der im ungesättigten Bereich gegenläufigen Gefälle der Schotteruntergrenze und der Durchlässigkeitsverhältnisse allseitig rund um die Deponie Feldreben zu propagieren. Ein eigentlicher Zustrombereich ist daher erst im weiter entfernten Bereich der Deponie oder im tieferen Aquiferbereich zu suchen. *Abströmbereich*
- Die durchgeführten Belastungspumpversuche belegen, dass mit dem bestehenden Grundwasserüberwachungs- und Messnetz (Bohrungen) somit der ganze Abstrombereich der Deponie Feldreben vollständig erfasst werden kann. *vollständiges Überwachungsnetz*



4. Deponieinhalt

4.1. Überblick der Felduntersuchungen

Zur Erkundung des Deponie-Inhaltes wurden zahlreiche Feld- und Laboruntersuchungen durchgeführt (vgl. Tab. 1). Diese wurde gestaffelt und jeweils angepasst an die vorangegangenen Untersuchungsergebnisse aufgeführt. In einem ersten Schritt wurden der Deponieperimeter mittels sog. MIP-Sondierungen (MIP = Membrane-Interface-Probe) rasterförmig untersucht (ca. 30 x 30 m). Anschliessend wurde das Beprobungsnetz an relevanten Stellen verdichtet, um einerseits unterschiedlich belastete Bereiche besser

MIP-Sondierungen

ausscheiden zu können und andererseits die nachfolgenden Probenahmestellen genauer platzieren zu können.

In einem zweiten Schritt wurden an den mittels MIP-Sondierungen lokalisierten hot-spots Bodengasproben und sog. Linerproben (Materialproben aus Rammkernbohrung) aus ausgewählten Tiefenlagen entnommen. Die Material- und Bodenluftanalysen wurden entsprechend dem Pflichtenheft auf ihren Schadstoffgehalt hin untersucht.

Linerproben

In einem dritten Schritt wurden schliesslich noch 6 Kernbohrungen an ausgewählten Stellen abgeteuft, um einerseits gezielt weitere Materialproben entnehmen zu können und um andererseits durchgehende vertikale Aufschlüsse durch den Deponiekörper zu erhalten (u.a. zur Erkundung der Deponiesohle). Ausserdem sollte mit den Kernbohrungen Klarheit über die Deponiemächtigkeit bzw. Tiefenlage der Deponiesohle geschaffen werden. Zur Erfassung der Grundwasserspiegellage wurden zwei der sechs Bohrungen als Grundwasserentnahme- und Messstellen ausgebaut.

Kernbohrungen

Die MIP-Sondierungen sowie die Entnahme der Liner- und Bodengasproben erfolgte durch die Firma geo-log GmbH in Braunschweig (DE). Die Feldarbeiten sowie insbesondere die Festlegung der Sondier- und Entnahmestellen erfolgten in enger Zusammenarbeit mit uns. Eine ausführliche Dokumentation der Feldarbeiten sowie deren Untersuchungsergebnisse ist in einem separaten Bericht [14] gegeben¹⁰. Im Folgenden wird die wesentlichen Erkenntnisse daraus, welche für die altlastenrechtliche Beurteilung von Bedeutung sind, wiedergegeben.

*Separater
Bericht geo-log*

4.2. MIP-Sondierungen

Methodik

Die MIP-Sondiertechnik erlaubt eine halbquantitative Bestimmung von Schadstoffen in einem kontinuierlichen Tiefenprofil. Dabei wird ein Rammgestänge, welches an der Spitze mit einer speziellen Sonde ausgerüstet ist, fortdauernd in den Untergrund eingerammt. Die Sonde erhitzt das Umfeld mit einem Heizblock auf maximal 125°C, so dass die im Wasser gelösten oder die an die Bodenmatrix sorbierten, verdampfbaren Verbindungen mobilisiert und anschliessend über eine hydrophobe Polymembran adsorbiert und in das Innere der Sonde überführt werden (vgl. Abb. 5). Nach der Diffusion durch die

Sondiertechnik

¹⁰ Detaillierte Angaben zur Messtechnik, Probenahme und Datenaufbereitung sowie der durchgeführten QS-Massnahmen können daraus entnommen werden.



Membran verteilen sich die Schadstoffe im vorbeiströmenden ultrareinen Trägergas (Stickstoff, Flussrate i.d.R. 40 ml/min).

Das schadstoffbeladene Gas wird online im Feld mittel 3 Detektoren eines Gaschromatographen, welcher im Messwagen neben der Sondierung untergebracht sind, als „Gesamtstoff-Summenparameter“ halbquantitativ gemessen. Zur Messung wird ein Photo-Ionisations-Detektor (PID), ein Flammenionisation-Detektor (FID) und ein „Dry Electronic Conductivity Dedektor“ (DELCD) eingesetzt (vgl. Beispiel einer aufbereiteten MIP-Sondierung in Abb. Abbildung 6).

Gaschromatograph

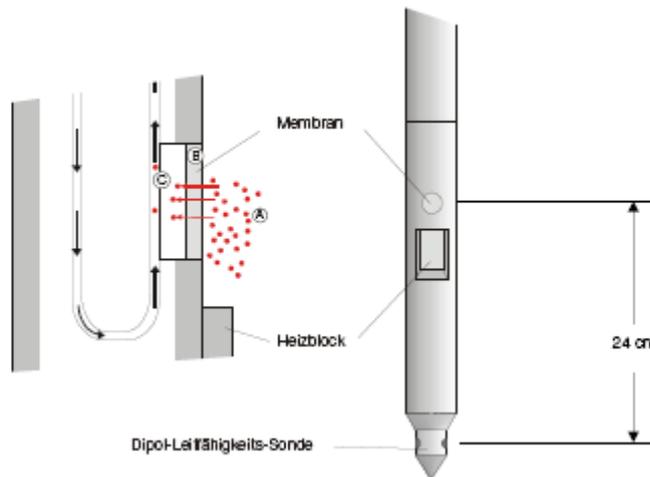


Abbildung 5:
Schematische Darstellung der MIP-Sondierung (aus [14])

Diese drei Detektoren haben unterschiedliche Nachweisempfindlichkeiten für organische (leichtflüchtige) Schadstoffe. Im PID werden die meisten aromatischen Verbindungen (Benzol, Toluol, Xylol, etc.) und zahlreiche andere Verbindungen (H₂S, Hexan, Ethanol, CKW) detektiert. Der FID detektiert Moleküle mit einer C-H Bindung (generell: leicht flüchtige Kohlenwasserstoffe), jedoch nicht oder nur eingeschränkt Verbindungen wie H₂S, CCl₄ oder NH₃. Der DELCD detektiert nur halogenierte Verbindungen und erlaubt dadurch eine zuverlässige Interpretation, ob es sich bei Kohlenwasserstoff-Signalen, die durch den FID oder PID identifiziert wurden, um halogenierte Verbindungen wie z.B. CKW handelt oder nicht.

Nachweisempfindlichkeiten

Zusätzlich erfolgt eine Messung der elektrischen Leitfähigkeit über eine Dipol/Dipol-Anordnung, welche Rückschlüsse über die Beschaffenheit des Untergrundes erlaubt (Unterscheidung von Schlamm, Lehm, Sand oder Kies).

elektrische Leitfähigkeit

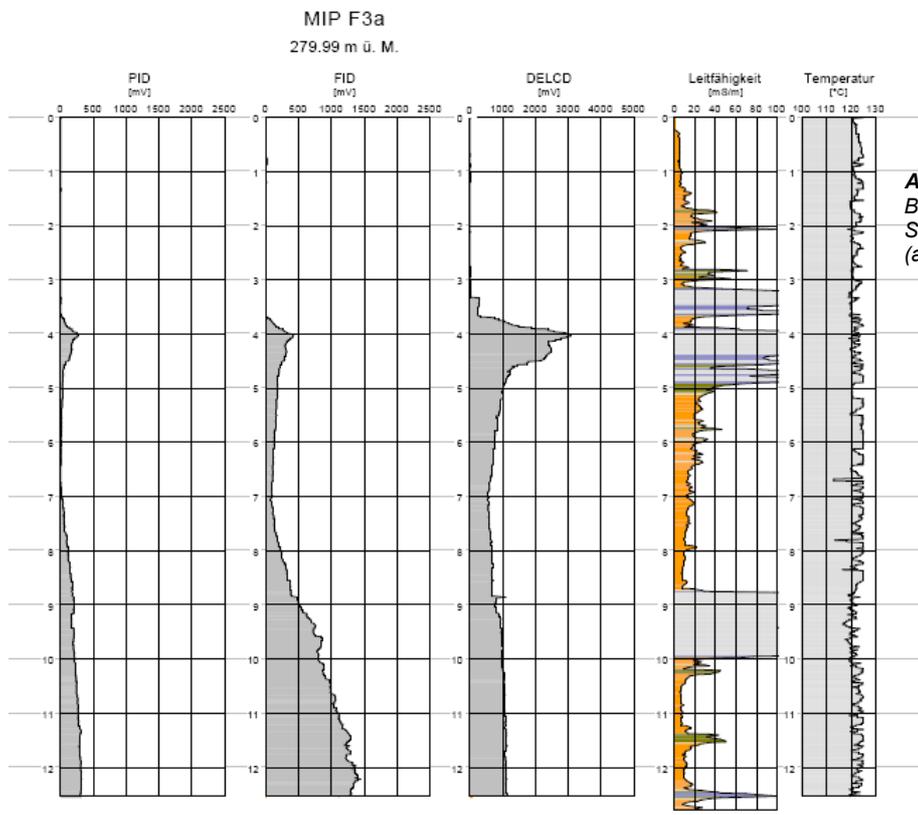


Abbildung 6:
Beispiel einer MIP-
Sondierung
(aus [14])

Untersuchungsergebnisse

Die Sondierungsarbeiten wurden im Zeitraum vom 2.5. bis 25.8.06 in mehreren Kampagnen ausgeführt. Insgesamt wurden 92 MIP-Sondierungen mit Tiefen zwischen 2.1 und maximal 19.2 m ausgeführt (vgl. Sondierstellen in Anh. A5, mittlere Sondiertiefe rund 9 - 10 m). Sämtliche MIP-Sondierungen wurden durch die geo-log GmbH eingemessen und nivelliert. Die Untersuchungsergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

92 MIP-
Sondierungen

Mit Hilfe der MIP-Sondierungen kann die Untergrenze der Deponie erkundet werden, und zwar entweder durch das Anstehen der Sonde (im kiesigen Untergrund oder Fels) oder durch einen markanten Wechsel in den aufgezeichneten Signalen (Leitfähigkeit, FID, PID, DELCD). Da im vorliegenden Fall die aus den MIP-Sondierungen ermittelte Deponiesohle recht gut mit den Bohraufschlüssen der Deponiebohrungen übereinstimmt, ergibt sich ein recht detailliertes und verlässliches Bild der Deponiesohle (vgl. Darstellung der Deponiemächtigkeit in Anh. A4). Gemäss den MIP-Sondierungen sind grundsätzlich zwei tiefer reichende Deponieteile auszumachen. Einerseits einen ca. 30 x 30 m grossen Teilbereich im mittleren bis westlichen Deponieperimeter mit Tiefen von rund 15 – 19 m und andererseits einen rund 12 – 15 m tiefen Teil-

Deponiesohle

bereich in der östlichen Deponiehälfte. In den übrigen Bereichen des Deponieperimeters lagen die ermittelten Deponietiefen zwischen rund 10 – 12 m.

Die ermittelten Leitfähigkeitsdaten lassen sich in drei Gruppen einteilen:

*Leitfähigkeits-
daten*

- Leitfähigkeitswerte > 100 mS/cm deuten auf Auffüllmaterial mit hohem Mineralisierungsgrad hin (z.B. Aschen, Elektrolytschlämme). Ein grösserer und zusammenhängender Bereich wurde vor allem im zentralen Deponieteil im unteren Tiefenbereich lokalisiert. Weitere kleinere hot-spots wurden auch entlang der südlichen Deponierandes und in der südwestlichen Deponieecke festgestellt.
- Leitfähigkeitswerte zwischen 35 – 100 mS/cm lassen vor allem auf feinkörniges, d.h. tonig-siltiges (bindiges) Material schliessen. Solche Werte können aber auch durch hausmüllähnliche Ablagerungen hervorgerufen werden. Solche Bereiche wurden im Wesentlichen als Übergangszone zu den hot-spots mit hohen Leitfähigkeitssignalen festgestellt. Sie umfassen somit einen grösseren Bereich, welcher grob gesagt den ganzen mittleren Deponieteil umfasst.
- Geringe Leitfähigkeiten unter 35 mS/cm weisen auf nicht bindiges, eher grobkörniges (sandig-kiesiges) Material hin. Solche Bereiche sind vor allem im östlichen Deponieteil sowie am Deponierand lokalisiert worden.

Die detektierten Messsignalen (PID, FID und DELCD) sind in Anhang A5 in einem Situationsplan als Summenwerte pro Sondierung grafisch dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass alle drei gemessenen Parameter mehr oder weniger ausgeprägt das gleiche Belastungsmuster aufzeigen. Allerdings wurden beim PID nur vereinzelt leicht erhöhte Werte festgestellt. Bei den meisten Sondierungen lagen die PID-Messwerte unter oder im Bereich der Detektionsgrenze. Demzufolge ist das Auftreten relevanten Mengen an leichtflüchtigen aromatischen Verbindungen (u.a. BTEX) mehr oder weniger auszuschliessen.

*gleiches Belastungs-
muster
bei PID, FID
und DELCD*

Demgegenüber zeigen die FID und DELCD Messsignale einen übereinstimmenden Verunreinigungsherd im zentralen Deponiebereich. Während die FID-Messungen generell „nur“ einen erhöhten Gehalt an (flüchtigen) Kohlenwasserstoffen anzeigen, kann dies mit Hilfe der DELCD Messungen präzisiert werden. Demnach handelt es sich dabei überwiegend um chlorierte bzw. halogenierte Kohlenwasserstoffe (u.a. CKW)¹¹. Die räumliche Ausbreitung dieses zentralen Verunreinigungsherdes kann am besten aus der Darstellung der DELC-Messsignale (Anh. A5) abgeleitet werden. Demnach liegt ein grös-

*Verunrei-
gungsherd im
zentralen
Deponiebe-
reich*

¹¹ Die DELCD-Signale werden durch die chemischen Analysen sowohl in der Bodenluft als auch der Materialproben weitgehend bestätigt.



serer Schadstoffherd im zentralen Deponieteil vor, dies in Einklang mit den Messungen der elektrischen Leitfähigkeit¹².

Eine Aussage zur Belastungssituation durch nicht chlorierte Schadstoffe, wie z.B. Mineralöle und PAK ist anhand der MIP-Untersuchungen nicht möglich. Diese Stoffgruppen werden aufgrund der geringen Flüchtigkeit vom Messsystem nicht bzw. nur in sehr geringem Umfang erfasst. Ebenso ist eine Kalibrierung der Messsignale mit Analysendaten der chemischen Untersuchungen aufgrund zahlreicher Störfaktoren (z.B. Methangas, Mischung verschiedener leichtflüchtiger Substanzen, etc.) gemäss Bericht geo-log [14] nicht möglich.

Einschränkungen



4.3. Bodengasmessungen

Methodik

Im Anschluss an die MIP-Sondierungen wurden an ausgewählten Ansatzpunkten tiefenorientiert Bodenluftproben entnommen. Dazu wurde eine Verrohrung (Aussendurchmesser 1,5 Zoll bzw. 38 mm) bis auf die gewünschte Endtiefe des Beprobungsbereiches niedergebracht. Anschliessend wurde durch das Ziehen dieser Verrohrung ein vertikaler Tiefenbereich von rund 1m freigelegt, aus welchem die Entnahme der Bodenluftprobe mittels PE-Schlauch erfolgte. Das so geförderte Bodengas wurde mittels einer Bypass-Vorrichtung über ein Aktivkohleröhrchen geführt (Probenahme). Zur Abdichtung gegen den Zutritt atmosphärischer Luft ist das System am Ende der Verrohrung mit einer Schlauchdichtung (Packer) ausgestattet.

Probenahme

Vor den Probenahmen wurde jeweils das 3-fache innerhalb des Probenahmesystems vorhandenen Luftvolumens abgesaugt, um den vollständigen Austausch allenfalls vorhandener atmosphärischer Luft in der Verrohrung zu gewährleisten. Des Weiteren kam bei jeder Probenahme neues Schlauchmaterial zum Einsatz. Bei der Beprobungen mehrerer Tiefenbereiche erfolgte die Probenahme zunächst in den oberen und nachfolgend in den darunter liegenden Intervallen.

Luftentnahme

Untersuchungsergebnisse

Insgesamt wurden bei zwei Beprobungskampagnen an 6 Ansatzpunkten insgesamt 14 Bodenluft-Proben entnommen (vgl. Tabelle 7). Dabei erfolgte die Anreicherung der Bodenluftproben im Rahmen der 1. Beprobungskampagne

Beprobungskampagnen

¹² Ein zweiter kleinerer Schadstoffherd liess sich im östlichen Deponiebereich lokalisieren. Allerdings konnte dieser im Gegensatz zum zentralen Schadstoffherd mit den anschliessenden Bohrungen und Materialproben nicht bestätigt werden, so dass es sich dort um einen eng begrenzten und isolierten Herd handeln dürfte.



auf Adsorptionsröhrchen Dräger Typ G. Während der Nach- und Ergänzungsbeprobung im August 2006 kamen Adsorptionsröhrchen Anasorb CSC zum Einsatz. Aufgrund dieser unterschiedlichen Adsorptionsröhrchen konnten bei der ersten Kampagne die BTEX sowie der Gehalt an Perchlorethen nicht bestimmt werden. Deshalb wurden bei der zweiten Kampagne z.T. nochmals Wiederholungsmessungen bzw. Proben aus der gleichen Stelle der Deponie entnommen.

Tabelle 8 : Probenahme Bodenluft (Feldreben)

Probenahme-kampagne	Entnahmestellen (vgl. Beilage B2)				Analysenprogramm
	Lage	Tiefe (m u.T.)			
15./16.6.2006	C3	5.5 – 6.5	10.0 – 11.0	-	FCKW, CWK (ohne Per), Restkohlenwasserstoffe
	D4b	3.0 – 4.0	8.0 – 9.0	10.0 – 11.0	
	E3	6.0 – 7.0	11.0 - 12.0	--	
	F3c	-	9.0 – 10.0	-	
24.8.2006	C3	-	10.0 – 11.0 ¹⁾	-	BTEX, FCKW, CWK, Restkohlenwasserstoffe
	C4b	-	10.0 – 11.0	-	
	D4b	-	8.0 – 9.0	-	
	E3	-	10.0 – 11.0 ¹⁾	-	
	F5	5.0 – 6.0	10.0 – 11.0	-	

1) Wiederholungsmessung

Alle Probenahmestellen wurden bewusst innerhalb des mittels den MIP-Sondierungen festgestellten Schadstoffherdes im zentralen Deponiebereich platziert (vgl. Lage der Sondierstellen in Anh. A1). Die ausführlichen Untersuchungsergebnisse (Laborbericht) sind in Beilage B2 beigefügt. In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

Probenahmestellen

Praktisch alle Untersuchungsergebnisse der Einzelproben zeigen mehr oder weniger ein gleiches Bild der Schadstoffbelastung und können daher gemeinsam wie folgt zusammengefasst werden:

- In allen auf BTEX untersuchten Proben konnten Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol als Einzelsubstanzen über der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden. Die Schadstoffverteilung der Einzelsubstanzen ist aber in allen Proben recht unterschiedlich (maximale Gehalte von rund 50 – 300 mg/m³). Im Durchschnitt beträgt die Summe der BTEX rund 80 mg/m³, im Maximum rund 350 mg/m³.
- Bezüglich FCKW waren nur in zwei Proben geringe Konzentrationen von Dichlordifluormethan von rund 0.2 mg/m³ festzustellen. Alle restlichen Einzelsubstanzen lagen unter den jeweiligen Nachweisgrenzen (< 0.1 mg/m³).

BTEX

FCKW

- Als Hauptmerkmal konnten in allen Proben z.T. stark erhöhte Gehalte an CKW bestimmt werden. Die durchschnittliche Summe aller in den Proben analysierten CKW beträgt rund 1'800 mg/m³ und das Maximum liegt bei rund 8'500 mg/m³. Es handelt sich dabei hauptsächlich um die Substanzen Perchlorethen (rund 40-80%) und Trichlorethen (10-50%) sowie in untergeordneter Masse auch um 1.2-cis-Dichlorethen rund (2-15%). In einer Probe wurde ausserdem auch ein deutlich erhöhter Gehalt an Vinylchlorid von 220 mg/m³ gemessen. CWK
- Restkohlenwasserstoffe (Methan, Ethan, etc.) wurden nur in einer Probe in leicht erhöhter Konzentration nachgewiesen (rund 90 mg/m³), die übrigen Analysen blieben unter der Bestimmungsgrenze (< 0.1 mg/m³). Restkohlenwasserstoffe

Tabelle 9 : Zusammenstellung Untersuchungsergebnisse Bodenluft (Feldreben)

Parameter	Anzahl Proben	Nachweisgrenze	Minimalwert		Mittelwert		Maximalwert	
			mg/m ³	ml/m ³	mg/m ³	ml/m ³	mg/m ³	ml/m ³
Benzol	6	<0.1	0.2	0.06	10.0	3.08	43	13.24
Toluol	6	<0.1	0.5	0.13	3.9	1.014	15	3.9
Ethylbenzol	6	<0.1	0.4	0.09	6.9	1.57	32	7.26
m-, p-Xylole	6	<0.1	1.0	0.23	59.3	13.46	303	68.78
Summe BTEX	6	ber.	2.6		82		343	
Summe FCKW	14	ber.	<0.1		<0.1		0.2	
Chloroform	14	<0.002	0.03	0.006	0.96	0.19	3.3	0.67
Vinylchlorid	14	<0.1	<0.1	<0.038	107	40.66	715	271.7
1.1-Dichlorethen	14	<0.02	<0.02	<0.005	4.1	1.025	17.9	4.475
1.2-cis-Dichlorethen	14	<0.05	3.3	0.8	532	133	4'710	1'178
1.2-trans-Dichlorethen	14	<0.05	<0.05	<0.0125	32	8	215	53.75
Trichlorethen	14	<0.002	0.5	0.01	181	33	1'355	244
Perchlorethen	6	<0.001	13.0	1.95	1'348	202	6'637	996
Summe CKW	6	ber.	5.7		1'793		8'560	

Zusammenfassend betrachtet, bestätigen die untersuchten Bodenluftproben somit die organische Schadstoffbelastung des „zentralen“ Deponiekörpers, welcher mit den MIP-Sondierungen lokalisiert wurde. Als Hauptkomponenten sind dabei vor allem CKW auszumachen (Perchlorethen und Trichlorethen sowie deren Abbauprodukte). Untergeordnet sind auch BTEX vorhanden. Zusammenfassung

Meist lässt sich ausserdem eine klare oder zumindest tendenzielle Zunahme der Schadstoffgehalte mit zunehmender Tiefe feststellen. Die höchsten Gehaltswerte wurden jeweils an der Deponiebasis ermittelt.



4.4. Kernbohrungen

Zur Erkundung des Deponiekörpers wurden insgesamt 6 Kernbohrungen abgeteuft (KB-F-06/01 bis KB-F-06/06, vgl. Tab. 1). Die Bohrstandorte wurden gestützt auf die Ergebnisse der MIP-Sondierungen festgelegt, und zwar einerseits um den festgestellten „zentralen“ Schadstoffherd mit Bohraufschlüssen erkunden zu können und andererseits auch eine Stichprobe der übrigen (gemäss MIP-Sondierungen) schwächer belasteten Bereiche zu erhalten. Desweiteren wurde mit den Bohrungen das Ziel verfolgt, die Deponiesohle an einigen Punkten, welche über den ganzen Deponiekörper verteilt sind, genau zu erfassen.

*Sondierstand-
orte*



Die Bohrarbeiten wurden im Oktober/November 2006 durch die Firma StumpfForatec ausgeführt. Die genaue Lage der Bohrungen ist aus Anh. A1 zu entnehmen, die detaillierten Sondierprotokolle und eine Fotodokumentation sind in Beilage B1 enthalten.

Bohrarbeiten

Deponiesohle und –mächtigkeit

Wie bereits die MIP-Sondierungen erahnen liessen (vgl. Kap. 4.2), lag die Deponiesohle nicht so tief wie sie gemäss HU [7] ursprünglich erwartet worden war (20-24 m u.T.). Die in den Bohrungen ermittelte Untergrenze der künstlichen Auffüllungen (=Deponiesohle) lag wider Erwarten hoch, nämlich zwischen 7.4 und 16.3 m u.T.¹³, d.h. also rund 5 – 10 m höher als erwartet.

Deponiesohle

Der Bohrbefund stimmt recht gut mit den Ergebnissen der MIP-Sondierungen überein, indem der Bohrbefund und die aus den MIP-Sondierungen konstruierte Deponiesohle meist weniger als 1 m differieren.

Bohrbefund

Im Anhang A4 ist eine Darstellung der Deponiemächtigkeit abgebildet. Daraus ist zu entnehmen, dass abgesehen von den Randbereichen in der Deponiemitte, d.h. östlich des „zentralen“ Schadstoffherdes die Deponiesohle am höchsten liegt bzw. dort die Deponiemächtigkeit am geringsten ist. In dieser ungefähr Nord-Süd verlaufenden Zone liegt die Deponiesohle rund 10 – 12 m u.T. (Kote rund 269 – 272 m ü.M.). Beidseits dieser Zone fällt sie auf rund 15 m u.T. ab, so dass der östliche und westliche Deponieteil rund 12 – 15 m u.T. liegt (bis ca. Kote 265 m ü.M.). Einzig im Bereich des „zentralen“ Schadstoffherdes (bzw. Felsabbau, vgl. unten) reicht die Deponiesohle bis in eine maximale Tiefe von 18 m u.T. (bis ca. Kote 260 m ü.M.). Im ganzen nördlichen Bereich nimmt schliesslich die Deponiemächtigkeit sukzessive bis gegen 5 m ab. Dieser Verlauf der Deponiesohle entspricht von der Form her un-

*Deponiemäch-
tigkeit*

¹³ Bei der Bohrung KB-F-06/01 wurde die eigentliche Deponiesohle in einer Tiefe von 16.3 m u.T. angetroffen. Das darunter folgende lehmig-kiesige Material wurde als natürliche Sediment interpretiert, wobei aber auch künstliches Auffüllmaterial nicht ganz ausgeschlossen werden kann.

gefähr der Schotteruntergrenze und ist somit ebenfalls plausibel zu erklären (Kiesabbau).

Anhand von Luftfotos konnte der gemäss HU zitierte Felsabbau lokalisiert werden. Es handelt sich dabei um einen mindestens 30 x 30 m grossen Bereich (vgl. Anh. A4), welcher auch recht gut mit den MIP-Sondierungen übereinstimmt. Die Bohrung KB-F-06/01 dürfte vermutlich im westlichen Randbereich davon liegen.

Felsabbau

Angesichts des engen Rasters der MIP-Sondierungen und der guten Übereinstimmung mit den Kernbohrungen darf die ermittelte Deponiesohle als zuverlässig beurteilt werden, wobei allerdings Abweichungen bis zu rund 1 m immer noch vorkommen können. Es steht nun aber fest, dass die Deponiesohle vollständig und mit einem Mindestabstand von rund 3 – 5 m über dem Grundwasserspiegel im Hauptmuschelkalk liegt. Da auch praktisch überall unter dem Deponiekörper noch (natürlicher) Schotter vorhanden ist (vgl. Kap. 3.1), ist auch kein Einstau von Deponiesickerwasser im Lockergestein zu erwarten.

gute Übereinstimmung

Beschaffenheit des Deponiematerials

Nahezu alles Material aus den 6 Kernbohrungen bestand überwiegend aus gesteinsähnlichem Material, d.h. dass insbesondere keine eigentlichen Chemieabfälle, Schlämme oder chemisch stark verändertes Material erbohrt wurden. Mehrheitlich handelt sich um feinkörnige Ablagerung aus tonigem Silt mit Sand und Kies. Untergeordnet sind auch grobkörnige, d.h. sandig-kiesige Abschnitte zu verzeichnen. Das Deponiematerial enthält oftmals einen unterschiedlich hohen Anteil an „inerten“ Fremdkomponenten, wie z.B. Ziegel- und Betonbruchstücken, Glas-, Plastik und Eisenreste, etc. sowie auch organische Materialien wie Holz- oder Textilreste.

gesteinsähnliches Material

Darüber hinaus war das Deponiematerial stellenweise organoleptisch stark auffällig, indem ein deutlich „chemischer“ bis stechender Geruch wahrgenommen werden konnte und das Material deutlich dunkelgrau bis schwarz verfärbt war.

organoleptisch stark auffällig

Insgesamt konnten in den Bohrungen gut unterscheidbare schadstoffbelastete Abschnitte erkannt werden. Dies reicht von unbedenklichem und optisch unverschmutztem Material mit keinem oder höchstens sehr geringem Fremdkomponenten-Anteil (U- bzw. T-Material gemäss Aushubrichtlinie BAFU, [23]) zu überwiegend bauschutthaltigem Material mit viel Fremdkomponenten (Inertstoffe im weiteren Sinne) bis hin zum organoleptisch stark belastetes Material (Sonderabfall gemäss TVA). Generell wechseln solche Abschnitte sowohl horizontal als auch vertikal rasch ab, so dass keine Korrelation einzelner Schichten zwischen den Bohrungen möglich war.

unterschiedliche Schadstoffbelastung





Im Hinblick auf die Quantifizierung des Schadstoffpotentials der Deponie wurde versucht, das erbohrte Material in 4 verschiedene „Materialtypen“ mit unterschiedlichem Verschmutzungsgrad einzuteilen. In der Tabelle 10 ist eine Übersicht dieser Materialtypen gegeben, diese sind auch in den Bohrprofilen in Beilage B1 entsprechend markiert.

Materialtypen

Der am stärksten belastete Materialtyp „A“, welcher sowohl geruchlich als auch visuell stark auffällig ist, konnte vor allem in den Bohrungen KB-F-06/01, 03 und 05 beobachtet werden. Der Typ „B“ weist ähnliche Merkmale wie der Typ „A“ auf (u.a. mit Brandschutt), ist aber tendenziell organoleptisch weniger stark belastet, und wurde vor allem in der Bohrung 02 angetroffen. Bei Typ „C“ handelt es sich im Wesentlichen um Bausschutt, während der Typ „D“ nahezu unverschmutztes Material darstellt.

Beschrieb

Bei der Bohrungen 01 und 02 deckt sich der Bohrbefund in etwa mit dem Befund aus den MIP-Sondierungen (zentraler Schadstoffherd). Dies trifft auch für den gegeneiligen Fall für die Bohrung 04 zu, wo wie erwartet keine gravierende Untergrundsbelastung angetroffen wurde. Die restlichen drei Bohrungen (03, 05 und 06) zeigen einen leichten, vom Schadstoffbild der MIP-Sondierungen abweichenden Verschmutzungsgrad auf, was vermutlich durch mit den MIP nicht erfasste Schadstoffkomponenten (z.B. Mineralöl oder PAK) zu begründen ist.

Verschmutzungsgrad

Eine eigentliche tiefengestufte Verteilung dieser Materialtypen konnte nicht ermittelt werden. Vor allem das stärker belastete Material der beiden Typen „A“ und „B“ tritt in den einzelnen Bohrungen in unterschiedlicher Tiefenlage auf.

keine tiefengestufte Verteilung

Tabelle 10 : Materialtypen Deponiematerial

Typ	Organoleptische Beurteilung	Grob geschätzter Anteil in den Kernbohrungen					
		01	02	03	04	05	06
A	Dunkel verfärbtes tonig-siltiges (z.T. kiesiges) Material mit geringen Anteile an Fremdkomponenten (Bauschutt, Holz, Glas, Metall), meist deutlicher - stechender Geruch	50%	20%	20%	-	50%	5%
B	meist wenig - stark verfärbtes eher kiesiges Material, meist mit Fremdkomponenten (i.d.R. Bausschutt), oft geruchlich auffällig	10%	40%	10%	-	10%	5%
C	bauschutthalziges Material (v.a. Beton- und Ziegelreste), nur lokal verfärbt und geruchlich meist unauffällig	25%	10%	30%	-	40%	45%
D	organoleptisch unauffälliges Deponiematerial, einz. Fremdkomponenten (Beton- und Ziegelreste)	15%	30%	40%	100%	-	45%
E	Natürlicher Untergrund, teilweise leicht organoleptisch auffällig (verfärbt, Geruch)						

4.5. Ergebnisse Laboruntersuchungen (chemische Analysen)

4.5.1. Materialproben und Untersuchungsprogramm

Entnommene Materialproben

Die Untersuchung der Schadstoffbelastung des Deponiematerials erfolgte anhand folgender unterschiedlich entnommenen Probenahmen:

- „Linerproben“ aus Rammkernbohrungen (Probenahme durch geo-log). Dabei wurde eine Schneckenbohrung (\varnothing 38 mm) bis zur vorgesehenen Entnahmetiefe vorgebohrt und anschliessend ein Kunststoff-Liner in einem geschlossenen Rammkernrohr hydraulisch eingepresst. Die Liner wurden vor Ort geöffnet und in die bereitgestellten Probenahmegefässe abgefüllt (insgesamt wurden an 7 Ansatzpunkten 13 Liner-Proben entnommen) *„Linerproben“*
- Material, welches aus den Schneckenbohrungen an die Oberfläche gefördert wurde. Es handelt sich dabei um eine Mischprobe aus einem längeren Tiefenabschnitt. *Schneckenbohrungen*
- Materialproben aus den Kernbohrungen, welches jeweils nach Abschluss der Bohrung (oder bei starkem Geruch auch während der Bohrung) entnommen wurde. Dabei konnte im Gegensatz zu den Linerproben gezielt das organoleptisch am stärksten verunreinigte Deponiematerial beprobt werden (total 36 Proben aus 6 Kernbohrungen, inkl. Rückstellproben). *Kernbohrungen*

Eine detaillierte Beschreibung der Materialproben ist für die Linerproben aus [14] und für die Materialproben aus den Kernbohrungen aus Beilage B1 zu entnehmen. Insgesamt wurden total 60 Materialproben entnommen. Ein vollständiges Probenahmeverzeichnis ist in Beilage B1 beigefügt (inkl. Rückstellproben). *Probenahmeverzeichnis*

Untersuchungsprogramm

Von den 60 entnommenen Materialproben wurden 42 ausgewählte Proben chemisch untersucht. Dabei wurden von den organoleptisch stärker belasteten Materialtypen vergleichsweise mehr Analysen durchgeführt, um das Schadstoffspektrum besser erfassen zu können. Das Untersuchungsprogramm war bereits im Pflichtenheft definiert [9] und umfasste im Wesentlichen das in Tabelle 9 zusammengefasste Analytikprogramm





Tabelle 11 : Untersuchungsprogramm (Einzelstoffanalytik und Screenings)

Materialklassen	A	B	C	D	E
Anzahl analysierte Proben	21	6	11	2	2
Ammonium, Nitrit, Cyanid, Fluorid	X	X	X	X	X
KW	X	X	X	X	X
Halogenierte Kohlenwasserstoffe (CKW)	X	X	X	X	X
Leichtflüchtige KW (BTEX)	X	X	X	X	X
Elemente und Schwermetalle	X	X	X	X	X
Aromatische Kohlenwasserstoffe	X	X	X	X	X
Screenings (Anzahl Proben)	4	1	1	1	-

4.5.2. Resultate der Einzelstoffanalytik

Die anhand der Kernbohrungen durchgeführte Materialklassierung („Materialtypen“) bestätigte sich weitgehend auch in den Analysenergebnissen, indem die meisten Proben des gleichen Typs ungefähr ein ähnliches Schadstoffspektrum und –konzentrationen aufweisen. Die ausführlichen Analysenergebnisse sind im Laborbericht in Beilage B2 beigelegt. In der Tabelle 12 sind die wichtigsten Untersuchungsergebnisse zusammengefasst. Die Untersuchungsergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

ähnliches Schadstoffspektrum

Übereinstimmend mit dem organoleptischen Befund weist der Materialtyp A („stark schadstoffbelastetes Deponiematerial“) die höchsten Schadstoffkonzentrationen auf. Das Material zeichnet sich durch einen ausgesprochen hohen KW-Gehalt mit einem Durchschnittswert von rund 2'500 mg/kg aus (Extremwerte bis rund 46 g/kg!). Ebenfalls sind sehr hohe PAK-Gehalte festzustellen mit einem mittleren Gehalt von rund 130 mg/kg (Extremwerte bis über 1'000 mg/kg). Ausserdem sind durchwegs hohe Konzentrationen an leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen vorhanden. Dabei handelt es sich einerseits um halogenierte und chlorierte Kohlenwasserstoffe (Mittelwert rund 11 mg/kg, Extremwerte bis 93mg/kg), deren Hauptanteil durch die 4 CWK-Substanzen Perchlorethen (ca ½ Anteil), Trichlorethen (ca. 15%), Chlorbenzol (rund 10%) und cis-1,2-Dichlorethen (rund 10%) charakterisiert sind. Untergeordnet kommen noch weitere Chlorbenzole sowie Hexachlorethan vor. Andererseits ist auch eine hohe Schadstoffbelastung durch BTEX auszumachen (im Mittel rund 9.5 mg/kg, Extremwerte bis 130 mg/kg), welche vor allem durch Xylole verursacht wird. Bezüglich der Schwermetallbelastung sind vor allem Chrom, Kupfer, Blei und Zink mit mittleren Gehalten von rund 500 bis 1'000 mg/kg in deutlich erhöhten Konzentrationen vorhanden (Extremwert Cr bis 29 g/kg). Die restlichen Schwermetalle (insbesondere Cadmium, Nickel, Quecksilber und Arsen) sind nur ausnahmsweise als einzelne Extremwerte leicht erhöht und liegen sonst im Bereich der geogenen Hintergrundsbelastung (vgl. Richtwerte U in Tabelle 12).

Materialtyp A

Tabelle 12 : Untersuchungsresultate Feststoffproben

Materialtyp	A			B			C			D			E		
	Min	Max	Ø	Min	Max	Ø	Min	Max	Ø	Min	Max	Ø	Min	Max	Ø
Alkane (C5-C10) µg/kg	<120	1'300	<120	<120	<600	<600	<120	<600	<600	<120	<600				0
Gesamt KW mg/kg	42	46'300	2'499	31	1'280	297	33.2	2'830	347	100	2'140	478	19	37	33
Perchlorethylen µg/kg	195	88'000	5'136	280	3'800	1'864	20	730	340	18	475	103	44	48	45
Trichlorethylen µg/kg	32	11'000	1'723	210	2'350	1'059	9	150	54	<10	46		31	31	31
1,2,3-Trichlorbenzol µg/kg	<2	4'300	444	<2	120	50	<2	98	15	<2	<10	-	-	-	<10
1,2,4-Trichlorbenzol µg/kg	<2	900	153	<2	300	110	<2	330	49	<2	<10	-	-	-	<10
1,2-Dichlorbenzol µg/kg	<2	5'400	468	<2	88	23	<2	1'460	229	<2	<10	-	-	-	<10
1,3-Dichlorbenzol µg/kg	<2	2'700	217	<2	≤10	<10	<2	174	28	<2	<10	-	-	-	<10
1,4-Dichlorbenzol µg/kg	<2	2'700	248	<2	<10	<10	<2	520	83	<2	<10	-	-	-	<10
Chlorbenzol µg/kg	<2	10'000	1'053	<2	40	12	<2	200	38	<2	10	-	-	-	<10
Chloroform µg/kg	<4	30	<20	<4	25	<20	<4	9	<4	18	<20	-	-	-	<20
cis-1,2-Dichlorethen µg/kg	<2	7'000	1'054	<2	125	57	<2	370	35	10	22	12.2	-	-	<10
Hexachlorbutadien µg/kg	<2	900	87	<2	240		<2	≤2	<2	<2	<10	-	-	-	<10
Hexachlorethan µg/kg	<5	4'200	357	<5	1'400		<5	<5			20	-	-	-	<5
trans-1,2-Dichlorethen µg/kg	<=2	650	75	2	20	11	<=2	43	<10	<2	<10	-	-	-	<10
Σ LKW mg/kg	0.6	93.2	11.2	0.8	8.4	3.7	0.035	0.83	0.40	0	0.6	0.2	0.08	0.08	0.08
Benzol µg/kg	<2	≤10	<10	<2	<10	<10	<2	8	<2	<2	<10	-	-	-	<10
Ethylbenzol µg/kg	<2	7'000	686	<2	<10	<10	<2	14	<10	<2	<10	-	-	-	<10
m- + p-Xylol µg/kg	<4	70'000	5'215	<2	<20	<4	<4	32	<20	<4	<20	-	-	-	<20
o-Xylol µg/kg	<2	54'000	3'562	<=2	<10	<10	<2	16	<10	<2	<10	-	-	-	<10
Styrol µg/kg	<2	<10	<10	<2	<10	<10	<2	<10		<2	<10	-	-	-	<10
Toluol µg/kg	<10	<50	<50	<2	<50	<10	<10	<50	<50	<10	<50	-	-	-	<50
Σ BETX mg/kg	<0.01	130.0	9.5	<0.002	0.014	0.002	<0.01	0.112	0.021	<0.002	<0.01				-
Benzo(a)anthracen µg/kg	50	88'391	9'061	123	29590	5545	524	7008	2762	1561	9038	2946	19	47	26
Benzo(a)pyren µg/kg	27	65'557	7'686	166	75839	10542	164	13992	4923	1336	1889	1438	<10	16	12
Benzo(b)fluoranthen & µg/kg	67	135'017	14'870	302	146223	19563	98	24510	8720	2361	5770	2992	35.0	110	53
Benzo(ghi)perylen µg/kg	13	44'844	4'940	97	65540	8393	31	4104	1926	195	787	677	13.0	14	13
Chrysen µg/kg	70	91'562	10'332	161	89749	11963	165	12120	4784	1560	9122	2960	21	74	34
Dibenzo(a,h)anthracen µg/kg	<10	14'797	1'391	32	22353	2558	10	1023	484	68	253	219	10.0	10	2
Fluoranthen µg/kg	282	207'030	25'174	277	154607	20950	1057	19204	8905	2825	30180	7891	50	176	80
Fluoren µg/kg	<10	13'521	2'008	88	5724	1341	93	3313	1015	97	619	194	76.0	135	90
Indéno(1,2,3 - cd)pyren µg/kg	16.0	51'715	5'633	110	79909	9764	33	4952	#WERT!	438	951	856	17.0	28	20
Naphtalin µg/kg	<10	55'284	4'342	472	9498	1516	13	46289	6950	21	211	56	<=10	53	20
Phenanthren µg/kg	120	127'372	17'613	149	82220	12061	819	17023	6123	1178	10023	2816	160	423	223
Pyren µg/kg	246	177'800	19'724	203	104384	15522	378	18373	7919	2353	21808	5956	33	72	42
Σ PAK mg/kg	3.9	1'046	127	2.5	956	131	13.1	143	61	16	92	30	0.5	1.3	0.7
Cadmium mg/kg	0.3	12	2.6	<0.2	2.6	1.1	<0.2	1	0.4	< 0.2	0.5	0.1	< 0.2	1.6	0
Chrom mg/kg	20	29'000	570	23	5'600	1'875	20	60	35	23	23.0	23	25	30	26
Kupfer mg/kg	16	4'200	554	21	1'000	261	21	110	53	16	43.0	21	21	100	40
Nickel mg/kg	13	770	99	17	99	51	13	38	23	18	20	20	22	170	57
Blei mg/kg	41	2'900	573	69	3'700	713	30	1'800	398	22	460	4	9	46	17
Zink mg/kg	43	6'700	1'054	57	1'100	457	71	300	166	53	210	82	32	230	79
Arsen mg/kg	5.3	75	24.7	15	79	38	13	27	17	12	15	13	13	200	58
Kobalt mg/kg	2.0	50	13.6	5.6	16	11	3.8	11.0	6.3	4.2	6.7	6.2	6	49	16
Quecksilber mg/kg	0.6	5	0.5	<1	5.3	<1	<1	<1		< 1	1.4	< 1	-	-	< 1
Bor mg/kg	2.3	42	10.8	4.1	100	19.7	0.99	35	14.3	2.5	15.5	4.9	1.5	2.0	1.6



Bemerkungen: Bei den angegebenen Durchschnittswerten (Ø) handelt es sich um entsprechend der Mächtigkeit der Proben gewichtete Mittelwerte
Die beiden Materialtypen D und E sind nur durch zwei Proben bestimmt, so dass deren Aussagekraft entsprechend mit Vorbehalt zu werten ist
U = Richtwerte für unverschmutztes Aushubmaterial, Aushubrichtlinie BUWAL 1999

Beim Materialtyp B („mittelmässig schadstoffbelastetes Deponiematerial“) kann grundsätzlich ein ähnliches Bild der Schadstoffbelastung wie beim Materialtyp A festgestellt werden, allerdings mit deutlich geringeren Gehaltswerten (sowohl Mittel- als auch Extremwerte). Die Gehalte an KW und LKW sind rund einen Faktor 3 - 5 niedriger (\emptyset : KW-Gehalt rund 300 mg/kg, Σ LKW rund 4 mg/kg). Einzig die PAK-Belastung ist mit einem durchschnittlichen Gehalt von rund 130 mg/kg praktisch gleich gross und auch das Spektrum der Einzelstoffsubstanzen ist sehr ähnlich. Hingegen konnten praktisch keine BTEX nachgewiesen werden (einzig Spuren von 1,3,5-Trimethylbenzol). Die Schwermetallbelastung liegt ungefähr in der gleichen Grössenordnung mit mittleren Gehalten an Chrom, Kupfer, Blei und Zink von rund 300 – 1'800 mg/kg (Extremwert: Cr 5'600 mg/kg).

Materialtyp B



Beim Materialtyp C („schwach schadstoffbelastetes Deponiematerial“) lässt sich im Vergleich zu den beiden oben genannten Typen im Wesentlichen nur noch eine erhöhte Schadstoffbelastung durch KW, welche im Mittel mit rund 350 mg/kg sogar leicht höher als beim Typ B ist, sowie durch PAK (\emptyset Gehalt rund 60 mg/kg) feststellen. Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (inkl. BTEX) lassen sich nur noch in vergleichsweise geringen Konzentrationen nachweisen (wenig Per- und Trichlorethen und Dichlorbenzole). Bezüglich der Schwermetalle ist nur noch das Blei mit einem mittleren Gehalt von rund 400 mg/kg in nennenswertem Ausmass vorhanden.

Materialtyp C

Beim Materialtyp D („unbelastetes Deponiematerial“) resultiert immer noch eine deutliche KW- und PAK-Belastung, welche ungefähr dem Typ C entspricht (\emptyset : KW-Gehalt rund 480 mg/kg, PAK rund 30 mg/kg). Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (CKW) sind praktisch nur noch in Spuren vorhanden (Per- und Trichlorethen). Erhöhte Schwermetallgehalte konnten abgesehen von einzelnen Extremwerten (z.B. Blei mit 460 mg/kg) nicht nachgewiesen werden.

Materialtyp D

Schliesslich ist der Materialtyp E („natürlicher Untergrund“) im Vergleich zum Deponiematerial kaum mehr schadstoffbelastet. Es lassen sich aber dennoch geringe Gehalte an KW (rund 30mg/kg) und PAK (rund 1 mg/kg) sowie CKW (Per- und Trichlorethen) nachweisen. Erhöhte Schwermetallgehalte liegen ebenfalls nicht vor.

Materialtyp E

Das Deponiematerial weist z.T. recht hohe Schwermetallgehalte auf (insbesondere die Materialtypen A und B). Schwermetalle werden in der chemischen Industrie nur in untergeordneter Masse eingesetzt (vor allem Chrom, Kupfer für Farbstoffe). Es sind daher auch andere Ursachen dafür in Betracht zu ziehen. Erfahrungsgemäss weist auch der Bauschutt hohe Anteile an Schwermetallen auf (Zink, Blei, Nickel, Kupfer).

Schwermetall-
gehalte

4.5.3. Screenig-Resultate

Mit Hilfe der Screenings wurde versucht, das Schadstoffspektrum der Feststoffproben zu erweitern, um dadurch zusätzliche, nicht mit der Einzelstoffanalytik erfasste Substanzen identifizieren und wenn möglich quantifizieren zu können. Insbesondere sollten damit auch schlüssige Hinweise über die Herkunft der im Spurenbereich im Grundwasser vorkommenden Substanzen (vgl. Kap. 5.7) gewonnen sowie typische „chemie- und pharmatypische“ Substanzen in den Feststoffproben identifiziert werden.

Zielsetzung

Es wurden bei insgesamt 9 Materialproben Screenings durchgeführt (vgl. Probenahmeverzeichnis in Beilage B1c), wobei vorwiegend Proben des Materialtyps A untersucht wurden (6 der 9 Proben). Alle untersuchten Materialproben zeigen mehr oder weniger das gleiche Schadstoffspektrum auf, indem überwiegend aliphatische sowie mono- und polyzyklische aromatische Verbindungen detektiert wurden (vgl. Abbildung 7). Aufgrund dieser z.T. in hohen Konzentrationen vorkommenden Verbindungen ist eine Identifikation von anderen Substanzen im niedrigen Spurenbereich nicht möglich. Ohne auf die Details einzugehen, lassen sich zusammenfassend aus den Screenings der Feststoffproben folgende Feststellungen ableiten:

Schadstoffspektrum

- In den einzelnen Materialproben wurde überall eine Vielzahl von organischen Substanzen detektiert (rund 100 bis 500 Einzelsubstanzen pro Probe). Die Summe der Konzentration aller identifizierten Substanzen variiert zwischen rund 100 – 700 mg/kg und liegt damit ungefähr in der gleichen Grössenordnung wie die durch die Einzelstoffanalytik nachgewiesene Schadstoffbelastung (vgl. Tabelle 12). Dabei wurden auch verschiedene unbekannte Substanzen detektiert.
- Beim überwiegendsten Anteil der detektierten Substanzen (rund 60 – 95%) handelt es sich um polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (im Wesentlichen PAK). Demgegenüber sind monozyklische Verbindungen (z.B. BTEX) nur zu einem geringen Anteil (< 10%) enthalten. Neben den PAK's sind auch aliphatische Kohlenwasserstoffe anteilmässig in grösseren Mengen (rund 5 – 30%) vorhanden.
- Nur vereinzelt wurden Pestizide (Triazine, DDT-Metabolite) nachgewiesen und insbesondere in keiner Probe irgendwelche Pharmazeutika (Medikamente). Dementsprechend deckt sich also das aus den Screeningresultaten abgeleitete Schadstoffmuster ungefähr mit demjenigen der Einzelstoffanalytik. Die hohen PAK-Gehalte können sowohl aus der Farbstoffchemie als auch aus Bauschutt (z.B. Brandschutt) stammen. Eindeutige „chemie- und pharmatypische“ Substanzen (Pharmazeutika) wurden höchstens in geringem Ausmass in den Feststoffproben nachgewiesen.

Vielzahl organischer Substanzen

Kohlenwasserstoffe

„chemie- und pharmatypische“ Substanzen



- In einigen Proben wurde elementarer Schwefel (S₈) in der Größenordnung bis zu rund 50 – 100 mg/kg festgestellt. Dies könnte eine mögliche Ursache für die hohen Sulfatgehalte im Grundwasser sein.

„organischer“
Schwefel

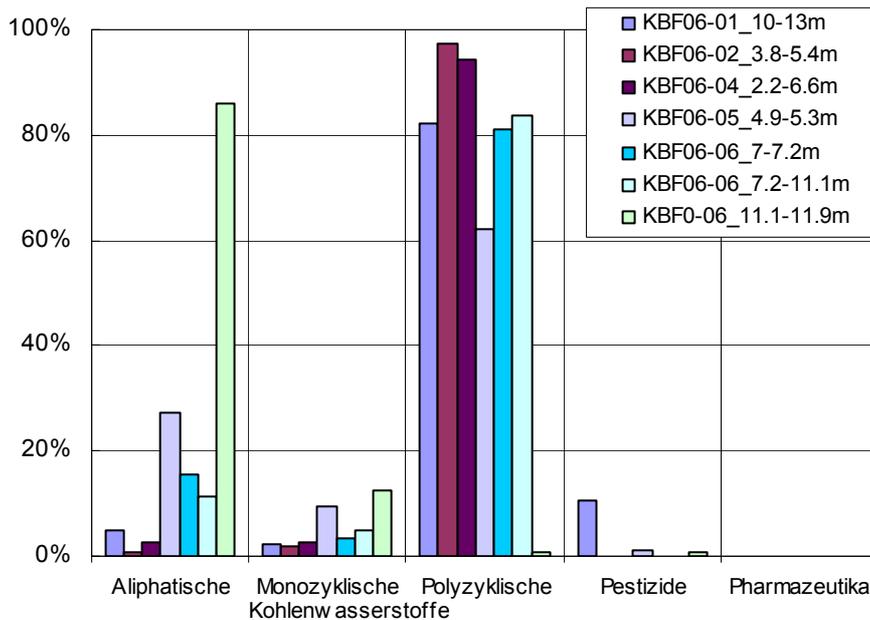


Abbildung 7:
Screening-Resultate
Feststoffproben
(nur Kernbohrungen)

Dargestellt ist die prozentuale Schadstoffverteilung pro Probe (100% = Summe der Konzentrationen aller detektierten Einzelsubstanzen)

SC + P

4.5.4. Eluatteste nach AltIV

Ergänzend zu den Vorgaben des Pflichtenheftes wurden zwei Eluatteste nach AltIV durchgeführt. Um einerseits möglichst realistische Bedingungen simulieren zu können und andererseits die Eluierbarkeit der am stärksten schadstoffbelasteten Materialproben testen zu können, wurden alle entnommenen Materialproben der beiden am stärksten belasteten Deponiebohrungen (KB-F-06/01 und KB-F-06/03) in je einer Säule relativ zu ihrer Tiefenlage nacheinander eingefüllt (vgl. Beilage B1c). Die Entnahme der Wasserprobe erfolgte bei drei unterschiedlichen Wasser/Feststoffverhältnissen (W/F = 0.25, 3.0 und 6.0), d.h. die erste Probe wird genommen, wenn ¼ der Wassermenge (bezogen auf das Gesamtgewicht des Materials) die Säule durchflossen hat, die zweite Probe nach dem dreifachen Verhältnis und die dritte Probe nach dem sechsfachen Verhältnis. Entsprechend der Durchlässigkeit des in die Säule eingefüllten Materials fallen die Proben mit zeitlicher Verzögerung von bis zu einigen Tagen an (genaue Versuchsdurchführung in [24] beschrieben).

Versuchs-
anordnung

Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse der Einzelstoffanalytik sind in der Tabelle 13 zusammengestellt. Daraus können folgende Feststellungen abgeleitet werden:

- Die beiden Eluatteste zeigen grundsätzlich eine sehr ähnliche Eluierbarkeit auf und können daher gut mit einander verglichen und zusammengefasst werden. Entsprechend der höheren Schadstoffbelastung der Einzelproben ergaben sich bei der Bohrung KB-F-06/01 auch generell höhere Konzentrationswerte. *Beide Säulentest vergleichbar*
- In beiden Säulentests ist eine rasche und deutliche Abnahme der Gesamtmineralisation (gemessen an der elektrischen Leitfähigkeit) zu erkennen. Beim der Säule der Bohrung KB01 läuft dies parallel mit einer deutlichen Abnahme des Ammonium- und Nitritgehalt, welche beide deutlich über den AltIV-Konzentrationswerten liegen. *Gesamtmineralisation*
- Die organische Belastung (gemessen am AOX-Gehalt) nimmt mit zunehmendem Wasser/Feststoff-Verhältnis ebenfalls markant ab (Abnahme um rund einen Faktor 6 von der ersten zur dritten Wasserprobe). Reine aliphatische Kohlenwasserstoffe werden kaum spürbar eluiert (alle Gehalte an C5 – C10 unter der Bestimmungsgrenze). *Organische Summenparameter (AOX, C5-C10)*
- Die Säulentests zeigen, dass aus dem Deponiematerial leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe in Konzentrationen im tiefen µg/l-Bereich (meist rund 1 – 10 µg/l) ausgewaschen werden können. Es handelt sich dabei vorwiegend um diejenigen Stoffe, welche auch in den Feststoffproben in erhöhten Konzentrationen vorliegen (vgl. Tabelle 12). Es sind dies im Wesentlichen einzelne Substanzen der Stoffgruppen CKW (z.B. Per-, Trichlorethen, Dichlormethan), Chlorbenzol (u.a. Dichlorbenzole) und BTEX (u.a. Benzol), wobei die Altlastenkonzentrationswerte nur von den beiden CKW-Einzelsubstanzen 1,1,2,2-Tetrachlorethan sowie Tetrachlormethan überschritten werden. Eine grosse Anzahl der analysierten Stoffe der Einzelstoffanalytik lag stets unter der Bestimmungsgrenze (nicht in Tab. 13 aufgeführt). *leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe*
- Bezüglich den PAK's konnten im Säulentest der Bohrung KB-F-06/03 praktisch keine Konzentrationen festgestellt werden. Auch beim anderen Säulentest (KB03) wurden vor allem nur niedersiedende PAK-Einzelsubstanzen, wie Naphthalin oder Acenaphthen, in geringen Konzentrationen von maximal 1 – 5 µg/l nachgewiesen. Die wenig erhöhten Gehaltswerte lagen aber stets deutlich unterhalb des AltIV-Konzentrationswertes. *PAK*
- Ebenfalls wurden bei den Säulentests einige Schwermetalle freigesetzt. Namentlich waren jeweils in der ersten Probe beider Säulentest Kupfer, Zink und Nickel mit Konzentrationen von rund 20 – 80 µg/l nachgewiesen worden (Kupfer bis 670 mg/l). Darüberhinaus waren in geringen Konzentrationen auch Arsen, Blei, Antimon vorhanden. Weitere Schwermetalle, wie Quecksilber, Cadmium und Blei, wurden hingegen nicht oder höchstens in sehr kleinen Konzentrationen festgestellt. *Schwermetalle*



- In den Screenings konnte eine Vielzahl von organischen Schadstoffen identifiziert werden. In jeder der 6 Wasserproben wurden zwischen rund 40 bis 100 verschiedene Substanzen mit Konzentrationen zwischen rund 1 – 100 µg/l detektiert. Die Gesamtkonzentration aller Substanzen beträgt bei allen Proben rund 200 – 1'000 µg/l. Zahlreiche Substanzen sind in Konzentrationen deutlich über 10 µg/l vertreten. Es handelt sich dabei vor allem um Triazine, Chloraniline (Benzamine), Chlorbenzole sowie auch einige „unbekannte“ Substanzen und spezielle Verbindungen (wie z.B. Eucalyptol, Nonanol). Ein Teil dieser Substanzen (Triazine und Chloraniline) konnte auch im Grundwasser nachgewiesen werden, allerdings in deutlich kleineren Konzentrationen (vgl. Kap. 5.7) und ausserdem auch im Fernfeld bzw. z.T. nur bei der Deponie Rothausstrasse im oberen Stockwerk, so dass ein eindeutiger Zusammenhang in den wenigsten Fällen eindeutig gegeben ist bzw. sogar unwahrscheinlich ist. Andere Substanzen wurden nur in den Screenings detektiert, nicht aber im Grundwasser nachgewiesen, so dass eine Auswaschung zwar grundsätzlich möglich ist, aber im heutigen Zustand zumindest nicht oder höchstens in vernachlässigbarem Umfang stattfindet.
- Aus altlastenrechtlicher Sicht gesehen, sind einzig die in der Tabelle 13 bezeichneten Werte relevant, welche den AltIV-Konzentrationswertes überschreiten. Es sind dies namentlich der Ammonium- und Nitritgehalt, sowie die beiden CKW-Einzelsubstanzen 1,1,2,2-Tetrachlorethan und Tetrachlormethan (vgl. dazu Diskussion in Kap. 6.2.2).

Screenings



Tabelle 13 : Untersuchungsergebnisse Eluatteste nach AltIV (Säulentest)

Sondierung	W/F	KB F 06/01			KB F 06/03			AltIV-Konz.-Wert
		0.25	3.0	6.0	0.25	3.0	6.0	
Leitfähigkeit	µS/cm	3580	1041	623	2200	273	182	
Ammonium	mg/l	44	10.6	4.4	0.1	<0.02	<0.02	0.5
Nitrite	mg/l	0.84	0.32	1.63	0.04	<0.01	0.01	0.1
Fluoride	mg/l	<1	0.7	0.6	<1	0.8	0.7	1.5
Alkane C5-C10	µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	2000
AOX	µg Cl / l	1200	315	200	120	30	21	
Trichlorethen	µg/l	2.4	9.2	5.8	0.3	1	0.8	70
Perchlorethen	µg/l	0.3	13.6	10.0	<0.1	1.6	1.2	40
1,1,2,2-Tetrachlorethan	µg/l	2.9	1.5	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	1
Tetrachlormethan	µg/l	2.3	<0.2	<0.2	1.1	<0.2	<0.2	2
Chloroform	µg/l	0.3	0.2	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	40
Benzol	µg/l	<0.1	<0.1	<=0.1	<0.1	<0.1	0.5	10
Toluol	µg/l	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	7000
o-Xylol	µg/l	2.8	5.4	1.3	<0.1	<0.1	<0.1	10000
Chlorbenzol	µg/l	50	<0.1	1.4	<0.1	<0.1	<0.1	700
1,2-Dichlorbenzol	µg/l	17.9	17.7	12.1	<0.1	<0.1	<0.1	3000
1,4-Dichlorbenzol	µg/l	7.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	10
Naphtalène	µg/l		4.5	2.8		<=0.02	<0.02	1'000
Acénaphène	µg/l		0.8	0.7		<0.01	<0.01	2'000
Benzo(a)pyrène	µg/l		<0.01	0.03		<0.01	<0.01	0.05
Arsen	µg/l	3.0	3.7	3.1	2.5	3.4	2.6	50
Blei	µg/l	14	0.3	1.0	0.03	0.03	0.04	50
Antimon	µg/l	6.9	8.5	8.1	2.8	1.8	1.6	10
Kupfer	µg/l	670	6.8	7.8	9.7	3.4	<2	1'500
Nickel	µg/l	33.7	2.8	<2	32.9	<2	<2	700
Zink	µg/l	78.7	5.0	6.1	25.3	6.4	9.7	5'000



4.6. Zusammenfassende Folgerungen

4.6.1. Schlussfolgerungen der Feld- und Laboruntersuchungen

Aufgrund der oben beschriebenen Verhältnisse können die wesentlichen Untersuchungsergebnisse insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Deponiesohle liegt meist in einer Tiefe von rund 10 – 15 m u.T. Sie liegt im mittleren Deponiebereich am höchsten, dort wo auch die Felsoberfläche ihr höchstes Niveau erreicht. Sowohl im östlichen wie auch im westlichen Deponiebereich sind lokale Vertiefungen bis rund 15 - 18 m u.T. vorhanden. *Deponiesohle*
- Im westlichen Bereich konnte ein ca. 30 x 30 m grosser Bereich lokalisiert werden, wo früher Fels abgebaut wurde (denkbar ist auch ein Probeloch zur Erkundung der Felsbeschaffenheit). In diesem Bereich liegt die Felsoberfläche bis gegen 20 m u.T. *Felsabbau*

- Im und um diesen ehemaligen Felsabbau-Bereich ist gestützt auf die MIP-Sondierungen ein „zentraler Schadstoffherd“ auszumachen, welcher hauptsächlich durch CKW (im Wesentlichen Per- und Trichlorethen) hervorgerufen wird und sowohl durch die chemischen Analysen (Materialproben) als auch durch die Bodengasmessungen praktisch vollumfänglich bestätigt wird. *zentraler Schadstoffherd*
- Das Deponiematerial kann in vier unterschiedlich belastete „Materialklassen“ eingeteilt werden. Das am stärksten belastete Material weist vor allem sehr hohe Gesamt-KW- und PAK-Gehalte auf und ist durch einen hohen Gehalt an leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen (CKW und BTEX) charakterisiert. Als Ursache dafür können sowohl Abfälle aus der chemischen Industrie (z.B. PAK's aus synthetischer Farbstoffherstellung aus Steinteer) als auch Bauschutt (z.B. Brandschutt), Kehricht und Gewerbeabfälle in Frage kommen. *Materialklassen*
- Die Screenings bestätigen im Wesentlichen das Schadstoffspektrum der Einzelstoffanalytik, wonach vor allem aromatische und aliphate Kohlenwasserstoffe die Hauptkomponenten ausmachen. Infolge der hohen PAK-Gehalte ist leider eine Identifikation von anderen Substanzen im niedrigen Spurenbereich nicht möglich. So konnten explizit keine „chemie- und pharmatypischen“ Substanzen (Pharmazeutika) detektiert werden. *Screenings Deponiematerial*
- Die durchgeführten Säulenteste belegen, dass das Deponiematerial ein grosses Auswaschungspotential an zahlreichen organischen wie auch anorganischen Substanzen (Schwermetalle) aufweist. Es lässt sich aber im Wesentlichen nur bei den CKW's ein nahtloser und eindeutiger Zusammenhang zwischen Deponieinhalt, Freisetzungspotential (Eluierbarkeit) und Grundwasserbelastung aufzeigen. Für praktisch alle übrigen Stoffgruppen (inkl. Schwermetalle) fehlt insbesondere der positive Nachweis im Grundwasser, so dass z.T. trotz beträchtlichen Schadstoffgehalten im Deponiematerial wie auch in den Eluaten letztlich keine eindeutiger Freisetzungspfad in grösserem Umfang belegen lässt. *Eluierbarkeit (Eluatteste)*

4.6.2. Schadstoffpotential (Deponieinhalt)

Mit Hilfe der MIP-Sondierungen, der Kernbohrungen sowie den chemischen Analysen der Feststoffproben lässt sich ein vereinfachtes Modell der Schadstoffverteilung in der Deponie Feldreben ableiten. Grob gesehen können 3 Teilbereiche mit unterschiedlicher Schadstoffbelastung unterschieden werden. In der Tabelle 14 sind die dem Modell zugrunde gelegten Annahmen zusammengestellt und in Anh. A4 ist die Lage und Ausdehnung der drei Teilbereich dargestellt. *Teilbereiche mit unterschiedlicher Schadstoffbelastung*





Tabelle 14 : Schadstoffpotential Deponie Feldreben (Deponiemodell)

Teilbereich	1	2	3	Total	
Minimale Tiefe (m)	7	6	6		
Maximale Tiefe (m)	19	17	11		
Mittlere Tiefe (m)	14	12	10		
Fläche (m ²)	15'000	31'000	9'000	55'000	m ²
Volumen (m³)	210'000	372'000	90'000	672'000	m ³

Materialtyp	Protzentuale Verteilung				Anteil
A	40%	5%	2%	104'400	m ³ 16%
B	20%	5%	3%	63'300	m ³ 9%
C	20%	45%	30%	236'400	m ³ 35%
D	20%	45%	65%	267'900	m ³ 40%
Total	100%	100%	100%	672'000	m ³ 100%

	Anteil in kg			total (to)	Gew.-%	
Gesamt KW	465'861	342'720	76'763	885 to	0.073%	0.08%
Σ PAK	36'161	36'192	7'191	80 to	0.007%	
Σ BTEX	71	16	2	0.1 to	0.00001%	
Perchlorethylen	956	369	53	1.4 to	0.00011%	
Trichlorethylen	348	113	14	0.5 to	0.00004%	
Σ LKW	2'019	666	90	2.8 to	0.00023%	0.08%
Arsen*	3'203	1'093	143	4.4 to	0.0004%	
Chrom*	217'374	78'690	10'572	307 to	0.025%	
Kupfer*	95'078	24'752	2'753	123 to	0.010%	
Blei*	155'990	144'600	21'828	322 to	0.027%	
Zink*	160'617	40'705	4'437	206 to	0.017%	
Σ Schwermetalle	629'059	288'747	39'822	957 to	0.079%	
Total (to)	1'136	669	124	1'930 to	0.16%	
Anteil	59%	35%	6%	100%		

* ohne geogene Hintergrundsbelastung

Der Teilbereich 1 liegt mehr oder weniger im Zentrum der Deponie und umfasst flächenmässig etwas mehr als ¼ der Deponiefläche. Er ist in etwa deckungsgleich mit den aus den MIP-Sondierungen abgeleiteten „zentralen Schadstoffherd“, aber gestützt auf die Bohrungen noch etwas nach Osten erweitert. Hier besteht das Deponiematerial zu etwas mehr als der Hälfte (ca. rund 60%) aus den am stärksten belasteten Materialtypen A und B. Entsprechend liegt hier das grösste Schadstoffpotential vor (rund 60%).

Teilbereich 1

Der Teilbereich 2 nimmt flächenmässig etwas mehr als die Hälfte der Deponiefläche ein und umfasst den ganzen östlichen sowie peripheren Teil im Süden und Westen. Hier sind nur noch kleine Anteile an stark belastetem Deponiematerial zu erwarten (höchstens ca. 10%) und das Deponiematerial besteht überwiegend aus den Materialklassen C und D. Aufgrund des grossen Flächenanteils beträgt der Anteil am gesamten Schadstoffpotential aber dennoch rund 35%.

Teilbereich 2

Der Teilbereich 3 umfasst den nördlichsten Deponieteil und ist sowohl bezüglich des Schadstoffpotentials als auch umfangmässig nur von untergeordneter Bedeutung (rund 5%). Das Material dürfte hier überwiegend aus nur schwach belastetem Deponiematerial bestehen.

Teilbereich 3

Das oben beschriebene Deponiemodell ist als starke Vereinfachung der Wirklichkeit zu verstehen und soll in erster Linie dazu dienen, die Schadstoffverteilung zu veranschaulichen und die Grössenordnung der Schadstoffbelastung aufzuzeigen. Die in der Tabelle 14 getroffenen Annahmen bezüglich Deponietiefe und –schadstoffverteilung wurden bewusst konservativ gewählt, um ein oberes Limit aufzeigen zu können (worst case). Auch ist mit den Sondierungen und den ausgewählten Materialproben nur eine stichprobenhafte Untersuchung des Deponiekörpers möglich. Da diese gezielt auf die Abklärung von stark belastetem Material durchgeführt wurden, ist zu erwarten, dass die tatsächlichen Verhältnisse eher günstiger sein dürften.

*Aussagekraft
Deponiemodell*

Immerhin lassen diese Modellbetrachtungen aber einige allgemeine gültige Aussagen zu:

- Das Deponievolumen ist mit Sicherheit deutlich kleiner als bisher angenommen und dürfte rund 650' – 700'000 m³ betragen.
- Gesamthaft betrachtet ist davon auszugehen, dass höchstens ¼ des Deponiematerials (schätzungsweise maximal rund 100' bis 170'000 m³) stark mit Schadstoffen belastet sind. Rund ¾ des Deponiematerials sind nur schwach belastet.
- Der grösste Schadstoffherd liegt im mittleren Deponiebereich (Teilbereich 1) und kann gestützt auf die durchgeführten Untersuchungen relativ gut abgegrenzt werden.
- Die im Deponiematerial vorhandenen „reinen“ Schadstoffmengen betragen schätzungsweise rund 2'000 Tonnen, was ungefähr 0.16 Gew.-% der ganzen Deponie beträgt¹⁴. Rund die Hälfte davon sind organische Schadstoffe, namentlich Kohlenwasserstoffe (KW), PAK und CKW (Per- und Trichlorethen). Die andere Hälfte wird durch Schwermetalle (Blei, Zink, Chrom, Kupfer) verursacht. Gerade bei den Schwermetallen muss die Herkunft dieser Schadstoffmengen nicht zwangsläufig aus Abfällen der chemischen Industrie stammen, sondern kann genauso gut aus Anteilen im Bauschutt hervorgerufen werden.

Deponievolumen

*stark belastetes
Deponiematerial*

Schadstoffherd

Schadstoffmengen

¹⁴ Selbst bei einer deutlich grösseren Schadstoffbelastung beträgt der Anteil nicht mehr als 1 Gew.-% der Deponie (Abschätzung basiert auf den quantitativen Angaben der Einzelstoffanalytik ohne Berücksichtigung der Screening-Resultate)



5. Chemische Analysen des Grundwassers

5.1. Untersuchungsprogramm

5.1.1. Durchgeführte Probenahmen

Im Rahmen der 2. Etappe TU und der laufenden Grundwasserüberwachung wurden bisher insgesamt 6 Probenahmekampagnen durchgeführt (vgl. Tabelle 15). Es sind dies einerseits total 4 Kampagnen mit einem ausführlichen Analysenprogramm (U1K1, U1K2, U2K1, U2K2) und andererseits zwei Entnahmekampagnen mit einem etwas reduzierten Entnahme- und Analysenprogramm (GÜ1, GÜ2). Ferner wurden im Rahmen der Belastungspumpversuche bei den fünf Bohrung F4, F9, F3.1, E.25 und F11 weitere Grundwasseranalysen durchgeführt.

*Probenahme-
kampagnen*

Tabelle 15: durchgeführte Probenahmekampagnen

Kampagne		U1K1 (Apr04)	U1K2 (Jul04)	GÜ1 (Sept05)	U2K1 (März06)	GÜ2 (Mai06)	U2K2 (Jul06)
Nahfeld							
F1	Datum	24.03.04	12.07.04	26.09.05	15.03.06	23.5.06	17.07.06
	Proben Nr.	954	2438	3471	962	2148	2951
	Grw.sp	256.96	258.46	256.78	256.51	256.94	257.98
F2.1	Datum	24.03.04	14.07.04	26.09.05	15.03.06	23.5.06	17.07.06
	Proben Nr.	960	2471	3500	964	2150	2953
	Grw.sp	256.67	258.87	256.82	256.40	256.90	258.01
F2.2	Datum	24.03.04	14.07.04	26.09.05	15.03.06	23.5.06	17.07.06
	Proben Nr.	957	2474	3469	966	2152	2955
	Grw.sp	256.82	258.77	256.78	256.40	256.86	257.95

Kampagne		U1K1 (Apr04)	U1K2 (Jul04)	GÜ1 (Sept05)	U2K1 (März06)	GÜ2 (Mai06)	U2K2 (Jul06)
F3.1	Grw.sp	26.03.04	14.07.04	27.09.05	29.03.06	30.05.06	18.07.06
	Datum	979	2468	3531	1200	2218	2975
	Proben Nr.	255.70	258.78	256.97	257.00	257.51	257.81
F3.2	Datum	26.03.04	15.07.04	27.09.05	17.03.06	30.05.06	17.07.06
	Proben Nr.	983	2485	3529	976	2212	2957
	Grw.sp	256.28	258.86	257.19	257.11	257.61	258.19
F4h	Datum	30.03.04	15.07.04	27.09.05	30.03.06	30.05.06	18.07.06
	Proben Nr.	1038	2491	3533	1202	2210	2979
	Grw.sp	254.68	258.45	256.77	256.52	257.48	257.57
F4m	Datum	30.03.04	16.07.04				
	Proben Nr.	1040	2499	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme
	Grw.sp	254.67	258.38				
F4t	Datum	01.04.04	16.07.04				
	Proben Nr.	1080	2502	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme
	Grw.sp	255.27	258.43				
F5P1	Datum	25.03.04	12.07.04	28.09.05	17.03.06	30.05.06	18.07.06
	Proben Nr.	973	2435	3545	978	2275	2977
	Grw.sp	256.47	258.91	257.28	257.36	257.33	258.10
F5P2	Datum	25.03.04	13.07.04	28.09.05	16.03.06	30.05.06	
	Proben Nr.	977	2458	3543	970	2277	keine Probe- nahme
	Grw.sp	255.96	258.69	257.83	257.10	258.75	
F5P4	Datum	25.03.04	13.07.04	keine Probe-	keine Probe-	keine Probe-	keine Probe-





	Proben Nr.	975	2455	nahme	nahme	nahme	nahme
	Grw.sp	256.34	258.97				
	Datum	26.03.04	13.07.04	28.09.05	16.03.06	30.05.06	19.07.06
F5P5	Proben Nr.	985	2452	3547	972	2154	2982
	Grw.sp	255.90	259.02	257.18	256.94	257.25	257.95
F6	Datum				21.03.06		19.07.06
	Proben Nr.	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	1082	keine Probe- nahme	2988
	Grw.sp				257.78		257.42
F7	Datum				20.03.06		19.07.06
	Proben Nr.	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	988	keine Probe- nahme	2984
	Grw.sp				257.68		260.14
F8	Datum				20.03.06		19.07.06
	Proben Nr.	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	986	keine Probe- nahme	2990
	Grw.sp				258.12		257.91
F9	Datum				29.03.06		19.07.06
	Proben Nr.	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	1198	keine Probe- nahme	2986
	Grw.sp				257.48		257.64
P.003h	Datum	29.03.04	15.07.04	29.09.05	20.03.06	30.05.06	20.07.06
	Proben Nr.	1030	2482	3563	982	2204	3006
	Grw.sp	256.42	259.48	258.48	259.15	258.91	258.85
P.003t	Datum	29.03.04	15.07.04				
	Proben Nr.	1026	2488	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme
	Grw.sp	255.97	259.83				
Br Florin	Datum	01.04.04	19.07.04	27.09.05	21.03.06	30.05.06	17.07.06
	Proben Nr.	943	2536	3535	1074	2206	2959
	Grw.sp						
E.025	Datum	29.03.04	14.07.04	29.09.05	29.03.06	30.05.06	20.07.06
	Proben Nr.	1032	2477	3566	1196	2208	3010
	Grw.sp	255.30	258.93	257.18	257.58	257.91	257.84
C.232	Datum	24.03.04	13.07.04	26.09.05	15.03.06	30.05.06	20.07.06
	Proben Nr.	963	2461	3502	968	2216	3008
	Grw.sp	256.82	259.00	257.07	256.63	257.71	257.67

Kampagne	U1K1 (Apr04)	U1K2 (Jul04)	GÜ1 (Sept05)	U2K1 (März06)	GÜ2 (Mai06)	U2K2 (Jul06)	
Fernfeld							
F10	Datum	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	17.03.06	keine Probe- nahme	20.07.06
	Proben Nr.				980		3012
	Grw.sp				257.15		257.62
F11	Datum	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	21.03.06	keine Probe- nahme	20.07.06
	Proben Nr.				1080		3014
	Grw.sp				257.66		256.71
C.081	Datum	keine Probe- nahme	20.07.04	keine Probe- nahme	21.03.06	keine Probe- nahme	21.07.06
	Proben Nr.		2548		1078		3039
	Grw.sp		256.52		256.65		256.06
C.230	Datum	06.04.04	19.07.04	keine Probe- nahme	20.03.06	keine Probe- nahme	21.07.06
	Proben Nr.	1154	2527		984		3033
	Grw.sp	263.66	263.65		263.74		263.69
C.231	Datum	keine Probe- nahme	20.07.04	keine Probe- nahme	21.03.06	keine Probe- nahme	21.07.06
	Proben Nr.		2551		1076		3037
	Grw.sp		258.42		258.31		257.78
C.236	Datum	23.03.04	19.07.04	29.09.05	16.03.06	30.05.06	21.07.06
	Proben Nr.	940	2530	3560	974	2283	3035
	Grw.sp	256.87	257.16	256.70	256.58	256.82	256.87
C.244	Datum	29.03.04	19.07.04				
	Proben Nr.	1028	2533	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme	keine Probe- nahme
	Grw.sp	256.95	258.57				



Bezüglich des Grundwasserstandes können die bisher durchgeführten Probenahmekampagnen (inkl. 1. Etappe) wie folgt zusammengefasst werden:

Grundwasserstand

Tabelle 16: Massgebende Grundwasserstände (Deponie Feldreben)

Wasserstand	NW	MW	HW
Grundwasserspiegel Nahbereich Deponie (F1-F5, P3, C.232)	254.5 – 257.0 m ü.M.	256.5 – 257.5 m ü.M.	257.5 – 259.5 m ü.M.
Kampagne (Datum)	U1K1 (März 04)	GÜ1 (Sept 05) U2K1 (März 06) GÜ2 (Mai 06)	U1K2 (Juli 04) U2K2 (Juli 06)

Die im Rahmen der TU durchgeführten Probenahmen erfolgten bisher also mehrheitlich bei mittlerem bis hohem Grundwasserstand. Da die Probenahmen aber über einen Zeitraum von mehreren Tagen entnommen wurden, sind angesichts der z.T. rasch schwankenden Grundwasserspiegellage bei einzelnen Entnahmenstellen diesbezüglich deutliche Unterschiede festzustellen.

durchgeführte Probenahmen

Es stehen heute grundsätzlich 28 Probenahmestellen (inkl. Mehrfachmessstellen) zur Überwachung und Beprobung des Grundwassers im Bereich der Deponie Feldreben zur Verfügung. Davon liegen 22 im Nah- und 6 Messstellen im Fernfeld der Deponie. Angesichts der komplexen Verhältnisse (vgl. Kap. 3.2) kann im Nahfeld kein eigentlicher Zustrombereich definiert werden.

Probenahmestellen

Die Probenahme wurde wie bei der 1. Etappe TU gemäss Qualitätskonzept Oehme [4] durchgeführt. Dieses beinhaltet im Wesentlichen, dass bei jeder Probenahme ein neuer Probenahmeschlauch aus Teflon verwendet wurde, und dass dieser vorgängig mit ultrareinem Wasser vorgespült wurde (Blindprobe). In der Regel betrug die Vorpumpmenge mindestens 300 l bei einer Pumpleistung von rund 5 – 10 l/min (Pumpdauer ca. 40 – 60 min). Einzig bei der Entnahmestelle 21.C.81 und 21.C.230 mussten die Wasserproben jeweils mit einem speziellen Schöpfer entnommen werden, da nicht genügend Wasser gepumpt werden konnte. Die elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert und der Sauerstoffgehalt der Proben wurden mittels WTW-Messgerät vor Ort abgelesen.

Probenahme

5.1.2. Analysenprogramm

Im Rahmen der 2. Etappe TU (inkl. Grundwasserüberwachung) für die Deponie Feldreben wurde das in Tabelle 17 zusammengestellten Analysenprogramm durchgeführt. Darin sind die analysierten Stoffgruppen aufgeführt. Die ausführliche Liste der analysierten Einzelsubstanzen sowie eine Beschreibung der Probenaufbereitung und Analyseverfahren kann aus Beilage B2 (Labor- bzw. Prüfbericht RWB) entnommen werden.

Labor- bzw. Prüfbericht RWB in Beilage B2



Tabelle 17 : Analysenprogramm (2. Etappe TU)

	ausführliche	reduzierte	Belastungs- pump- versuche
	Grundwasserüberwachung		
Messkampagnen	U2K1, U2K2	GÜ1, GÜ2	April, Aug. 06
Messstellen	F1 bis F11, C.81, C.230, C.231, C.232, C.236	F1 bis F6, C.232, C.236	F3.1, F4, F9, F11, E.25
Anzahl Analysen	45	28	33
Chem.-physikalische Parameter	X	X	X
Allg. u. anorganische Parameter	X	X	X
Halogenierte Kohlenwasserstoffe	X	X	X
Organische Summenparameter	X	X	X
Elemente und Schwermetalle	X		(X)
Chlorierte Aromaten	X		
Aniline	X		
Aromatische Kohlenwasserstoffe	X		(X)
Phenole	X		
Pestizide (inkl. DDT)	X		(X)
Barbiturate	X		
Aromatische Sulfonate	X (nur F6)		
Screenings	X	x	X

Bei jeder Probe wurde zusätzlich vor der Probenahme eine Feldblindprobe entnommen und analysiert (ausser Belastungspumpversuch). Damit wurde das Ziel verfolgt, Artefakte bei der Probenahme und der Analytik feststellen zu können.

Feldblindprobe

5.2. Zusammenfassender Überblick

Die Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Messkampagnen sind in der Regel nicht sehr gross und das gefundene Schadstoffspektrum stimmt gut überein. Generell bestätigen die neuen Untersuchungsergebnisse diejenigen der 1. Etappe TU, d.h. alle Konzentrationen und Parameterwerte liegen fast ausnahmslos in der gleichen Grössenordnung wie bisher.

*vergleichbare
Analyseneresultate*

Aufgrund der guten Übereinstimmung werden nachfolgend die Ergebnisse aller Kampagnen gemeinsam diskutiert, und nur dort, wo sich essentielle Unterschiede zur 1. Etappe TU oder einzelnen Kampagnen feststellen lassen, wird speziell darauf eingegangen. In den nachfolgenden Tabelle 18 und Tabelle 19 sind die wesentlichen Merkmale der Grundwasseranalysen sowie die wichtigsten Analyseergebnisse halbquantitativ bzw. "beschreibend" zusammengestellt. Die Entnahmestellen können gestützt auf die Analyseergebnisse unterteilt werden in:

*wesentliche
Merkmale*

- ein „deponiebeeinflusstes“ Nahfeld (F1 bis F9, C.232, E.003, E.25, P.003) rund um die Deponie, sowie
- ein weitgehend „unbeeinflusstes“ Fernfeld (C.081, C.231, C.236, F5P1¹⁶, F10, F11; nur Messstellen im Norden bzw. NW der Deponie).

2 Wassertypen¹⁵

Die Schadstoffbelastung des Grundwassers ist in den Situationsplänen im Anhang A6 anhand ausgewählter Parameter grafisch dargestellt. Die Unterschiede im Chemismus dieser beiden Wassertypen können mit sogenannten Box-plots-Darstellungen¹⁷ verdeutlicht werden. Alle relevanten Parameter wurden deshalb in solchen Diagrammen grafisch veranschaulicht. Die detaillierten Untersuchungsergebnisse sind aus Anhang A6 zu entnehmen.

boxplot-Diagramme



¹⁵ Die Analysenergebnisse des Lockergesteins- und des HMK-Grundwasser unterschieden sich praktisch nicht, so dass diesbezüglich auf eine differenzierte Unterscheidung verzichtet wird.

¹⁶ F5P1 ist die tiefste Entnahmestelle (89 m u.T.) an der Basis des HMK und aufgrund der chemischen Analysen praktisch unbelastet (ausser CKW), so dass diese Messstelle trotz unmittelbarer Lage zur Deponie dem Fernfeld zugerechnet wird.

¹⁷ In einem Boxplot (auch Box-Whisker-Plot) werden der Mittelwert (Median), die Streuung und die Extremwerte der Analysenergebnisse grafisch in einem Diagramm dargestellt. Die „Box“ umfasst 50 % der Daten, d.h. vom unteren bis zum oberen Quartil, und spiegelt mit der Länge die Streuung wider. Durch die Lage des Medians innerhalb der Box wird ein Eindruck von der Häufigkeitsverteilung vermittelt. Als „Whisker“ werden die vertikalen Linien bezeichnet, wobei die Striche bis zu den gemessenen Extremwerten reichen. Ein Datensatz beinhaltet 8 - 14 Analysenwerte. Messwerte unter der Bestimmungsgrenze wurden nicht berücksichtigt bzw. wenn mehr als 25 % des Datensatzes unter der Bestimmungsgrenze liegen, wurde dies in der Grafik entsprechend vermerkt.

Tabelle 18: Anorganische Schadstoffbelastung des Grundwassers (Einzelstoffanalytik)

Parameter	„deponiebeeinflusstes“ Nahfeld	„unbeeinflusstes“ Fernfeld
Probeentnahmestellen	F1, F2.1, F2.2, F3.1, F3.2, F4, F5P2, F5P5, F6, F7, F8, F9, 21.C.232, 21.E.003, 21.P.003, 21.E.025	21.C.81, 21.C.231, 21.C.236, 21.C.244, 21.C.230, F5P1, F10, F11
Gesamtmineralisation	Das Grundwasser weist ausser im Norden rund um die Deponie eine erhöhte Gesamtmineralisation auf, hervorgerufen durch einen erhöhten Salzgehalt (Sulfat, Chlorid).	Die Gesamtmineralisation ist aufgrund der Grundwasseranreicherung relativ gering (hoher Anteil an Rheinwasserinfiltrat)
Nitrat Nitrit Ammonium	Der Nitratgehalt liegt i.d.R. zwischen 10-45 mg/l. Vereinzelt wurden auch erhöhte Nitrit- und Ammoniumgehalte (F1, F2, F3, 2, .E.25, F8) gemessen, was durch stark mineralisiertes Deponiesickerwasser verursacht wird. Bei Sauerstoffarmut sind auch Nitrit und/oder Ammonium in geringen Konzentrationen vorhanden.	I.d.R. geringe Nitratgehalte unter 20 mg/l, ausser im NW-Gebiet (21.C.236, F11). Vereinzelt erhöhte Nitrit- oder Ammoniumgehalte (bei reduzierenden Verhältnissen).
Schwermetalle	Praktisch in allen Wasserproben wurden Schwermetallgehalte wenig über der Bestimmungsgrenze gemessen (i.d.R. < 1 µg/l). Vereinzelt wurden auch leicht höhere Gehaltswerte festgestellt, insbesondere Zink bis max. 20 mg/l, welche aber auf eine Kontamination durch (eisenverzinkte) Piezometerrohre zurückzuführen ist.	
Bor	Vereinzelt leicht erhöhte Werte bis max. rund 0.36 mg/l, was entweder auf eine natürliche Gipsauslaugung zurückzuführen ist, oder durch eine Deponiebeeinflussung hervorgerufen wurde.	keine erhöhten Gehaltswerte.

Tabelle 19: Organische Schadstoffbelastung des Grundwassers (Einzelstoffanalytik)

Parameter	Nahfeld	Fernfeld
Probeentnahmestellen	F1, F2.1, F2.2, F3.1, F3.2, F4, F5P2, F5P5, F6, F7, F8, F9, 21.C.232, 21.E.003, 21.P.003, 21.E.025	21.C.81, 21.C.231, 21.C.236, 21.C.244, 21.C.230, F5P1*, F10, F11 (*da ähnliche Analytik)
DOC	Praktisch immer < 1 mg/l, ausser bei den Messstellen am Ostrand der Deponie, d.h. bei F3.2, F8 und 21.E.25, wo Werte von und 3-5 mg/l gemessen wurden.	Praktisch immer < 1 mg/l, einzig bei der Schöpfprobe aus 21.C.231 etwas erhöht (bis max. 5mg/l).
AOX	Im Nahfeld generell leicht erhöhte Werte von rund 10 bis 50 µg Cl/l mit Maximalwerten bis rund 240 µg Cl/l, wobei sich die Ursache i.d.R. durch erhöhte CKW-Gehalte plausibel erklären lässt.	Praktisch immer < 10 µg/l, ausser bei Schöpfprobe 21.C.231 erhöht (240 µg Cl/l).
CKW	Im Nahfeld z.T. deutlich erhöhte CKW-Gehalte deutlich über 2 µg/l (insb. Per-, Trichlorethen und Hexachlorethan mit max. Gehalten bis rund 80-90 µg/l).	I.d.R. meist kleiner als 1-2 µg/l ausser bei F11 (Perchlorethen bis 4.4 µg/l).
leichtflüchtige KW	Neben den CKW wurde in praktisch keiner Probe weitere leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe nachgewiesen (u.a. auch keine Alkane C5-C10). Einzige Ausnahmen sind BTEX in F5 und MTBE in F2	Keine erhöhten Gehalte
PAK	Nur Naphtalin und Methylnaphtalin (bis max. 0.4 µg/l) in gewissen Proben nachweisbar.	
Pestizide	Praktisch in allen Messstellen Herbizide in Spuren nachweisbar (20-370 ng/l), auch abseits der Deponie. Kein signifikanter Unterschied zwischen Nah- und Fernfeld	



Aniline	Bei einigen Messstellen in Spuren (<30 ng/l) vorhanden. Einzig F8 weist erhöhte Werte auf (bis 2200 ng/l).	Keine erhöhten Gehalte
Phenole	vereinzelt in Spuren <0.5 µg/l (F1, F5P2, F5P5, F2h, F4).	Vereinzelt in Spuren <0.2 µg/l (F5P1, 21.C.231).
Barbiturate	Vereinzelt in Spuren Aprobarbital (<0.5 µg/l bei F3, F5 und F6, bei F7 mit einzelner Extremwert von 1.5 µg/l)	Keine erhöhten Gehalte



5.3. Allgemeine Beschaffenheit des Grundwassers

Zum allgemeinen Verständnis wird einleitend nochmals eine allgemeine Charakterisierung der Grundwasserbeschaffenheit im ganzen Betrachtungsgebiet anhand der wichtigsten physikalischen Kenngrößen (pH, el. Leitfähigkeit) und der gelösten Hauptbestandteile (Hydrogenkarbonat, Sulfat) gegeben. Wie bereits bei der 1. Etappe TU festgestellt, lassen sich aufgrund der anorganischen Hauptbestandteile (Anionen, Kationen) generell verschiedene Wassertypen unterscheiden, welche in gegenseitiger Wechselbeziehung zueinander stehen bzw. in unterschiedlichem Masse gemischt werden:

verschiedene Wassertypen:

- Der überwiegende Anteil im Grundwassergebiet von MuttENZ (südlich des Rangierbahnhofes) wird durch im Hauptmuschelkalk zirkulierendes Grundwasser gebildet (kurz: HMK-Grundwasser¹⁸). Es handelt sich dabei überwiegend um ein hartes, calcitgesättigtes Hydrogenkarbonat-Wasser mit einer normalen Gesamtmineralisation von rund 0.4 - 0.5 g/l bzw. mit mittleren Hydrogenkarbonatgehalten von rund 350 – 400 mg/l, Sulfatgehalten von rund 30 - 50 mg/l und Nitratgehalten von maximal rund 30 – 35 mg/l.
- Durch die Infiltration von aufbereitetem Rheinflusswasser durch die Hardwasser AG entsteht im Gebiet Hard ein mittel-hartes Rheinwasser-Infiltrat (calcitgesättigtes Hydrogenkarbonat-Wasser) mit einer deutlich geringeren Gesamtmineralisation von rund 0.2 - 0.3 g/l. Kennzeichnend sind vor allem der geringere Hydrogenkarbonatgehalt von rund 150 - 250 mg/l sowie ein niedriger Chlorid- und Nitratgehalt (< 10 – 15 mg/l), und ein mittlerer Sulfatgehalt von meist weniger als 20 - 30 mg/l.
- Im Nahbereich der drei untersuchten Deponien lässt sich ausserdem häufig ein stärker mineralisiertes Grundwasser nachweisen (Gesamtmineralisation bis rund 0.9 g/l), welches sich vor allem durch Sulfatgehalte von mindestens ca. 100 – 300 mg/l und Hydrogenkarbonatgehalten bis rund 500 - 600 mg/l auszeichnet. Im Bereich der Deponie Feldreben ist dabei

HMK-Grundwasser

Rheinwasser-Infiltrat

sulfathaltiges Grundwasser

¹⁸ Das im Lockergestein der Störungszone zirkulierende Grundwasser wird ebenfalls dazu gerechnet, da es in direktem Kontakt dazu steht bzw. es fließende Übergänge gibt.

gleichzeitig auch der Nitratgehalt meist bis rund 30 - 45 mg/l erhöht (gemessener Maximalwert: 188 mg/l bei F8).

Für die Entstehung dieser stärker mineralisierten Grundwässer steht neben einer natürlichen Auslaugung von Gips und z.T. Salzen des Keupers bzw. der Anhydritgruppe hauptsächlich eine Beeinflussung durch Deponiesickerwasser im Vordergrund. Vor allem die hohen Hydrogenkarbonat- und Nitratgehalte sind kaum durch eine natürliche Wasser-Gesteins-Interaktion erklärbar. Diese Annahme wird sowohl aufgrund der nahen Lage zu den Deponien als auch durch Isotopenmessungen aussagekräftig untermauert (vgl. [7]).

Beeinflussung durch Deponiesickerwasser wahrscheinlich



5.4. Gesamtmineralisation und Redoxverhältnisse

Ergänzend zu den obigen Ausführungen und zur Charakterisierung der Redoxverhältnisse im Bereich der Deponie Feldreben sind folgende Analysenergebnisse von Bedeutung:

Die Gesamtmineralisation des HMK-Grundwassers im Umfeld der Deponie lässt sich sehr gut anhand der elektrischen Leitfähigkeit veranschaulichen (vgl. Isoliniendarstellung in Anh. A5a). Sie ist generell im südlichen Bereich der Deponie Feldreben am grössten (Mittelwerte rund 800-900 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und nimmt im Deponiebereich nach Norden markant ab. Dabei ist die Abnahme aber im mittleren Deponiebereich (Brunnen Florin, F5) deutlich ausgeprägter als (nord)westlich (F10, F11) und (nord)östlich (F3.1) davon. Eine extrem hohe Mineralisation bzw. el. Leitfähigkeit ist im Lockergesteinsgrundwasser (F3.2) festzustellen. Die Unterschiede in der Gesamtmineralisation zwischen Nah- und Fernfeld sind auch bei den gelösten Hauptbestandteilen mehr oder weniger deutlich erkennbar (vgl. **Abbildung 8**).

Gesamtmineralisation

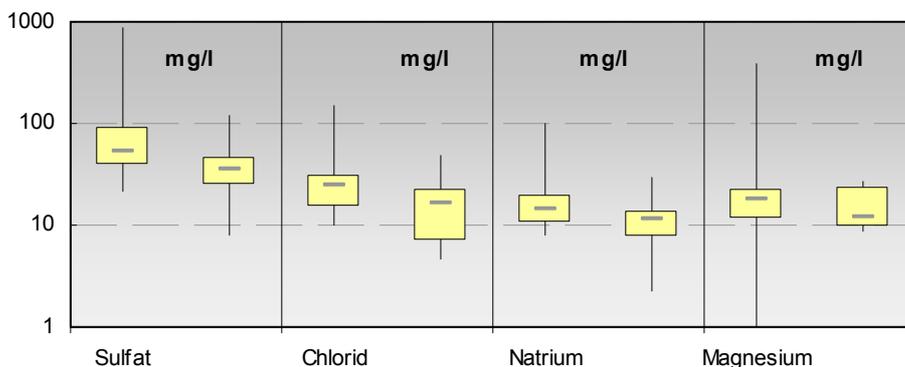


Abbildung 8:
 box-plot-Diagramm
 Hauptbestandteile
 Anionen/Kationen

*[links: „Nahfeld“;
 rechts: „Fernfeld“
 vgl. auch Fussnote 17
 auf S. 67]*



Die stark unterschiedliche Mineralisation im Deponieumfeld verdeutlicht nochmals die in Kap. 5.3 erläuterte Mischung von HMK-Grundwasser, Rheinwasserinfiltrat und stark mineralisiertem Deponiesickerwasser. Deutlich zu erkennen ist in der Isoliniendarstellung der elektr. Leitfähigkeit (Anh. A5a) einerseits der Einfluss des Brunnen Florins, welcher durch zufließendes Rheinwasserinfiltrat zu einer „keilartigen“ Verdünnung im mittleren Deponiebereich führt. Andererseits ist die Aufmineralisierung des Grundwassers durch Deponiesickerwasser im südwestlichen (F8) und nordöstlichen (F3.2) Deponiebereich am grössten. In diesen Bereichen ist auch der Nitratgehalt am grössten (>> 40 mg/l), was wiederum eine Aufmineralisierung des Grundwassers durch Deponiesickerwasser bestätigt. Dieser Zusammenhang ist nochmals in der **Abbildung 9** veranschaulicht, indem eine nahezu lineare Beziehung zwischen Sulfat- und Nitratgehalt zu erkennen ist.

Mischung

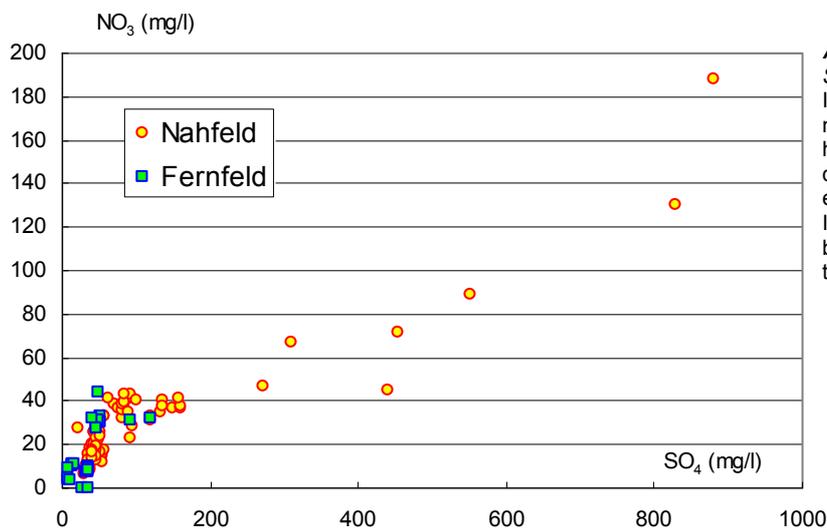


Abbildung 9:
 SO₄ vs NO₃:
 Im Nahfeld ist bei zunehmendem Sulfatgehalt auch gleichzeitig der Nitratgehalt deutlich erhöht, was als klares Indiz für eine Deponiebeeinflussung zu werten ist.

Der Sauerstoffgehalt ist praktisch in allen Entnahmestellen im Nahfeld mehr oder weniger deutlich erniedrigt (vgl. Isohypsendarstellung des Sauerstoffgehaltes in Anh. A5b sowie Abb. Abbildung 10). In der Regel beträgt der mittlere Sauerstoffgehalt rund 2 – 6 mg/l (entspricht rund 20 – 60 % O₂-Sättigung), wobei er bei den beiden Entnahmestellen F8 sowie 21.E.25 jeweils am geringsten ist und dort somit mässig bis deutlich sauerstoffzehrende Verhältnisse vorherrschen. Vermutlich wird der Sauerstoff u.a. in nitrifizierenden Reaktionen konsumiert.

Sauerstoffgehalt

Ebenfalls niedrige Sauerstoffgehalte (0 – 3 mg/l) konnte in den beiden Bohrungen F10 und F11 im nordwestlichen Fernfeld der Deponie festgestellt werden. Hier dürften vermutlich aber natürliche Ursachen infolge der dort vorherrschenden subartesischen Druckverhältnisse (F11) oder sehr geringen Durchlässigkeit (F10) dafür verantwortlich sein. Allerdings kann auch eine Beeinflussung durch Deponiesickerwasser nicht restlos ausgeschlossen werden.

niedrige Sauerstoffgehalte

den. Abgesehen davon liegt er im übrigen Fernfeld (NE der Deponie) sowie im Umfeld des Brunnens Florin, wo der Einfluss des Rheinwasserinfiltrates am grössten ist, im normalen Rahmen zwischen rund 7.0 – 9.0 mg/l (rund 70 – 90 % O₂-Sättigung).

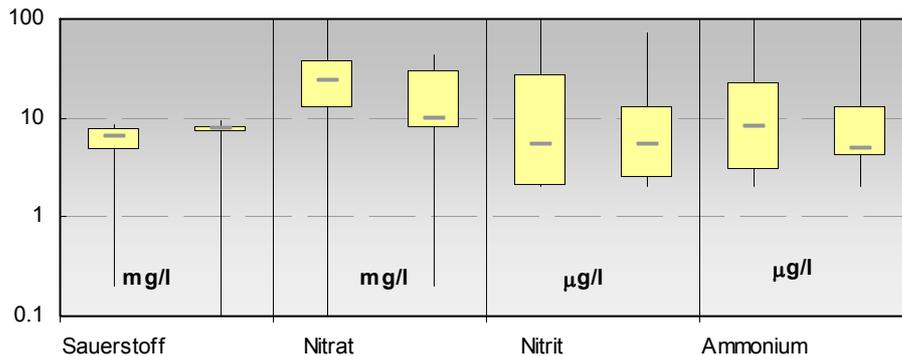


Abbildung 10:
box-plot-Diagramm
Redoxverhältnisse

[links: „Nahfeld“;
rechts: „Fernfeld“
vgl. auch Fussnote 17
auf S. 67]

Generell sind dort, wo ein erniedrigter Sauerstoffgehalt vorliegt, oftmals auch geringe Konzentrationen von Ammonium und Nitrit nachzuweisen. Es handelt sich dabei i.d.R. um einzelne Extremwerte mit Gehaltswerten von rund 0.1-0.2 mg/l Nitrit bzw. rund 0.05 mg/l Ammonium. Deutlich höhere Werte wurden hingegen bei den Messstellen F5P2, F8 und F10 gemessen, wo Wasser mit eindeutig reduzierendem Milieu vorliegt.

*Ammonium
und Nitrit*

Der Nitratgehalt im nahen Umfeld der Deponie beträgt i.d.R. rund 10 - 45 mg/l, wobei aufgrund der oben beschriebenen Mischung ebenfalls eine Abnahme von Süden nach Norden festzustellen ist. Deutlich höhere Nitratgehalte bis rund 150 mg/l wurden wiederholt bei den beiden Messstellen F3.2 (Lockergesteinsgrundwasser) und F8 (HMK-Grundwasser) gemessen. Hier ist mit einem permanenten Nitrateintrag durch Deponiesickerwasser zu rechnen (entweder direkt als Nitrat oder aber als Ammonium, das zu Nitrat oxidiert wird). Im „unbeeinflussten“ Grundwasser im Fernfeld ist der Nitratgehalt signifikant kleiner und beträgt meist weniger als 10 mg/l.

Nitratgehalt

Abschliessend ist zu erwähnen, dass die Filterstrecke bei der Messstelle F8 auch das obere (Lockergesteins)Grundwasserstockwerk umfasst und daher dort u.U. in den entnommenen Wasserproben ein höherer Anteil an Deponiesickerwasser enthalten ist, wodurch sich hier die Deponiebeeinflussung besonders gut nachvollziehen lässt. Allerdings sind die Verhältnisse dadurch aber nicht unbedingt repräsentativ für den HMK-Grundwasserleiter.

Messstelle F8

5.5. Anorganische Schadstoffe

Bei allen Kampagnen wurden in den entnommenen Grundwasserproben verschiedene Schwermetallgehalte sowie Bor nachgewiesen. In der Tabelle 20 sind die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 20: Schwermetallgehalte und Borgehalt im Grundwasser

Parameter (gelöste Schwermetallgehalte)	Bestimmungsgrenze	Nahfeld (F1, F2h, F2t, F3h, F3t, F4t, F4m, F5P2, F5P4, F5P5, F6, F7, F8, 21.C.232, 21.E.003, 21.P.003h, 21.P.003t)			Fernfeld (21.C.081, 21.C.231, 21.C.236, 21.C.244, 21.C.230, F5P1, F10, F11)		
		Messbereich		Ø (63 Analysen)	Messbereich		Ø (24 Analysen)
		Min	Max		Min	Max	
Kobalt µg/l	<0.02	<0.02	3.5	0.5	0.04	1.2	0.4
Kupfer µg/l	<0.02	<0.02	4.4	0.4	<0.02	1.8	0.3
Nickel µg/l		0.13	10	1.7	0.29	5.3	0.9
Arsen µg/l	<0.1	<0.1	13	0.7	<0.1	3.7	0.4
Antimon µg/l	<0.02	<0.02	1.4	0.15	<0.02	0.32	0.1
Cadmium µg/l	<0.02	<0.02	0.95	0.04	<0.02	0.43	0.06
Chrom µg/l	<0.5	<0.5	3.6	0.5	<1	1.4	<1
Quecksilber µg/l	<0.05	<0.05	0.26	<0.05	<0.05	0.13	<0.05
Zinn µg/l	<0.02	<0.02	0.05	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
Eisen µg/l	<2	<2	66.7	3.9	<2	9.2	<2
Zink µg/l		1.6	20'000	10 ¹⁾	3.3	1140	15.7 ¹⁾
Bor µg/l		2.7	359	53	2.7	110	38

1) Extremwerte nicht berücksichtigt

Schwermetalle

Praktisch in allen entnommenen Grundwasserproben im Nah- und Fernfeld der Deponie wurden Schwermetalle in geringen Konzentrationen nachgewiesen. Die Schwermetallkonzentrationen sind aber in der Regel sowohl im Nah- als auch im Fernfeld kleiner als rund 1 µg/l (ausser Zink und Eisen) und liegen grösstenteils sogar unter der Bestimmungsgrenze oder nur wenig darüber. Insbesondere können bei allen Schwermetallen keine signifikanten Unterschiede zwischen Nah- und Fernfeld festgestellt werden (vgl. Boxplot-Diagramm in Abbildung 11).

Überall geringe Konzentrationen

Es wurden aber auch an einigen Stellen etwas höhere Werte über 1 µg/l gemessen. Diese wurden aber meist nur im Rahmen der 1. Etappe TU festgestellt und konnten mit den jüngsten Probenahmen bei der 2. Etappe nicht bestätigt werden (vermutlich handelte es sich dabei um Labor- oder Probenahmeeffekte).

Labor- oder Probenahmeeffekte



Die höchsten Schwermetallgehalte sind beim Zink und Eisen zu verzeichnen, welche vor allem bei älteren Messstellen (E.25, C.230) vorliegen. Diese Gehalte lassen sich plausibel durch eine Kontamination aus verzinkten Stahl-Piezometerrohren erklären.

Zink und Eisen

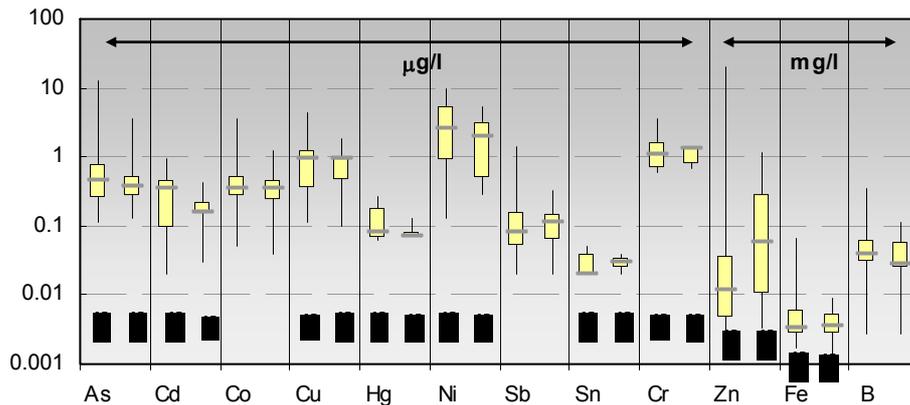


Abbildung 11:
box-plot-Diagramm
Schwermetalle und
Elemente [links: „Fern-
feld“;

[links: „Nahfeld“;
rechts: „Fernfeld“
vgl. auch Fussnote 17
auf S. 67]

Generell lagen bei den im Jahre 2006 untersuchten Proben die Gehalte an Arsen, Nickel, Kupfer und Chrom grösstenteils unter oder nur wenig über den Bestimmungsgrenzen mit einzelnen Extremwerten bis maximal 2 – 5 µg/l. Praktisch in allen Proben wurde Kobalt wenig über der Bestimmungsgrenze jedoch meist unter 1 µg/l nachgewiesen. Einzig in der Messstelle F8 wurden vergleichsweise etwas höhere Schwermetalle bis maximal 8 µg/l festgestellt (Nickel, Kobalt). Desweiteren wiesen die Proben aller Messkampagnen nur Spuren von Cadmium, Zinn, Kupfer oder Quecksilber auf, die nur geringfügig über den Bestimmungsgrenzen lagen.

übrige
Schwermetalle

Borgehalt

Der Borgehalt liegt bei den Messstellen im Nahfeld meist unter 0.1 mg/l. Einzig bei den beiden Messstellen F3.2 und F8 lag er etwas höher (Maximalgehalte bis rund 0.4 mg/l). Da dort gleichzeitig auch der Sulfatgehalt erhöht ist, steht als Ursache dafür in erster Linie eine Gipsauslaugung im Vordergrund infolge der Deponiebeeinflussung (z.B. Auswaschung von gipshaltigem Bauschutt).

meist unter
0.1 mg/l

5.6. Organische Schadstoffe

Summenparameter

Der DOC-Gehalt lag praktisch überall sowohl im Nah- als auch im Fernfeld in einem unauffälligen Rahmen unter 1 mg/l. Etwas erhöhte Werte von rund 3-4 mg/l sind im Wesentlichen einzig bei den beiden Messstellen F3.2 und F8 im Nahfeld festzustellen, also auch genau dort, wo die Deponiebeeinflussung

DOC-Gehalt

auch am grössten ist. Demgegenüber ist der im Fernfeld bei der Messstelle 21.C.231 (nördlich Bahngleise in der Hard) ungefähr gleich hohe Wert durch "abgestandenes" Wasser im Kleinfiterrohr verursacht (Schöpfprobe aufgrund geringer Ergiebigkeit).

Im Nahfeld sind bei praktisch allen Messstellen zeitweise leicht bis deutlich erhöhte AOX-Gehalte über der Bestimmungsgrenze von 10 µg Cl/l festzustellen. Die AOX-Gehalte sind aber sind nur bei rund der Hälfte der untersuchten Wasserproben erhöht und ausserdem nicht konstant, sondern schwanken z.T. beträchtlich. Vergleicht man aber die Mittelwerte der AOX-Gehalte dann lässt sich ein klarer Belastungsbereich mit Werten über 10 µg Cl/l erkennen, welcher sich ungefähr mit dem Deponieperimeter deckt (vgl. Isoliniendarstellung in Anh. A6-c). Die höchsten Werte betragen rund 100 - 200 µg Cl/l und wurden wiederum bei den beiden Messstellen F3.2 und F8 festgestellt. In der Regel sind diese erhöhten Gehalte durch das gleichzeitige Vorhandensein von CKW zu erklären, da die gemessenen AOX-Gehalte gut mit den CKW-Summenwerten korrespondieren (vgl. Abbildung 12). Einzig bei der Entnahmestelle C.231 im Fernfeld, wo regelmässig erhöhte Werte bis zu maximal 200 µg Cl/l gemessen wurden, dürfte die Ursache wiederum in "abgestandene" Wasser zu suchen sein (Schöpfprobe). Ansonsten wurden im Fernfeld abgesehen von einem Einzelwert bei C.236 keine erhöhten AOX-Gehalte nachgewiesen.

AOX-Gehalte

SC + P

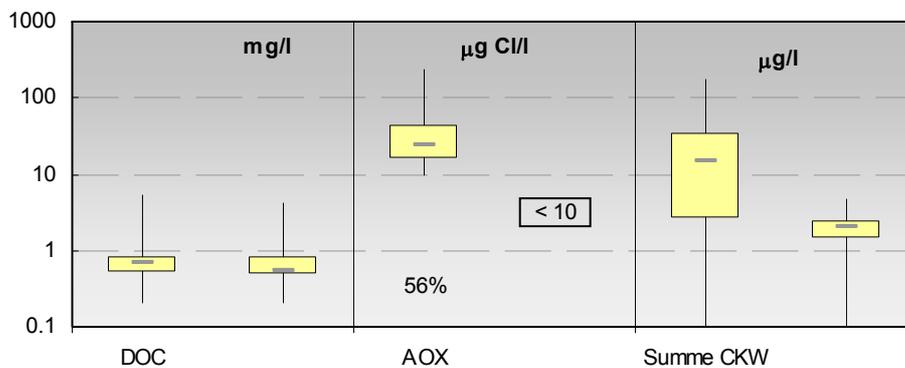


Abbildung 12:
box-plot-Diagramm
DOC, AOX und Σ CKW
(AOX-Gehalt im Fern-
feld ohne extreme
Einzelwerte (C.231,
C.236))

[links: "Nahfeld";
rechts: „Fernfeld“
vgl. auch Fussnote 17
auf S. 67]

Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)

Mit Hilfe der neuen Bohrungen ist nun die CKW-Belastung im Grundwasser im Umfeld der Deponie Feldreben recht gut erfasst und es kann auch ein klares und eindeutiges Belastungsmuster erkannt werden: Bei allen bisher durchgeführten Kampagnen konnten im Gegensatz zum Fernfeld in praktisch allen Proben im ganzen Nahfeld chlorierte Kohlenwasserstoffe deutlich über 2 µg/l nachgewiesen werden (vgl. Anh. A6 sowie Abb. Abbildung 12, einzige Ausnahme F4).

CKW-
Belastung im
Nahfeld der
Deponie nach-
gewiesen

Rund 80% der CKW-Belastung wird in der Regel durch die drei Einzelsubstanzen Perchlorethen (rund 40%) und Hexachlorethan (30%) mit durchschnittlichen Konzentrationen von je rund 10 – 20 µg/l und Maximalwerten von bis zu rund 50 – 100 µg/l sowie Trichlorethen (10%, im Mittel rund 5 µg/l mit Maximalwerte bis rund 25 µg/l) hervorgerufen. Ebenfalls in leicht erhöhten Konzentrationen über 1-2 µg/l wurden oftmals auch noch Chloroform (bis max. 2 µg/l) oder CKW-Abbauprodukte nachgewiesen (im wesentlichen cis-/trans-1,2-Dichlorethylen und 1,1,2,2-Tetrachlorethan; max. Werte bis rund 20 µg/l). Desweiteren wurden bei einzelnen Messstellen wiederholt Hexachlorbutadien (F5P5), 1,1,1 Trichlorethan (F1) und 1,1,2-Trichlorethan (F3.2) in Spuren unter 1 µg/l festgestellt. Hingegen konnte in keiner der untersuchten Wasserproben Vinylchlorid oder Bromoform über der Nachweisgrenze bestimmt werden.

CKW Einzelsubstanzen

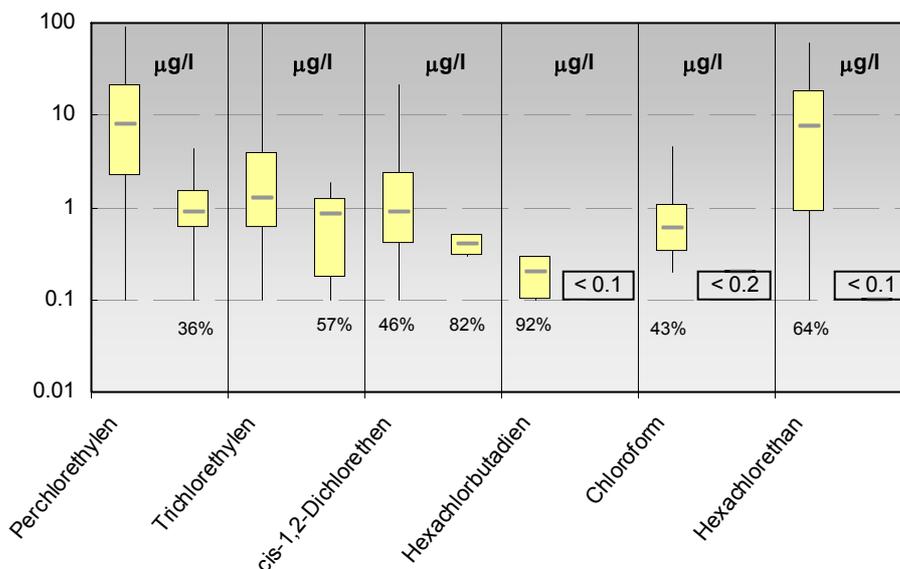


Abbildung 13:
 box-plot-Diagramm
 CKW-Belastung

[links: „Nahfeld“;
 rechts: „Fernfeld“
 vgl. auch Fussnote 17
 auf S. 67]

Die höchsten Konzentrationswerte lassen sich im Norden und Nordwesten der Deponie lokalisieren und sind anhand der Isoliniendarstellung in Anh. A6 grafisch veranschaulicht. In diesem Bereich liegt die durchschnittliche CKW-Gesamtbelastung in der Größenordnung von rund 20 - 50 µg/l und kann stellenweise Maximalwerte bis rund 100 - 150 µg/l erreichen. Die Hauptbelastung, welche durch Per-, Trichlorethen und Hexachlorethan hervorgehoben wird, ist ebenfalls in Anh. A6d eingezeichnet. Die mittlere Belastung mit Perchlorethen beträgt dort rund 20 – 40 µg/l, diejenige von Trichlorethen und Hexachlorethan rund 5 – 25 µg/l.

Schadstoffverteilung

Hauptbelastung

Betrachtet man nur die Belastung im HMK-Grundwasser (also ohne die Messstellen F2.2 und F3.2 im Lockergesteinsgrundwasser), liegt die grösste Verunreinigung ungefähr in der nördlichen (bis westlichen) Hälfte dieser Haupt-Belastungszone, d.h. beim Brunnen Florin (inkl. F5 und F3) vor. Hier sind im Vergleich zum Perchlorethen-Gehalt auch die beiden anderen Hauptkomponenten Trichlorethen und Hexachlorethan in einer vergleichbaren Grössenordnung vorhanden (Faktor 1 – 5-mal weniger). Mit zunehmender Distanz von dieser Hauptzone in Richtung zur westlichen Hälfte dominiert einerseits das Perchlorethen im Verhältnis zu den beiden anderen CKW-Komponenten, welche nur noch untergeordnet auftreten (Faktor 20- bis 40-mal weniger) und andererseits sind vergleichsweise mehr CKW-Abbauprodukte vorhanden.

Vereilung im
 HMK-
 Grundwasser

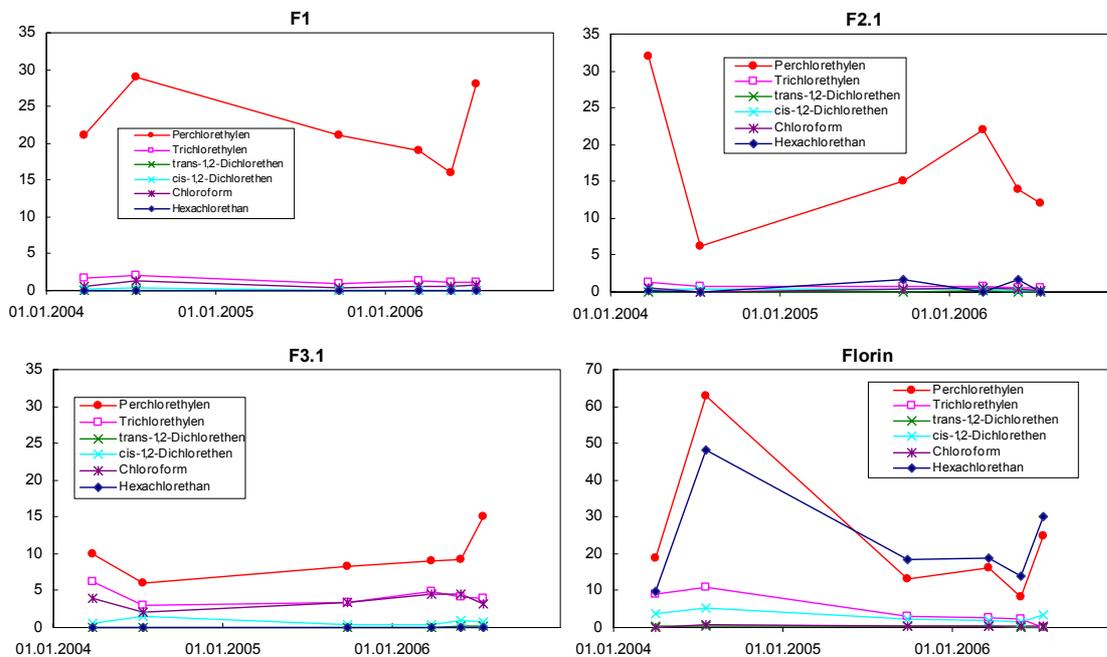


Abbildung 14:
 Ganglinien der
 CKW-Belastung
 im HMK-
 Grundwasser

Die jahreszeitlichen Schwankungen sind je nach Lage der Messstelle recht unterschiedlich. In der am stärksten belasteten Hauptzone im Norden der Deponie sind die Schwankungen am grössten (vgl. Abb. Abbildung 14). Je weiter davon entfernt sich die Messstelle hingegen befindet, desto geringer sind sowohl die Schwankungen als auch die Konzentrationen. Neben dieser Feststellung sind aber keine weiteren offensichtlichen Verhaltensmuster, wie z.B. ein Zusammenhang zwischen Grundwasserstand oder Jahreszeit, zu erkennen.

*jahreszeitliche
 Schwankungen*

In den Messstellen unmittelbar südöstlich der Deponie (21.P.3, 21.E.25, F4) sowie auch im Fernfeld sind nur noch leicht erhöhte CKW-Gehalte von maximal rund 1-3 µg/l festzustellen. Desweiteren lässt sich zudem eine klare Ab-

*Südöstliches
 Deponiegebiet,
 Fernfeld*

nahme der CKW-Gehalte mit der Tiefe ableiten (vgl. Schlussbericht 1. Etappe TU [7]).

Dieses Bild der Schadstoffverteilung deckt sich erstaunlich gut mit dem in Kap. 4.6.2 hergeleiteten Deponiemodell (allerdings mit leicht nach Norden und Westen erweitertem Bereich). Dieser Befund kombiniert mit den Untersuchungsergebnissen des Deponieinhaltes (vgl. Kap. 4) und dem in Kap. 3.2.2 hergeleiteten Fliesswege im ungesättigten Untergrund sind u. E. genug Beweis dafür, dass die im Grundwasser nachgewiesene CKW-Belastung eindeutig von der Deponie verursacht wird (vgl. Diskussion in Kap. 6.2.2).

CKW Ursache



Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (LKW)

Neben der oben beschriebenen CKW-Belastung des Grundwassers wurden bei der Einzelstoffanalytik bezüglich der übrigen leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe (LKW, leicht flüchtige und halogenierte Kohlenwasserstoffe) nur noch ganz vereinzelt andere Substanzen festgestellt. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um Spuren von BTEX (Benzole, Toluol, Ethylbenzol und Xylole) meist unter 1 µg/l, und dies zwar fast ausschliesslich bei der Bohrung F5 (Hauptbelastungszone CKW). Unter der Bestimmungsgrenze von 0.1 µg/l blieben insbesondere in allen Messstellen auch Di- und Trichlorbenzole und leichtflüchtige Alkane (C₅ – C₁₀).

leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe

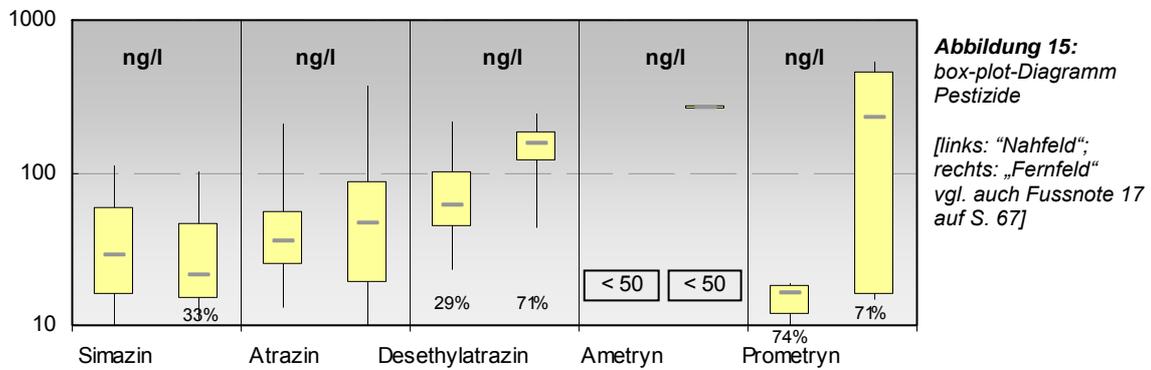
Bei den Entnahmestellen F2.1 und F2.2 wurde schliesslich ausserdem regelmässig noch MTBE in geringen Konzentrationen von rund 1 – 5 µg/l festgestellt. Da sich diese Messstelle auf einem Parkplatz befindet, könnten dafür auch andere Ursachen in Frage kommen.

MTBE

Übrige organische Schadstoffe

In einer überwiegenden Anzahl der bisher entnommenen Proben wurden leicht erhöhte Herbizidgehalte nachgewiesen, welche meist nur wenig über den Bestimmungsgrenzen liegen. Es handelt sich dabei in erster Linie um die Substanzen Atrazin (rund 20 – 100 ng/l) und Simazin: (rund 20 - 200 ng/l). Untergeordnet treten auch Desythylatrazin (bis max. 200 ng/l) und Prometryn (bis rund 20 ng/l) auf. Die weiteren mit der Einzelstoffanalytik erfassten Substanzen (z.B. DDT) lagen alle unter der Bestimmungsgrenze. Generell lässt sich weder ein signifikanter Unterschied zwischen Nah- und Fernfeld noch ein systematisches Belastungsbild im Grundwasser erkennen (vgl. Abb. Abbildung 15). Die höchsten Gehalte werden i.d.R. bei dem Messstellen 21.P.003 (Nahfeld südlich Deponie) sowie 21.C.230 im Fernfeld nördlich der Gleisanlagen gemessen.

Herbizide



Phenol wurde in vereinzelt Messstellen (z.B. F5) nur in sehr geringen Konzentrationen deutlich unter 0.5 µg/l nachgewiesen (total 5 Stellen: F1, F2.2, F4, F5P2, 21.E.3). Alle übrigen untersuchten Phenol-Substanzen (wie z.B. Chlorphenole) blieben – abgesehen von sporadischen Einzelwerten - unter der Nachweisgrenze.

Phenole

Abgesehen von einzelnen Ausnahmen wurden in keiner der entnommenen Grundwasserproben erhöhte Gehalte von Einzelsubstanzen der Stoffgruppe PAK festgestellt (alle Resultate der Einzelsubstanzen unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze). Einzig bei der 1. Etappe TU lagen die Gehalte an Naphtalin, 1- bzw. 2-Methylnaphtalin in der Probe F5P2 nur wenig über der Bestimmungsgrenze, und in der Bohrung 21.C.231 (unbeeinflusstes Fernfeld) wurden etwas höhere PAK-Gehalte (Σ : 1.9 µg/l) gemessen. Schliesslich konnten auch in den neuen Bohrungen geringe Konzentrationen (F7, F8 und F9, jeweils unter 0.1 µg/l) festgestellt werden.

PAK

Aniline wurden in einzelnen Bohrungen meist an oder nur wenig über der Bestimmungsgrenze festgestellt (z.B. F4, F5, F3.1 bis rund 30 - 50 ng/l). Es dürfte sich dabei vermutlich um Labor- oder Probenahmeeffekte handeln, da gemäss Laborbericht RWB (Beilage 2) aus unerklärlichen Gründen erhöhte Feldblindwerte gemessen wurden. Einzig bei der Messstelle F8 wurden signifikant leicht höhere Werte ermittelt (ausser 2,4 + 2,5-Dichloranilin, welches einmalig bis rund 2.2 µg/l nachgewiesen wurde). Generell wurden sonst keine erhöhten Gehaltswerte gemessen.

Aniline

Bei den untersuchten Barbituraten wurde einzig Aprobarbital vereinzelt in Spuren <0.5 µg/l bei F3, F5 und F6, sowie bei F7 mit individuellem Ausreisser von 1.5 µg/l festgestellt (insgesamt 6 Nachweise von 41 Proben). Die Substanz Barbitital wurde in keiner Probe nachgewiesen.

Barbiturate

An einer ausgewählten Einzelprobe (F6, März 2006) wurden aromatische Sulfonate bestimmt. Fünf von den insgesamt 44 analysierten Einzelsubstanzen lagen dabei über der Bestimmungsgrenze (Naphthalin-1,5-disulfonat, Naphthalin-1,3,5-trisulfonat, Naphthalin-1,3,6-trisulfonat, 2-Aminonaphthalin-1,5-disulfonat, 2-Aminonaphthalin-4,8-disulfonat), wobei die Gesamtkonzentration rund 2.7 µg/l betrug (ca. ½ davon durch Naphthalin-1,5-disulfonat).

aromatische Sulfonate



5.7. Ergebnisse der Screenings

Vorbemerkungen

Neben der Einzelstoffanalytik, bei der gezielt die Konzentration von bestimmten Einzelsubstanzen ermittelt wird, wurden die Grundwasserproben beider Kampagnen (März und Juli 2006) zusätzlich mit einem "Screening" auf unbekannte organische Verbindungen mittels GC-MS analysiert. Bei diesem Verfahren wird die Probe mit einem halogenfreien Lösungsmittel extrahiert und anschliessend gaschromatografisch aufgetrennt. In den nachfolgenden Betrachtungen werden alle Verbindungen mit einer geschätzten Konzentration von mindestens ca. 0.15 µg/l berücksichtigt. Verbindungen mit einer mutmasslich geringeren Konzentration werden in die Betrachtungen nur dann einbezogen, wenn diese zusätzliche Informationen in Bezug auf mögliche Quellen geben können (z.B. Abbauprodukte von bereits identifizierten Substanzen, eindeutige Substanzen aus der chemischen Industrie).

Screening mittels GC-MS

Die Screening-Methode weist je nach Extraktions- und Detektionsverfahren unterschiedliche Empfindlichkeit bezüglich der Quantifizierung von detektierten Substanzen auf. Da im vorliegenden Fall das "Identifizieren" von neuen Substanzen im Vordergrund stand, sind die Konzentrationsangaben nur als *semiquantitative* Angaben zu verstehen. Dies insbesondere, weil für eine genaue Quantifizierung häufig keine entsprechenden Referenzsubstanzen erhältlich sind und dadurch stoffspezifische Responsfaktoren bei der gewählten Screening-Methode nicht bestimmt werden konnten (vgl. Prüfbericht RWB in Beilage B2).

semiquantitative Bestimmung

Die nachfolgende Abbildung 16 soll veranschaulichen, welche Stoffgruppen ungefähr mit der Screening-Methode grundsätzlich erfasst werden können. Zusammengefasst handelt es sich um leichtflüchtige und weitgehend eher unpolare Kohlenwasserstoffe.

Desweiteren ist zu betonen, dass die nachfolgende Aufbereitung, Zusammenfassung und Interpretation der Screening-Resultate in fachlicher Zusammenarbeit mit den involvierten Chemikern (RWB) erfolgte.

fachliche Auswertung

Untersuchungsergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle 21 sind die wichtigsten Resultate der Screenings zusammengestellt. Einerseits wird darin als Orientierungsgrösse die

Summe der tentativ identifizierten Einzelsubstanzen als auch die Anzahl der unbekannt Substanzen angegeben.

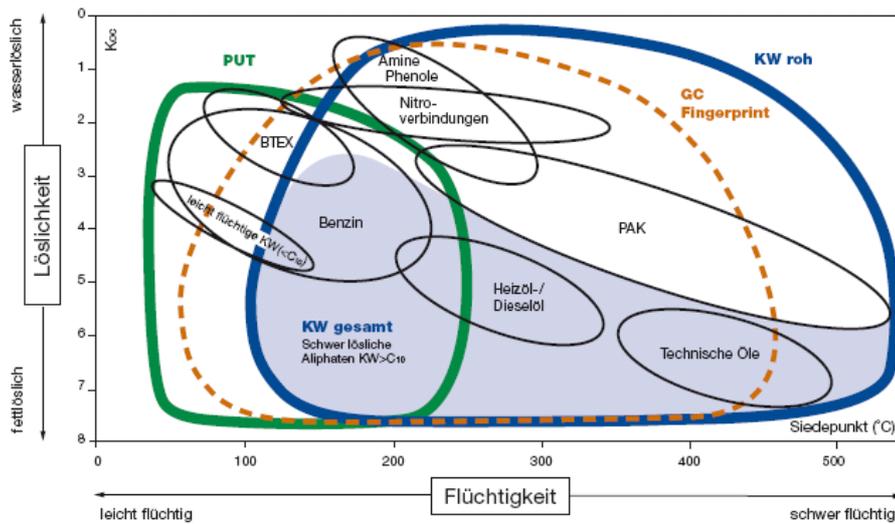


Abbildung 16: Screening-Methode (nach Prof. W. Giger, EAWAG, aus Dienstleistungsverzeichnis Bachema)
 PUT = Purge & Trap



Bemerkungen:

Die braune gestrichelte Linie entspricht ungefähr dem Bereich, welcher mit der Screening-Methode erfasst wird. Koc: Verteilungskoeffizient zwischen der organischen Phase und Wasser. Tiefe Werte bedeuten eine hohe Wasserlöslichkeit. Gut wasserlösliche Substanzen sind oft polar, gut fettlösliche dagegen unpolar

Aus den Screenings kann für die meisten Messstellen im Nahfeld generell eine organische Schadstoffbelastung in der Grössenordnung von rund 1 - 10 µg/l abgeleitet werden (total aller identifizierten Substanzen). Deutlich geringere Belastungen (<math>< 0.3 \mu\text{g/l}</math>) konnten nur bei den drei im NW der Deponie gelegenen Messstellen F1, F2.1 und F2.2 festgestellt werden. Es lassen sich allerdings auch deutliche Unterschiede zwischen beiden Kampagnen feststellen. Bei einigen Messstellen wurden bei der 2. Kampagne keine oder nur noch in geringem Ausmass Substanzen dedektiert (F3.1, F3.2, F4, F5P2, F5P5, F7, Brunnen Florin), während bei anderen Messstellen (F8, F9, C232) eine signifikant höhere organische Belastung ermittelt wurde (bis maximal rund 30 - 90 µg/l)¹⁹.

*organische
 Schadstoffbe-
 lastung*

Diese organische Belastung wird in der Regel bei jeder Probe durch wenige bis einige Einzelsubstanzen verursacht, deren jeweiligen Konzentrationen aber meist unter 1 µg/l liegen. Es handelt sich dabei in erster Linie um chlorierte Kohlenwasserstoffe (vor allem Hexachlorethan und Perchlorethen) und Al-

*detektierte
 Einzelsubstan-
 zen*

¹⁹ Diese Feststellung gilt auch für das Fernfeld (vgl. Tabelle 21).



kohole und untergeordnet um „pharma- und chemietypischen“ Substanzen, wie halogenierte Pyridine, chlorierte Butadiene, Aromatische Amine (Benzamine, Aniline), Schwefelaromate (Benzene), Barbiturate und Arzneimittelrückstände (z.B. Carbamazepin). Es lässt sich allerdings keine systematische Verteilung dieser Substanzen erkennen, da das Spektrum der Einzelsubstanzen recht vielfältig ist und auch die gleiche Substanz i.d.R. nur einmal pro Kampagne im ganzen Nahfeld nachgewiesen wurde (ausser CKW).

Tabelle 21: Zusammenstellung der Screening-Ergebnisse

Bohrung	U2K1 (März 2006)				U2K2 (Juli 2006)			
	Σ (a)	Identifizierte Stoffgruppe	Anz. unbek. Subst. (b)		Σ (a)	Identifizierte Stoffgruppe	Anz. unbek. Subst. (b)	
	[$\mu\text{g/l}$]	> 0.15 bis ca. 1	ca. < 1	ca. 1-5	[$\mu\text{g/l}$]	> 0.15 bis ca. 1	ca. < 1	ca. 1-5
Nahfeld								
F1		keine Verbindungen gefunden			<0.15	(Phenole)	-	-
F2.1		keine Verbindungen gefunden				Keine Verbindungen gefunden		
F2.2	<0.3	(CKW), (Chlorierte Butadiene)	-	-		Keine Verbindungen gefunden		
F3.1	2 - 10	Schwefelaromate, Triazine, CKW, Ketone, Herbizid, Chlorierte Butadiene, Triazine, CKW	5	-		Keine Verbindungen gefunden		
F3.2	2 - 10	CKW, Halog. Pyridine	3	1		Keine Verbindungen gefunden		
F4	5 - 20	A ¹⁾ , Alkohol, Arom. Amine, Triazine, Chlorphenol, Phosphorsäure, Alkohole, Etazin, B ²⁾	-	-	<0.15	(CKW)	-	-
F5P2	2 - 15	Ketone, CKW, <u>Alkohole</u>	-	-	-	-	-	-
F5P5	5 - 15	<u>CKW</u> , Chlorierte Butadiene	2	-		Keine Verbindungen gefunden		
F6	2 - 10	<u>CKW</u> , Schwefelaromate, Org. Phosphate, Ketone, CKW	2	-	5 - 15	<u>CKW</u> , Org. Phosphate, Arom. Amine	1	-
F7	1 - 2	Ketone, Alkohole	-	-		Keine Verbindungen gefunden		
F8	1 - 7	Sulfonamide, Arom. Amine	-	-	20 - 90	<u>CKW</u> , Halog. Pyridine, Arom. Amine, Keton; Schwefelaromate	4	12
F9	5 - 10	Triazine, Barbiturate, Schwefelaromat, <u>CKW</u> , Chlorierte Butadiene, Org. Phosphate, Triazine	2	-	10 - 30	<u>Alkohole</u> , <u>CKW</u> , Schwefelaromate, Triazine, Org. Phosphate, Duftstoffe	4	-
P.003	<0.5	Triazine	-	-	1 - 2	Triazine, Barbiturate	2	-
Florin	5 - 10	<u>CKW</u>	-	-		Keine Verbindungen gefunden		
E.025	1 - 7	<u>CKW</u> , Barbiturate, Herbizid	-	-	2 - 8	<u>CKW</u> , Barbiturate, Triazine	3	-
C232	< 0.6	(CKW, Arzneimittel)	-	-	2 - 7	<u>CKW</u> , Chlorierte Butadiene, Triazine, Herbizid	-	-

Fernfeld

F5P1	< 1.5	(Arom. Amine, Schwefelabbaurückstände, Carbamazepin)	7	-	< 1.5	CKW	1	-
F10	3 - 16	Alkohole, Ketone	-	-	1 - 2	Ketone	2	-
F11	< 1.5	Triazine	-	-	< 0.5	Triazine	-	-
C081	< 0.6	(Butadiene)	2	-	1 - 5	Keton, org. Phosphat	12	-
C230	1 - 3	Triazine	2	-	2 - 5	Ketone, Triazine, Herbizide, Polyarom. Strukturen	5	-
C231	1 - 6	Triazine	-	-	5 - 15	Coffein, Triazine	2	1
C236	< 0.6	Triazine	-	-	1 - 4	CKW, Triazine, Amid, Arom. Phosphine	2	-

SC + P

Unterstrichene Werte: rund 1 – 5 µg/l (mit den Screenings wurden praktisch keine Substanzen >5µg/l detektiert)

(...) Werte in Klammern: geschätzte Konzentrationen < 0.15 µg/l

(a) Größenordnung der Summe der tentativ identifizierten Einzelsubstanzen basierend auf dem im Bericht RWB angegebenen Wertebereich (der untere Wert entspricht der Summe der Minima und der obere Wert der Summe der Maxima; angegebene Werte gerundet)

(b) Detektierte Substanzen, welche mit <= 150 ng/l angegeben sind, wurden nicht berücksichtigt.

¹⁾ Substanz „A“ = 1H-ISOINDOLE-1,3(2H)-DIONE, 2-(HYDROXYMETHYL)-

²⁾ Substanz „B“ = 1,2-BENZENEDICARBOXYLIC ACID, DIHEPTYL ESTER

Gesamthaft betrachtet liegt also eine Vielzahl von verschiedenen, grösstenteils nur sporadisch und vereinzelt auftretenden „chemietypischen“ Substanzen im niedrigen Spurenbereich vor. Auch wenn kein einheitliches bzw. zeitlich konstantes Belastungsbild der Schadstoffspuren vorherrscht, ist dies doch ein klares Indiz für eine Beeinflussung des Grundwassers durch Abfälle der chemischen Industrie zu interpretieren.

klares Indiz

Neben diesen identifizierten Substanzen treten bei einigen Messstellen verschiedene nicht genau identifizierte Einzelsubstanzen auf (ca. 2 – 7 Einzelsubstanzen). Auch diese Substanzen sind meist in nur sehr geringen Konzentrationen deutlich unter 1 µg/l vorhanden (häufig < 0.3 µg/l). Eine grosse Ausnahme bildet die 2. Screening-Probe bei der Entnahmestelle F8, wo ein Dutzend unbekannter Substanzen mit Konzentrationen in der Größenordnung von rund 1 – 3 µg/l detektiert wurden (sowie 1x bei der 1. Kampagne bei F3.2, alle Substanzen < 5 µg/l). Dies ist durch einen höheren Anteil an Depoiesickerwasser zu erklären (vgl. Kap. 5.4). Abgesehen davon ist aber der Anteil an nicht genau identifizierte Einzelsubstanzen vergleichsweise gering und beträgt weniger als 5%.

nicht genau identifizierte Einzelsubstanzen

Im Fernfeld ist die aus den Screenings abgeleitete organische Belastung tendenziell etwas geringer (vor allem bei F11, C.236, F5P1). Dabei wurden überwiegend Pestizide (Triazine) detektiert, insbesondere bei C.231 auch in höheren Konzentrationen bis rund 1 - 5 µg/l. Daneben wurden bei der ersten Kampagne im Wesentlichen nur noch bei der Messstelle F10 weitere Substanzen nachgewiesen (Alkohole, Ketone). Demgegenüber waren dann aber bei der zweiten Kampagne auch in praktisch allen anderen Proben zusätzli-

Fernfeld

che Substanzen entdeckt worden, welche aber nicht direkt einer Deponiebeeinflussung zugeordnet werden können (ausser F5P1 = tiefe Entnahmestelle am Deponierand). Schliesslich wurden wiederum einige nicht genau identifizierte Einzelsubstanzen detektiert, und zwar alle ebenfalls in geringen Konzentrationen unter 1 µg/l (eine Ausnahme bei C.231).

Dieses Belastungsmuster im Fernfeld bestätigt den bereits mit der Einzelstoffanalytik aufgezeigten Befund, dass die Pestizid- und Herbizidbelastung höchstwahrscheinlich nicht von der Deponie verursacht ist (ebenso die Belastung durch Ketone).

*Pestizid- und
Herbizidbelastung*



5.8. **Analysenergebnisse der Belastungspumpversuche**

Untersuchungsumfang

Bei den fünf Entnahmestellen F3.1, F4, F9, E.25 und F11 wurden sog. Belastungs- bzw. Dauerpumpversuche durchgeführt, um in zeitlich versetzten Abständen Grundwasserproben entnehmen und analysieren zu können. Ziel dieser Untersuchungen war es abzuklären, ob sich die chemische Zusammensetzung bzw. die Schadstoffbelastung aufgrund der kontinuierlichen Vergrösserung des Entnahmebereiches mit zunehmender Pumpdauer verändert. Aufgrund der ersten Erkenntnis sowie aufgrund der geringen Durchlässigkeit bei den beiden anderen neuen Bohrungen F7 und F8 (vgl. Kap. 3.3.1) wurde nicht alle ursprünglich vorgesehenen Versuche ausgeführt. Die hydrogeologische Auswertung der Pumpversuche ist aus Kap. 3.3.2 zu entnehmen (vgl. auch Gangliniendarstellung in Anh. A7). Aufgrund der guten Übereinstimmung und der gemeinsamen Schlussfolgerungen werden nachfolgend die Ergebnisse der Analysenresultate für alle Versuche ausser F11 gemeinsam kommentiert.

Zielsetzung

Die Versuche wurden im März bzw. August 2006 durchgeführt und dauerten rund 3 Tage. Bei einer durchschnittlichen Pumpenleistung von rund 250 - 400 l/min wurden gesamthaft rund 1 -2 Mio Liter Grundwasser gepumpt. Der maximale Entnahmebereich beträgt dabei rund 50 -100 m (vgl. Kap. 3.3.2). Insgesamt wurden 5 - 8 Proben, zeitlich über den ganzen Versuch verteilt, entnommen (T0 bis T7; vgl. Tabelle 6), wobei neben der Bestimmung von organischen Summenparametern (DOC, AOX), leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen (LKW) und Pestiziden auch noch eine ausführlichere Bestimmung der gelösten anorganischen Hauptbestandteile durchgeführt wurde.

Untersuchungsprogramm

Der zeitliche Verlauf der wichtigsten Leitparameter ist jeweils in der untersten Grafik in Anh A7 oben veranschaulicht.

Belastungspumpversuche März 2006 (F3.1, F4, F9, 21.E.25)

Die Versuchsbrunnen F3.1, F4, F9 und E.21 liegen alle im südöstlichen Deponiebereich, wo sowohl die Gesamtmineralisation (gemessen an der elektr. Leitfähigkeit) als auch der CKW-Gehalt (rund 1 – 12 µg/l) mit zunehmender Distanz zur Deponie infolge Vermischung unterschiedlicher Wässer abnehmen (vgl. Kap. 3.2). Die Gesamtmineralisation, dargestellt am Salzgehalt (Sulfat, Chlorid, Nitrat), entwickelte sich bei den einzelnen Versuchen im Versuchsverlauf unterschiedlich. Während beim Versuch F3.1 eine kontinuierliche Abnahme festzustellen ist, steigt bei den anderen Versuchen (E.25, F4) die Gesamtmineralisation mehr oder weniger stark an oder sie bleibt unverändert (F9)²⁰. Mit zunehmender Pumpdauer verändern sich demzufolge die Mischungsverhältnisse, welche sich bis zum Versuchsende aber mehr oder weniger schnell wieder eingependelt haben. Wie die Analysenergebnisse nun zeigen, verändert sich durch das neue Mischungsverhältnis auch der CKW-Gehalt im gepumpten Grundwasser (vgl. Gangliniendarstellung in Anh. A7). Bei allen Versuchen nimmt z.B. der Per-Gehalt analog zur Gesamtmineralisation deutlich zu oder ab (rund 0.5 – 3.0 µg/l bzw. ca. 20 – 50%)

Gesamtmineralisation



Anhand der Grafik in Abbildung 17 können daraus drei unterschiedliche Mischungsendglieder erkannt werden, welche die beobachteten Veränderungen plausibel erklären vermögen. Die Versuche F3.1 und 21.E.25 beginnen ungefähr mit der gleichen Gesamtmineralisation und Per-Gehalt (aber unterschiedlichem Gehalt an Chloroform). Beim Versuch 21.E.25 kommt stärker mineralisiertes und Per-belastetes (sowie auch sauerstoffarmes) Deponiesickerwasser dazu („Typ NW“). Der Chloroformgehalt hingegen bleibt nahezu konstant. Bei Versuch F3.1 wird der Anteil an Rheinwasserinfiltrat erhöht, so dass entsprechend sowohl der Per- als auch der Chloroform-Gehalt deutlich abnehmen. Beim Versuch F9 ist bei ungefähr gleich bleibender Mineralisation eine Zunahme sowohl des Per- als auch des Chloroformgehaltes festzustellen. Schliesslich ist beim Versuch F4 die unterschiedliche Mischung von Deponiesickerwasseranteilen infolge der grösseren Entfernung zum Deponierand am wenigsten ausgeprägt, jedoch tendenziell immer noch zu erkennen (Zumischung von Deponiesickerwasser „Typ SE“).

Zumischung von Deponiesickerwasser

Ausser diesen typischen und deutlich erkennbaren Veränderungen in der Gesamtmineralisation und dem CKW-Gehalt können praktisch keine weiteren Veränderungen im Grundwasserchemismus festgestellt werden. Sämtliche übrigen Parameter (BTEX, Schwermetalle, soweit sie analysiert wurden, bleiben während der Versuche mehr oder weniger unverändert oder sind nur geringen Veränderungen unterworfen (z.B. DOC-Gehalt, i.d.R. < 1 mg/l). Einzig der Gehalt an Pestiziden (z.B. Simazin, Desethylatrazin bei 21.E.25) und ein-

Grundwasserchemismus

²⁰ Dies steht im Einklang mit der Ganglinie der elektrischen Leitfähigkeit (vgl. Kap.3.3.2)



zelter PAK-Einzelsubstanzen (z.B. Naphtalin bei F9) sind vereinzelt signifikanten Veränderungen unterworfen (Zu- oder Abnahme von ca. 20 – 40%), ohne dass daraus aber weitere grundlegende Erkenntnisse abgeleitet werden könnten.

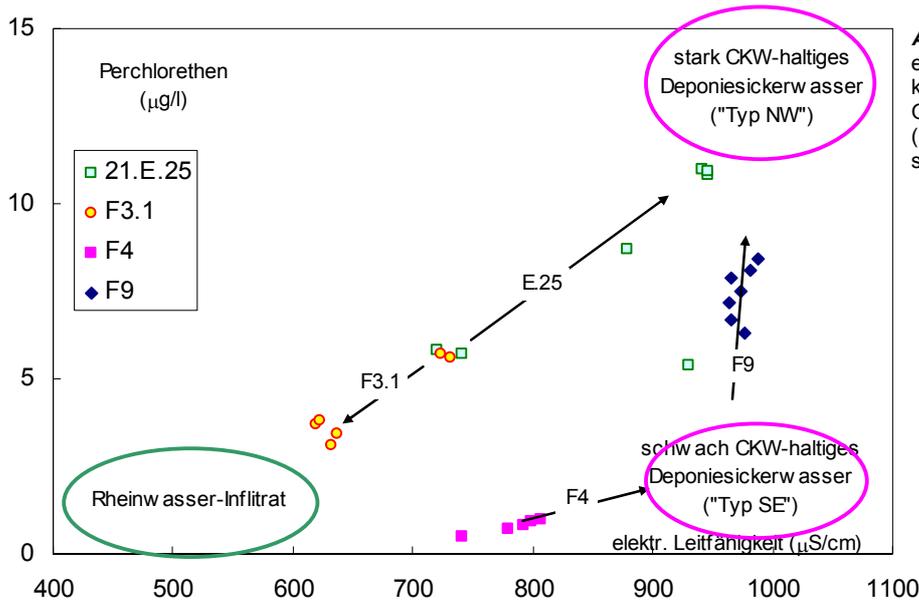


Abbildung 17: elektrische Leitfähigkeit vs Perchlorethen-Gehalt (Belastungspumpversuche März 2006)

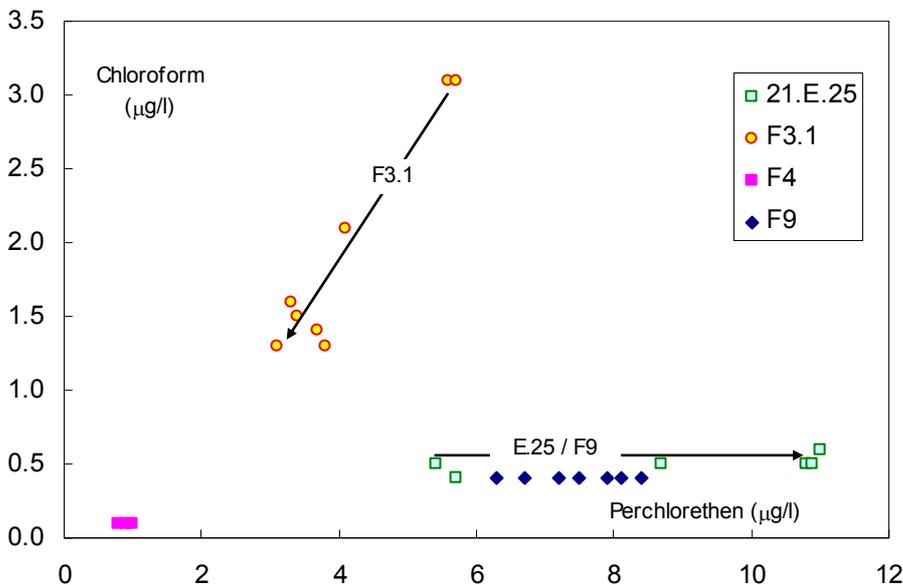


Abbildung 18: Perchlorethen vs Chloroform (Belastungspumpversuche März 2006)

Belastungspumpversuche August 2006 (F11)

Beim Belastungspumpversuch F11 im August 2006 ergaben sich grundsätzlich vergleichbare Erkenntnisse wie aus den vorangegangenen Versuchen. Hier sind aber insgesamt nur geringe Veränderungen sowohl in der Gesamtmineralisation als auch bezüglich der CKW-Gehalte festzustellen. Einzig der AOX-Gehalt „springt“ in der Versuchsmitte von rund 10 auf 20 µg/l, was aber mit den vorhandenen Analysenresultaten nicht speziell begründet werden kann.

*vergleichbare
Erkenntnisse*

Screenings

Auch die Screening-Resultate der entnommenen Einzelproben (T0 bis T7, vgl. Tabelle 6) bestätigen grundsätzlich, dass während der Versuche keine wesentlichen Veränderungen festzustellen sind. Die Summe aller detektierten Substanzen liegt bei allen Proben in der gleichen Grössenordnung von rund 2 - 10 µg/l. Es wurden auch in allen Proben praktisch die gleichen Substanzen wie bei den Probenahmen vom März und Juli 2006 festgestellt. Im Wesentlichen handelt es sich u.a. um „chemietypische“ Substanzen wie chlorierte Butadiene (F3.1), Barbiturate (alle Bohrungen), aromatische Amine (F3.1, E.25), Schwefelaromate (F3.2) halogenierte Pyridine (alle Bohrungen) sowie zahlreiche nicht identifizierte Substanzen, welche i.d.R. nur in einer niedrigen Konzentration unter 1 µg/l vorliegen.

*keine wesentlichen
Veränderungen*

Leicht höhere Werte bis rund 3 µg/l wurden nur bei CKW oder Pestiziden ermittelt. Einzelne Substanzen treten während des ganzen Versuchsverlaufs nur einmal, andere wiederum in gleich bleibender oder leicht variierender Konzentration auf. Insgesamt können aber im Versuchsverlauf praktisch keine signifikanten oder systematischen Konzentrationszu- oder abnahmen einzelner Substanzen erkannt werden.

*keine Konzentrationszu-
oder abnahmen*

Fazit

Zusammenfassend betrachtet konnte mit den Belastungspumpversuchen grundsätzlich ein grösserer Entnahmebereich erreicht werden, so dass sich die Mischungsanteile (bzw. der Zustrombereich) zur Entnahmestelle vergrösserten (vgl. Kap. 3.3.2). Die wesentlichen Veränderungen beschränken sich aber auf eine Zu- oder Abnahme der Gesamtmineralisation und des CKW-Gehaltes. Dies kann durch einen unterschiedlichen Anteil an Deponiesickerwasser bzw. eine Verdünnung durch Rheinwasserinfiltrat plausibel begründet werden. Die entnommenen Proben liegen z.B. nahe an den Endgliedern dieser Mischung, so dass somit auch bei den ordentlichen Probenahmen (März und Juli 2006) eine repräsentative Probenahme gewährleistet ist.

Zusammenfassung



5.9. Zusammenfassende Folgerungen

Aufgrund der oben beschriebenen Verhältnisse können die wesentlichen Analyseergebnisse insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

- Im Nahfeld der Deponie Feldreben ist eine Deponiebeeinflussung zu erkennen, welche hauptsächlich zu einer Aufmineralisierung des Grundwassers führt und sich im Wesentlichen durch erhöhte Hydrogenkarbonat-, Sulfat- und Nitratgehalte im Grundwasser bemerkbar macht²¹. Stellenweise sind auch erhöhte Ammonium- und Nitritgehalte festzustellen. *anorganische Deponiebeeinflussung*
- Die hohen Nitratgehalte und die gemessenen Sauerstoffwerte deuten darauf hin, dass abgesehen von lokalen Ausnahmen überwiegend *aerobe* Verhältnisse im Deponiebereich vorliegen. *aerobe Verhältnisse*
- Im nördlichen Deponiebereich findet eine Zu-/Vermischung mit Rheinwasserinfiltrat statt, so dass sich im jahreszeitlichen Verlauf z.T. unterschiedliche Belastungen des Grundwassers durch Nitrat bzw. Ammonium und Nitrit ergeben (sowie auch der organischen Belastung). *Zu-/Vermischung mit Rheinwasserinfiltrat*
- Die Schwermetallgehalte liegen meist unter 1 µg/l. Relevante Toleranz- oder Grenzwerte für Trinkwasser/Grundwasser werden nirgends auch nur annähernd erreicht. Die Gehalte für Antimon, Cadmium und Quecksilber liegen im ng/l-Bereich. *Schwermetallgehalte*
- Bezüglich der organischen Schadstoffbelastung lässt sich vor allem im nördlichen und westlichen Nahbereich der Deponie eine Belastung des Grundwassers mit chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW) nachweisen, im Wesentlichen hervorgerufen durch Per- und Trichlorethen sowie Hexachlorethan. Das besonders problematische Vinylchlorid ist nirgends nachweisbar (<0.1µg/l). Die festgestellte Schadstoffverteilung im Grundwasser deckt sich recht gut mit der „zentralen Belastungszone“ im Deponiekörper (vgl. Kap. 4.6), welche u.a. eine hohe Schadstoffbelastung mit CKW aufzeigt. Ein direkter Zusammenhang mit der Deponie ist deshalb klar gegeben. *Belastung des Grundwassers mit chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW)*
- Neben der Hauptbelastung durch CKW ist die organische Deponiebeeinflussung im Nahfeld auch durch weitere, meist aber nur vereinzelt und in sehr niedrigen Konzentrationen unter 1 µg/l auftretende organische Schadstoffe belegt, welche für Abfälle aus der Pharma- und Chemiein- *„chemietypische“ Substanzen*

²¹ Diese Aufmineralisierung ist auch durch Isotopenmessungen belegt [7]. Grundsätzlich wäre auch eine natürliche unterirdische Auslaugung von Gips aus dem Gipskeuper oder der Anhydritgruppe denkbar, welche theoretisch auch zu einer ähnlichen Aufmineralisierung führen würde. Es sprechen aber neben den Isotopenmessungen insbesondere auch die z.T. hohen Nitratgehalte gegen eine solche natürliche Aufmineralisierung.



dustrie typisch sind (sowohl in der Einzelstoffanalytik als mit den Screenings). Es handelt sich dabei um eine Vielzahl von verschiedenen „chemietypischen“ Stoffgruppen wie BTEX, halogenierte Pyridine, chlorierte Butadiene, Aromatische Amine (Benzamine, Aniline), Schwefelaromate (Benzole), Barbiturate und Arzneimittelrückstände (z.B. Carbamazepin). Allerdings ist der Anteil im Vergleich zur anorganischen Belastung gering, da auch die Gesamtsumme der nachgewiesenen Einzelsubstanzen abgesehen von einzelnen Ausnahmen meist nicht grösser als ca. 5- 10 µg/l ist.

- Im Nahfeld ist ausserdem eine Belastung durch Herbizide und Pestizide (Triazine) im Spurenbereich nachweisbar. Allerdings weist das Belastungsmuster eher darauf hin, dass die Pestizid- und Herbizidbelastung höchstwahrscheinlich nicht von der Deponie verursacht ist.
- Mit den Belastungspumpversuchen konnte eine Ver- bzw. Zumischung von Deponiesickerwasser ins Grundwasser aufgezeigt werden. Die Versuche zeigen aber auch, dass sich mit zunehmender Reichweite des Entnahmebereiches keine grundlegenden Veränderungen im Grundwasserchemismus ergeben und daher das im Abstrombereich der Deponie Feldreben auftretende Grundwasser mit dem bestehenden Messstellennetz repräsentativ erfasst ist.

*Pestizid- und
Herbizidbelas-
tung*

*Belastungs-
pumpversuche*





6. Beurteilung der Altlastensituation

6.1. Repräsentativität der Untersuchungsergebnisse

Die neuen Untersuchungsergebnisse bekräftigen und untermauern die bisherigen Vermutungen und Erkenntnisse der 1. Etappe TU praktisch vollumfänglich. Im Wesentlichen können die damaligen Schlussfolgerungen bekräftigt und nun im Detail genauer umschrieben werden.

*Bestätigung
der bisherigen
Erkenntnisse*

Mit den nun gesamthaft vorliegenden Untersuchungsergebnissen sind ausreichende Grundlagen zur abschliessenden Beurteilung der Deponie Feldreben im Rahmen der Altlastenvoruntersuchung vorhanden. Die Untersuchungsergebnisse können in zeitlicher, örtlicher und quantitativer Hinsicht als repräsentativ und umfassend betrachtet werden. Dies lässt sich im Wesentlichen wie folgt begründen:

*ausreichende
Grundlagen*

- 1) Mit dem vorliegenden Beprobungsnetz ist gewährleistet, dass der massgebende Abstrombereich, in welchem sich eine Deponiebeeinflussung bemerkbar macht, ausreichend beprobt wurde. Die vorhandenen Entnahmestellen liegen distanzmässig nicht weiter als je ca. 100 m voneinander entfernt, so dass das von der Deponie Feldreben (allseitig) abströmende Grundwasser vollständig und ausreichend beprobt werden konnte. Ausserdem haben die Belastungspumpversuche gezeigt, dass sich der Chemismus auch bei längerer Pumpdauer nur geringfügig verändert²².
- 2) Die bisher 6 durchgeführten Grundwasser-Untersuchungskampagnen erfolgten bei unterschiedlichem Grundwasserstand. Wenngleich dabei keine saisonale Schwankungen und kein offensichtlicher Zusammenhang mit dem Grundwasserstand vorliegen, so konnte damit doch das auftretende Schadstoffspektrum mehr oder weniger vollständig erfasst werden.
- 3) Das Analysenprogramm umfasst ein grosses Einzelstoff-Spektrum, welches einerseits alle in der AltIV aufgeführten Parameter erfasst und andererseits auch zusätzliche deponietypische Stoffe enthält (z.B. Barbiturate). Desweiteren ist mit den Screenings eine Bestimmung oder Identifikation weiterer Substanzen möglich (u.a. „chemietypische“ Substanzen). Zwar können aus methodischen Gründen nicht alle nachgewiesenen Substanzen eindeutig identifiziert werden, es kann damit aber doch die Grössenordnung der Schadstoffbelastung ausreichend abgeschätzt werden.

Entnahmestellen

Untersuchungskampagnen

Analysenprogramm

²² Bei Versuchsende reichte der Entnahmebereich zur nächsten Bohrung und es war eine analoge Grundwasserbelastung festzustellen (belegt durch vergleichbare CKW-Konzentration)

6.2. Umweltbeeinflussung durch die Deponie Feldreben

6.2.1. Ausmass der Schadstoffbelastung im Grundwasser

Im Nahfeld der Deponie ist die Gesamtmineralisation im Vergleich zu unbeeinflussten Grundwasser signifikant erhöht. Hervorgerufen wird dies durch eine anorganische Schadstoffbelastung, erkennbar am erhöhten Salzgehalt (Hydrogenkarbonat-, Sulfat- und Nitratgehalte). Da es sich dabei auch um natürliche gelöste Bestandteile handelt, existieren in der AltIV keine entsprechenden Konzentrationswerte. Zum Teil überschreiten aber die Nitratgehalte den Grenzwert für Trinkwasser gemäss GSchV von 40 mg/l. Bei einzelnen Messstellen wurden zudem auch erhöhte Nitrit- und Ammonium-Gehalte festgestellt, welche über den halben AltIV-Konzentrationswerten liegen (vgl. Tabelle 22). Bezüglich der Schwermetallbelastung zeigt sich insgesamt ein günstiges Bild, indem praktisch alle untersuchten Schwermetalle überwiegend im Spurenbereich weit unter 1 µg/l vorliegen. Bei einigen Messstellen konnten deutlich erhöhte Eisen- und Zink-Gehalte festgestellt werden, welche aber auf Kontaminationen durch verzinkte Rohre zurückzuführen sind.

*Anorganische
Schadstoffbe-
lastung*

Bezüglich der organischen Schadstoffbelastung konnten in den meisten Messstellen im Nahfeld der Deponie Feldreben deutlich erhöhte Gehalte an chlorierten Kohlenwasserstoffe (CKW) nachgewiesen werden (Per-, Trichlorethen, Hexachlorethan und deren Abbauprodukte, Hauptbelastung im Norden und Westen der Deponie). Bei knapp der Hälfte davon liegen die durchschnittlichen Gehaltswerte über den halben AltIV-Konzentrationswerten (vgl. Tab. 22). Desweiterm lassen sich ein Vielzahl von „pharma- und chemietypischen“ Substanzen (z.B. BTEX, halogenierte Pyridine, chlorierte Butadiene, Aromatische Amine, Schwefelaromate, Barbiturate und Arzneimittelrückstände) in geringen Konzentrationen nachweisen, welche eine eindeutige Beeinflussung des Grundwassers durch Abfälle der chemischen Industrie aus der Deponie Feldreben belegen. Darüberhinaus wurden praktisch überall geringe Konzentrationen an Herbiziden und Pestiziden gemessen (meist unter 0.1 µg/l), welche aber vermutlich nicht oder nur teilweise im Zusammenhang mit der Deponie Feldreben stehen.

*Organische
Schadstoffbe-
lastung*

6.2.2. Vergleich mit Richt- und Konzentrationswerten AltIV

Grundwasser

Um die Deponiebeeinflussung besser aufzeigen und realistisch beurteilen zu können, sind in der Tabelle 22 alle im "deponiebeeinflussten" Grundwasser (Nahfeld) signifikant erhöhten Schadstoffkonzentrationen zusammengestellt. Darin werden die Minimal-, die Mittelwerte und auch die Maximalwerte aller Analysenresultate einerseits den Indikatorwerten für unbeeinflusstes Grundwasser [19] und andererseits den Konzentrationswerten der Altlastenverord-

*vorhandene
Deponiebeein-
flussung*





nung gegenübergestellt. Der Vergleich mit den Indikatorwerten wurde vor allem auch deshalb gewählt, um die anorganische Belastung des Grundwassers aufzeigen und organische Summenparameter (DOC, AOX) in eine Relation zu unbeeinflusstem Grundwasser setzen zu können, da in der AltIV diesbezügliche keine Konzentrationswerte vorhanden sind.

Massgebend für die Beurteilung sind dabei vor allem die Mittelwerte, welche ein charakteristisches Bild der Schadstoffbelastung vermitteln, während es sich bei den z.T. hohen Maximalwerten um einzelne Extremmessungen handelt, die nicht repräsentativ sind und meist auch durch besondere Umstände verursacht wurden (z.B. verzinkte Eisenrohre, natürliche reduzierende Verhältnisse in subartesisch gespanntem Grundwasser, Schöpfprobe).

*Mittelwerte
massgebend*

Wie aus der Tabelle 22 hervorgeht, resultieren über den ganzen Abstrombereich (Nahfeld) gesehen bezüglich der Mittelwerte keine Überschreitungen der AltIV-Konzentrationswerte (bzw. $\frac{1}{2}$ -Werte). Im Vergleich zu den Indikatorwerten ist aber klar eine eindeutige anorganische Belastung (Sulfat, Bromid) und organische Belastung (AOX, CKW) erkennbar. Insgesamt lassen sich aber bei den Maximalwerten z.T. deutliche Überschreitungen feststellen, und zwar beim Nitrit, Ammonium, Fluorid, Zink sowie Per- und Trichlorethen. Bei den ersten drei Parametern (Nitrit, Ammonium, Fluorid) handelt es sich um nicht repräsentative Einzelwerte bei der Messstelle F5P2 und beim Zink eindeutig um eine probenahmebedingte Kontamination (21.E.25).

Überschreitungen der AltIV-Konzentrationswerte

Demgegenüber ist die Situation bei den beiden CKW-Substanzen völlig anders, indem sich hier eine systematische Verteilung rund um die Deponie erkennen lässt (vgl. auch Anh. A6d). Zwar liegen über den gesamten Abstrombereich gesehen die Mittelwerte einzelner CKW-Substanzen noch knapp unter dem ($\frac{1}{2}$) AltIV-Konzentrationswert. Bei differenzierter Betrachtung der einzelnen Messstellen sind aber zahlreiche Überschreitungen nicht nur bei den Maximal- sondern auch bei den Mittelwerten festzustellen (vgl. unten).

CKW

Bezüglich der Schwermetalle sowie anderer organischer (nicht in der Tab. 21 dargestellten) Substanzen, wie Aniline, Phenole, PAK und BTEX sind sowohl gegenüber den Indikatorwerten als auch AltIV-Konzentrationswerten keine signifikanten Überschreitungen vorhanden.

Schwermetalle und weitere organische Schadstoffe



Tabelle 22: Vergleich mit Indikatorwerten und AltIV-Konzentrationswerte

Schadstoffbelastung Nahfeld		Schwankungsbereich			Indikatorwerte ^{d)}	Konz. wert AltIV
		min.	mittel	max.		
Sauerstoffsättigung	mg/l	0.2	6.1	8.7	<2	
Anorganische Belastung						
Sulfate	mg/l	21.1	102	880	40	
Chloride	mg/l	10.1	27.7	150	40	
Nitrate	mg/l	0.03	29.2	188	25	
Nitrite	mg/l	<0.002	0.01**	4.3		0.1
Ammonium	mg/l	<0.002	0.02	0.251		0.5
Freies Cyanid	µg/l	<10	<10	10	25	50
Fluorid	mg/l	<0.2	<0.2	0.9	0.5	1.5
Bromide	µg/l	12	116	1828	(rund 100)	
Schwermetalle und Elemente						
Bor	µg/l	2.7	53	359	(rund 150)	
Antimon	µg/l	<0.02	0.15	1.4	5 ^{c)}	10
Arsen	µg/l	<0.1	0.7	13	5	50
Kobalt	µg/l	<0.02	0.5	3.5		2'000
Kupfer	µg/l	<0.02	0.4	4.4	2	1'500
Nickel	µg/l	0.13	1.7	10	5	700
Zink	µg/l	<2	10.7 ^{b)}	20'000 ^{b)}	5	5'000
Organische Belastung						
DOC	mg/l	0.2	0.9	5.3	2	
AOX	µg Cl / l	<10	18.7	240	10	
Perchlorethen ^{a)}	µg/l	<0.1	15.1	90	1	40
Trichlorethen ^{a)}	µg/l	<0.1	4.2	120	1	70
cis-1,2-Dichlorethen ^{a)}	µg/l	<0.1	1.4	21	1	50
trans-1,2-Dichlorethen ^{a)}	µg/l	<0.1	0.2	4.9	1	50
Hexachlorethan ^{a)}	µg/l	<0.05	4.3	61	1	
Atrazin	ng/l	<10	48.5	209	100	
Simazin	ng/l	<10	31.8	111	100	
Desethylatrazin	ng/l	<20	57.3	216	100	
Prometryn	ng/l	<10	<10	19	100	
Benzol	µg/l	<0.2	<0.2	0.4		10
Toluol	µg/l	<0.1	<0.1	0.1		7'000
m- + p-Xylol	µg/l	<0.2	<0.2	0.4		10'000
o-Xylol	µg/l	<0.1	<0.1	0.1		10'000
MTBE	µg/l	<2	<2	5	2	200
Alkane (C5 – C10)	µg/l	<50	<50	<50		2'000

- = keine Überschreitung der Indikator- oder Konzentrationswerte
- = erhöhte Konzentration bzw. Überschreitung der Indikatorwerte)
- = Überschreitung des Konzentrationswertes AltIV

(fett = ganzer, kursiv = halber Wert überschritten. (Gemäss Art. 9, Abs. 2b der AltIV sind zur Beurteilung der Sanierungsbedürftigkeit die halben Konzentrationswerte massgebend)

- a) vgl. Detailauswertung in Tabelle 23
- b) Extremwerte nicht berücksichtigt (hohe Werte durch verzinkte Probenahmerohre hervorgerufen)
- c) Orientierungsgrösse, hergeleitet vom entsprechenden Wert für Arsen von 5 µg/l
- d) Indikatorwerte: Wegleitung Grundwasserschutz, BUWAL 2004 (vom Menschen nicht oder wenig beeinflusstes Grundwasser)



Bei den Screenings wurden darüber hinaus noch vereinzelt organische Schadstoffe in Spuren von meist deutlich weniger als 1 µg/l festgestellt, welche aus der Deponie bzw. aus Abfällen der chemischen Industrie stammen (im Wesentlichen halogenierte Pyridine, chlorierte Butadiene, Aromatische Amine, Schwefelaromate, Barbiturate und Arzneimittelrückstände). Entsprechende Vergleichswerte existieren in der AltIV aber nicht.

Screenings

In der Tabelle 23 sind die Mittelwerte der massgebenden CKW-Einzelsubstanzen für jede Messstelle einzeln aufgeführt. Daraus ist zu erkennen, dass bei den meisten Messstellen im westlichen und nördlichen Randbereich der Deponie der 1/2-AltIV-Konzentrationswert von Perchlorethen überschritten wird. Ebenfalls höhere Konzentrationsmittelwerte über 5 µg/l lassen sich beim Trichlorethen und Hexachlorethan im nördlichen Bereich nahe des Brunnens Florin feststellen.

CKW-Einzelsubstanzen

Tabelle 23: CKW-Konzentrationen (Nahfeld) und AltIV-Konzentrationswerte

Berechnete Mittelwerte [µg/l]	Westlicher und nördlicher Randbereich (sortiert von SW nach NE)										
	F8	F1	F6	F2.2	F2.1	F5P2	F5P4 F5P5	Florin	C232	F3.2	F3.1
Perchlorethen	1.7	22.3	24.5	40.7	16.9	2.0	31.7	24.1	4.0	43.9	9.6
Trichlorethen	(63)*	1.4	1.4	1.0	0.8	0.8	10.8	5.6	0.3	5.9	4.3
trans-1,2-Dichlorethen	0.7	<0.1	0.0	<0.1	<0.1	0.0	1.4	0.2	<0.1	0.5	<0.1
cis-1,2-Dichlorethen	4.4	0.1	0.3	0.5	0.3	0.3	7.7	3.0	<0.1	2.5	0.7
Chloroform	1.5	0.7	0.9	0.5	0.3	<0.1	0.5	0.3	<0.2	1.3	3.6
Hexachlorbutadien	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Hexachlorethan	<0.05	<0.05	0.7	4.0	0.6	1.8	25.8	23.2	0.3	<0.05	<0.05
Vinylchlorid	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Berechnete Mittelwerte [µg/l]	Südöstlicher Randbereich				
	E.25	F4	F9	P.003	F7
Perchlorethen	2.4	0.28	7.0	2.2	2.8
Trichlorethen	0.6	<0.1	5.6	0.3	1.5
trans-1,2-Dichlorethen	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1
cis-1,2-Dichlorethen	<0.1	<0.1	0.2	0.2	<0.1
Chloroform	0.2	<0.1	0.5	0.0	<0.2
Hexachlorbutadien	<0.1	<0.1	<0.1	0.0	<0.1
Hexachlorethan	<0.05	<0.05	<0.05	0.0	<0.05
Vinylchlorid	<0.1	<0.1	<0.1	0.0	<0.1

AltIV-Konz.wert
40
70
50
50
40
0.1

* hoher Mittelwert aufgrund eines einzelnen Extremwertes von nur insgesamt 2 Analysenresultaten

- = keine Überschreitung der AltIV-Konzentrationswerte bzw. < 5 µg/l
- = erhöhte Konzentration (> 5 µg/l)
- = Überschreitung des 1/2-Konzentrationswertes AltIV

Perchlorethen

Zusammenfassend betrachtet, ergibt sich also „nur“ im westlichen und nördlichen Abstrombereich beim Perchlorethen eine eindeutige und klare Überschreitung der AltIV-Konzentrationswerte. Dieses Muster der Schadstoffvertei-



lung im Grundwasser steht sowohl mit dem Deponieinhalt (vgl. Kap. 4.6.2) als auch den Sickerpfaden im ungesättigten Bereich im Schotter unter der Deponie (vgl. Kap. 3.2.2 sowie Anh. 4a) im Einklang. Bei allen übrigen Substanzen liegen keine Überschreitungen vor oder es sind keine entsprechenden Vergleichswerte vorhanden.

Bodenluft

Die aus der Grundwasserbeeinflussung resultierende altlastenrechtliche Beurteilung kann ebenfalls durch Art. 11 (Luftverunreinigungen) bekräftigt werden. In Tabelle 24 sind die in der Bodenluft ermittelten Messwerte (vgl. Kap. 4.3) den geltenden AltIV-Konzentrationswerten gegenüber gestellt. Eine Überschreitung der Konzentrationswerte bedeutet ebenfalls eine Sanierungsbedürftigkeit, wenn die vom Standort ausgehenden Emissionen an Orte gelangen, wo sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten können.

Art. 11 AltIV

Tabelle 24 : Bodenluft (Feldreben), Vergleich mit AltIV-Konzentrationswerten

Parameter (Angaben in ml/m ³)	Schwankungsbereich			AltIV-Konzentrationswert
	min	mittel	max	
Benzol	0.06	3.1	13.2	1
Toluol	0.13	1.0	3.9	50
Ethylbenzol	0.09	1.57	7.3	100
m-.p-Xylol	0.23	13.5	68.8	100
Chloroform	0.006	0.2	0.7	
Vinylchlorid	<0.04	41	272	2
1.1-Dichlorethen	<0.005	1.0	4.5	2
1.2-cis-Dichlorethen	0.8	133	1'178	
1.2-trans-Dichlorethen	<0.0125	8	54	
Trichlorethen	0.01	33	244	50
Perchlorethen	2	202	996	50

= keine Überschreitung der AltIV-Konzentrationswerte
 = Überschreitung des Konzentrationswertes AltIV

Es lässt sich also auch in der Bodenluft eine Überschreitung der AltIV-Konzentrationswerte beim CKW feststellen. Davon betroffen ist neben dem Per- und Trichlorethen auch weitere CKW's (vor allem Vinylchlorid und 1.2-cis-Dichlorethen) sowie auch Benzol. Die Mittelwerte überschreiten die AltIV-Konzentrationswerte dabei sogar um ein Vielfaches (Faktor 3 – 20-fach).

CKW und Benzol

Einschränkend dazu ist allerdings zu erwähnen, dass in der Raumluft keine erhöhten Konzentrationen nachgewiesen wurden (vgl. 1. Etappe TU [7]) und daher eine unmittelbare Gefährdung nicht besteht.

Einschränkungen

6.3. Emissionsverhalten

Das Grundwasser im Nahfeld der Deponie Feldreben zeichnet sich durch eine erhöhte Gesamtmineralisation aus, hervorgerufen durch vergleichsweise höhere Hydrogenkarbonat-, Sulfat- und Nitratgehalte. Diese Tatsache sowie stellenweise auch erhöhte Ammonium- und Nitritgehalte werden durch Sickerwasser aus der Deponie Feldreben verursacht. Es handelt sich dabei weitgehend um eine Beeinflussung als Folge von "natürlichen" Abbauprozessen von eingelagertem Bauschutt und organischem Material. Unter anderem auch durch Isotopenmessungen ist belegt, dass im unmittelbaren Nahfeld der Deponie im Grundwasser mikrobiologische Abbauprozesse unter aeroben Bedingungen stattfinden, die zu einer Nitrifizierung und Karbonatisierung der gelösten Bestandteile im Grundwasser führen.

Aufmineralisierung

Das Schadstoffspektrum (und -ausmass) und die Isotopenmessungen weisen grundsätzlich auch darauf hin, dass die wesentlichen Abbauprozesse bereits weitgehend fortgeschritten sind. Dabei werden ammoniumhaltige Sickerwässer zu Nitrat oxidiert, so dass dadurch der Nitratgehalt im Nahbereich der Deponie im Vergleich zur "landwirtschaftlich bedingten Grundlast" leicht erhöht ist. Als Folge einer Methanoxidation entstehen im Nahbereich der Deponie CO₂-haltige Sickerwässer, welche ihrerseits zu einer Karbonatlösung und damit - neben dem Sulfat - zu einer deutlichen Aufmineralisierung des Grundwassers beitragen. Mit Hilfe der durchgeführten Untersuchungen lassen sich allerdings keine allzu grossen jahreszeitlichen bzw. grundwasserstandsbedingten Unterschiede feststellen.

Abbauprozesse weitgehend fortgeschritten

Neben der dominierenden Aufmineralisierung des Grundwassers wird durch austretendes Deponiesickerwasser auch eine organische Schadstoffbelastung im Grundwasser verursacht. Es handelt sich dabei in erster Linie um eine deutlich erhöhte CKW-Belastung durch die Substanzen Per-, Trichlorethen und Hexachlorethan. Untergeordnet sind aber auch „pharma- und chemietypische“ Substanzen im Spurenbereich nachweisbar.

CKW-Belastung

Aufgrund der komplexen hydrogeologischen Situation ist der Abstrombereich allseitig rund um die Deponie Feldreben verteilt zu lokalisieren. Einerseits liegt die Deponie Feldreben im Bereich einer Mischungszone von aus Süden zuströmendem HMK-Grundwasser und von Nordosten zufließendem Rheinwasserinfiltrat, so dass das Grundwasser nicht nur rein dem Isohypsenbild entsprechend fliesst sondern auch im Aquifer selber stark unterschiedlich verlaufen dürfte²³. Dies wird noch durch den Pumpbetrieb Florin verstärkt, indem ein grosser Anteil des Deponiesickerwassers diesem zufließt. Andererseits

Abstrombereich

²³ Dies ist u.a. aufgrund der sehr flachen Gefällsverhältnisse im Bereich der Deponie Feldreben möglich.





kommt ein „allseitiger“ Abstrombereich auch dadurch zustande, dass die Sickerpfade in der ungesättigten Zone im Niederterrassenschotter direkt unterhalb der Deponie gegenläufig zu den generellen Fliessrichtungen im HMK-Grundwasser verlaufen. Schliesslich führen auch die unterschiedlichen Durchlässigkeitsverhältnisse an der Basis der Schotteruntergrenze zu einem heterogenen und somit lokal unterschiedlichen Eintrag von Deponiesickerwasser ins Grundwasser.

6.4. Beurteilung nach Altlastenverordnung

Die Untersuchungsergebnisse belegen neben einer altlastenrechtlich unkritischen Aufmineralisierung in erster Linie eine eindeutige CKW-Belastung des Grundwassers durch Deponiesickerwasser aus der Deponie Feldreben. Hauptsächlich betroffen davon ist der westliche und nördliche Abstrombereich mit generell deutlich erhöhten Per-, Trichlorethen und Hexachlorethan-Gehalten.

*CKW-
Belastung*

Aus den Screening-Resultaten können zudem untergeordnet Sickerwasseranteile, welche aus Abfällen der chemischen Industrie stammen, abgeleitet werden (halogenierte Pyridine, chlorierte Butadiene, aromatische Amine, Aniline), Schwefelaromate, Barbiturate und Arzneimittelrückstände). Quantitativ betrachtet, handelt es sich dabei aber aufgrund der geringen Konzentrationen im Spurenbereich allerdings um einen sehr geringen Einfluss, aus welchem sich im heutigen Kenntnisstand keine Hinweise auf eine unmittelbare Gefährdung des Schutzgutes Grundwasser ergeben.

*Sickerwasser-
anteile aus
Abfällen der
chemischen
Industrie*

Demgegenüber kann die Herkunft der Pestizid-Belastung im Grundwasser aus der Deponie weder bestätigt noch restlos dementiert werden. Allerdings liegen die festgestellten Konzentrationen in der Grössenordnung der üblichen Hintergrundbelastung im Hauptmuschelkalk-Grundwasser.

*Herkunft Pesti-
zide*

Die erhöhten CKW-Konzentrationen im Abstrombereich und die organischen Spurenverunreinigungen aus Abfällen der chemischen Industrie werden erwiesenermassen durch Beeinflussung des Grundwassers durch Deponiesickerwasser verursacht. Deshalb kommen wir im vorliegenden Fall zum Schluss, dass die Deponie Feldreben im heutigen Kenntnisstand gemäss Art. 9 der AltIV aufgrund der nachgewiesenen CKW-Belastungen auf Stufe Voruntersuchung als sanierungsbedürftiger belasteter Standort einzustufen ist²⁴.

*sanierungsbe-
dürftiger Stand-
ort*

²⁴ Art. 9, AltIV: Ein belasteter Standort ist hinsichtlich des Schutzes des Grundwassers sanierungsbedürftig, wenn bei Grundwasser im Gewässerschutzbereich A_u: im Abstrombereich unmittelbar beim Standort die Konzentration von Stoffen, die vom Standort stammen, die Hälfte eines Konzentrationswerts nach Anhang 1 überschreitet.

Die Deponie besitzt aufgrund ihres Deponieinhaltes grundsätzlich ein grosses Auswaschungs- und Freisetzungspotential. Im heutigen Zeitpunkt sind ausser den CKW-Belastungen aber nur marginale Schadstoffspuren im Grundwasser festzustellen. Auch verursacht die heutige Situation (insbesondere der Grundwassernutzung im ganzen Grundwassergebiet) weder eine akute Grundwassergefährdung noch allfällige Nutzungseinschränkungen. Allerdings können unter künftigen Bedingungen die Rahmenbedingungen ändern, so dass es letztlich im Rahmen der parallel laufenden Gefährdungsabschätzung um die Beurteilung und Einschätzung künftiger Risiken geht (Risikobeurteilung).

*Gefährdungs-
abschätzung*



7. Schlussbetrachtungen

Durch den Markierversuch [6] ist belegt, dass das mit Deponiesickerwasser belastete Grundwasser zu einem grossen Teil durch den Pumpbetrieb Florin abgepumpt wird. Untergeordnet findet ein Abfliessen nach Süden bzw. anschliessend nach Südosten in Richtung zu den Brauchwasserfassungen Schweizerhalle statt. Desweiteren ist auch zu einem geringen Anteil ein Abströmen nach Nordwesten anzunehmen (z.B. belegt durch die CKW-Nachweis in der Bohrung F11 und C.236). Bisher bestehen aber keine Indizien dafür, dass aus der Deponie Feldreben austretendes Sickerwasser bis zu den Trinkwasserfassungen in der Hard (einschliesslich Fassung Obere Hard der Gemeinde Muttenz) gelangt. Ein solches Szenario kann zwar nicht mit absoluter (100%-iger) Sicherheit ausgeschlossen werden (denkbar wäre theoretisch, dass ein Zufluss von HMK-Grundwasser an der Basis des Aquifers nach Nordosten strömt). Dies ist aber sehr unwahrscheinlich und wenn, dann nur zu einem vernachlässigbaren Anteil von schätzungsweise weniger als 1%. Anders ausgedrückt besteht eine 99%-ige Sicherheit, dass ein Abströmen zu den Trinkwasserfassungen Hard im heutigen Zustand ausgeschlossen werden kann.

*Weitere
Abstromrich-
tung*

Die hydrogeologischen Verhältnisse sowie die Belastungssituation sowohl im Deponiekörper als auch im Grundwasser konnten mit den zusätzlich ausgeführten Untersuchungen (Grundwasserbohrungen im Abstrombereich, Deponieinhalt) ausreichend erkundet werden. Es besteht ein klares Bild der Zusammenhänge über die vom Deponiekörper ausgehenden Emissionen ins Grundwasser. Aufgrund der komplexen hydrogeologischen Verhältnisse kann aber nicht jedes kleinste Detail eruiert und prognostiziert werden. Insbesondere lassen sich die Eintrittsstellen von Deponiesickerwasser ins Grundwasser nicht genauer lokalisieren. Dank des dichten Messnetzes im Abstrombereich ist aber sichergestellt, dass alle relevanten Deponiebeeinflussungen erfasst und zumindest in der Grössenordnung auch quantifiziert wurden.

Kenntnisstand

Die Notwendigkeit, Ziele und Dringlichkeit einer Sanierung sind dabei im Rahmen der parallel laufenden Gefährdungsabschätzung zu beurteilen.

*Gefährdungs-
abschätzung*

Bis zur definitiven Entscheidung und Umsetzung einer Sanierung sollten die laufende Grundwasserüberwachung (qualitativ und quantitativ) weitergeführt werden. Dazu ist das Überwachungsprogramm der Dringlichkeit der Sanierungsmaßnahmen entsprechend anzupassen.

*Grundwasser-
überwachung*



Olten, 24.9.2007

Sachbearbeiter:

Dr. P. Hartmann, Geologe CHGeol^{cert}

SC+P Sieber Cassina + Partner AG

Grundlagen (Auswahl)

- [1] Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1067 Arlesheim, 1984.
- [2] Hydrogeologische Synthese des Rheintals zwischen Ergolz und Birs, Bericht des Geologischen Instituts Dr. Schmassmann AG vom 19.10.1990
- [3] Deponien Feldreben, Margelacker und Rothausstrasse in MuttENZ. Historische Untersuchung und Ist-Zustandsaufnahme des Grundwassers. Zusammenfassender Bericht des Projektteams auf der Basis des Berichtes des Geotechnischen Institutes vom 25.1.2002, datiert vom 29.1.2002
- [4] Qualitätssicherungskonzept: Analyse von organischen Verbindungen in Oberflächen- und Grundwasser sowie Sickerwasser aus Böden. Prof. Dr. Michael Oehme. Mai 2003
- [5] Lenkungsgremium Untersuchung Deponien MuttENZ, Deponie Feldreben, Technische Untersuchung, Gesamtkonzept und Pflichtenheft 1. Etappe, Bericht des Geotechnischen Institutes vom 16.5.2003
- [6] Deponie Feldreben, MuttENZ/BL. Schlussbericht Markiersversuch vom April/Mai 2004. Bericht Sieber Cassina + Partner AG vom 1.12.2004
- [7] Deponie Feldreben, MuttENZ/BL. Schlussbericht Technische Untersuchung, 1. Etappe. SC+P AG, Bericht Sieber Cassina + Partner AG vom 31.1.2005
- [8] Lenkungsgremium Untersuchung Deponien MuttENZ, Deponie Feldreben, Pflichtenheft 2. Etappe TU. Bericht des Geotechnischen Institutes vom 9.9.2005.
- [9] Lenkungsgremium Untersuchung Deponien MuttENZ, Deponie Feldreben, Pflichtenheft Untersuchung Deponieinhalt. Bericht des Geotechnischen Institutes vom 22.11.2005.
- [10] Technische Untersuchung der Deponien mit Chemieabfällen in MuttENZ. Resultate der 1. Untersuchungsetappe. Stellungnahme des Amtes für Umweltschutz und Energie vom 3.5.2005
- [11] Deponie Feldreben. Technische Untersuchung 2. Etappe TU: Form und Umfang des Schlussberichtes Sieber Cassina + Partner AG. Aktennotiz Geotechnisches Institut vom 15.11.2006
- [12] Deponien MuttENZ. Überwachung des Grundwassermessnetzes. 2. Zwischenbericht über die Messergebnisse von Dezember 2005 bis Dezember 2006. Bericht Sieber Cassina + Partner AG vom 26.2.2007
- [13] Prüfbericht Labor RWB Februar 2007
- [14] Technische Untersuchung (2. Etappe) der Deponie Feldreben 4132 MuttENZ (CH); Bericht Nr. 05147-M vom 08.05.2007, Geolog GmbH Braunschweig

Gesetze, Verordnungen und Richtlinien (Auswahl)

- [15] Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV) vom 26. August 1998
- [16] Technische Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990 (**TVA**), SR 814.600.
- [17] Altlastenkonzept für die Schweiz, BUWAL-Schriftreihe Umwelt Nr. 220, 1994
- [18] BUWAL-Vollzugshilfe: Probenahme von Grundwasser bei belasteten Standorten
- [19] BUWAL-Vollzugshilfe: Wegleitung Grundwasserschutz. 2004
- [20] Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998
- [21] Verordnung über den Schutz der Gewässer vor wassergefährdenden Flüssigkeiten (VWF) vom 1. Juli 1998, SR-Nr. 814.202
- [22] Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) vom 1. Juli 1998
- [23] Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie), BUWAL 1999
- [24] Richtlinie für die Durchführung von Eluattests nach Altlastenverordnung, BUWAL 2000



Deponie Feldreben, Muttenz
Technische Untersuchung, 2. Etappe

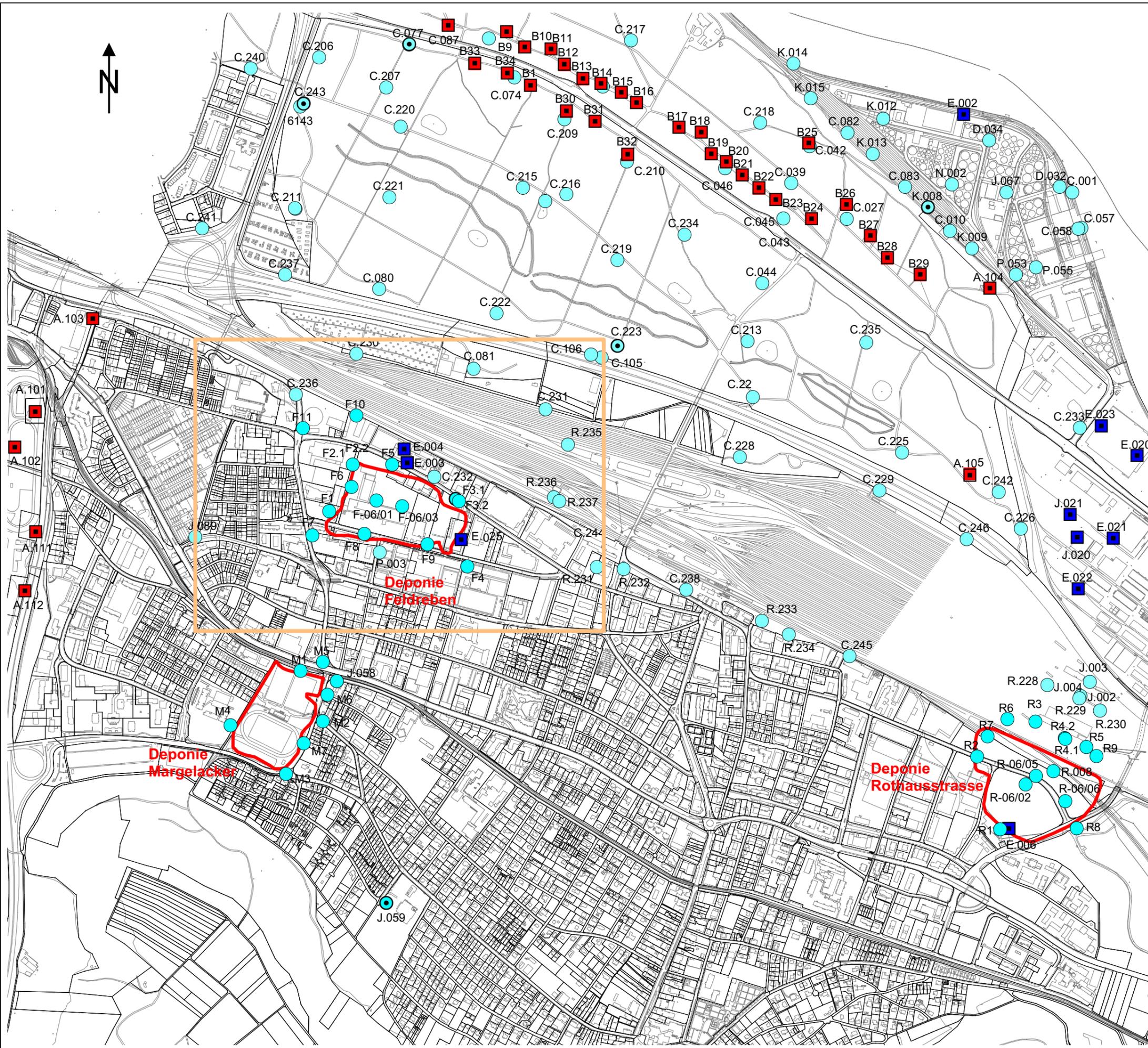
Situation 1:10'000

Überblick, Deponien und Lage der Bohrungen und Messstellen

SO966_F_A1_Übersicht_V1.dsf V1 A3 17.9.2007 Da

Legende:

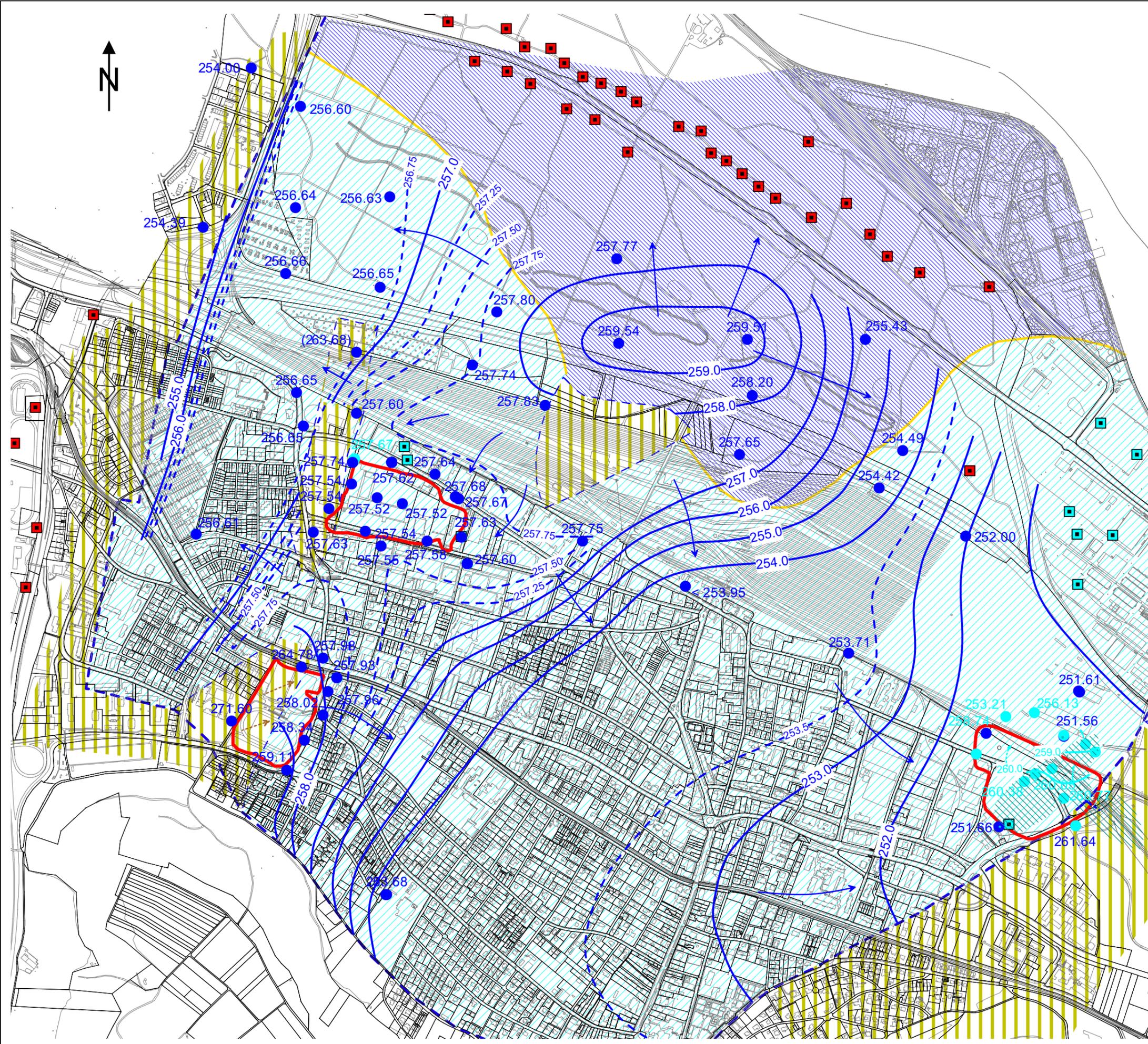
-  Deponieperimeter
-  Untersuchungsgebiet Feldreben
-  Trinkwasserfassung
-  Brauchwasserfassung
-  Sondierbohrungen / Messstellen



Deponie Feldreben, Muttenz
Technische Untersuchung, 2. Etappe

Situation 1:10'000
Lage des Grundwasserspiegels
am 18.12.2006

SO966_F_A2a_Gruwaka.dsf V1 A3 17.09.2007 PS, Da



Legende:

- Deponieperimeter
- Messstelle tieferes Grundwasserstockwerk mit Grundwasserstand am 18.12.2006
245.94
- Messstelle höheres Grundwasserstockwerk mit Grundwasserstand am 18.12.2006
245.94
- Brauchwasserfassung
- Trinkwasserfassung
- Rand des nutzbaren Grundwassergebietes
- Grundwasser im Lockergestein (Schotter)
- Höheres Grundwasserstockwerk (Schotter)
- Grundwasser im Hauptmuschelkalk (HMK)
- Gebiet ohne Hauptmuschelkalk-Grundwasser
- Grundwasserisohypse im Hauptaquifer mit Fließrichtung
257.0
- Grundwasserisohypse höheres Stockwerk mit Fließrichtung
260.0
- Gefälle der Felsoberfläche

Deponie Feldreben, MuttENZ
Technische Untersuchung, 2. Etappe

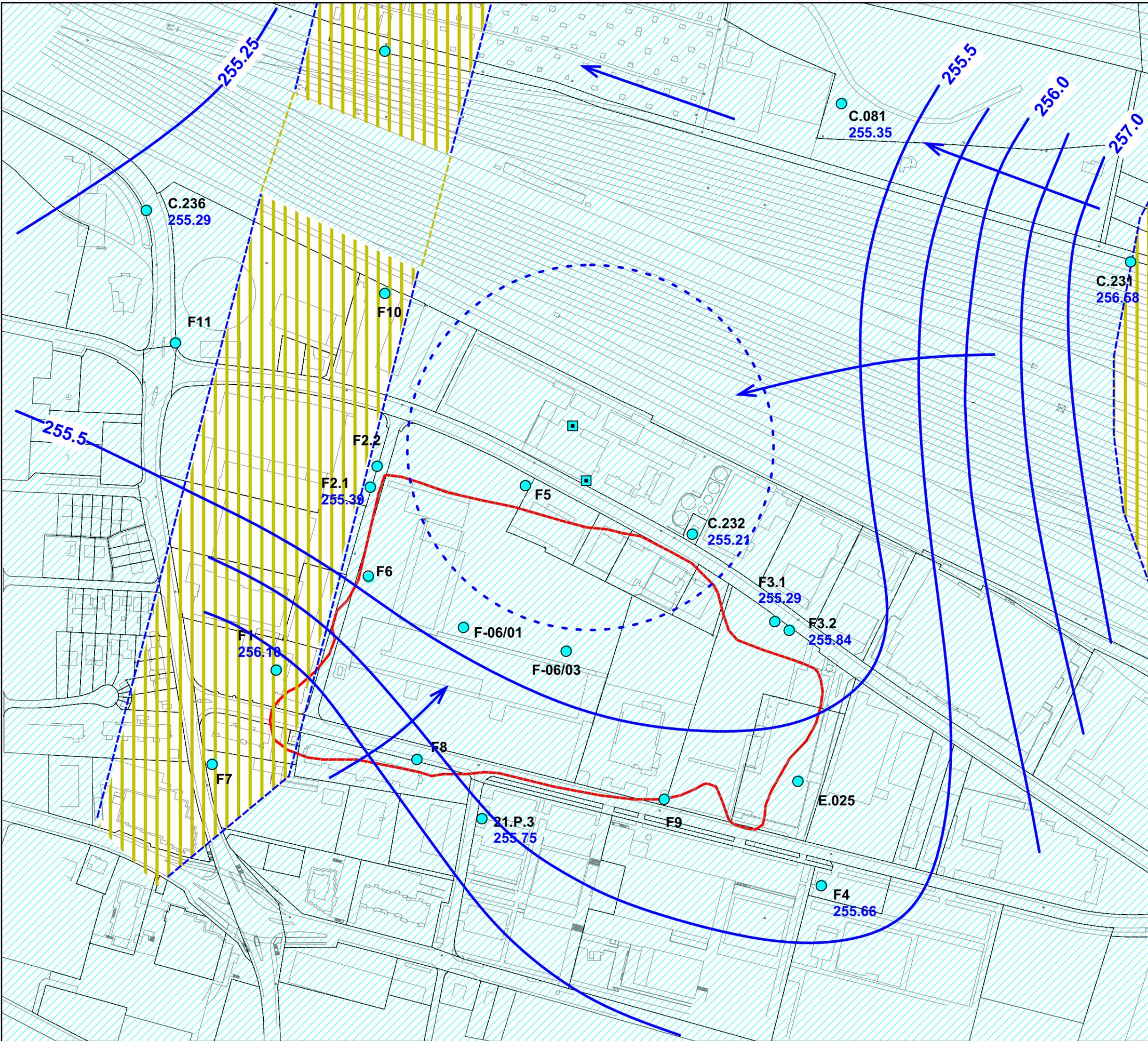
Situation 1:2'500

**Isohypondarstellung des
Grundwasserspiegels am 18.09.2006
Tiefer Grundwasserstand**

SO966_F_A2_GW.dsf V1 A3 17.09.2007 PS, Da

Legende:

-  Deponieperimeter
-  Messstelle mit Name und Kote
F2.1
255.75 Grundwasserspiegel (m ü.M.)
-  Isohyphen des Grundwasserspiegels
-  Fließrichtung des Grundwassers
-  Grundwasser im Hauptmuschelkalk (HMK)
-  Gebiet ohne Hauptmuschelkalk-Grundwasser



Deponie Feldreben, MuttENZ
Technische Untersuchung, 2. Etappe

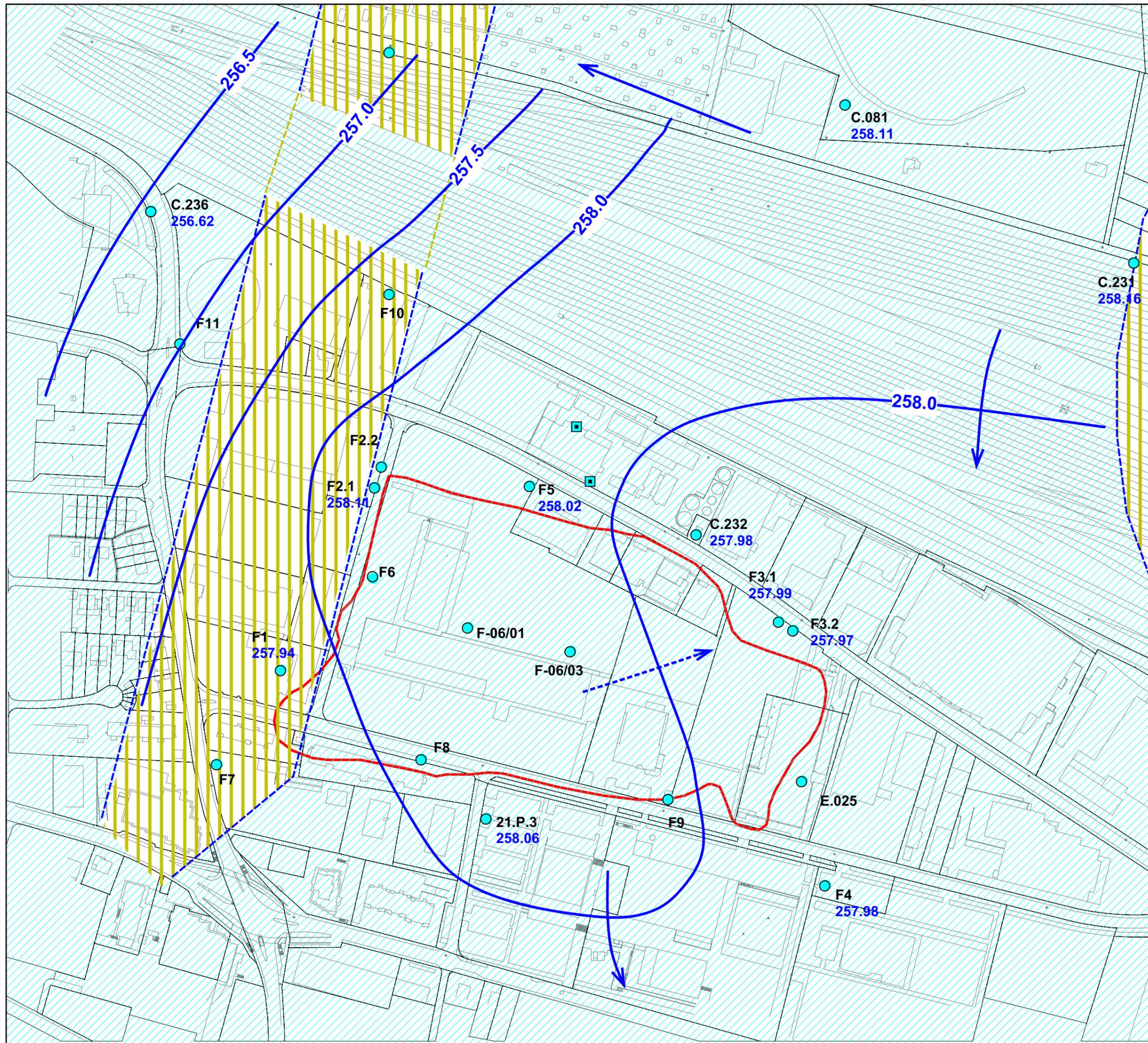
Situation 1:2'500

Isohypsendarstellung des
Grundwasserspiegels am 16.10.2006
Hoher Grundwasserstand

SO966_F_A2_GW.dsf V1 A3 17.09.2007 PS, Da

Legende:

- Deponieperimeter
- Messstelle mit Name und Kote
F2.1
255.75 Grundwasserspiegel (m ü.M.)
- Isohypsen des Grundwasserspiegels
- Fließrichtung des Grundwassers
- Grundwasser im Hauptmuschelkalk (HMK)
- Gebiet ohne Hauptmuschelkalk-Grundwasser



Deponie Feldreben, MuttENZ
Technische Untersuchung, 2. Etappe

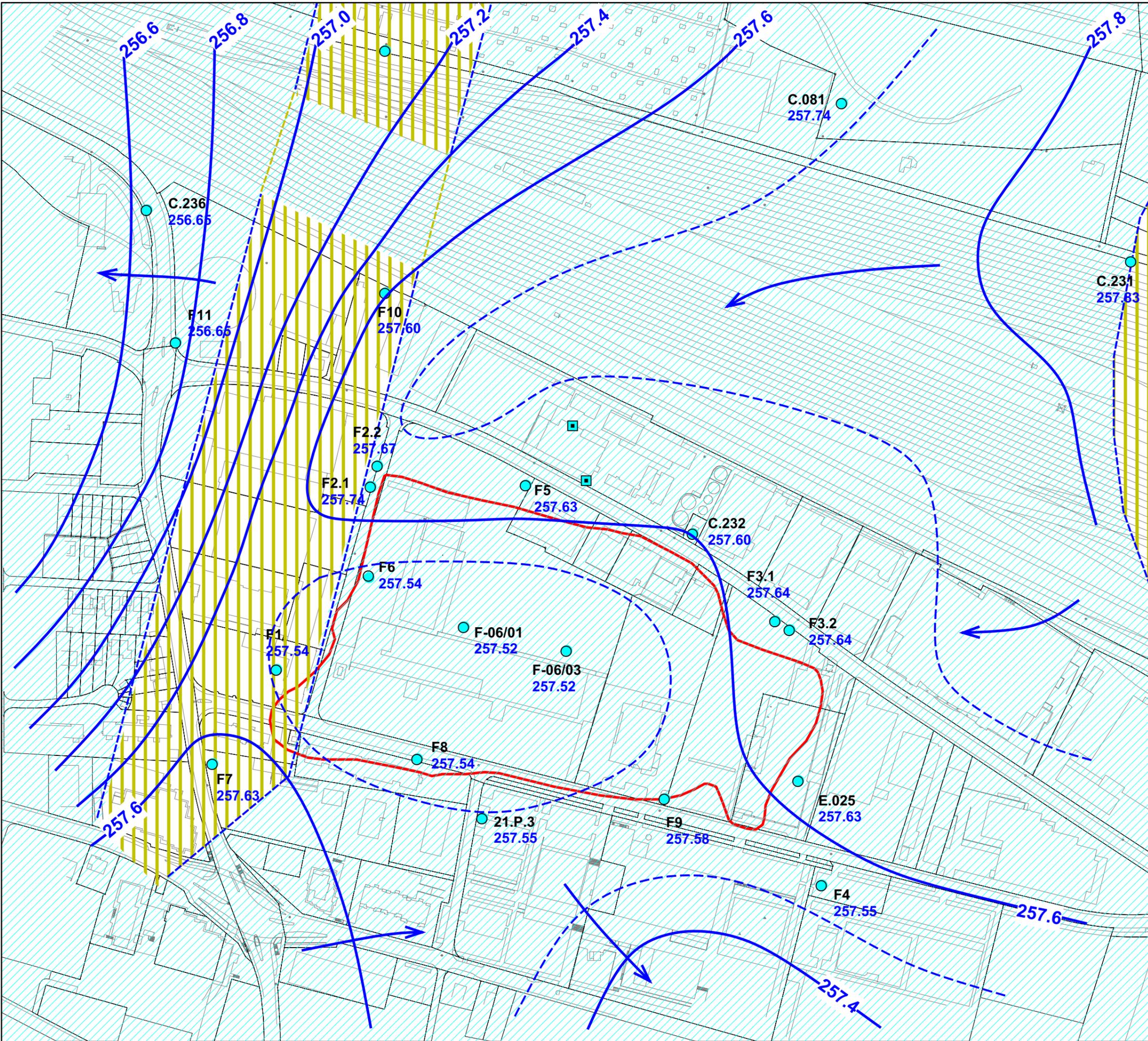
Situation 1:2'500

Isohypondarstellung des Grundwasserspiegels am 18.12.2006
Mittlerer Grundwasserstand

SO966_F_A2_GW.dsf V1 A3 17.09.2007 PS, Da

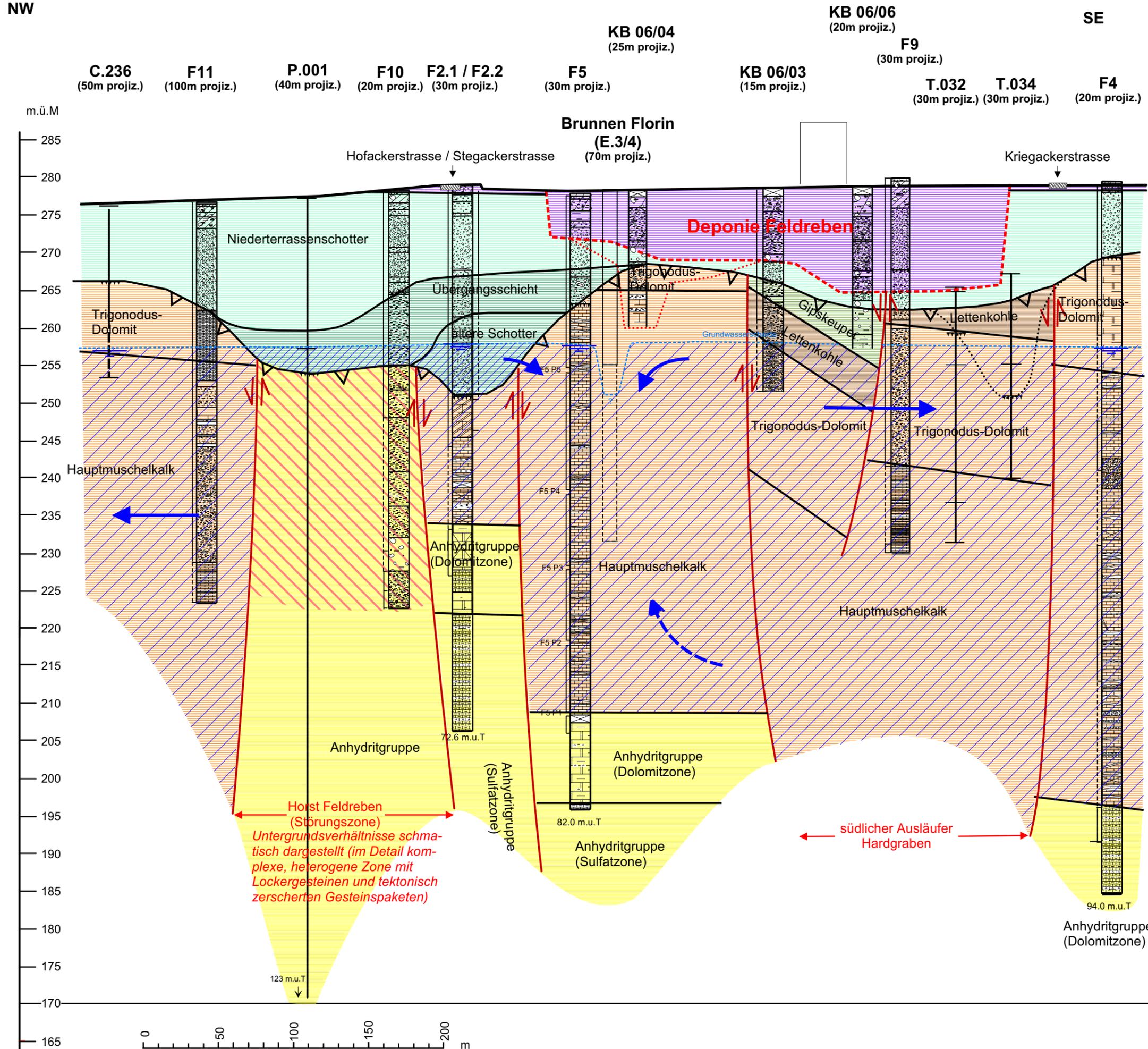
Legende:

-  Deponieperimeter
-  Messstelle mit Name und Kote Grundwasserspiegel (m ü.M.)
-  Isohyphen des Grundwasserspiegels
-  Fließrichtung des Grundwassers
-  Grundwasser im Hauptmuschelkalk (HMK)
-  Gebiet ohne Hauptmuschelkalk-Grundwasser



Hydrogeologisches Profil (NW - SE)
"Deponieprofil"
 1:2'500 / 1:500
 (5-fach überhöht)

SO966_F_A3_geol_Schnitte_V3.dsf V2 A3 17.09.2007 Da

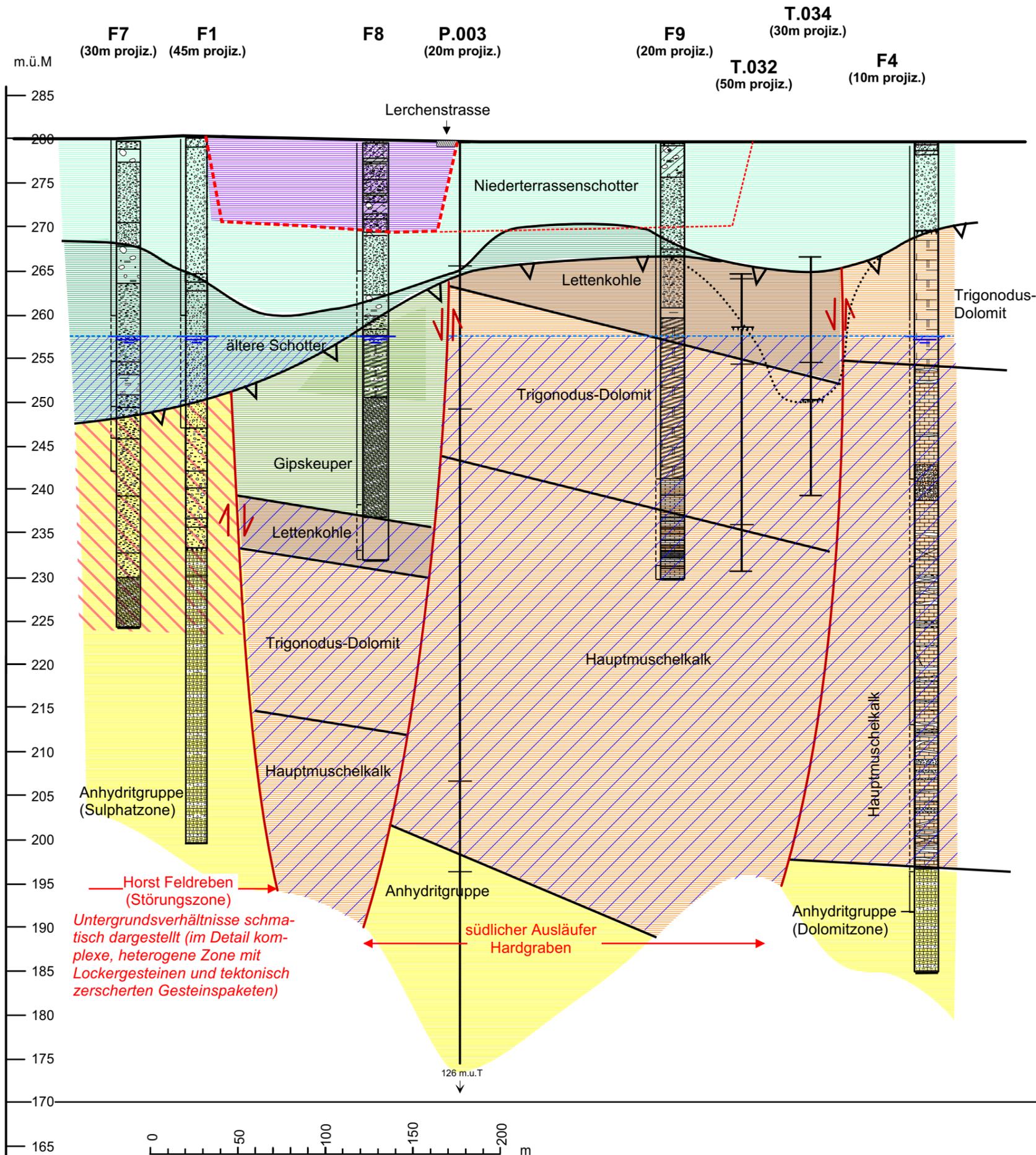


- Legende:**
- Lockergesteine**
- künstliche Auffüllungen, Deopniematerial
 - Niederterrassenschotter
 - Übergangsschicht / ältere Schotter
- Felsgesteine**
- Gipskeuper
 - Lettenkohle
 - Hauptmuschelkalk / Trigonodus-Dolomit
 - Anhydritgruppe (Dolomitzone / Sulfatzone)
- Stark tektonisierte Zone (schematisch)
- Subvertikale Verwerfung
- Grundwasserspiegel bei Mittelwasserstand
- Grundwasserspiegel am 18.12.2006
- Subartesisch gespanntes Grundwasser
- Felsgrundwasser (Hauptmuschelkalk)
- Lockergesteinsgrundwasser
- Fließrichtung des Felsgrundwassers

Deponie Feldreben, Muttenz
Technische Untersuchung, 2. Etappe

**Geologisches Profil
(entlang Kriegackerstr. W - E)
1:2'500 / 1:500
(5-fach überhöht)**

SO966_F_A3_geol_Schnitte_V3.dsf V2 A3 17.09.2007 Da



Legende:

Lockergesteine

- künstliche Auffüllungen, Deopniematerial
- Niederterrassenschotter
- Übergangsschicht / ältere Schotter

Felsgesteine

- Felsoberfläche
- Gipskeuper
- Lettenkohle
- Hauptmuschelkalk / Trigonodus-Dolomit
- Anhydritgruppe (Dolomitzone / Sulphatzone)
- Stark tektonisierte Zone (schematisch)

- Subvertikale Verwerfung
- Grundwasserspiegel bei Mittelwasserstand
- Grundwasserspiegel am 18.12.2006
- Subartesisch gespanntes Grundwasser
- Felsgrundwasser (Hauptmuschelkalk)
- Lockergesteinsgrundwasser
- Fließrichtung des Felsgrundwassers

Deponie Feldreben, MuttENZ
Technische Untersuchung, 2. Etappe

**Situation 1:2'500,
Darstellung der geologischen
Verhältnisse**

**Lage der Kiesuntergrenze
(i.d.R. Niederterrassenschotter)**

SO966_F_A4ab_Felsisos_UK_NTS_V2.dsf | V1 | A3 | 17.9.2007 | Da



-  Deponieperimeter
-  Profilspur (vgl. Anhang A3)
-  F10 258.7 Sondierungen mit Lage der Schotter-Untergrenze (m ü.M.)
-  260 Isohypsen der Kiesuntergrenze (m ü.M.)
-  Gefälle der Schotteruntergrenze
-  Kiesunterlage aus schlecht durchlässigem Material (i.d.R. Gipskeuper, lehmige Übergangsschicht)
-  Früherer Felsabbau

Deponie Feldreben, MuttENZ
Technische Untersuchung, 2. Etappe

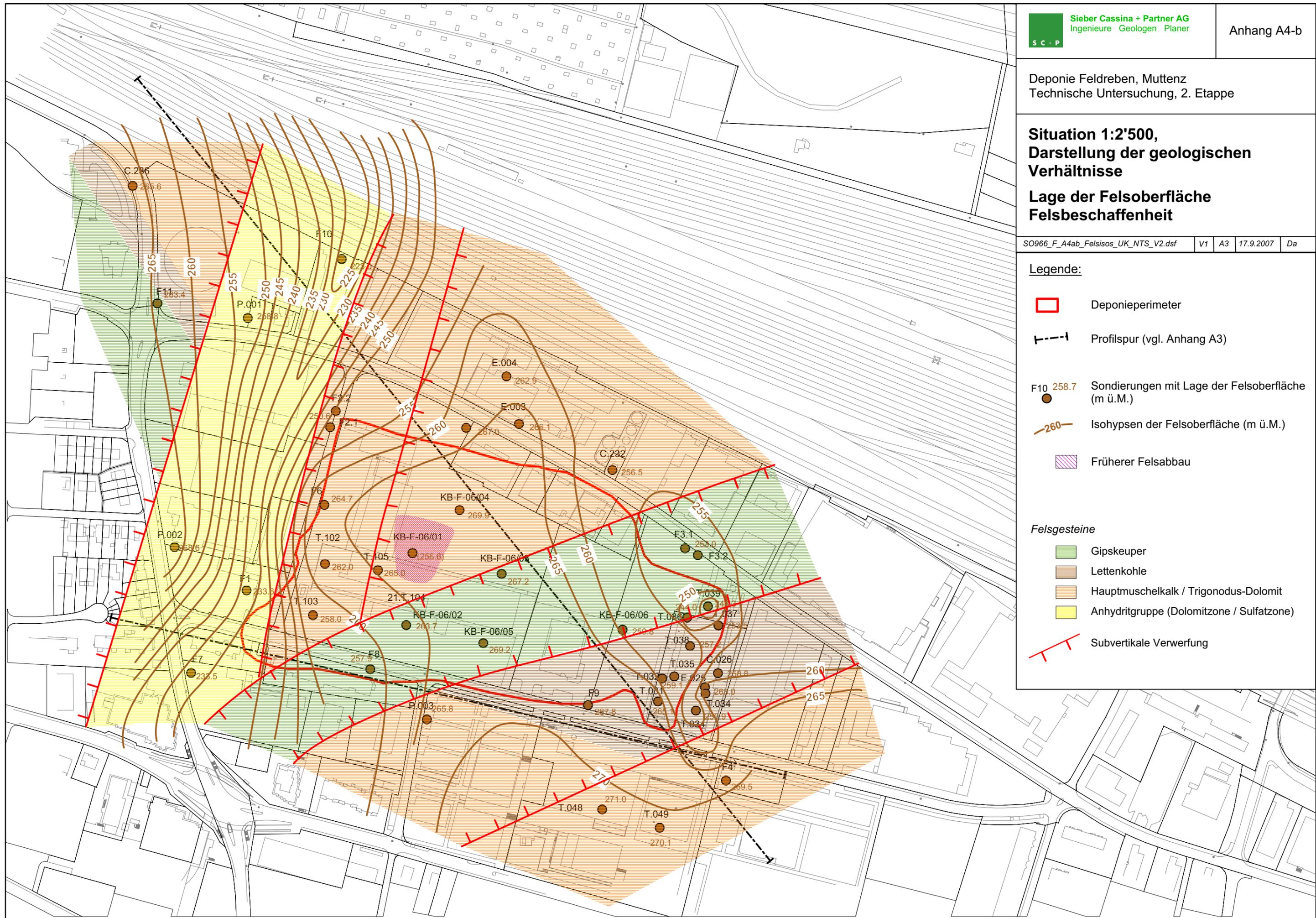
**Situation 1:2'500,
Darstellung der geologischen
Verhältnisse**

**Lage der Felsoberfläche
Felsbeschaffenheit**

SO966_F_A4ab_Felsisos_UK_NTS_V2.dsf V1 A3 17.9.2007 Da

Legende:

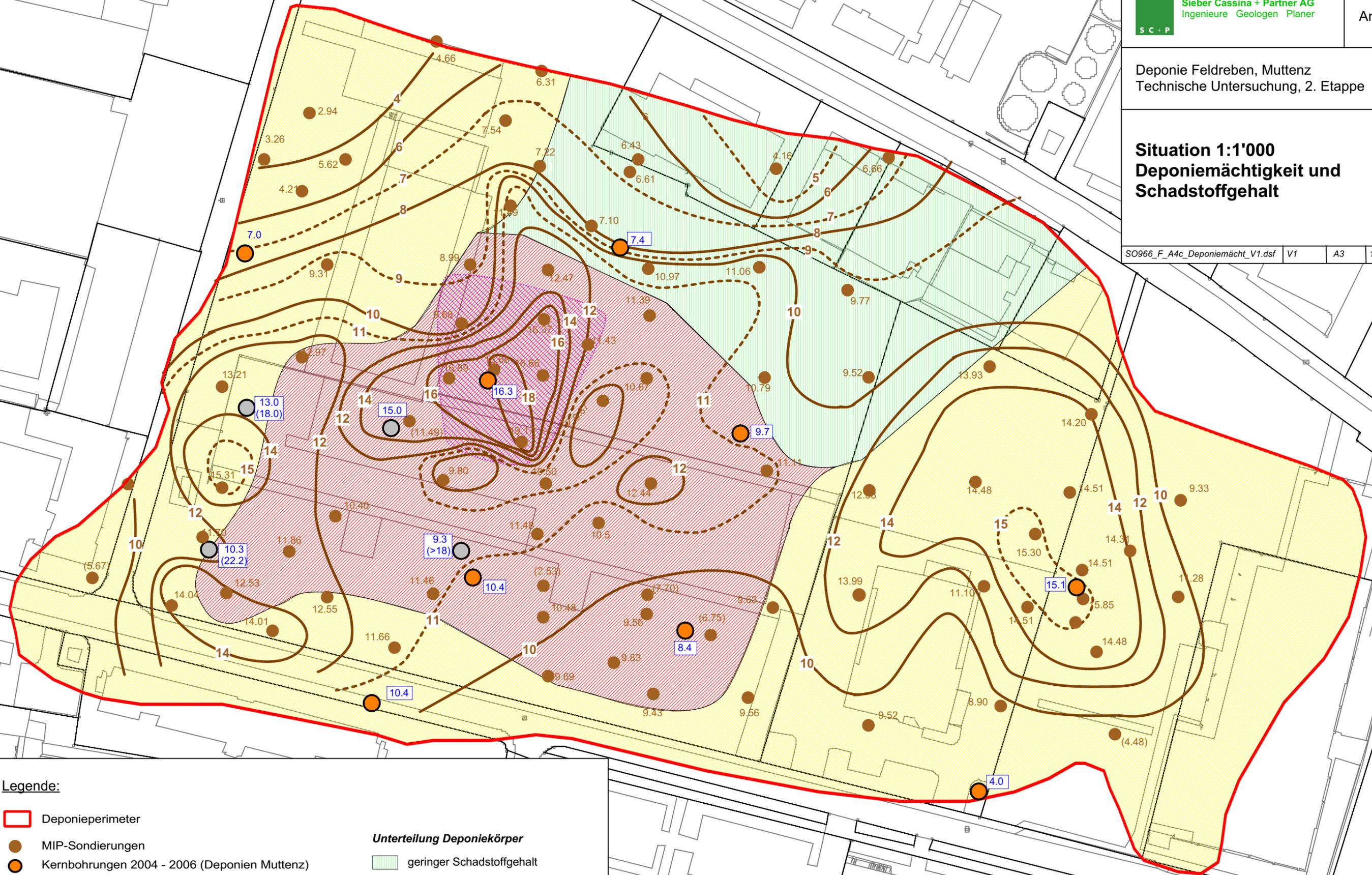
-  Deponieperimeter
 -  Profilspur (vgl. Anhang A3)
 -  F10 258.7 Sondierungen mit Lage der Felsoberfläche (m ü.M.)
 -  260 Isohypsen der Felsoberfläche (m ü.M.)
 -  Früherer Felsabbau
- Felsgesteine**
-  Gipskeuper
 -  Lettenkohle
 -  Hauptmuschelkalk / Trigonodus-Dolomit
 -  Anhydritgruppe (Dolomitzone / Sulfatzone)
 -  Subvertikale Verwerfung



Deponie Feldreben, Muttenz
Technische Untersuchung, 2. Etappe

Situation 1:1'000
Deponiemächtigkeit und
Schadstoffgehalt

SO966_F_A4c_Deponiemächt_V1.dsf V1 A3 17.9.07 Da



Legende:

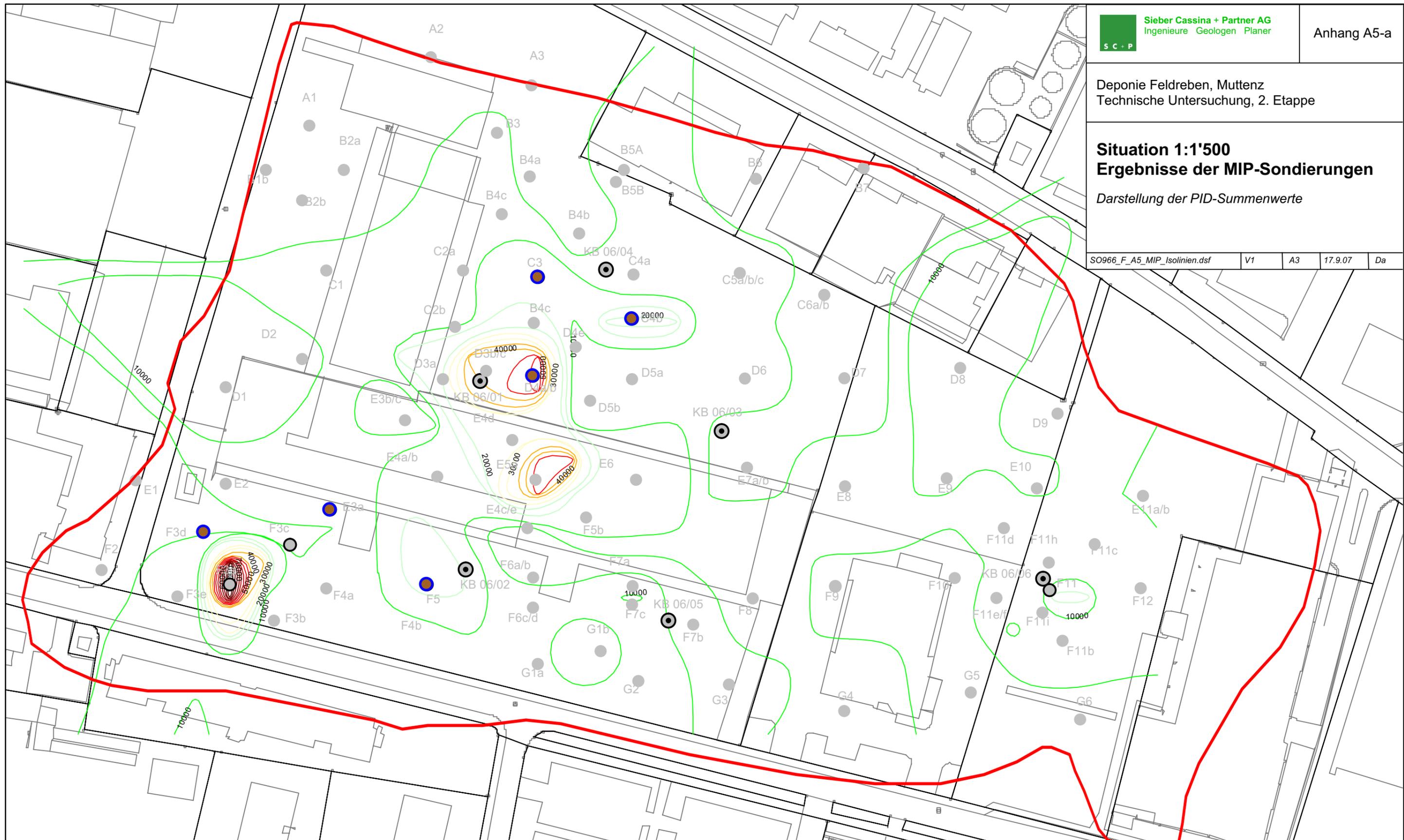
- Deponieperimeter
 - MIP-Sondierungen
 - Kernbohrungen 2004 - 2006 (Deponien Muttenz)
 - frühere Kernbohrungen
 - 6.66 Endtiefe der MIP-Sondierung (m u.T.)
(3.28) (nicht bewertet im Isolinenplan)
 - 10.4 Deponiesohle in Kernbohrungen (m u.T.)
 - 11 Isolinen der Deponiesohle (m u.T.)
-
- Unterteilung Deponiekörper**
- geringer Schadstoffgehalt
 - kleiner-mittlerer Schadstoffgehalt
 - mittlerer-grosser Schadstoffgehalt
 - Felsabbau gemäss Luftbild

Deponie Feldreben, Muttenz
Technische Untersuchung, 2. Etappe

Situation 1:1'500
Ergebnisse der MIP-Sondierungen

Darstellung der PID-Summenwerte

SO966_F_A5_MIP_Isolinien.dsf V1 A3 17.9.07 Da



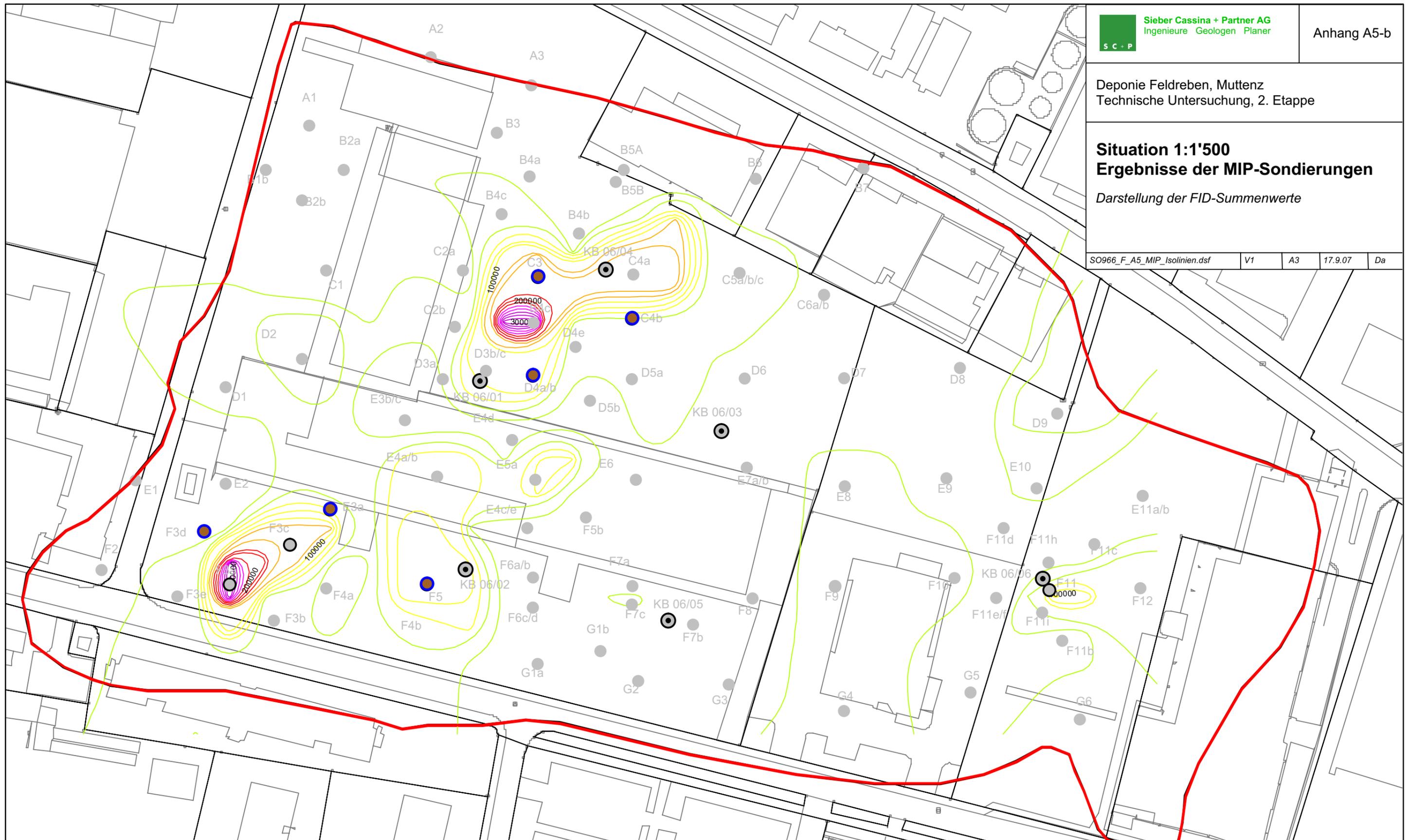
	Deponieperimeter		0 - 10'000	Isolinien der PID-Messungen in den MIP-Sondierungen (in mV)
	MIP-Sondierungen, keine Feststoffproben		10'001 - 20'000	
	MIP-Sondierungen, Entnahme von Feststoffproben		20'001 - 30'000	
	MIP inkl. Entnahme von Bodenluft- und Feststoffproben (F3d: nur Bodenluft-, keine Feststoffprobe)		30'001 - 40'000	
	Kernbohrungen, Entnahme von Feststoffproben		40'001 - 50'000	
			50'001 - 60'000	
			60'001 - 70'000	
			70'001 - 80'000	

Deponie Feldreben, Muttenz
Technische Untersuchung, 2. Etappe

Situation 1:1'500
Ergebnisse der MIP-Sondierungen

Darstellung der FID-Summenwerte

SO966_F_A5_MIP_Isolinien.dsf V1 A3 17.9.07 Da



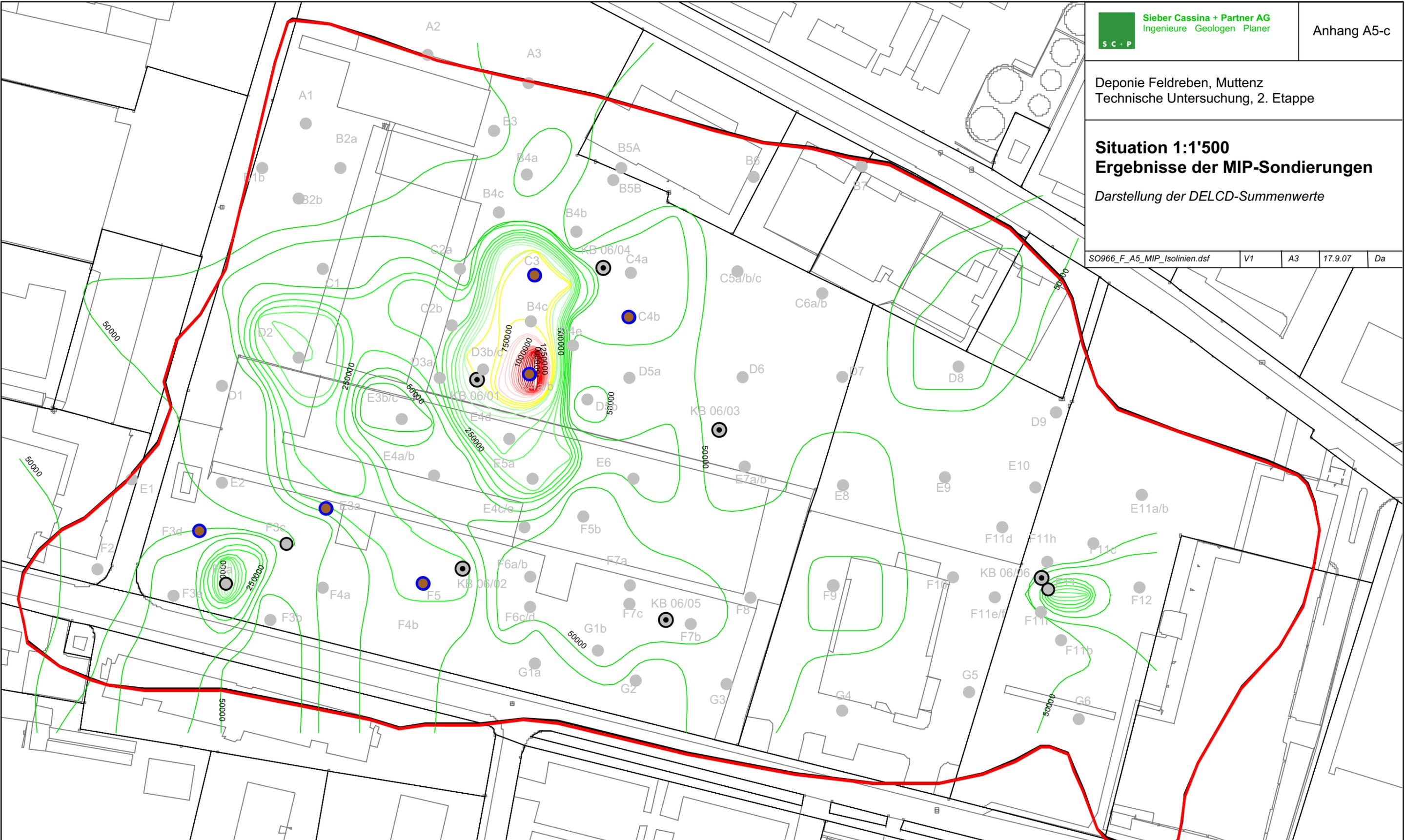
	Deponieperimeter		0 - 50'000	Isolinien der FID-Messungen in den MIP-Sondierungen (in mV)
	MIP-Sondierungen, keine Feststoffproben		50'001 - 100'000	
	MIP-Sondierungen, Entnahme von Feststoffproben		100'001 - 150'000	
	MIP inkl. Entnahme von Bodenluft- und Feststoffproben (F3d: nur Bodenluft-, keine Feststoffprobe)		150'001 - 200'000	
	Kernbohrungen, Entnahme von Feststoffproben		200'001 - 250'000	
			250'001 - 300'000	

Deponie Feldreben, Muttenz
Technische Untersuchung, 2. Etappe

Situation 1:1'500
Ergebnisse der MIP-Sondierungen

Darstellung der DELCD-Summenwerte

SO966_F_A5_MIP_Isolinien.dsf V1 A3 17.9.07 Da



	Deponieperimeter		0 - 150'000	Isolinien der DELCD-Messungen in den MIP-Sondierungen (in mV) (DELCD = Dry Electrolytic Conductivity Detector)
	MIP-Sondierungen, keine Feststoffproben		150'001 - 300'000	
	MIP-Sondierungen, Entnahme von Feststoffproben		300'001 - 450'000	
	MIP inkl. Entnahme von Bodenluft- und Feststoffproben (F3d: nur Bodenluft-, keine Feststoffprobe)		450'001 - 600'000	
	Kernbohrungen, Entnahme von Feststoffproben		600'001 - 750'000	
			750'001 - 900'000	
			900'001 - 1'050'000	
			1'050'001 - 1'200'000	
			1'200'001 - 1'350'000	
			1'350'001 - 1'500'000	

Deponie Feldreben, MuttENZ
Technische Untersuchung, 2. Etappe

Situation 1:2'500 Darstellung der allgemeinen Leitparameter

el. Leitf., pH, Temperatur, Hydrogenkarbonat,
Chlorid, Sulfat

SO966_F_A6_Sit_chemie_v3.dsf V1 A3 17.09.2007 Da

Legende:

- Deponieperimeter
- Probenahmestellen (Piezometer)
- Probenahmestellen (Grundwasserfassungen)
- Grundwasser im Hauptmuschelkalk (HMK)
- Gebiet ohne Hauptmuschelkalk-Grundwasser
- Fliessrichtung des Grundwassers
- ~ Isolinie der mittleren elektrischen Leitfähigkeit (μS/cm) im Hauptmuschelkalk-GW

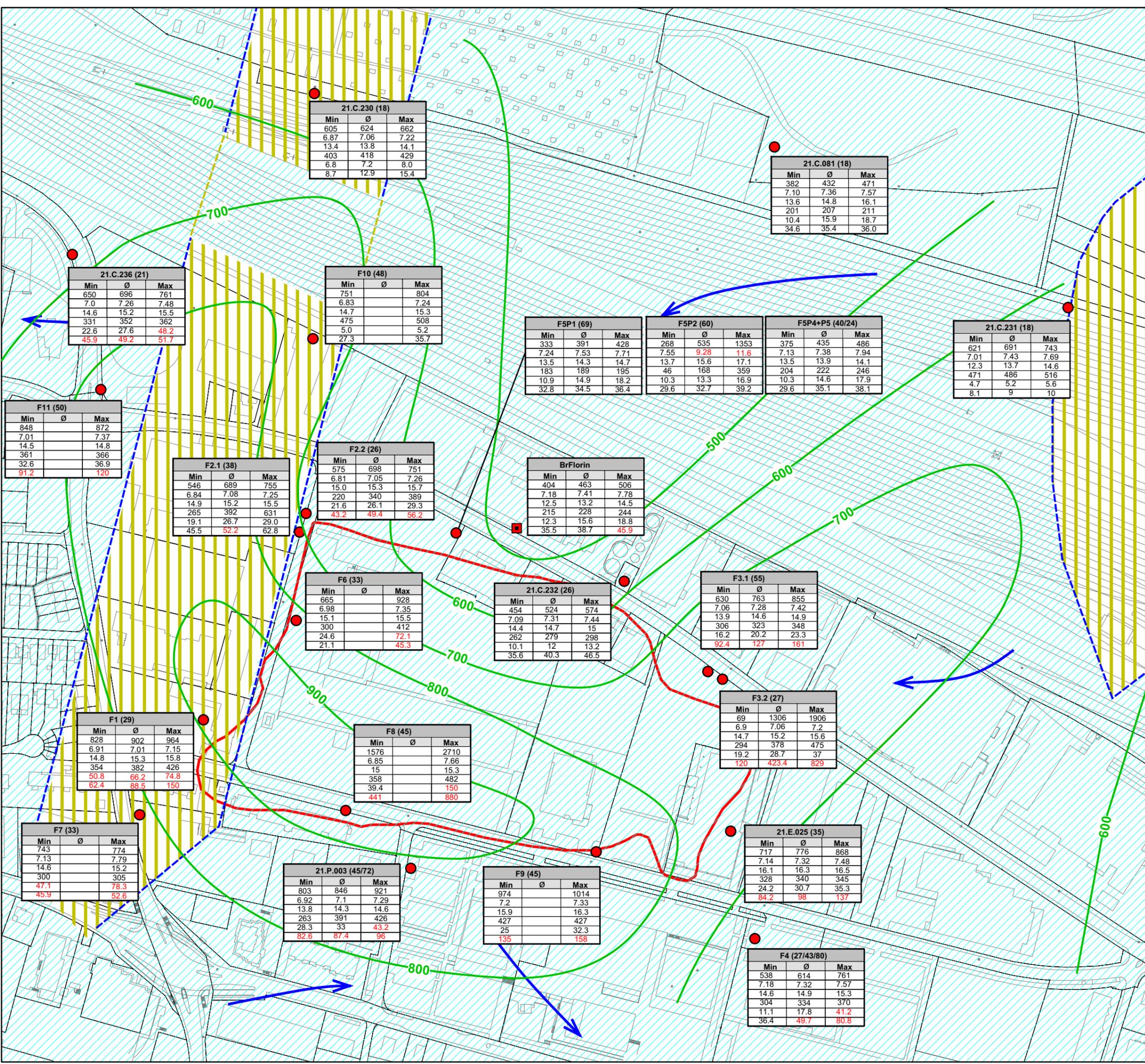
chemische Analysen

1/2 Konzentrationswert AltIV

"erhöhter Wert" (Indikatorwerte gemäss
Wegleitung Grundwasserschutz 2004)

Name Piezometer (Entnahmetiefe in m u.T.)

	Min	Ø	Max
Elektrische Leitfähigkeit [μS/cm]	6.4-8.2	6.8	7.1
pH-Wert []	-	12.2	13.2
Temperatur [°C]	-	202	387
Hydrogenkarbonat [mg/l]	40	465	46
Chlorid [mg/l]	40	12	22
Sulfat [mg/l]	-	31	31



Min	Ø	Max
605	624	662
6.87	7.06	7.22
13.4	13.8	14.1
403	418	429
6.8	7.2	8.0
8.7	12.9	15.4

Min	Ø	Max
382	432	471
7.10	7.36	7.57
13.6	14.8	16.1
201	207	211
10.4	15.9	18.7
34.6	35.4	36.0

Min	Ø	Max
650	696	761
7.0	7.26	7.48
14.6	15.2	15.5
331	352	362
22.6	27.6	48.2
45.9	49.2	51.7

Min	Ø	Max
751		804
6.83		7.24
14.7		15.3
475		508
5.0		5.2
27.3		35.7

Min	Ø	Max
333	391	428
7.24	7.53	7.71
13.5	14.3	14.7
183	189	195
10.9	14.9	18.2
32.8	34.5	36.4

Min	Ø	Max
268	535	1353
7.55	9.28	11.6
13.7	15.6	17.1
46	168	359
10.3	13.3	16.9
29.6	32.7	39.2

Min	Ø	Max
375	435	486
7.13	7.38	7.94
13.5	13.9	14.1
204	222	246
10.3	14.6	17.9
29.6	35.1	38.1

Min	Ø	Max
621	691	743
7.01	7.43	7.69
12.3	13.7	14.6
471	486	516
4.7	5.2	5.6
8.1	9	10

Min	Ø	Max
848		872
7.01		7.37
14.5		14.8
361		366
32.6		36.9
91.2		120

Min	Ø	Max
546	689	755
6.84	7.08	7.25
14.9	15.2	15.5
265	392	631
19.1	26.7	29.0
45.5	52.2	62.8

Min	Ø	Max
575	698	751
6.81	7.05	7.26
15.0	15.3	15.7
220	340	389
21.6	26.1	29.3
43.2	49.4	56.2

Min	Ø	Max
404	463	506
7.18	7.41	7.78
12.5	13.2	14.5
215	228	244
12.3	15.6	18.8
35.5	38.7	45.9

Min	Ø	Max
665	928	
6.98	7.35	
15.1	15.5	
300	412	
24.6	72.1	
21.1	45.3	

Min	Ø	Max
454	524	574
7.09	7.31	7.44
14.4	14.7	15
262	279	298
10.1	12	13.2
35.6	40.3	46.5

Min	Ø	Max
630	763	855
7.06	7.28	7.42
13.9	14.6	14.9
306	323	348
16.2	20.2	23.3
92.4	127	181

Min	Ø	Max
69	1306	1906
6.9	7.06	7.2
14.7	15.2	15.6
294	378	475
19.2	28.7	37
120	423.4	829

Min	Ø	Max
828	902	964
6.91	7.01	7.15
14.8	15.3	15.8
354	382	426
50.8	68.2	74.8
62.4	88.5	150

Min	Ø	Max
1576		2710
6.85		7.66
15		15.3
358		482
39.4		150
441		880

Min	Ø	Max
743		774
7.13		7.79
14.6		15.2
300		305
47.1		78.3
45.9		52.6

Min	Ø	Max
803	846	921
6.92	7.1	7.29
13.8	14.3	14.6
263	391	426
28.3	33	43.2
82.6	87.4	96

Min	Ø	Max
974		1014
7.2		7.33
15.9		16.3
427		427
25		32.3
135		158

Min	Ø	Max
717	776	868
7.14	7.32	7.48
16.1	16.3	16.5
328	340	345
24.2	30.7	35.3
84.2	98	137

Min	Ø	Max
562		652
7.29		7.39
15.2		15.3
296		322
16		25.3
41.2		49.4

Min	Ø	Max
538	614	761
7.18	7.32	7.57
14.6	14.9	15.3
304	334	370
11.1	17.8	41.2
36.4	49.7	80.8

Deponie Feldreben, MuttENZ
Technische Untersuchung, 2. Etappe

Situation 1:2'500 Darstellung der Redoxverhältnisse

Sauerstoff, Ammonium, Nitrat, Nitrit

SO966_F_A6_Sit_chemie_v3.dsf | V1 | A3 | 17.09.2007 | Da

Legende:

- Deponieperimeter
- Probenahmestellen (Piezometer)
- Probenahmestellen (Grundwasserfassungen)
- Grundwasser im Hauptmuschelkalk (HMK)
- Gebiet ohne Hauptmuschelkalk-Grundwasser
- Fliessrichtung des Grundwassers

— 4 mg/l Isolinie des mittleren Sauerstoffgehalts (mg/l)

chemische Analysen

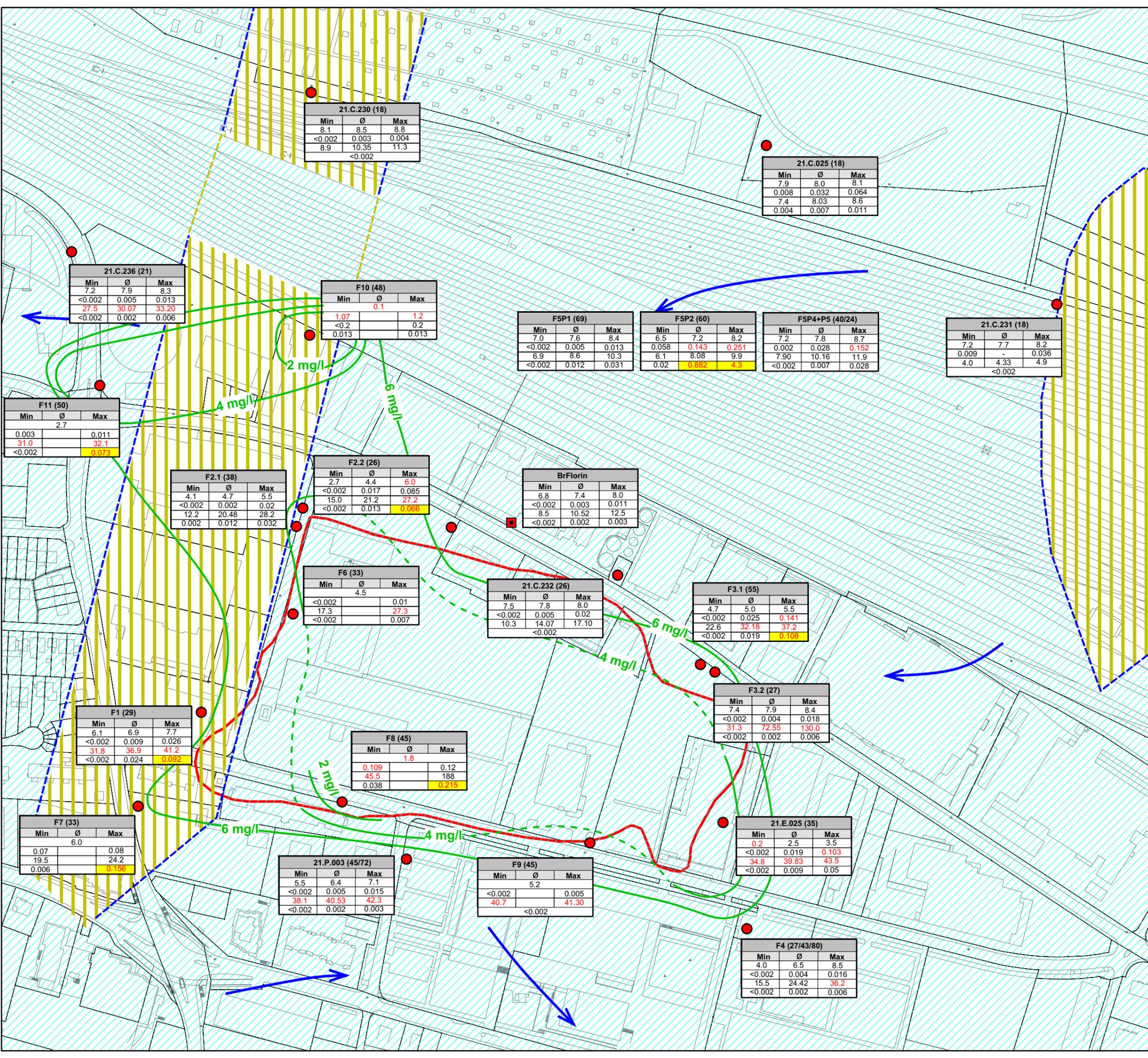
1/2 Konzentrationswert AltIV

"erhöhter Wert" (Indikatorwerte gemäss Wegleitung Grundwasserschutz 2004)

Name Piezometer (Entnahmetiefe in m u.T.)

	Min	Ø	Max
Sauerstoff [mg/l]	>2	5.6	6.2
Ammonium [mg/l]	>25	0.002	0.015
Nitrat [mg/l]	-	21	27
Nitrit [mg/l]	0.05	0.002	0.031

Min = Minimalwert
Ø = Mittelwert
Max = Maximalwert



21.C.230 (18)		
Min	Ø	Max
8.1	8.5	8.8
<0.002	0.003	0.004
8.9	10.35	11.3
<0.002		

21.C.025 (18)		
Min	Ø	Max
7.9	8.0	8.1
0.008	0.032	0.064
7.4	8.03	8.6
0.004	0.007	0.011

21.C.236 (21)		
Min	Ø	Max
7.2	7.9	8.3
<0.002	0.005	0.013
27.5	30.07	33.20
<0.002	0.002	0.006

F10 (48)		
Min	Ø	Max
1.07	0.1	1.2
<0.2		0.2
0.013		0.013

F5P1 (69)		
Min	Ø	Max
7.0	7.6	8.4
<0.002	0.005	0.013
6.9	8.6	10.3
<0.002	0.012	0.031

F5P2 (60)		
Min	Ø	Max
6.5	7.2	8.2
0.058	0.143	0.251
6.1	8.08	9.9
0.02	0.862	4.3

F5P4+P5 (40/24)		
Min	Ø	Max
7.2	7.8	8.7
0.002	0.028	0.152
7.90	10.16	11.9
<0.002	0.007	0.028

21.C.231 (18)		
Min	Ø	Max
7.2	7.7	8.2
0.009	-	0.036
4.0	4.33	4.9
<0.002		

F11 (50)		
Min	Ø	Max
0.003		0.011
31.0		32.1
<0.002		0.073

F2.1 (38)		
Min	Ø	Max
4.1	4.7	5.5
<0.002	0.002	0.02
12.2	20.48	28.2
0.002	0.012	0.032

F2.2 (26)		
Min	Ø	Max
2.7	4.4	6.0
<0.002	0.017	0.085
15.0	21.2	27.2
<0.002	0.013	0.066

BrFlorin		
Min	Ø	Max
6.8	7.4	8.0
<0.002	0.003	0.011
8.5	10.52	12.5
<0.002	0.002	0.003

F6 (33)		
Min	Ø	Max
<0.002	4.5	0.01
17.3		27.3
<0.002		0.007

21.C.232 (26)		
Min	Ø	Max
7.5	7.8	8.0
<0.002	0.005	0.02
10.3	14.07	17.10
<0.002		

F3.1 (55)		
Min	Ø	Max
4.7	5.0	5.5
<0.002	0.025	0.141
22.6	32.18	37.2
<0.002	0.019	0.108

F1 (29)		
Min	Ø	Max
6.1	6.9	7.7
<0.002	0.009	0.026
31.8	36.9	41.2
<0.002	0.024	0.092

F8 (45)		
Min	Ø	Max
0.109	1.8	0.12
45.5		188
0.038		0.215

F3.2 (27)		
Min	Ø	Max
7.4	7.9	8.4
<0.002	0.004	0.018
31.3	72.55	130.0
<0.002	0.002	0.006

F7 (33)		
Min	Ø	Max
0.07	6.0	0.08
19.5		24.2
0.006		0.156

21.P.003 (45/72)		
Min	Ø	Max
5.5	6.4	7.1
<0.002	0.005	0.015
38.1	40.53	42.3
<0.002	0.002	0.003

F9 (45)		
Min	Ø	Max
<0.002	5.2	0.005
40.7		41.30
<0.002		

21.E.025 (35)		
Min	Ø	Max
0.2	2.5	3.5
<0.002	0.019	0.103
34.8	39.83	43.5
<0.002	0.009	0.05

21.C.244 (24)		
Min	Ø	Max
<0.002	9.5	0.004
31.70		44.30
<0.002		0.002

F4 (27/43/80)		
Min	Ø	Max
4.0	6.5	8.5
<0.002	0.004	0.016
15.5	24.42	36.2
<0.002	0.002	0.006

Deponie Feldreben, MuttENZ
Technische Untersuchung, 2. Etappe

Situation 1:2'500
Darstellung der organischen
Summenparameter / Pestizide

DOC, AOX, Simazin, Atrazin

SO966_F_A6_Sit_chemie_v3.dsf V1 A3 17.09.2007 Da

Legende:

- Deponieperimeter
- Probenahmestellen (Piezometer)
- Probenahmestellen (Grundwasserfassungen)
- Grundwasser im Hauptmuschelkalk (HMK)
- Gebiet ohne Hauptmuschelkalk-Grundwasser
- Fliessrichtung des Grundwassers
- Isolinie des mittleren AOX-Gehaltes (µg/l)

chemische Analysen

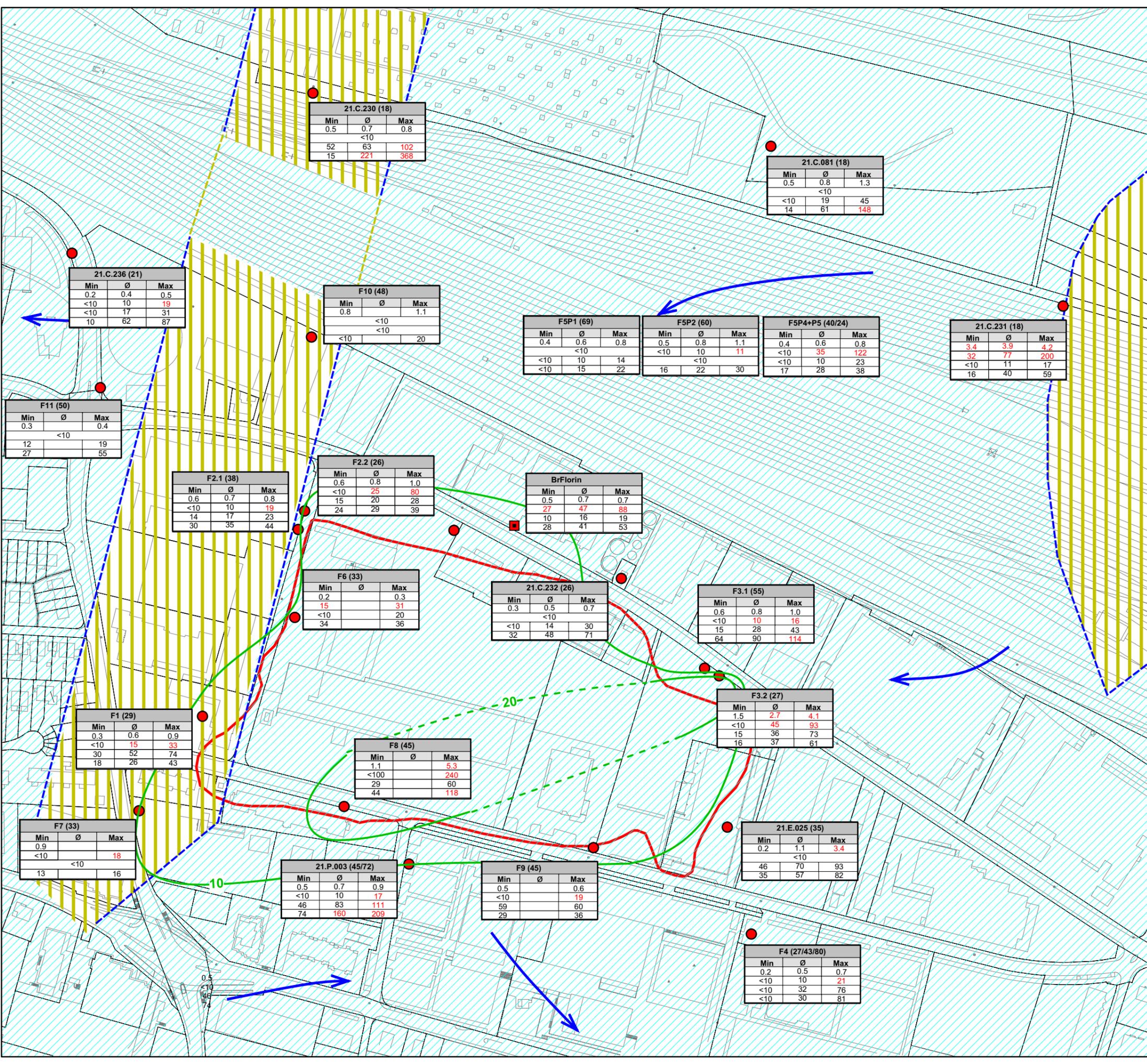
1/2 Konzentrationswert AltIV

"erhöhter Wert" (Indikatorwerte gemäss Wegleitung Grundwasserschutz 2004)

Name Piezometer (Entnahmetiefe in m u.T.)

Min = Minimalwert
ø = Mittelwert
Max = Maximalwert

	Min	ø	Max
DOC [mg/l]	2	0.5	0.8
AOX [µg Cl / l]	10	<10	28
Simazin [ng/l]	100	21	27
Atrazin [ng/l]	100	<20	32



Min	ø	Max
0.5	0.7	0.8
<10	<10	<10
52	63	102
15	221	368

Min	ø	Max
0.5	0.8	1.3
<10	<10	<10
14	19	45
14	61	148

Min	ø	Max
0.2	0.4	0.5
<10	10	19
<10	17	31
10	62	87

Min	ø	Max
0.8	<10	1.1
<10	<10	<10
<10	<10	20

Min	ø	Max
0.4	0.6	0.8
<10	<10	<10
<10	10	14
<10	15	22

Min	ø	Max
0.5	0.8	1.1
<10	10	11
<10	<10	<10
16	22	30

Min	ø	Max
0.4	0.6	0.8
<10	35	122
<10	10	23
17	28	38

Min	ø	Max
3.4	3.9	4.2
32	77	200
<10	11	17
16	40	59

Min	ø	Max
0.3	<10	0.4
12	<10	19
27	<10	55

Min	ø	Max
0.6	0.7	0.8
<10	10	19
14	17	23
30	35	44

Min	ø	Max
0.6	0.8	1.0
<10	25	80
15	20	28
24	29	39

Min	ø	Max
0.5	0.7	0.7
<10	27	47
10	16	19
28	41	53

Min	ø	Max
0.2	0.3	0.3
15	<10	31
<10	14	20
34	<10	36

Min	ø	Max
0.3	0.5	0.7
<10	<10	<10
<10	14	30
32	48	71

Min	ø	Max
0.6	0.8	1.0
<10	10	16
15	28	43
64	90	114

Min	ø	Max
1.5	2.7	4.1
<10	45	93
15	36	73
16	37	61

Min	ø	Max
0.3	0.6	0.9
<10	15	33
30	52	74
18	26	43

Min	ø	Max
1.1	5.3	5.3
<100	240	240
29	60	60
44	118	118

Min	ø	Max
0.9	<10	18
<10	<10	<10
13	<10	16

Min	ø	Max
0.5	0.7	0.9
<10	10	17
46	83	111
74	160	209

Min	ø	Max
0.5	0.6	0.6
<10	<10	19
59	60	60
29	36	36

Min	ø	Max
0.2	1.1	3.4
<10	<10	<10
46	70	93
35	57	82

Min	ø	Max
0.6	<10	0.8
37	<10	51
141	<10	181

Min	ø	Max
0.2	0.5	0.7
<10	10	21
<10	32	76
<10	30	81

Deponie Feldreben, Muttentz
Technische Untersuchung, 2. Etappe

Situation 1:2'500 Darstellung der CKW

Perchlorethylen, Trichlorethylen, Cis-1,2-Dichlorethen, Trans-1,2-Dichlorethen, Hexachlorethan, Chloroform

SO966_F_A6_Sit_chemie_v3.dsf V1 A3 17.09.2007 Da

Legende:

- Deponieperimeter
- Probenahmestellen (Piezometer)
- Probenahmestellen (Grundwasserfassungen)
- Grundwasser im Hauptmuschelkalk (HMK)
- Gebiet ohne Hauptmuschelkalk-Grundwasser
- Fließrichtung des Grundwassers
- Isolinie des mittleren CKW-Gehaltes (µg/l)
- Perimeter der "Per-/Tri-Belastung"
- Perimeter der "Hexachlorethan-Belastung"

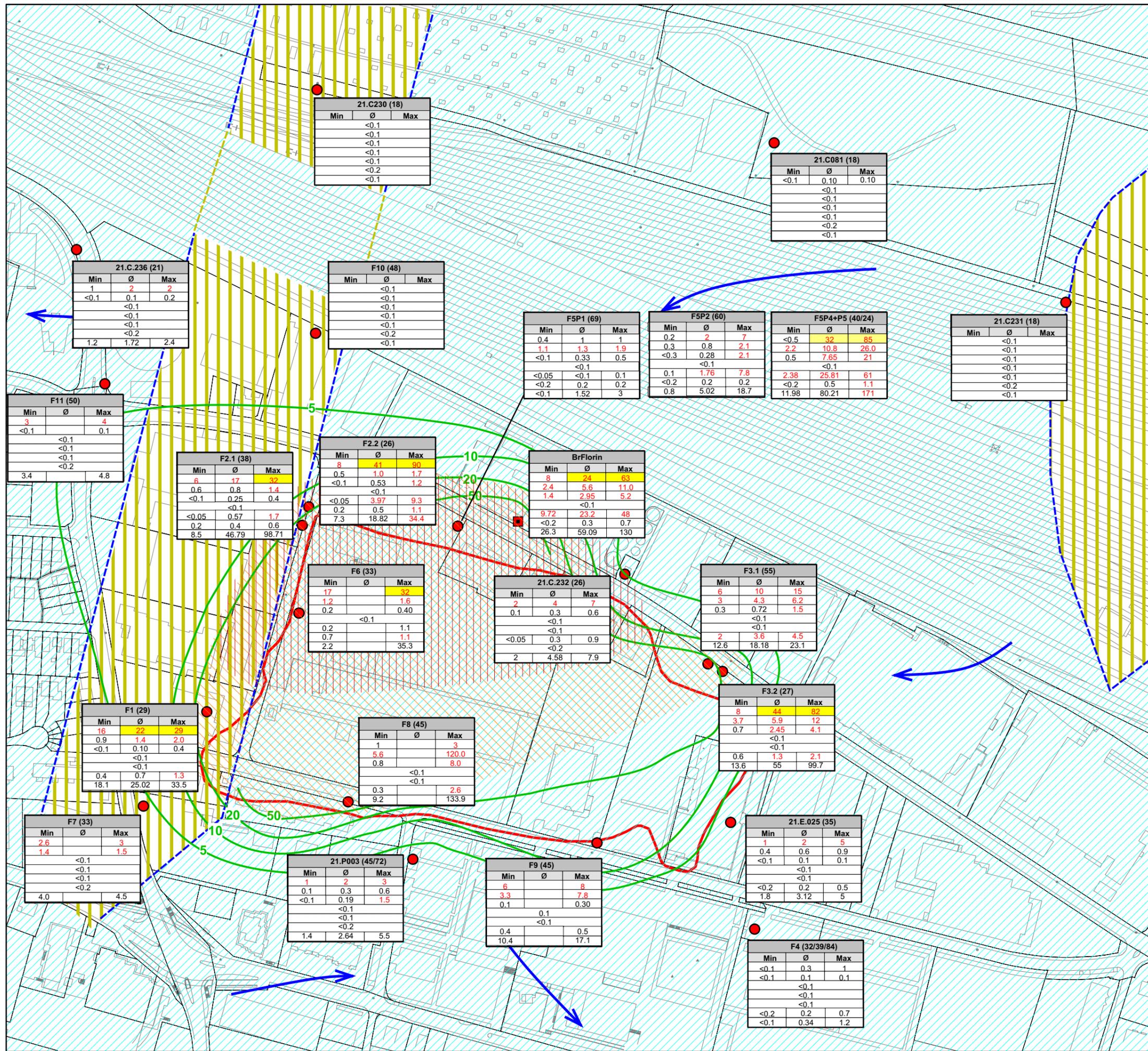
chemische Analysen

1/2 Konzentrationswert AltIV

"erhöhter Wert" (Indikatorwerte gemäss Wegleitung Grundwasserschutz 2004)

Name Piezometer (Entnahmetiefe in m u.T.)

	Min	Ø	Max
Perchlorethylen [µg/l]	<0.2	0.9	1.32
Trichlorethylen [µg/l]	1.4	6.1	9.6
Cis-1,2-Dichlorethen [µg/l]	<0.2	0.3	0.5
Trans-1,2-Dichlorethen [µg/l]	0.3	0.55	0.62
Hexachlorethan [µg/l]	<0.2	0.8	1.32
Chloroform [µg/l]	<0.2	<0.2	<0.2
Summe CKW [µg/l]	<0.1	25	33.5



Min	Ø	Max
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.2		
<0.1		

Min	Ø	Max
<0.1	0.10	0.10
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.2		
<0.1		

Min	Ø	Max
1	2	2
<0.1	0.1	0.2
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.2		
1.2	1.72	2.4

Min	Ø	Max
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.2		
<0.1		

Min	Ø	Max
0.4	1	1
1.1	1.3	1.9
<0.1	0.33	0.5
<0.1		
<0.05	<0.1	0.1
<0.2	0.2	0.2
<0.1	1.52	3

Min	Ø	Max
0.2	2	7
0.3	0.8	2.1
<0.3	0.28	2.1
<0.1		
0.1	1.76	7.8
<0.2	0.2	0.2
0.8	5.02	18.7

Min	Ø	Max
<0.5	32	85
2.2	10.8	26.0
0.5	7.65	21
<0.1		
2.38	25.81	61
<0.2	0.5	1.1
11.98	80.21	171

Min	Ø	Max
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.2		
<0.1		

Min	Ø	Max
3	4	
<0.1		0.1
<0.1		
<0.1		
<0.2		
3.4		4.8

Min	Ø	Max
6	17	32
0.6	0.8	1.4
<0.1	0.25	0.4
<0.1		
<0.05	0.57	1.7
0.2	0.4	0.6
8.5	46.79	98.71

Min	Ø	Max
8	41	90
0.5	1.0	1.7
<0.1	0.53	1.2
<0.1		
<0.05	3.97	9.3
0.2	0.5	1.1
7.3	18.82	34.4

Min	Ø	Max
8	24	63
0.5	1.0	1.7
2.4	5.6	11.0
1.4	2.95	5.2
<0.1		
9.72	23.2	48
<0.2	0.3	0.7
26.3	59.09	130

Min	Ø	Max
17	32	
1.2		1.6
0.2		0.40
<0.1		
0.2		1.1
0.7		1.1
2.2		35.3

Min	Ø	Max
2	4	7
0.1	0.3	0.6
<0.1		
<0.1		
<0.05	0.3	0.9
<0.2		
2	4.58	7.9

Min	Ø	Max
6	10	15
3	4.3	6.2
0.3	0.72	1.5
<0.1		
<0.1		
2	3.6	4.5
12.6	18.18	23.1

Min	Ø	Max
8	44	82
3.7	5.9	12
0.7	2.45	4.1
<0.1		
<0.1		
0.6	1.3	2.1
13.6	55	99.7

Min	Ø	Max
16	22	29
0.9	1.4	2.0
<0.1	0.10	0.4
<0.1		
<0.1		
0.4	0.7	1.3
18.1	25.02	33.5

Min	Ø	Max
1	3	
5.6		120.0
0.8		8.0
<0.1		
<0.1		
0.3		2.6
9.2		133.9

Min	Ø	Max
2.6	3	
1.4		1.5
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.2		
4.0		4.5

Min	Ø	Max
1	2	3
0.1	0.3	0.6
<0.1	0.19	1.5
<0.1		
<0.1		
<0.2		
1.4	2.64	5.5

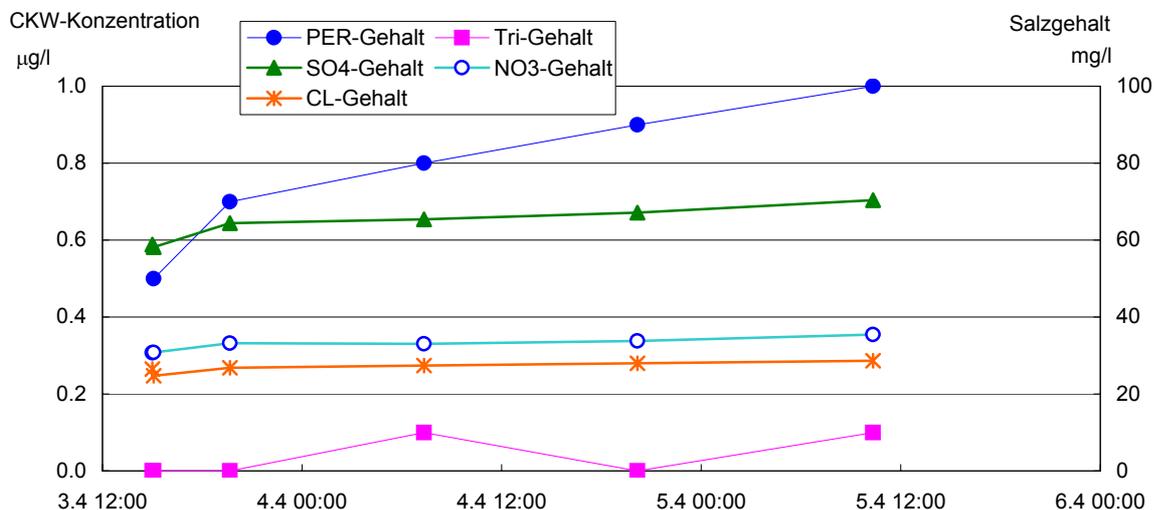
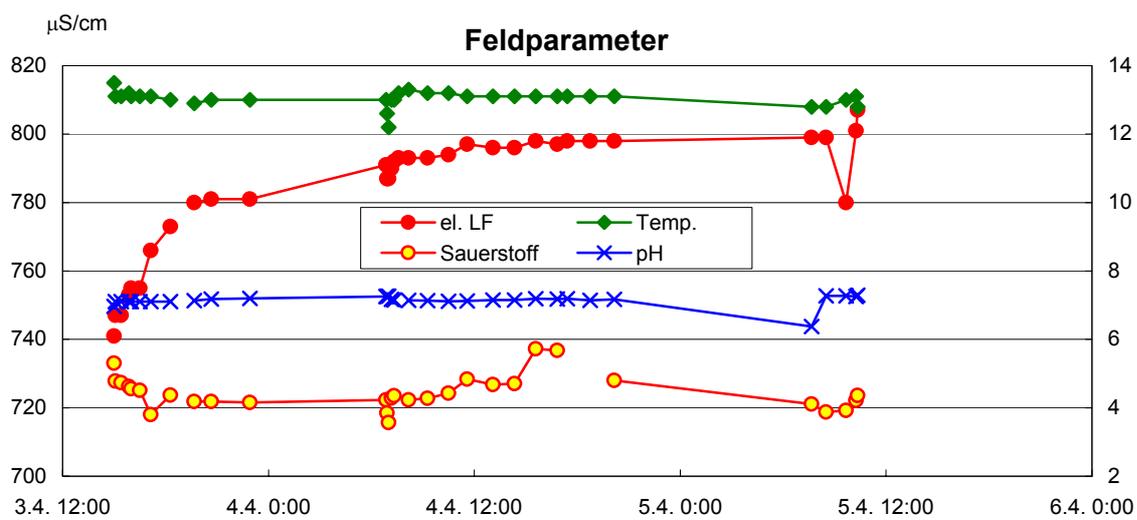
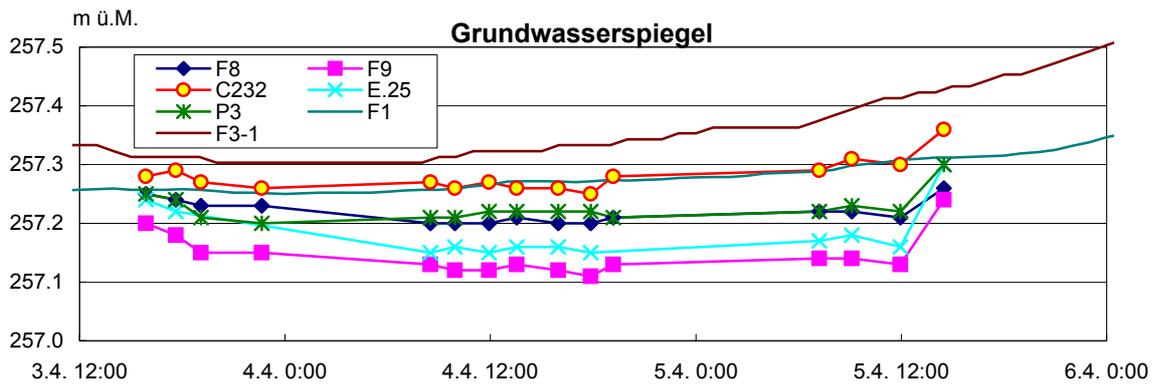
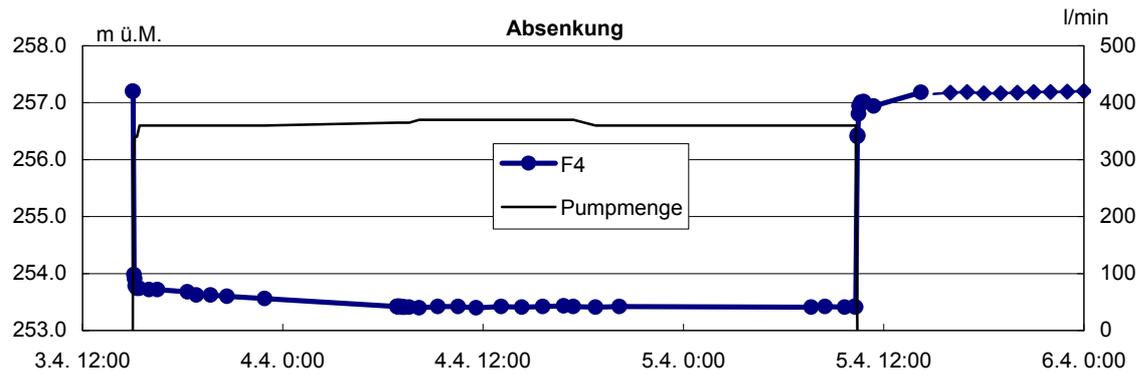
Min	Ø	Max
6	8	
3.3		7.8
0.1		0.30
0.1		
<0.1		
0.4		0.5
10.4		17.1

Min	Ø	Max
1	2	5
0.4	0.6	0.9
<0.1	0.1	0.1
<0.1		
<0.1		
<0.2	0.2	0.5
1.8	3.12	5

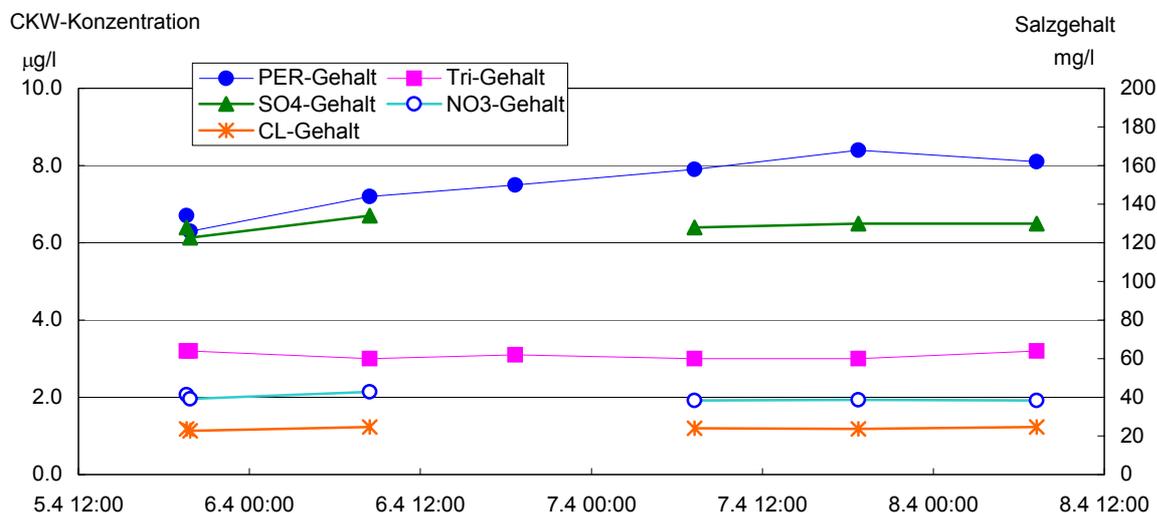
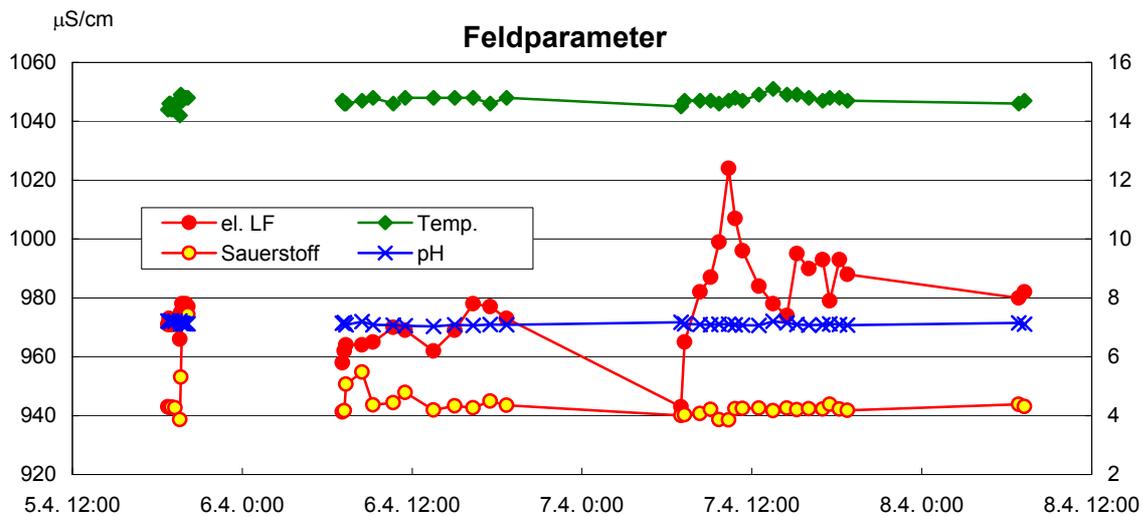
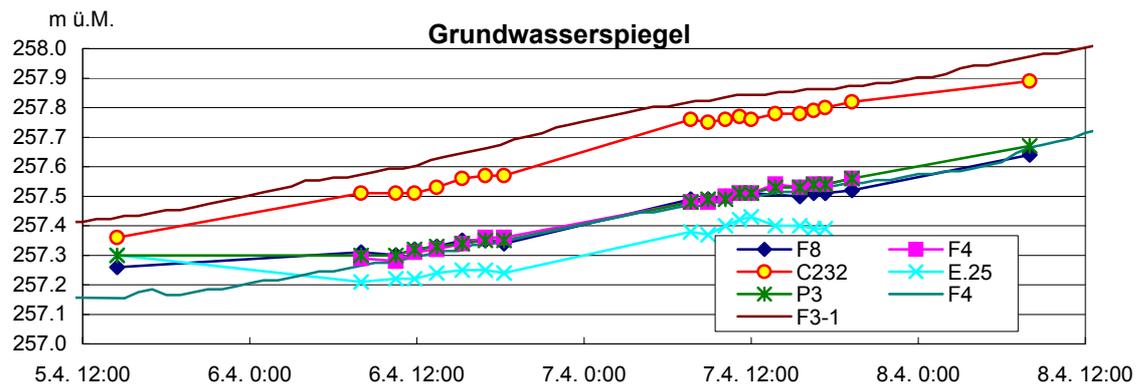
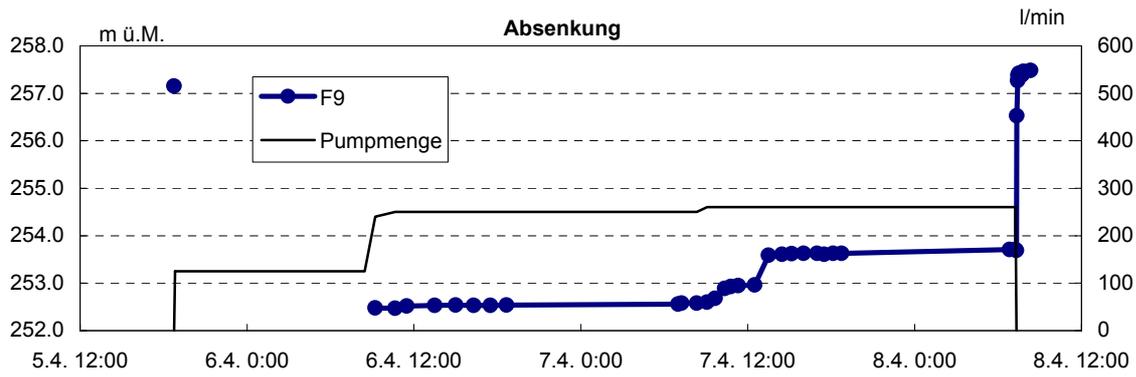
Min	Ø	Max
1		2
0.3		0.6
<0.1		
<0.1		
<0.1		
<0.2		
1		2.1

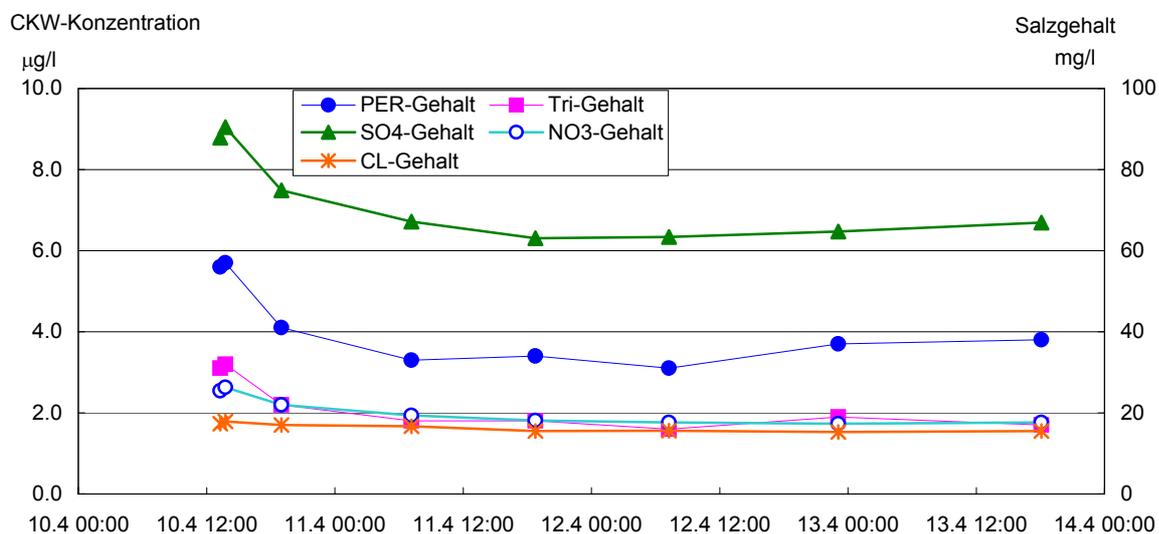
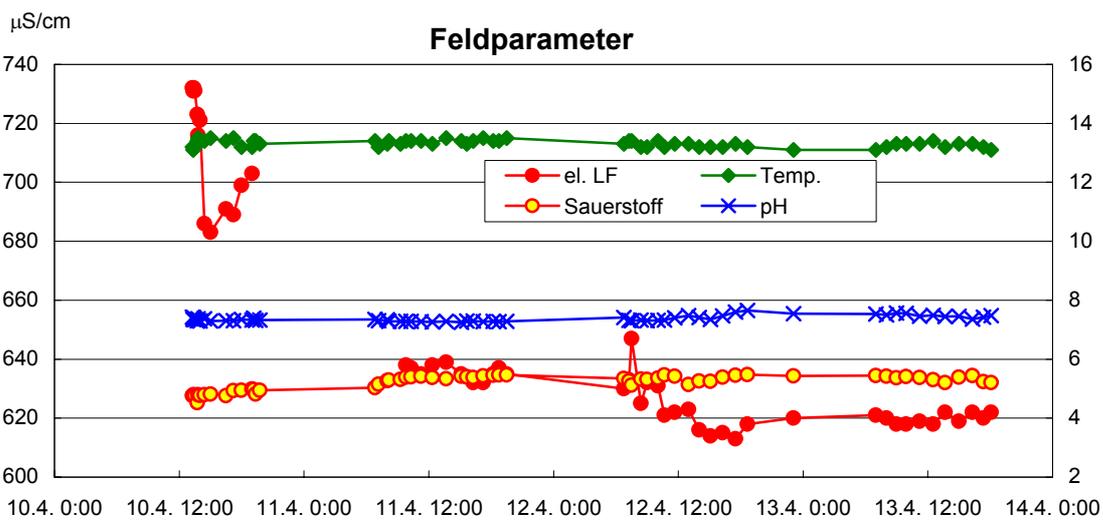
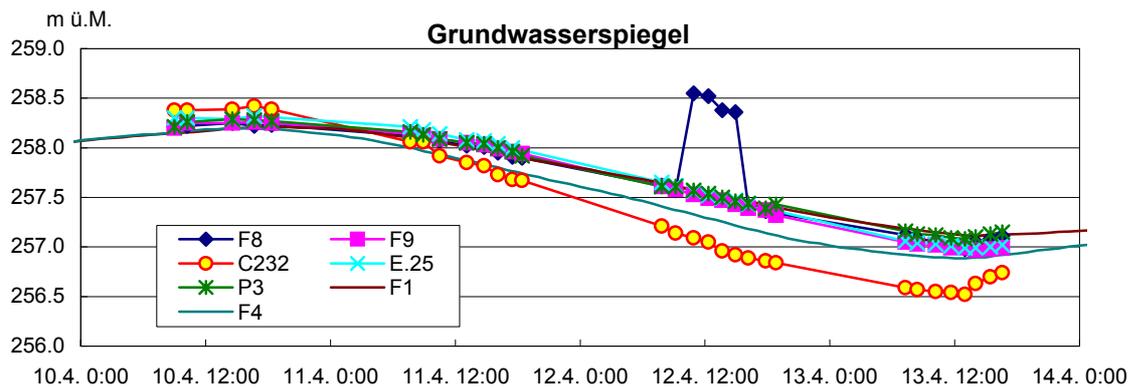
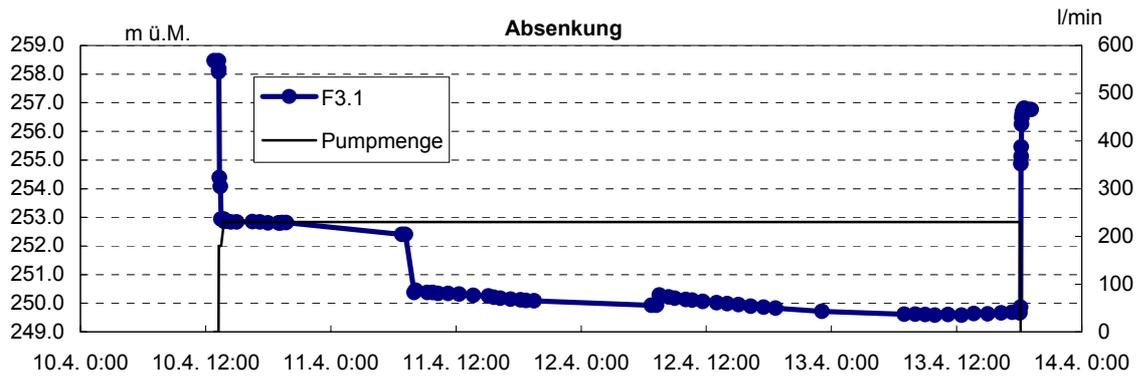
Min	Ø	Max
<0.1	0.3	1
<0.1	0.1	0.1
<0.1		
<0.1		
<0.2	0.2	0.7
<0.1	0.34	1.2

Deponien MuttENZ
Belastungspumpversuche Feldreben 2006
F4 (3.4 - 5.4.2006)

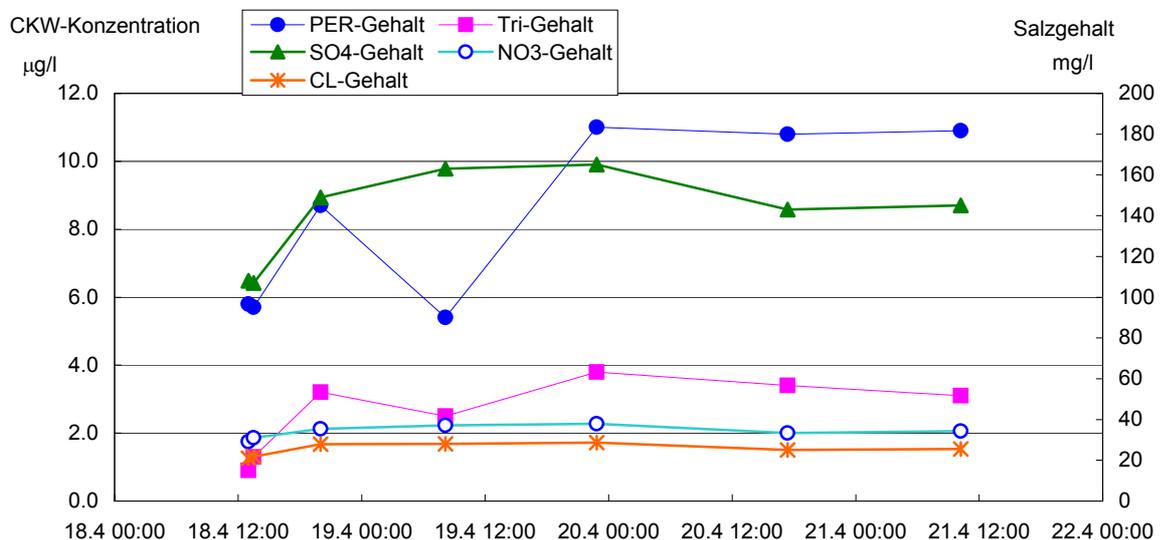
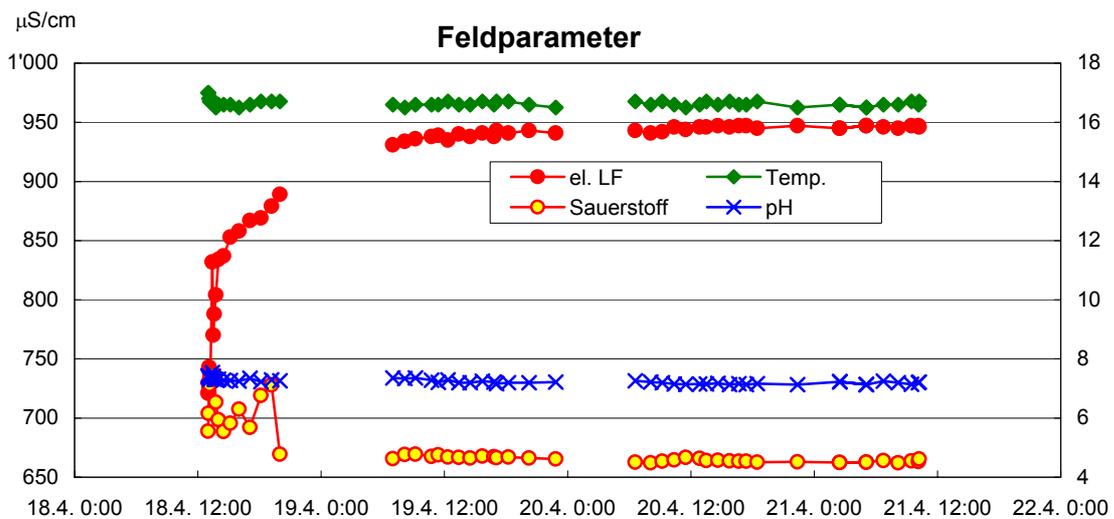
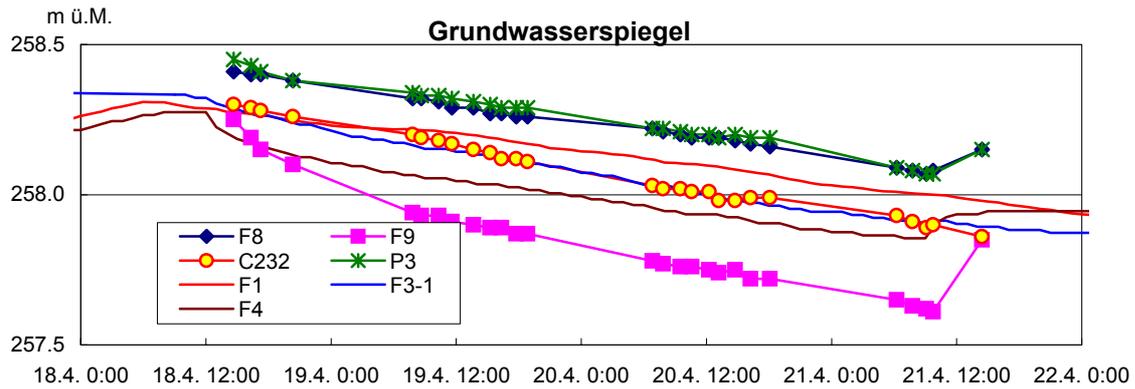
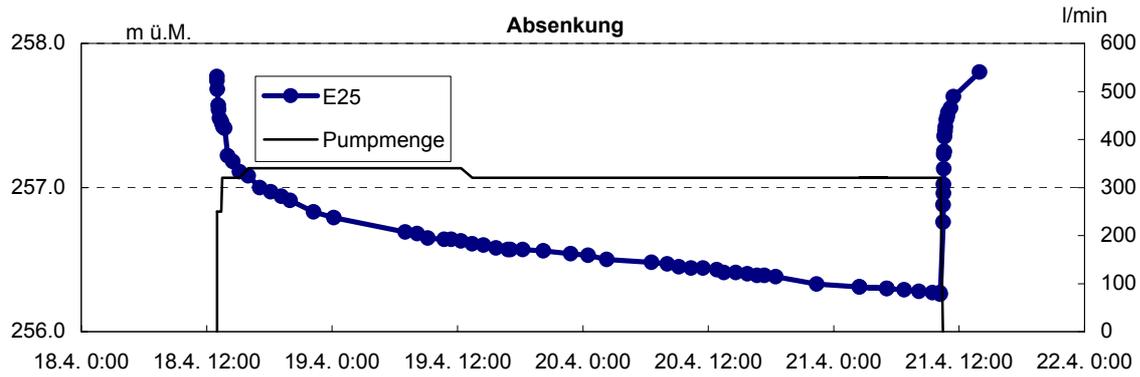


Deponien Muttz
Belastungspumpversuche Feldreben 2006
F9 (5.4 - 8.4.2006)





Deponien MuttENZ
Belastungspumpversuche Feldreben 2006
E.25 (18.4 - 21.4.2006)



Deponien Muttz
Belastungspumpversuche Feldreben 2006
F11 (14.8 - 18.8.2006)

