

Bauverwaltung Muttenz



Deponien Muttenz
Markerversuch vom April/Mai 2004

Schlussbericht

Bern

Winterthur

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	3
2. Grundwasserverhältnisse	3
2.1. Hydrogeologische Übersicht.....	3
2.2. Grundwasseranreicherung Hardwasser	4
2.3. Verlauf des Grundwasserspiegels während des Markierversuches	5
3. Markierversuch	7
3.1. Zielsetzung	7
3.2. Impfung.....	7
3.3. Probenahme	9
3.4. Analytik.....	10
3.5. Ergebnisse	11
3.5.1. Nachgewiesene Tracer im Nahfeld der Deponie ..	11
3.5.2. Impfstelle Deponieoberfläche (Sulphorhodamin)..	14
3.5.3. Impfstelle "Grundwasseranreicherung" (Eosin)	14
3.5.4. Kein Tracernachweis	14
3.5.5. Fliessgeschwindigkeiten	15
3.5.6. Rückgewinnungsraten	16
3.5.7. Weitere Ergebnisse.....	16
4. Folgerungen	17

Anhänge

- A1 Situation 1:10'000 mit Lage der Impf- und Probenahmestellen
- A2 Situation 1:5'000 mit Darstellung der Grundwasserverhältnisse
und der Ergebnisse des Markierversuches
- A3 Zusammenstellung der Tracermessungen (Tabelle)



1. Einleitung und Auftrag

Im Rahmen der Altlasten-Voruntersuchung der Deponie Feldreben war zur Ergänzung der Untersuchungsergebnisse die Durchführung eines Markierversuches mit mehreren Tracern eingeplant. Generelles Ziel des Markierversuches war es, die Grundwasserfließverhältnisse im direkten Umfeld der Deponie Feldreben abzuklären.

*Altlasten-
Voruntersuchung*



Im Pflichtenheft für die technische Untersuchung (1. Etappe) vom 16.5.2003 war ein rudimentäres Konzept des Markierversuches aufgeführt. Dieses wurde im Rahmen der Projektvorbereitung überarbeitet und gestützt auf die neuen Ergebnisse der im Winter 2003/04 durchgeführten Bohrkampagne revidiert. Schliesslich bildete das Konzept vom 2.4.2004 die massgebende Grundlage.

Konzept

Gestützt auf unsere Offerte vom 17.12.2003 wurden wir mit Werkvertrag Nr. 1023 vom 26.2.2004 von der Einwohnergemeinde Muttentz mit der Durchführung des vorgeschlagenen Markierversuches beauftragt.

Werkvertrag

2. Grundwasserverhältnisse

Nachfolgend sind die für die Interpretation des Markierversuches notwendigen hydrogeologischen Grundlagen kurz zusammengefasst, welche sich im Wesentlichen auf das nahe Deponieumfeld beschränken. Es handelt sich dabei teilweise um neue Erkenntnisse, welche im Zusammenhang mit der laufenden Altlasten-Voruntersuchung gewonnen wurden.

2.1. Hydrogeologische Übersicht

Der Grundwasserleiter (Aquifer) wird im Umfeld der Deponie Feldreben durch den geklüfteten, rund 50-60 m mächtigen Hauptmuschelkalk (untergeordnet Trigonodusdolomit) gebildet. Die darunterliegende Dolomitzone der Anhydritgruppe ist weitgehend undurchlässig und kann als Grundwasserstauer angesehen werden. Nördlich der Deponie, d.h. im Gebiet Hard, sind mächtige Schottervorkommen vorhanden, welche dort den Grundwasserleiter im Lockergestein darstellen. Es besteht ein enger hydraulischer Zusammenhang zwischen dem nördlichen (Lockergesteins-) Aquifer und dem Felsgrundwasser im Bereich der Deponie Feldreben.

*Grundwasserleiter,
-stauer*

Im nordöstlichen Deponiebereich sind die beiden Aquifere durch eine rund 15 m mächtige schlecht durchlässige Schicht aus Keupermergel voneinander getrennt. Demgegenüber besteht innerhalb des Hauptmuschelkalk-Aquifers lateral praktisch überall eine durchgehende hydraulische Verbindung.

Keupermergel im nordöstlichen Deponiebereich

Der Grundwasserspiegel liegt bei der Deponie Feldreben bei mittlerem Wasserstand rund 21-22 m u.T., so dass die Grundwassermächtigkeit dort rund 50-60 m beträgt. Das Grundwasser zirkuliert dabei hauptsächlich innerhalb von meist geringmächtigen stark wasserführenden Horizonten in verschiedenen Tiefenlagen (Kluft- und Karstaquifer).

Grundwasserspiegel

Die Grundwasserfliessverhältnisse im Umfeld der Deponie Feldreben werden im unmittelbaren Nahfeld einerseits stark durch die Grundwasserentnahme der Florin AG beeinflusst. Andererseits werden die natürlichen Fliessverhältnisse im weiteren Umfeld durch Grundwasseranreicherung und -entnahmen (Hardwasser AG, Industrie Schweizerhalle) 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. Dies führt dazu, dass im Bereich der Deponie Feldreben die ursprünglich (unbeeinflusste) nach Norden gerichtete Strömungsrichtung des Grundwassers nun in südlich bis westliche Richtung ab- bzw. umgelenkt wird.

Grundwasserfliessverhältnisse



2.2. Grundwasseranreicherung Hardwasser

Je nach Betriebszustand der Hardwasser AG ändern sich die Fliessverhältnisse im Bereich der Deponie Feldreben deutlich. Generell wirkt sich die Grundwasseranreicherung der Hardwasser AG bis weit über die Deponie Feldreben aus. Bei normalem Betriebszustand liegt der Grundwasserspiegel im Bereich der Deponie Feldreben ca. auf Niveau 257-258 m ü.M., d.h. also etwa rund 3-4 m höher als er ohne die Grundwasseranreicherung natürlicherweise liegen würde.

normaler Betriebszustand

Bei reduzierter Anreicherung liegt der Grundwasserspiegel rund 2.0-2.5 m tiefer (ca. auf Niveau 255-256 m ü.M.), der „Grundwasserberg“ ist aber noch vorhanden, und bewirkt immer noch einen höheren Wasserstand von rund 1-2 m gegenüber einem Zustand ohne Anreicherung.

reduzierte Anreicherung

Bei hoher Grundwasseranreicherung liegt der Grundwasserspiegel gegenüber mittlerem Wasserstand rund 1-2 m höher. Das Grundwasser fliesst dann aus dem ganzen Deponiegebiet vollständig in südöstliche bis südwestliche Richtung.

hohe Grundwasseranreicherung

In der Regel sind beim Normalzustand die Gefällsverhältnisse im Bereich der Deponie Feldreben ausgesprochen flach. Diese flachen Gefällsverhältnisse werden durch die permanente und relativ hohe Grundwasserentnahme aus dem Brunnen Florin (ca. 5'000 l/min) verursacht, welche dem „Grundwasseraufstau“ entgegenwirkt und bei niedrigem Wasserstand sogar zu einer kleinen „Grundwassersenke“ führt.

flache Gefällsverhältnisse



Wie die bisherigen Untersuchungen gezeigt haben, genügt bereits eine kurzfristige Unterbrechung der Grundwasseranreicherung von rund 1 Tag, dass der Grundwasserspiegel im Bereich der Deponie Feldreben innert wenigen Stunden deutlich sinkt, und erst rund 3-4 Tage später (d.h. nach Wiederinbetriebnahme der Anreicherung) wieder das ursprüngliche Niveau erreicht.

rasche Absenkung des Grundwasserspiegels

Insgesamt zeigt sich, dass der Abströmbereich der Deponie Feldreben, welcher im Hinblick auf die Beurteilung der Altlastensituation von ausschlaggebender Bedeutung ist, in erster Linie von der Infiltrationsrate der Hardwasser AG abhängig ist. Eigentliche saisonale natürliche Grundwasserstände (z.B. also Folge einer Niederschlagsversickerung) sind angesichts des dominanten Einflusses der Grundwasseranreicherung von untergeordneter Bedeutung und praktisch vernachlässigbar (vgl. Fig. 1).

Abströmbereich

2.3. Verlauf des Grundwasserspiegels während des Markierversuches

Aufgrund der überwiegend flachen und sich relativ rasch ändernden Gefälls- und Fliessverhältnisse war es von ausschlaggebender Bedeutung während des Markierversuches den Betriebszustand der Hardwasser AG genau zu erfassen. In Rücksprache mit der Hardwasser AG wurde deshalb vereinbart, während der Dauer des Versuches eine möglichst gleichmässige Anreicherung aufrecht zu erhalten (abgesehen von betrieblich notwendigen Änderungen), um damit den Versuch insgesamt bei "normalen" Grundwasserzuständen durchführen zu können.

"normaler" Grundwasserzustand

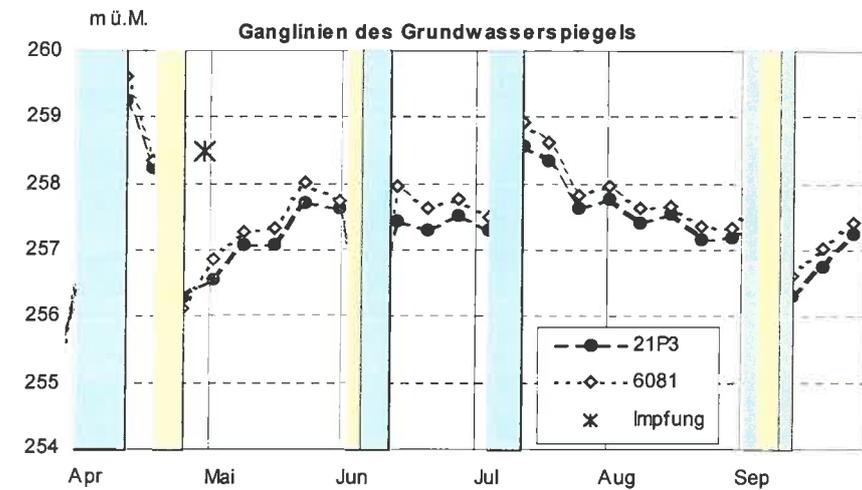
In der Figur 1 ist der Verlauf des Grundwasserspiegel vom April bis September 2004 anhand der Ganglinie von 2 ausgewählten Piezometerrohren dargestellt (21.P.3 südlich der Deponie, 6081 nördlich der Deponie). Daraus ist zu entnehmen, dass zu Versuchsbeginn Ende April der Grundwasserspiegel zuerst bewusst abgesenkt wurde (bzw. die Infiltration gedrosselt wurde). Damit sollte abgeklärt werden, ob auch ein Abliessen des Grundwassers in nördliche Richtung bei niedrigem Grundwasserstand möglich sei. Danach, d.h. ab Anfangs Mai lag der Grundwasserspiegel in-

Verlauf des Grundwasserspiegel

folge der "normalen" Grundwasseranreicherung wieder auf einem mittleren Niveau (vgl. Fig. 1).

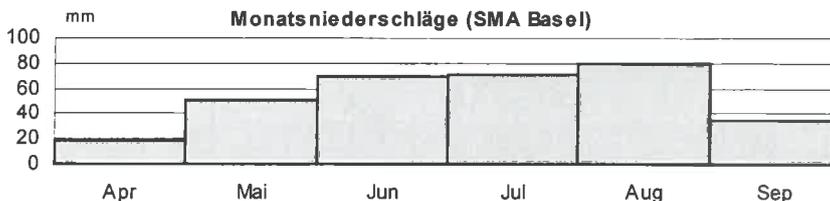
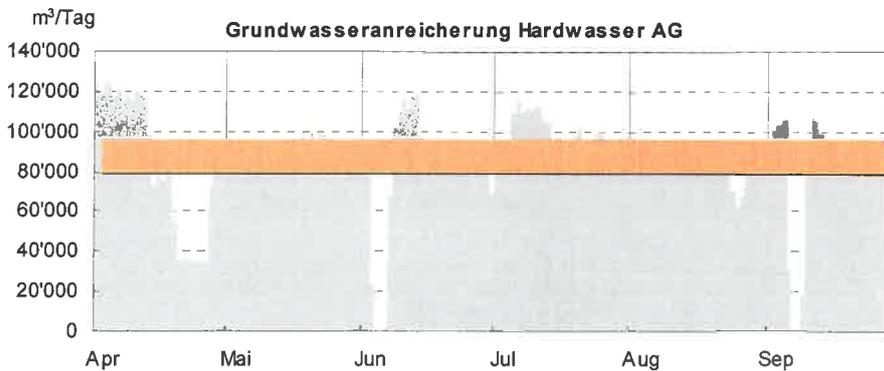
Anfangs Juni sank der Grundwasserspiegel vorübergehend wieder auf ein tiefes Niveau, weil die Anreicherung infolge starker Trübung des Rheins unterbrochen werden musste. In der ersten Julihälfte wurde für die 2. Grundwasserprobenahme die Grundwasseranreicherung verstärkt, um bewusst einen hohen Grundwasserspiegel herbeizuführen (2. Analytik bei HW). Schliesslich sank der Grundwasserspiegel nochmals zu Versuchsende anfangs September infolge eines betrieblichen Unterbruches bei der Hardwasser AG kurzfristig ab.

Grundwassertief- und hochstände



Figur 1: Grundwasserspiegel und -anreicherung; Monatsniederschläge

(gesteigerte bzw. gedrosselte Anreicherungsphasen sind blau bzw. gelb unterlegt)



3. Markierversuch

3.1. Zielsetzung

Mit dem Markierversuch wurde gemäss Konzept und Pflichtenheft folgende vorgegebene Zielsetzung verfolgt:

- Überprüfung, ob der Einzugsbereich der Grundwasserentnahme Florin den ganzen Deponiekörper abdeckt. *Einzugsbereich
Brunnen Florin*
- Überprüfung, ob Grundwasser von der Deponie in Richtung der Grundwasserfassungen der Hardwasser AG sowie in Richtung des Pumpwerkes Schanz der Gemeinde MuttENZ sowie des durch die Industrie Schweizerhalle genutzten Brunnens 41.E.5 strömt. *genutzte Brunnen*
- Feststellung, ob Meteorwasser durch den Deponiekörper dringt und dadurch allfällig noch vorhandene Schadstoffe auschwemmen kann. *Durchdringung
Deponiekörper*
- Abklären der Grundwasserfliessverhältnisse in der weiteren Umgebung der Deponie Feldreben, insbesondere sind die Fliessverhältnisse des Grundwassers, welches nördlich der Deponie aus der Grundwasseranreicherung Hard nach Süden abströmt und höchstwahrscheinlich die Deponie unterströmt, qualitativ zu erfassen. *Grundwasser-
fliessverhältnisse*
- Abklären, wie sich die Grabenzone im südöstlichen Teilbereich der Deponie auf die Grundwasserverhältnisse auswirkt, bzw. ob diese ein Abströmen von allfällig austretendem Sickerwasser nach Südosten bzw. Osten verzögert oder sogar verhindert. *Grabenzone*
- Abklären, ob und wie stark hydraulische Zusammenhänge zwischen den verschiedenen grundwasserführenden Horizonten bestehen. Dabei sollen insbesondere unterschiedliche Fliessgeschwindigkeiten der verschiedenen Horizonte erkannt werden. *verschiedene
grundwasserfüh-
rende Horizonte*



3.2. Impfung

Ange-sicht der wechselnden Grundwasserverhältnisse wurde die Einimpfung (Einspeisung) der Markierstoffe in zwei Schritten durchgeführt. Eine 1. Impfung erfolgte am 22.4.2004 bei niedrigem Wasserstand, bei welcher die vier Impfstellen rund um die Deponie sowie die „Oberflächenimpfung“ durchgeführt wurden. Die 2.

2 Impfungen

Impfung wurde rund 10 Tage nach der ersten am 1.5.2004 an der letzten Impfstelle (21.C.231) durchgeführt, mit welcher das Grundwasser aus Richtung des Grundwasserberges verfolgt wurde. Zu diesem Zeitpunkt war bereits wieder eine verstärkte Grundwasseranreicherung betrieben (vgl. Kap. 2.3).



Impfstellen	21.E.25	21.P.3	F2.2	F.3.2	Schacht / Wiese	21.C.231
Datum	22.4.2004					1.5.2004
Lage	Randbereich Deponie Feldreben				Deponie-Oberfläche	„Grundwasser-Anreicherung“
	Hauptmuschelkalk-Grundwasser		Lockergesteinsgrundwasser			
Filterstrecke	26 –56 m u.T.	39 –73 m u.T.	16 –21 m u.T.	24 –27 m u.T.	-	16 –21 m u.T.
Durchmess.	ca. 120 mm	6"	6"	4 ½"	-	4 ½"
Tracer	Naphtionat	Pyranin	Uranin	Amido-rhodamin G	Sulfo-rhodamin B	Eosin
Menge	7 kg	3 kg	1.5 kg	1.5 kg	1.5 kg	2.5 kg
Nachspülung	200 l	500 l	3000 l	3000 l	ca. 40 m ³	500 l

Tabelle 1: Impfstellen

1. Impfung

Das Grundwasser wurde an vier verschiedenen Impfstellen eingefärbt, welche mehr oder weniger gleichmässig rund um die Deponie Feldreben verteilt sind (vgl. Anh. 1). In den beiden Impfstellen im südlichen bzw. östlichen Deponiebereich (21.P.3 bzw. 21.E.25) wurde das Grundwasser direkt im Hauptmuschelkalk eingefärbt. Bei den Impfstellen im nördlichen und westlichen Deponiebereich (F2.2 und F3.2) wurden die Tracer ins Lockergesteinsgrundwasser eingegeben, was auch am ehesten der Realität von möglichen Sickerwasseraustritten aus der Deponie entspricht.

Vier Impfstellen rund um die Deponie

Zur Erfassung der Fliesspfade in unterschiedlichen Tiefenhorizonten wurde bei der Impfung der Bohrung 21.P.3 der ganze Grundwasserleiter im Hauptmuschelkalk über einen Tiefenbereich von 40-80 m u.T. eingeimpft.

Unterschiedliche Tiefenhorizonte

Zur Überprüfung der Durchlässigkeit des Deponiekörpers wurde eine weitere Impfstelle auf der Deponieoberfläche auf der Grünfläche im nordöstlichen Bereich der Deponie gewählt, bei welcher der Tracer auf einer Fläche von ca. 20 x 20 m flächenhaft verteilt und über Nacht mit einem Rasensprenger nachgespült wurde (Simulation eines Niederschlagsereignisses).

Impfstelle auf der Deponieoberfläche

2. Impfung

Als zusätzliche Impfstelle wurde das Grundwasser in einer Bohrung zwischen der Grundwasseranreicherung der Hardwasser AG und der Deponie Feldreben eingepflegt (21.C.231). Mit dieser Impfung konnte der Fliessweg des Infiltrates vom Grundwasserberg verfolgt wurde.

*Impfstelle
Grundwasser-
anreicherung*



3.3. Probenahme

Als Probenahmestellen wurden alle zur Verfügung stehenden Bohrungen im weiteren Umfeld der Deponie Feldreben sowie die bestehenden Grundwasserfassungen (Florin, Wasserversorgung Muttenz, Industrie Schweizerhalle) verwendet (vgl. Tab. 2 und 3). Die Entnahme der Grundwasserproben erfolgte bei den Fassungen ab Hahn und bei den Bohrungen mit Tauchpumpen, die während der Versuchsdauer in den Piezometern belassen wurden, so dass eine Kontamination bei der Probenahme ausgeschlossen werden konnte (Verschleppung durch Pumpenschläuche). Vor der Probenahme wurden jeweils ca. 10-15 min vorgepumpt (geförderte Wassermenge ca. 30-50 Liter).

Probenahmestellen

Probenahmestellen	F1	F2.1	F3.1	F4		F5			C.81	C.230	C.232	C.236	C.244	C.245	C.80
	F4_1	F4_2	F5_5	F5_4	F5_1										
Lage	Neue Bohrungen im Deponie-Nahbereich								Pegel der Hardwasser AG						
Entnahmetiefe (m u.T.)	26 m	40 m	50 m	40 m	70 m	24 m	40 m	69 m	24 m	20 m	26 m	21 m	24 m	38 m	24 m
Durchm.	4 1/2"	6"	6"	6"	6"	2"	2"	2"	4 1/2"	4 1/2"	4 1/2"	4"	4 1/2"	4"	4 1/2"

Tabella 2: Probenahmestellen Piezometer

Brunnen	E.3	21.A.101	21.A.103	21.A.105	41.E.5	B3	B6
Bezeichnung	Florin AG	PW Birsland	PW Schanz	PW Obere Hard	Schweizerhalle	Hardwasser AG	
Entnahmemenge (ca.)	5'000 l/min	4'500 l/min	6'500 l/min	14'400 l/min	30'000 l/min	2'100 l/min	4'800 l/min

Tabella 3: Probenahmestellen Fassungen

Aus den beiden Bohrungen F5 und F4 wurden jeweils Proben aus verschiedenen Tiefen entnommen (Tab. 2). Die Probenahme bei der Bohrung F5 wurde durch Vertreter des Bauamtes Muttenz durchgeführt, da hier durch den speziellen Filtereinbau (MPSS) direkt verschiedene Horizonte ohne Packereinbau beprobt werden mussten. Beim Piezometer F4 wurde während der Versuchsdauer permanent ein Packer eingebaut, um vertikale Strömungen im Piezometer zu vermeiden.

*Tiefengestufte
Probenahme*

Da mit hohen Fliessgeschwindigkeit im Karst gerechnet werden musste, wurde ein gestaffeltes Probenahme-Intervall gewählt, bei welchem zu Beginn intensiv (täglich) und anschliessend immer in grösseren zeitlichen Abständen Proben entnommen wurden (2-3 x wöchentlich, die genauen Entnahmedaten sind in Anh. 3 aufgeführt).

*Probenahme-
Intervall*

Der Versuch dauerte vom 22.4.2004 (1. Impfung) bis am 20.9.2004 (letzte Probnahme). Die gesamte Versuchsdauer betrug also insgesamt 5 Monate (rund 150 Tage), wobei nach rund 10 Wochen (Ende Juli) nur noch ausgewählte Entnahmestellen berücksichtigt wurden (vgl. Tab. in Anh. 3).

Versuchsdauer

Die Proben aus den Piezometerrohren wurden durch Geologen unserer Firma entnommen. Für die Entnahme der Wasserproben aus den Fassungen konnten wir auf verschiedene erfahrene Probenehmer zurückgreifen, welche jeweils für die entsprechenden Fassungen zuständig waren.

Probenehmer

Jede Probe wurde jeweils in 2 Glasfläschchen (Doppelproben) abgefüllt. Nach der Probenahmetournee wurden die Proben pro Probenahmepunkt in separate Kisten abgefüllt und bis zur Auswertung wegen der Lichtempfindlichkeit der Markierstoffe im Dunkeln und kühl gelagert.

*Proben-
aufbewahrung*



3.4. Analytik

Die Analytik der Proben wurde durch die Otzhydro, Bellmund, ausgeführt. Die Nachweisgrenze der eingesetzten Tracer liegt im ppt-Bereich (10^{-6} g/m³). Vor der Analytik wurden die Proben sedimentiert, filtriert und gepuffert.

Nachweisgrenze

Gemäss Angaben des Labors wurden bei der Analyse bei jeder Probe drei verschiedenen Auswertungsmethoden angewandt:

Labormethoden

- a. mit fest eingestellten Monochromatoren/Farbstoff
- b. mit Doppelscanning-Verfahren
- c. mit HPLC (Hochdruckflüssigkeitschromatographie)

Durch diese drei unabhängigen Messmethoden ist eine hohe Qualitätskontrolle der Laborergebnisse gegeben. Die Proben wurden in der Regel zweimal geprüft.

3.5. Ergebnisse

Im Anhang 3 sind alle Messwerte der wiedergefundenen Tracer tabellarisch zusammengestellt. Die nachgewiesenen Tracerpfade mit Angabe der maximalen Fliessgeschwindigkeiten sind auch im Anhang 2 in einem Situationsplan mit Darstellung des Grundwasserspiegels bei mittlerem ("normalem") Grundwasserstand veranschaulicht.

*grafische
Auswertung*



Die einzelnen Farbstoffdurchgänge sind ebenfalls in der Figur 2 als Ganglinien dargestellt. Aufgrund der grossen Konzentrationsunterschiede wurde eine logarithmische Darstellung gewählt.

*Farbstoffdurch-
gänge*

3.5.1. Nachgewiesene Tracer im Nahfeld der Deponie

Uranin, Impfstelle F2.2

Der an der NW-Ecke der Deponie eingepfulte Tracer Uranin, welcher über das Piezometer F2.2 in das Lockergestein (Schotter) eingegeben wurde, erschien schon am Impftag im unmittelbar benachbarten Piezometer F2.1 (Hauptmuschelkalk), und zwar in so hohen Konzentrationen, dass die grünliche Färbung des Wassers auch von Auge beobachtet werden konnte (max. Konz. rund $10'000 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die Tracerkonzentration nahm hier in der Folge aufgrund der nahen Lage zur Impfstelle nur langsam ab, was auf einen ständigen Tracer-Nachschub schliessen lässt.

Piezometer F2.2

Daneben konnte das Uranin nur noch bei der Messstelle F5 und im Brunnen Florin nachgewiesen werden. An beiden Stellen erschien das Uranin bereits 2 Tage nach der Impfung. Während beim Brunnen Florin aber nur geringe Konzentrationen ($< 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) während rund 10 Tagen festzustellen waren, konnte beim Piezometer F5 in den oberen beiden Messstellen (24 und 40 m u.T.) ein sehr deutlicher Farbstoffdurchgang mit maximalen Konzentrationen bis rund $5' \cdot 10'000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nachgewiesen werden. Dabei können mehrere sich überlagernde Farbstoffdurchgänge hintereinander beobachtet werden (vgl. Fig. 2).

*Messstelle F5 und
Brunnen Florin*

Da das Uranin in keiner weiteren Messstelle nachgewiesen wurde, ist zu vermuten, dass es sich nur nach Osten in Richtung zum Brunnen Florin bewegte. Insbesondere konnte kein Abfliessen nach NW (z.B. C.230 oder C.232) nachgewiesen werden.

*Abfliessen nach
Osten*

Amidorhodamin, Impfstelle F3.2

Der bei der NE-Ecke der Deponie ins Lockergestein eingepfulte Tracer Amidorhodamin (Impfstelle F3.2) erschien analog zum Uranin bereits am Impftag im unmittelbar benachbarten Piezometer F3.1 (Hauptmuschelkalk), dies obwohl zwischen Impf- und

*Entnahmestelle
F3.1*



Entnahmestelle eine vertikale Distanz von rund 25 m (davon rund 15 m Keupermergel) zu durchdringen waren. Die Konzentration war anfänglich bescheiden und erreichte erst rund 2 Wochen später hohe Konzentration über $4' - 7'000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (vgl. Fig. 2). Eine deutliche Abnahme konnte erst wieder nach rund 2 Monaten festgestellt werden. Auch hier ist aufgrund der nahen Lage zur Impfstelle ein ständiger Trachernachschub anzunehmen.

Der Tracer erschien rund 4 Tage resp. 1 Woche später erstmals im Piezometer C.232 und im Brunnen Florin. Beim Piezometer C.232 war der Farbstoffdurchgang erst rund 2 Wochen später beendet (max. Konz. $1070 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Demgegenüber war der Durchgang beim Brunnen Florin schneller und bereits nach einer Woche wieder vorbei (vgl. Fig. 2). Auch waren hier geringere Konzentrationen unter rund $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ feststellbar. Schliesslich konnte der Tracer nach rund 80 Tagen (Mitte Juli) erstmals im Piezometer F4 nachgewiesen werden (40 m u.T., max. Konz. rund $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vgl. Fig. 2).

*C.232 und
Brunnen Florin*

Insgesamt bewegte sich der Tracer also sowohl nach NW in Richtung des Brunnens Florin als auch nach Süden (F4). Der Impfpunkt liegt also im Bereich einer Grundwasserscheide bzw. die Fliessrichtung wird stark von der Grundwasserbewirtschaftung beeinflusst (Entnahme Florin, Anreicherung Hard).

*Abfliessen nach
NW und Süden*

Naphtionat, Impfstelle E.25

Der an der E-Seite der Deponie eingepfote Tracer Naphtionat (Impfstelle E.25) konnte nur bei der Entnahmestelle F4 im Süden nachgewiesen werden. Der Durchgang erfolgte praktisch gleichzeitig und synchron sowohl am oberen (40 m u.T) als auch am unteren Entnahmepunkt (70 m u.T.). Der Durchgang war im unteren Bereich (F4.2) insgesamt etwas stärker (max. Konz. rund $5'000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (vgl. Fig. 2).

Entnahmestelle F4

Insgesamt resultiert von dieser Impfstelle eine südwärts gerichtete Fliessrichtung des Grundwassers. Theoretisch wäre auch eine Fliessrichtung nach NE denkbar, aber aufgrund des Isohypsenbildes des Grundwasserspiegels bei „normalem“ Wasserstand eher unwahrscheinlich (vgl. Anh. 2).

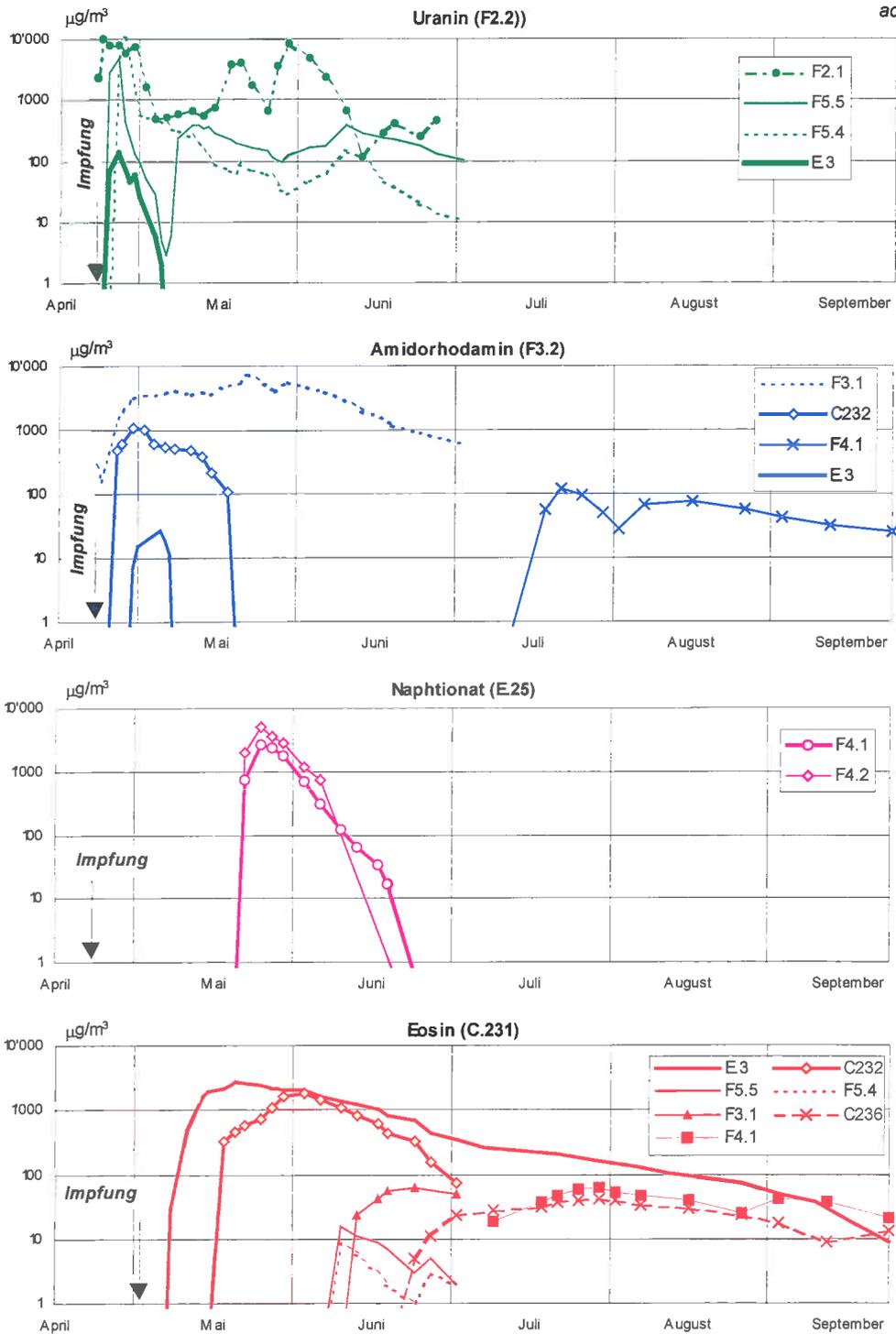
*Fliessrichtung
nach Süden*

Pyranin, Impfstelle P3

Der bei der Impfstelle P3 eingepfote Tracer Pyranin konnte in keiner Probenahmestelle nachgewiesen werden. Hier ist ein Abströmen nach S bis SE zu vermuten, was mangels Entnahmestellen aber nicht belegt werden konnte.

kein Nachweis

Figur 2:
Tracer-Durchgänge
(logarithmische
Darstellung be-
achten!)



3.5.2. Impfstelle Deponieoberfläche (Sulforhodamin B)

Der Tracer Sulforhodamin B wurde auf einer Fläche von rund 20 x 20 m oberflächennah auf einer kleinen Wiese auf der Deponieoberfläche ausgebracht und anschliessend über Nacht permanent mit einer Sprinkleranlage bewässert (total rund 40 m³ Wasser). Trotz dieser intensiven Bewässerung konnte der Markierstoff bei keiner Probenahmestelle nachgewiesen werden.

kein Farbstoff-nachweis



Dieses Nichterscheinen lässt auf eine schlechte vertikale Durchlässigkeit des Deponiesickerkörpers schliessen.

3.5.3. Impfstelle "Grundwasseranreicherung" (Eosin)

Der im Abströmbereich des Grundwasserberges „Hardwasser“ eingepfote Tracer Eosin (Impfstelle C.231) wurde bei insgesamt 7 Probenahmestellen nachgewiesen. Diese liegen alle im südwestlichen Sektor der Impfstelle (vgl. Anh. 2). In hohen Konzentrationen erschien das Eosin erstmals nach 6 Tagen im Brunnen Florin und erreicht nach rund 2 Wochen das Konzentrationsmaximum von rund 2'600 µg/m³. Ebenfalls ein deutlicher Farbstoffdurchgang mit hohen Konzentrationen bis 1'750 µg/m³ lässt sich beim Piezometer C.232 mit einer Verzögerung von rund 10 Tagen erkennen.

Brunnen Florin und C.232

Nach gut 5-6 Wochen erscheint das Eosin deutlich in geringeren Konzentrationen von rund 20-60 µg/m³ bei den beiden Piezometern F5 (gleichzeitig im obersten und mittleren Entnahmebereich) und F3.1. Nach weiteren 10 Tagen, d.h. nach ca. 50-60 Tagen, erscheint der Tracer schliesslich in ähnlichen Konzentrationen auch bei den beiden weiter entfernten Piezometern C.236 und F4.

*F5 und F3.1
C.232 und F4*

Der Tracer konnte in keiner Messstelle nördlich der Bahngeleise nachgewiesen werden (insbesondere nicht in C.230, C.80 und C.81). Dies belegt, dass im Umfeld der Deponie Feldreben eine westliche bis südwestliche Hauptfliessrichtung des Grundwassers vorherrscht. Dies gilt sowohl bei kurzfristigen Grundwasserabsenkungen (Versuchsbeginn) als auch bei normalerweise vorherrschenden flachen Grundwassergefällsverhältnissen (während der restlichen Versuchsdauer). Gegenläufige Fliessrichtungen werden einzig lokal durch den Pumpbetrieb Florin verursacht (vgl. Anh. 2).

*südwestliche
Hauptfliessrichtung*

3.5.4. Kein Tracernachweis

Bei folgenden Entnahmestellen konnten keine Tracer nachgewiesen werden:

- F1: Im SW-Eckbereich der Deponie ist generell eine sehr geringe Grundwasserbewegung zu vermuten.



- C.230/C.81 (nördlich Geleise): Durch das Nichterscheinen keines der Tracer ist mit grosser Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass kein Abströmen in nördlicher Richtung stattfindet.
- C.244: Die eingesetzten Tracer (insbes. Eosin) dürften vermutlich erst nach Versuchsende dort eintreffen oder aber südlich davon abfliessen.
- F5.1: Im tieferen Stockwerk an der Basis des Hauptmuschelkalkes (70 m u.T.) wurde kein Tracer nachgewiesen, auch diejenigen nicht, welche an dieser Stelle im oberen und mittleren Bereich festgestellt wurden (Eosin und Uranin 25 resp. 40 m u.T.).
- Grundwasserfassungen: Aufgrund der ermittelten Fliessgeschwindigkeiten und -richtungen dürfte langfristig höchstens noch Eosin zu erwarten sein, dies aber frühestens in einigen Monaten bis Jahren. Auf eine weitergehende Beprobung wurde daher verzichtet.

3.5.5. Fliessgeschwindigkeiten

Neben den Fliessrichtungen können mit Hilfe der festgestellten Farbstoffdurchgänge auch die Fliessgeschwindigkeiten bzw. Abstandsgeschwindigkeiten des Grundwassers im Hauptmuschelkalk ermittelt werden. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen (vgl. auch Tab. 4):

- Die durchschnittliche maximale Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers im Hauptmuschelkalk beträgt generell rund 10 – 25 m/Tag. Im Einflussbereich des Brunnens Florin wurden allerdings noch höhere maximale Fliessgeschwindigkeiten bis rund 50-70 m/Tag festgestellt (vgl. Anh. 2).

maximale Fliessgeschwindigkeit

Die mittleren Fliessgeschwindigkeiten¹ liegen meist zwischen rund 2 bis 15 m pro Tag. Es ist allerdings augenfällig, dass bei den Messstellen im Nahbereich des Brunnens Florin generell höhere Fliessgeschwindigkeiten resultieren. Tendenziell zeigt sich daraus, dass die Fliessgeschwindigkeit als Folge des kontinuierlichen Pumpbetriebes in Richtung Florin zunimmt.

mittlere Fliessgeschwindigkeiten

¹ Zur Ermittlung der mittleren Fliessgeschwindigkeiten wurde die mittlere Verweilzeit des Tracerdurchganges empirisch abgeschätzt. Es handelt sich dabei um eine grobe Abschätzung, welche darauf beruht, dass die mittlere Verweilzeit ungefähr dann erreicht ist, wenn die Tracerkonzentration 2/3 des Konzentrationsmaximums erreicht hat (gemäss Praxishilfe BWG 2002). Davon abweichende Bestimmungen wurden in Klammern gesetzt, z.B. bei einem ausgesprochen flachen Tracerdurchgang, wo die mittlere Verweilzeit ungefähr beim Konzentrationsmaximum auftritt.



Impfstelle	Nachweis	Distanz	max. Fließgeschwindigkeit		mittl. Fließgeschwindigkeit	
			Erstnachweis (Tage)	V _{max}	t _{mittel} (Tage)	V _{mittel}
C.231 (Eosin)	E.3	400 m	6	66.7	33	12.1
	C.232	350 m	16	21.9	36	9.7
	F5	440 m	38	11.6	41	10.7
	F3.1	340 m	41	8.3	(65)	(5.2)
	C.236	675 m	52	13.0	90	7.5
	F4	475 m	67	7.1	(95)	(5)
F2.2 (Uranin)	E.3	140 m	2	70	5	28
	F5 (24m/40m)	100 m	2 / 4	50 / 25	-	
F3.2 (Amido)	C.232	90 m	4	22.5	10	9
	E.3	170 m	7	24.3	(12)	14.1
	F4	175 m	85	2.1	(95)	(1.8)
E.25 (Naph)	F4	70 m	29	2.4	35	2

Tabelle 4: Fließgeschwindigkeiten

3.5.6. Rückgewinnungsraten

Für die im Brunnen Florin erschienenen Tracer können aus den gemessenen Tracerkonzentrationen die ungefähren Rückgewinnungsraten abgeschätzt werden (Annahme einer konstanten Entnahmemenge während der ganzen Versuchsdauer von rund 5'000 l/min). Diese betragen für das Eosin ca. 19%; was einer mittleren Rückgewinnungsrate entspricht. Hingegen resultieren für die beiden Tracer Uranin (ca. 1-2‰) und Amidorhodamin (ca. 0.5‰) nur sehr kleine Rückgewinnungsraten².

*mittlere Rückgewinnungsraten
Brunnen Florin*

Daraus lässt sich ableiten, dass das im Brunnen Florin zutage geförderte Grundwasser mehrheitlich aus "angereichertem" Rheinwasser-Infiltrat besteht, und nur untergeordnet "echtes" Muschelkalk-Grundwasser enthalten dürfte.

3.5.7. Weitere Ergebnisse

Bei einigen Entnahmestellen konnte seit Beginn des Markierversuches, d.h. insbesondere auch bereits in der Nullprobe vor der Impfung, Uranin in schwankenden Werten im Spurenbereich wenig über der Nachweisgrenze festgestellt werden (C.80/C.81/C.230/C.236/B3/B6/A101/A103). Diese Tatsache kann durch eine anthropogene Uranin-Grundlast im Rheinwasserinfiltrat erklärt werden (verursacht z.B. durch Badesalze). Dies ist gleichzeitig ein

*Speisung der
Trinkwasserfassungen*

² Die Abstufung der Rückgewinnungsraten richtet sich nach der Praxishilfe „Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie“ (BWG, 2002). Die ermittelten Rückgewinnungsraten liegen in einem „normalen“ Bereich, wie es aufgrund der vorliegenden hydrogeologischen Situation (Verdünnungs- und Retardationseffekte) erfahrungsgemäss zu erwarten ist.

Indiz dafür, dass diese Entnahmestellen (insbesondere auch die öffentlichen Trinkwasserfassungen) hauptsächlich durch die Grundwasseranreicherung der Hardwasser AG gespeist werden.

Als weitere wichtige Feststellung ist aufzuführen, dass kein klarer Zusammenhang zwischen den kurzzeitigen Grundwasserhoch bzw. -tiefständen, welche während der Versuchsdauer eintraten (vgl. Fig. 1), und den Ergebnissen des Markierversuches erkannt werden konnte. Da keine ausserordentlich hohen Fliessgeschwindigkeiten festgestellt wurden, wirken sich dementsprechend kurzfristige Änderungen des Grundwasserspiegels höchstens sehr untergeordnet auf die Hauptfliessrichtung des Grundwassers aus. Wohl ist es nicht auszuschliessen, dass sich kurzfristig die Grundwasserfliessrichtungen lokal ändern können, eine qualitative oder quantitative Aussage darüber lässt sich aber mit Hilfe des Markierversuches nicht ableiten.

kein Zusammenhang mit Grundwasserstand



4. Folgerungen

Mit Hilfe des Markierversuches können die generell flachen und komplexen Fliess- und Gefällsverhältnisse im Grundwasser in der Umgebung der Deponie Feldreben präzisiert werden:

Die Hauptfliessrichtung des Grundwassers wird im Wesentlichen durch die Grundwasseranreicherung der Hardwasser AG geprägt und zeigt im *nördlichen* Deponieumfeld generell in westliche bis südwestliche Richtung (vgl. Anh. 2). Im *südlichen* Deponieumfeld dürfte eine südliche bis südöstliche Strömungsrichtung vorherrschen, was mit dem Markierversuch allerdings nur für den östlichsten Teilbereich eindeutig belegt werden konnte. Im südwestlichen Teilbereich der Deponie sind generell sehr kleine Fliessgeschwindigkeiten zu erwarten.

Hauptfliessrichtung

Kurzfristige Änderungen der Grundwasserspiegellage, welche durch einen Wechsel im Anreicherungsregime der Hardwasser AG verursacht werden, führen zu keinen merklichen Auswirkungen auf die generellen Fliessverhältnisse.

kurzfristige Änderungen der Grundwasserspiegellage

Aus dem Markierversuch ergeben sich keine Hinweise, dass bei „normalen“ Bedingungen (Pumpbetrieb Florin, Grundwasseranreicherung Hardwasser) ein Abströmen des Grundwassers von der Deponie in Richtung zu den Grundwasserfassungen der Hardwasser AG oder den öffentlichen Trinkwasserfassungen der Gemeinde Muttenz stattfindet. Daraus kann abgeleitet werden, dass das Grundwasser aus dem Deponiebereich entweder zum Brunnen Florin oder in südliche bis südwestliche Richtung abfliesst.

kein Abströmen zu den Trinkwasserfassungen

Der Einzugsbereich des Brunnen Florins kann annäherungsweise festgelegt werden und umfasst u.a. einen wesentlichen Teil des nördlichen Deponieperimeters (vgl. Anhang 2). Das entnommene Grundwasser ist eine Mischung aus überwiegend infiltriertem „Hardwasser“ und untergeordnet Hauptmuschelkalk-Grundwasser aus dem oberen Aquiferbereich bis ca. 40 m u.T.

*Einzugsbereich
Brunnen Florin*



Der Einfluss der Grundwasseranreicherung im nördlichen Deponeiumfeld spielt sich vor allem im oberen und mittleren Tiefenbereich bis rund 40 m u.T. ab. Dies entspricht so ziemlich dem Einflussbereich der Grundwasserentnahme aus dem Brunnen Florin. Ein tieferreichender Einfluss bis auf den Stauer bzw. bis in eine Tiefe von rund 70 m u.T. ist gestützt auf die Ergebnisse des Markierversuches sowohl für die Grundwasseranreicherung als auch der –entnahme aus dem Brunnen Florin nicht zu erkennen (kein Tracernachweis im tiefsten Stockwerk bei F5).

*Einfluss der
Grundwasser-
anreicherung*

Die Fliessgeschwindigkeiten des Grundwassers im Hauptmuschelkalk liegen in einem „normalen“ Bereich von mehreren Metern pro Tag (2-25 m/Tag) ohne ausgesprochene Extremwerte, wie sie im Karst z.T. üblich sind. Einzig durch den Pumpbetrieb Florin werden die Fliessgeschwindigkeiten entlang präferenzierter Fliesswege im Hauptmuschelkalk bis auf rund 70 m/Tag erhöht. Insbesondere im engsten Umkreis des Brunnens Florin sind infolge des sich vertiefenden Absenktrichters auch die mittleren Fliessgeschwindigkeiten etwas grösser (bis rund 30 m/Tag).

*Fliessgeschwindig-
keiten*

Der Markierversuch hat gezeigt, dass die Überlagerung des Hauptmuschelkalkes mit Keupermergel im nordöstlichen Deponeibereich kaum zu einer verzögerten vertikalen Durchdringung des eingesetzten Markierstoffes führte (Amidorhodamin bei F3.2). Angesichts der doch beträchtlichen Keupermächtigkeit von rund 15 m ist daher zu vermuten, dass der Keuper durch Störungen tektonisch so aufgebrochen ist, dass er nicht als durchgehender „Deckel“ wirkt und daher kaum einen wirksamen Rückhalt bzw. Schutz des Grundwassers im Hauptmuschelkalk darstellt. Dies gilt ebenfalls für die lehmigen Schichten im obersten Bereich des Hauptmuschelkalkes (F2.2).

*vertikalen Durch-
dringung des Keu-
permergels*

Die ursprünglich als potentielle hydraulische Barriere wirkende Grabenzone, welche im östlichen Deponeibereich in SW-NE-Richtung verläuft, konnte mit dem Markierversuch nicht bestätigt werden. Vielmehr zeigt sich, dass ein Abfliessen des Grundwasser durch diese Störungszone gegeben ist.

*keine als hydraulische Barriere
wirkende Graben-
zone*

Das Auswaschungspotential der Deponie Feldreben durch einsickerndes Niederschlagswasser ist relativ gering.

*Auswaschung-
potential*

Olten, 1.12.2004

Sachbearbeiter: Dr. P. Hartmann, Geologe

SC+P Sieber Cassina + Partner AG

P. Hartmann

Situation 1:10'000
mit Lage der Impf- und Probenahmestellen

Legende

Deponieperimeter

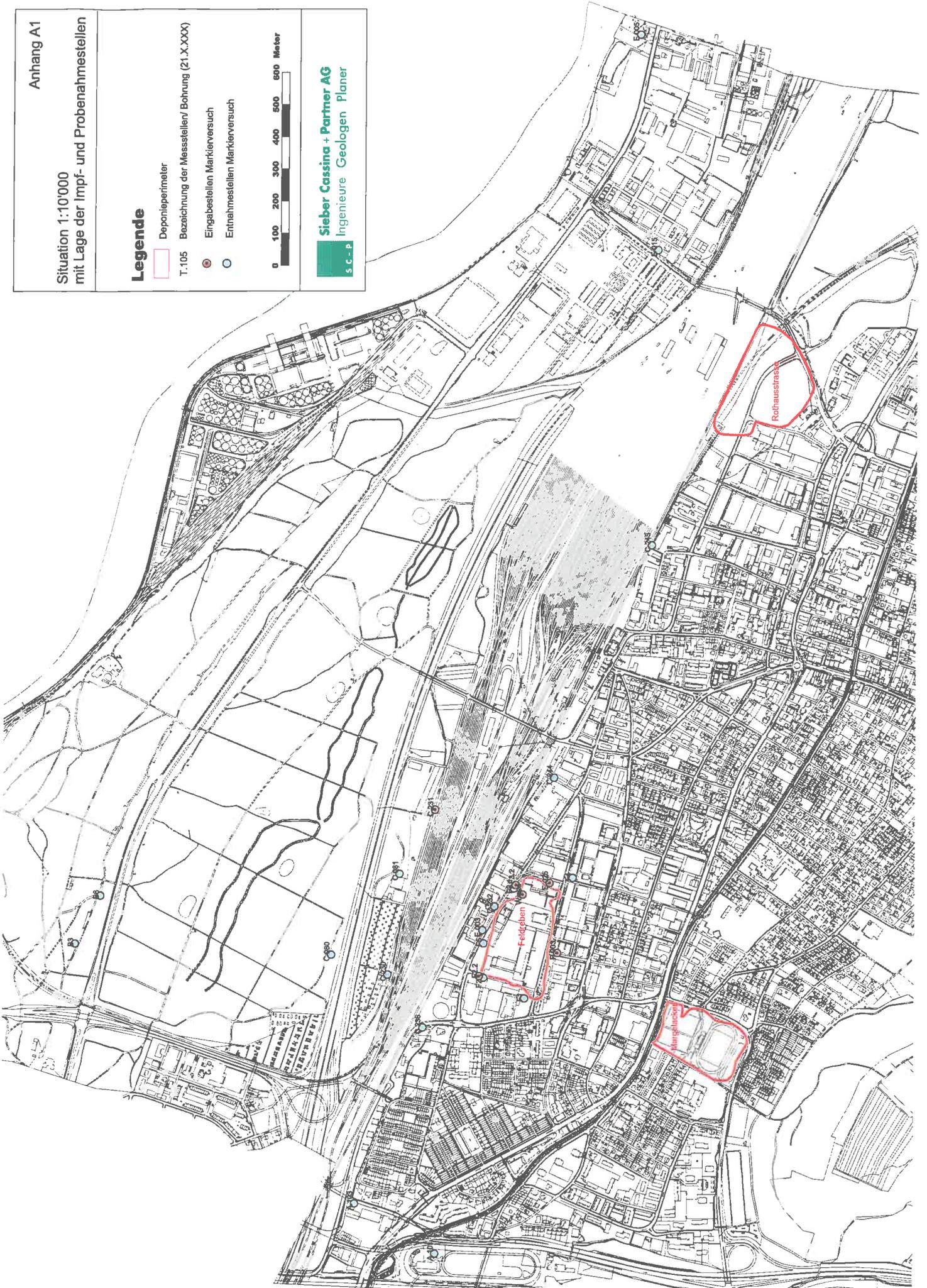
T.105 Bezeichnung der Messstellen/ Bohrung (21.X.XXXX)

● Eingabestellen Markierversuch

○ Entnahimestellen Markierversuch

0 100 200 300 400 500 600 Meter

Sieber Cassina + Partner AG
Ingenieure Geologen Planer



Markierversuch Muttenz / Zusammenstellung der Messergebnisse Ozhydro (Angaben in 10⁻⁶ g/m³ = Nachwelsgrenze)

Datum	Anzahl Tage	E 3			F2.1			F3.1			F4.1			F4.2			F5.5			F5.4			C232		C236		
		Uranin	Amido	Eosin	Uranin	Amido	Eosin	Naphh	Eosin	Amido	Uranin	Amido	Naphh	Uranin	Amido	Eosin	Uranin	Amido	Eosin	Uranin	Amido	Eosin	Amido	Eosin	Amido	Eosin	
22.04.2004	0				2368	260																					
23.04.2004	1	0			9896	156								0													
24.04.2004	2	66			7971	430							2745														
26.04.2004	4	143			7997	1520							4998														
27.04.2004	5	78			5706	1980							448														
28.04.2004	6	47	0										243														
29.04.2004	7	61	7		7564	3220							131														
30.04.2004	8	28	15										97														
01.05.2004	9	0			1610	3580							54														
03.05.2004	11	2	6	22	492	3490							29														
04.05.2004	12	3	2	27									5														
05.05.2004	13	4	0	19	539	3680							3														
06.05.2004	14	5	0	11									6														
07.05.2004	15	6		0	29	601	4210						242														
10.05.2004	18	9		0	470	678	3450						391														
11.05.2004	19	10			792								375														
12.05.2004	20	11			1141	541	3890						350														
13.05.2004	21	12			1568								355														
14.05.2004	22	13			1874	738	3559						287														
17.05.2004	25	16			2193	3816	5070						229														
18.05.2004	26	17			2435								199														
19.05.2004	27	18			2609	3973	5420	0					184														
21.05.2004	29	20			1774	7320	751	751					1958														
24.05.2004	32	23			2435	660	5170	2690					4898														
25.05.2004	33	24			2222								114														
26.05.2004	34	25			2180	3617	3930	2315					103														
27.05.2004	35	26			2113								98														
28.05.2004	36	27			2070	8233	5660	1740					121														
01.06.2004	40	31			1986	4900		706					1440														
04.06.2004	43	34			1638	2314	4059	304					167														
08.06.2004	47	38			1318	686	2995	0	125				175														
11.06.2004	50	41			1193	115	2038	23	63				390														
15.06.2004	54	45			994	280	1587	41	35				295														
17.06.2004	56	47			799	413	1223	56	17				237														
22.06.2004	61	52			694	248	915	61	61				225														
25.06.2004	64	55			435	488	#NV	0					174														
30.06.2004	69	60			351	642	#NV	48	0				131														
05.07.2004	74	65			263								106														
07.07.2004	76	67											18														
16.07.2004	85	76											36														
19.07.2004	88	79			205								45														
23.07.2004	92	83											59														
26.07.2004	95	86			160								94														
27.07.2004	96	87											63														
30.07.2004	99	90											52														
03.08.2004	103	94			126								29														
04.08.2004	104	95											46														
09.08.2004	109	100			104								68														
13.08.2004	113	104											39														
16.08.2004	116	107			89								75														
23.08.2004	123	114			71								25														
30.08.2004	130	121			48								41														
06.09.2004	137	128			37								37														
08.09.2004	139	130											32														
13.09.2004	144	135			17								37														
20.09.2004	151	142			9								21														

Bemerkungen
1. Impfung

2. Impfung (Eosin)

ab Juli: Versuchsverlängerung
(grau unterlegte Felder
= keine Probenahme)

weisse Felder = kein Traosmachweis
graue Felder = keine Probenahme

bei allen nicht aufgeführten Probenahmestellen wurden keine Tracer nachgewiesen (vgl. Tab. 2 und 3 im Bericht)