



Altablagerung „ehemaliger Gemeindemüllplatz Michelbach“

VFD-Nr.: 534 014 170 000 004

Grundwasser-Monitoring, 28. Bericht





Auftraggeber:

Magistrat der Stadt Marburg
Fachdienst Arbeitsschutz / Arbeitssicherheit
Am Plan 3
D-35035 Marburg

Projektleiter:

Herr Dipl.-Geol. Steih-Winkler

☎ (06421) 201 - 404

fax (06421) 201 - 406

Ingenieurvertrag:

vom 05.10.2015

Erstellt durch:



Rendsburger Landstraße 196-198

D-24113 Kiel

☎ (0431) 649 59 - 0

fax (0431) 649 59 - 59

Projektleitung:

Dipl.-Ing. D. Noack

Sachbearbeitung:

Dipl.-Geol. A. Voß

Dr. K. Gronemeier

Graphische Bearbeitung: Dipl.-Geol. A. Voß

Kiel, den 17.06.2016



I Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Grundwasseruntersuchungsprogramm	12
2.1	Stichtagsmessungen	12
2.2	Vor-Ort-Messungen	12
2.3	Laboruntersuchungen	13
3	Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse	14
3.1	Stichtagsmessungen	14
3.2	Grundwasserbeschaffenheit	17
3.3	Analytik	20
3.3.1	Bewertungsgrundlagen	20
3.4	Grundwasser	23
3.4.1	Vor-Ort-Parameter	23
3.4.2	Laboranalytik	25
4	Gefährdungsabschätzung	28
5	Feststellung des Handlungsbedarfs	30

II Verzeichnis der Anlagen

1	Übersichtslageplan	M=1:10.000
2	Grundwassergleichenplan vom 04.04.2016	M=1:2.000
3	Protokolle der Vor-Ort-Messungen und Probennahmen vom 04.04.2016	
4	Prüfberichte Labor Wartig vom 12.05.2016	
5	Prüfbericht Labor Wartig vom 07.03.2014 (Igel 2)	



III Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Parameterliste der Stadt Marburg für Wasser (HLfU WA 3.1)	13
Tab. 2: Parameterliste der Stadt Marburg für Wasser (HLfU WA 3.2, Positionen 24-37, 52-56)	14
Tab. 3: Ergebnisse der Stichtagsmessungen vom 04.04.2016	15
Tab. 4: Ergebnisse der Messung der Vor-Ort-Parameter vom 04.04.2016	23
Tab. 5: Ergebnisse der Laboranalysen der anorganischen Inhaltsstoffe (Laborbericht 12.05.2016)	25
Tab. 6: Ergebnisse der Laboranalysen der organischen Inhaltsstoffe (Laborbericht 12.05.2016)	27

IV Verzeichnis Abbildungen

Abbildung 1: Niederschlagsverlauf 2015 / 2016	16
Abbildung 2: Darstellung der Ionenverhältnisse im Piper-Diagramm für den 04.04.2016	19
Abbildung 3: Darstellung der Ionenverhältnisse im Piper-Diagramm für den 04.04.2016	19

V Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
BTEX	monoaromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole)
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf, der zur Oxidation der in 1 l Wasser gelösten, organischen Substanz (zu CO ₂ und H ₂ O) erforderlich ist
DOC	der in 1 l Wasser gelöste, organische gebundene Kohlenstoff
GW	Grundwasser
GWM	Grundwassermessstelle
LCKW / LHKW	leichtflüchtige chlorierte / halogenierte Kohlenwasserstoffe
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
POX	ausblasbare organische Halogene (Brom, Chlor, Fluor, Jod)
TVO	Trinkwasserverordnung



1 **Veranlassung**

Die Verwaltung der Stadt Marburg erfasst seit 1985 die Altlasten im Stadtgebiet. Dabei wurden bis Ende 1991 insgesamt 60 ehemalige Mülldeponien ermittelt. Dazu gehört auch die ca. 3,5 ha große Altablagerung Michelbach/Flur 12. Von Anfang 1960 - ca. 1972/73 betrieben die Nachbargemeinden Michelbach und Marbach dort eine Hausmülldeponie. Die Altablagerung befindet sich in einem ehemaligen Steinbruch, in dem unterkarbonische Grauwacken und Schiefer der Elnhausen- Formation anstehen.

Aufgrund von Einlagerungen eines nahegelegenen pharmazeutischen Unternehmens kam in einer ersten Erkundungsphase durch die Stadt Marburg die bislang unbestätigte Vermutung auf, dort seien auch mit Milzbrandregnern belastete Abfälle abgelagert worden (siehe: "Umweltschutz in Marburg", Band 9 „Altlasten“, 1992).

Zur vorsorglichen Überwachung des Grundwasserpfadest hat das Umweltamt der Stadt Marburg 1989 bereits eine Grundwassermessstelle im Umfeld der Deponie eingerichtet. Diese Messstelle (im folgenden „Pegel 7“ bezeichnet) und der im Abstrombereich der Altablagerung gelegene Trinkwasserbrunnen Michelbach wurden 1989 auf die im "Handbuch Altablagerungen" des Hessischen Landesamtes für Umwelt festgelegten Parameter und auf Milzbrand untersucht. Die Keime wurden in keiner der beiden Grundwasserproben nachgewiesen.

Die IKU INGENIEURKONTOR FÜR UMWELTPLANUNG GmbH hat 1995 im Rahmen der Erarbeitung eines Untersuchungskonzeptes eine Grundlagenermittlung insbesondere zur Milzbrandproblematik und erste geophysikalische Voruntersuchungen an der Altablagerung durchgeführt. Aus den Ergebnissen der geophysikalischen Untersuchungen und der Grundlagenermittlung wurde ein detailliertes Untersuchungsprogramm zur Gefährdungsabschätzung an der Altablagerung erstellt.

1997 wurde ein Untersuchungsprogramm beschlossen, das die Einrichtung von drei Grundwassermessstellen vorsah, um das Emissionsverhalten der Deponie hinsichtlich der Deponate und von Milzbrand im Hinblick auf die Grundwassersituation und die Existenz des Wasserwerkes Michelbach zu klären.

Am 29.07.1998 wurde die IKU GmbH vom Magistrat der Universitätsstadt Marburg, vertreten durch das Amt für Grünflächen, Umwelt und Naturschutz, mit der Durchführung der Erkundung des Grundwasserpfadest gemäß o.g. Untersuchungsprogramm beauftragt.

In Nachfolge der IKU GmbH wurde das Vertragsverhältnis mit Schreiben vom 14.07.2000 auf die UMWELT INGENIEUR CONSULT GmbH (uic) übertragen. Seit Juni 2007 führt uic das Projekt nach einem Firmenzusammenschluss als IPP Ingenieurgesellschaft Possel u. Partner GmbH & Co. KG mit allen Rechten und Pflichten weiter.

Am 18.06.2001 wurde von uic das Gutachten „Altablagerung ehemaliger Gemeindemüllplatz Michelbach-Erkundung des Grundwasserpfadest“ vorgelegt.



Im Ergebnis der dort vorgelegten Grundwasser-Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass bei der Ablagerung Michelbach durchsickernde Niederschlagswässer Belastungskomponenten aus dem Ablagerungsinventar herauslösen. Zudem wird ein Teil der Deponate in Zeiten höherer Grundwasserstände nachweislich durchströmt. Hinzu können Stoffgruppen aus der landwirtschaftlichen Nutzung (Düngung) im unmittelbaren Umfeld auftreten. Gemäß den vorangegangenen Recherchen sowie den Grundwasseruntersuchungen liegen die Deponiesohle und ein Teil der Deponate im Grundwasserschwankungsbereich, so dass Stoffumwandlungen und Rückhaltefunktionen der ungesättigten Zone **nicht** in Ansatz gebracht werden können. Darüber hinaus existieren keine technischen Barrieren für Schadstoffrückhaltungen am Ort der Schadstoffherkunft. Gelöste Fremdstoffe werden in räumlicher und zeitlicher Verbreitung in das Grundwasser dispergiert, der weitere Verfrachtungspfad hängt von der Geometrie des grundwasserdurchlässigen Klufthohlrauminventars ab und dort von den theoretisch und praktisch möglichen Retardationsfaktoren. Diese bekannten, komplexen Mechanismen sind insbesondere abhängig von der Dauer der Verweilzeit des betrachteten Grundwasseranteils im Grundwasserleiter sowie von der zur Verfügungsstellung der Retardationsmechanismen (z. B. mechanische Filterung, Ausfällung, Mitfällung, Sorption, Abbau). Diese sind in Klufftgrundwasserleitern als sehr eingeschränkt zu bewerten.

Eine Entscheidungshilfe für einen evtl. Bedarf an Sanierungsmaßnahmen im Grundwasserbereich liefert aktuell „Die Hessische Arbeitshilfe zur Einstufung und Sanierung von Grundwasserunreinigungen“, „altlasten spektrum, 3, 2008“. Allerdings bezieht sich diese Anleitung in erster Linie auf Porengrundwasserleiter und nur im Einzelfall auf Klufftgrundwasserleiter, sofern alle relevanten Informationen für die betreffende Fallstudie vorhanden sind.

Es wurde weiter aufgeführt, dass das analysierte, geochemische Grundwasserinhaltspektrum eindeutig in Bezug auf die Lateralposition bei GWM 1 und der nördlichen Abstromsituation bei GWM 3 sowie der südlichen Abstromposition von Pegel 7 bemerkenswerte Um- und Überprägungen der Grundwasserhauptinhaltsstoffe aufzeigten, wie sie im Abstrom von Deponien charakteristisch nachgewiesen werden können. Auch eine nicht differenzierbare Beteiligung geogener Vorgänge (z. B. Ionenaustausch) sollte in begrenztem Maße nicht auszuschließen sein. Erschwerend trat zu dem Ansatz der anthropogenen Beeinflussung, der Nachweis von Verschmutzungsindikatoren wie Bor, Selen, MKW, PAK, Phenolindex in schwankenden Konzentrationen an eben diesen Stellen.

Die Tatsache wurde umso gravierender bewertet, da im weiteren Grundwasserabstrom von der Ablagerung über GWM 3 nach Norden in einer Entfernung von ca. 800 m die Trinkwasserfassung Michelbach mit Pumpeneinsatz arbeitet. Hierdurch wird ein hydraulisch nicht unerheblicher Absenktrichter geschaffen, der das Grundwassergefälle zwischen Deponie, GWM 3 und Förderbrunnen versteilt und damit die Grundwasser- Abstandsgeschwindigkeit erhöht. Die potentielle Pfadverknüpfung durch hydraulische Anzapfung des dortigen Zechstein- Aquifers an den Grundwasser - oberstromigen Karbon- Aquifer ist hydraulisch relevant.



Als zusammenfassendes Ergebnis musste eine mögliche Grundwasserpfadnutzung durch nachteilige, persistente Grundwasserinhaltsstoffe, ausgehend von der Altablagerung dem Grundwassergefälle folgend und in den Entnahmetrichter der Trinkwasserfassung Michelbach gelangend, besorgt werden. Jedoch wurden Milzbrandsporen weder in den untersuchten Bodenproben noch im Grundwasser nachgewiesen.

Auf der Grundlage der am 18.06.2001 vorgelegten Untersuchungsergebnisse des Hauptgutachtens wurde in Hinblick auf die ausgesprochene potentielle Besorgnis bezüglich des Grundwasserschutzes mit Blick auf die Trinkwassergewinnung in Michelbach die turnusmäßige Grundwasserbeprobung in den vier Messstellen jeweils zum Ende des hydrologischen Halbjahres-d.h. erstmalig im November 2001 und im April 2002 anempfohlen. Dazu sollte der Untersuchungsumfang auf PAK nach EPA modifiziert werden.

Mit Schreiben vom 24.09.2001 wurde uic mit den weiteren Arbeiten durch den oben genannten Auftraggeber betraut. Der Miteinbeziehung des Trinkwasserbrunnens Michelbach in die Untersuchungen wurde zu diesem Messtermin noch nicht entsprochen.

In dem Bericht zum 1.Grundwasser-Monitoring vom 24.07.2002 wurden die Messergebnisse der Beprobung vom 13.11.2001 und 12.04.2002 vorgelegt und bewertet und im Zusammenhang mit den bereits bekannten Daten diskutiert.

Es zeigte sich, dass neben der weiter bestehenden durchgehend hohen Gesamtmineralisation im Grundwasser des Abstrompegel GWM 3 und den bekannten Auffälligkeiten in GWM 1 nun der bereits früher auffällige Abstrombrunnen Pegel 7 Fäkalindikatoren, Schwermetallmuster und unausgewogene geochemische Reaktivität im dort analysierten Grundwasser aufweist. Es wird in dem Bericht weiter aufgeführt, dass es im Kluftaquifer des grundwasserführenden Untergrundes zunächst nicht relevant ist, ob die nachgewiesenen wechselnden Grundwasserbelastungsmuster nur für den Abstrombrunnen beweisaussagend sind. Die weitgehend unbekanntes Fließvorgänge im Untergrund lassen auch belastete Grundwässer im Lateralbereich der Deponie in Hauptflussrichtungen übertreten und umgekehrt.

Zusätzlich wurde der Verdacht des Austrages von leicht löslichen organischen Deponaten bei höheren Grundwasserständen bestätigt.

Diese negative aber voraussehbare Entwicklung wird in dem Gutachten in Bezug auf die potentielle Gefährdung des Trinkwasserbrunnens Michelbach als sehr kritisch beurteilt.

Aus diesen Gründen wurde im Bericht vom 24.07.2002 die Fortsetzung des Grundwasser-Monitoring im hydrologischen Jahr jeweils zu Ende des hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahres empfohlen, um eventuell die Schwankungstendenzen der Konzentration maßgeblicher Grundwasserinhaltsstoffe zu systematisieren. Zudem wurde die Einbeziehung des Trinkwasserbrunnens in die Messtermine als dringend notwendig erachtet.

Die 2. Grundwasserbeprobung fand aus Vergabegründen erst im Januar 2003, und nunmehr unter Einbeziehung des Trinkwasserbrunnens Michelbach statt.



In den hydrologischen Winterhalbjahren zeigte sich eine bemerkenswerte Aufhöhung der Grundwasserstände. Der Deponiefuß wurde in den Wintermonaten von Grundwasser durchströmt. Dabei war die Hauptabflussrichtung nach NNW in Richtung der Trinkwasserfassung Michelbach gegeben.

Das analytische Bild ergab auch im Winterhalbjahr 2002/2003 keine wesentlichen Veränderungen hinsichtlich anorganischer und organischer Belastung in den untersuchten Grundwässern. Jedoch zeigte wiederum die Abstromsituation von GWM 3 zum Trinkwasserbrunnen die relativ höchste Ionenkonzentration im Vergleich zu den Lateralbrunnen GWM 1 und GWM 2 und der auffällig niedrigsten Ionenkonzentration im Grundwasser von Pegel 7. Das Belastungsbild des auffälligen Pegels 7 wich auch in dieser Beprobung von dem Gesamtbild signifikant ab. So konnte in Pegel 7 bei gravierend abweichender hydrochemischer Klassifizierung neben Nickel auch Mangan im Wasser nachgewiesen werden, ferner Erhöhung der CSB und DOC- Summenparameter.

Die im Trinkwasserbrunnen Michelbach analysierten Grundwässer waren jedoch ohne jeden Befund.

Als Handlungsbedarf wurde abschließend festgestellt, dass die unregelmäßig und mit der Durchströmung des Deponiefußes wechselnden Konzentrationsschwankungen in den Messstellen einer weitergehenden gezielten Überwachung zu unterwerfen sind, dies insbesondere im Hinblick auf die Situation des nur ca. 800 m entfernten, im Hauptabstromgebiet situierten Trinkwasserbrunnens Michelbach.

Chronologisch wurde im Rahmen des Handlungsbedarfes die von den Stadtwerken Marburg mit Schreiben vom 17.12.2002 geforderte und von uic unterstützte Durchführung der Untersuchungen nach dem BBodSchG, hier der Durchführung der Sickerwasserprognose im unmittelbaren Abstrom der Deponie in Richtung Trinkwasserbrunnen dringend anempfohlen. Daneben wurde die fachlich als notwendig erachtete Erstellung eines weiteren Messbrunnens zwischen GWM 3 und der Trinkwasserfassung Michelbach mitgeteilt.

Zur fachlich notwendigen Einrahmung dieser Messungen wurden bereits im Frühjahr 2003 durch uic im Auftrag des Magistrats der Stadt Marburg die Kartierung der bestehenden Oberflächenabdeckung der Deponie sowie die Messungen der aktuellen Deponiegasemissionen durchgeführt. Vom Büro Dr. Haas sind ergänzend zu dieser Kampagne Redoxmilieu-Untersuchungen an den Deponie-Messstellen durchgeführt worden, die den Austrag von Deponie-Inhaltsstoffen in das Grundwasser belegen und in deren Ergebnis die Durchführung der o. g. weiteren Messungen als ebenfalls dringlich erforderlich angesehen werden.

Das 3. Grundwasser-Monitoring wurde am 29.10.2003 durchgeführt (Gutachten uic vom 02.02.2004). Infolge des extrem trockenen Sommers wurden die niedrigsten Grundwasserstände seit Beginn der Untersuchungen an der Deponie gemessen. Den niedrigsten Wert gegenüber dem Messtermin im Winter 2003 weist der Grundwasserstand in GWM 2 mit 6 m Differenz aus. Die Grundwassermorphologie jedoch war nicht signifikant verändert, das Grundwassergefälle über GWM 3 zum Trinkwasserbrunnen Michelbach mit $i = 0,1$ eher versteilt.



Im Grundwasserchemismus hatte sich die allgemeine Mineralisation gegenüber allen vorhergehenden Analysen in allen Messstellen relativ einheitlich eingestellt. Dies muss auf die extrem verminderte Sickerwasserbeeinflussung durch die Deponate zurückgeführt werden.

Auch der hydrochemisch basale Chemismus der analysierten Grundwässer aus dem Trinkwasserbrunnen Michelbach passt sich sehr exakt in die Ionenverteilungen ein, ein weiterer Beweis für die hydraulischen Vernetzungen der Aquifersysteme des Deponieumfeldes und des Trinkwassereinzugsgebietes. In der Bewertung der analysierten anorganischen und organischen Belastungsmuster wurden keine erwähnenswerten Auffälligkeiten festgestellt. Auch in dieser Bewertungsmatrix ist die auffällige hydrochemische Anpassung an ein unauffälliges gemeinsames Grundmuster gegeben. Im Ergebnis wird von uic ausgeführt, dass die Ergebnisse der Beprobung eines extrem trockenen Sommers nicht repräsentativ für das mögliche Belastungsbild, ausgehend von der Deponie auf das Grundwasserpotential des Trinkwasserbrunnen Michelbach sind, und dass sowohl weitere Monitoring- Stufen wie auch die Durchsetzung der gesetzlich geforderten Untersuchungen nach Bundesbodenschutzgesetz als notwendig erachtet werden.

Im 4. Bericht zum Grundwasser-Monitoring wurden die Untersuchungsergebnisse der Probenahme vom 10.03.2004 vorgestellt. Der dringenden Empfehlung, den Grundwasserbrunnen Michelbach in die Untersuchungen einzubeziehen, wurde nachgegangen.

Die gemessenen Wasserstände zum Ende des hydrologischen Winterhalbjahres lagen wieder im Bereich der Vormessungen im Frühjahr 2002 und 2003. Die Ionenverteilungen in den Messstellen GWM 1 und Pegel 7, die in der vorangegangenen Untersuchung des Sommers 2003 einen relativ einheitlichen Chemismus aufwiesen, differenzierten sich in ihrer Mineralisation wiederum von den Grundwässern der anderen Pegeln (insbesondere Pegel 7). Es kann als Fakt diskutiert werden, dass die beobachteten Schwankungen der Ionenverhältnisse im Grundwasser, insbesondere für GWM 1 und Pegel 7, **nicht** auf geogene Ursachen zurückzuführen sind, sondern vielmehr ursächlich im Lösungspotential der durchsickerten bzw. durchströmten Deponate im Verhältnis des Durchsickerungs- bzw. Durchströmungspotentials zwischen hydrologischem Sommerhalbjahr und hydrologischem Winterhalbjahr zu sehen sind.

Ebenso konnte als Fakt nachgewiesen werden, dass der hydrochemisch basale Chemismus der im Einzugsgebiet des Trinkwasserbrunnen Michelbach geförderten Wässer, prinzipiell den gleichen basalen Chemismus wie die Wässer aus den Deponie- Überwachungsbrunnen (mit gewisser Ausnahme von Pegel 7) aufweisen, der Nachweis der hydraulischen Vernetzung und Benutzung der Kluftsysteme beider von der geologischen Genese „zeitlich“ sehr getrennten Aquifer- Systeme konnte optimaler nicht geführt werden.

Im 5. Bericht wurden die Ergebnisse der Probennahme vom 16.09.2004 vorgestellt und damit das hydrologische Sommerhalbjahr 2004 bewertet. Die gemessenen Wasserstände lagen teilweise wieder erheblich unter denen der Frühjahresbeprobung 2004, der Grundwasseranstieg hatte sich zu dem eher als „normal“ einzustufenden Jahr 2001 noch nicht angenähert.



Im 6. Bericht zum Grundwasser-Monitoring wurden die Untersuchungsergebnisse der Probenahme vom 16. März 2005 vorgestellt und somit das hydrologische Winterhalbjahr 2004/2005 bewertet. Auffällig waren in der Übersicht der chemischen Bewertungen, wie auch im vorherigen Berichtszeitraum, die Redoxwerte der Deponie- Beobachtungsbrunnen auf hohen stabilen Niveau, und deren Absenkung im Brunnen Michelbach um 150 mV. Dies war umso auffälliger, da kein Fehlen von Redoxpartnern aus den Analysen ersichtlich war. Anorganische und organische Belastungen in den analysierten Grundwässern waren wie in allen Beprobungen innerhalb der hydrologischen Winterhalbjahre unauffällig.

Im 7. Bericht wurden die Ergebnisse der Probennahme vom 13.11.2005 vorgestellt und damit das hydrologische Sommerhalbjahr 2005 bewertet. Als insbesondere auffällig muss zu diesem Termin ein Wideranstiegen des Redoxpotentials des Rohwassers im Trinkwasserbrunnen Michelbach um 57 mV gewertet werden. Die weiteren Werte orientieren sich an den sommerlichen Bedingungen mit z.T. erheblich abgesenkten Sauerstoff- Gehalten, insbesondere auffällig in Pegel GWM 1 mit 0,14 mg/l. Ein Hinweis wurde auf die stark erhöhten Nitratwerte im Abstrombrunnen GWM 3 gegeben, hier treten auch wie im Trinkwasserbrunnen Michelbach Arsenkonzentrationen nahe der Bestimmungsgrenze auf. Zusammenfassend wurde für das Teil-Abstromgebiet um Pegel 7 festgehalten, dass dort eigenständige Unwägbarkeiten chemischer Vorgänge zu verzeichnen sind, die in Pegel 7 geförderten Grundwässer stellen mit Abstand die weitaus aktivsten Reaktivitäten und Belastungen bereit, deren Ursache nicht zweifelsfrei ableitbar sind.

Im 8. Bericht wurden Untersuchungsergebnisse der Probennahme vom 29. März 2006 vorgestellt und somit das hydrologische Winterhalbjahr 2005/2006 untersucht.

Im Frühjahr 2006 wurde im Rahmen von weiterführenden Untersuchungen des Grundwasserpades die etwa 600 m nordwestlich gelegene ehemalige Bauschuttdeponie „Igelpfuhl“ untersucht (s. Bericht uic 2007). Unter anderem wurde auch eine neue Grundwassermessstelle „Igel 1“ im Abstrom der Altablagerung errichtet und beprobt. Die Messstelle wurde mit in das laufende Monitoring-Programm der Deponie Michelbach übernommen. Die Ergebnisse der Grundwasseranalytik in GWM „Igel 1“ wurden erstmals im Rahmen des 9. Berichtes gemeinsam mit den Untersuchungsergebnissen der Probennahme vom 12.10.2006 dargestellt. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass die gemessenen Wasserstände wie erwartet im Bereich der Herbstmessungen der Vorjahre lagen. Dabei zeigte sich wiederum im lateralen Abstrom gelegenen GWM 2 die größte Schwankungsbreite. Der Herbstpegel lag um fast 5 m tiefer als im Frühjahr. Ähnliche Schwankungen waren auch schon in den Vorjahren beobachtet worden.

Im kennzeichnenden Chemismus zeigte sich erneut das bekannte Bild der Überprägung des geogenen Grundwasserchemismus im Bereich des Pegels 7. Die kennzeichnenden Ionenverhältnisse zu Pegel 7 sind teilweise durch Ionen- Austauschprozesse derart verzerrt, dass die Grundwässer der Umgebung von Pegel 7 nicht mehr dem Grundwassertyp der weiteren Umgebung angepasst werden können. Hier sind isolierte bevorzugte Sickerwasser- und Grundwasserbewegungen definitiv zu registrieren, wobei bei der fast unerklärlichen Armut der Wässer an Erdalkalien und Alkalien die Quelle der Ionenaustauschprozesse zumindest aus der Deponie in Zweifel gezogen werden müssen.



Ohne Zweifel sind im Bereich von Pegel 7 andere, noch unbekannte Reaktivitäten im Untergrund zu vermuten, deren Herkunft zweifelsohne interessant wäre zu erkunden.

Die im Trinkwasserbrunnen Michelbach geförderten Wässer waren dem Grundwassertyp des Deponie-Abstrombrunnen GWM 3 sehr ähnlich, ein erneut geführter Beweis der hydraulischen Verbindung der Grundwasservorkommen beider Aquifere. Der dargestellte Chemismus für GWM Igel 1 belegt eine geochemische Verwandtschaft des dort analysierten Grundwassers zu den anderen Abstrommessstellen. (siehe Bericht uic, 15.06.2007).

HINWEIS: Das Ergebnis der ersten Beprobung (GWM Igel 1 Sommer vom 02.06.2006), bei der in Igel 1 ein Grundwasser mit auffallend anderem Chemismus gefördert wurde, konnte keinem Entnahme- und/oder Laborfehler zugeordnet werden (siehe Bericht uic, 15.06.2007)

Im anorganischen Belastungsmuster konnten bis auf leicht erhöhte Eisen- und Mangangehalte in GWM2 sowie leicht erhöhten Mn-, Ni- und Zn-Gehalte in Pegel 7 keine Schwermetallmuster in den analysierten Grundwässern nachgewiesen werden. Die erhöhten Gehalte von Nitrat in der Abstrommessstelle GWM 3, die auch schon in den vorangegangenen Messungen analysiert wurden bleiben nun mit 48 mg/l knapp unterhalb des Grenzwertes der TVO. Dieser Befund deutet auf einen Sickerwassereinfluß mit durch die Landwirtschaft belastetem Wasser hin. Auch im Brunnen Michelbach und Igel1 liegen die Werte mit 43 bzw. 46 mg/l knapp unterhalb des Grenzwertes. Interessant ist, dass wieder alle Wässer gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) in geringer Konzentration aufweisen.

Es wurde empfohlen, die Winterhalbjahresbeprobung 2006/2007 auf die letzte Woche im März 2007 vorzulegen, um die im Mittelgebirge real zu erwartenden höchsten Grundwasserstände untersuchen zu können. Dieser Termin sollte die Monitoring-Untersuchung Michelbach umfassen, ergänzt um die Beprobung von Igel 1 und die evtl. mögliche Beprobung (auch Schöpfbeprobung) von Igel 4.

Die Beprobungen fanden zeitgerecht im März 2007 statt. Zusammenfassend konnte im 10. Bericht vom 31.05.2007 festgestellt werden, dass sich die anorganischen und organischen Belastungen der untersuchten Grundwässer in den Messstellen gegenüber der Vor-Analyse typischerweise unterscheiden (Grundwasserchemismus des Winters gegenüber der des Sommers) und dass mit Pegel 7 erneut eine gewisse Unwägbarkeit chemischer Vorgänge im Teilabstromgebiet zu diesem Pegel deutlich werden. Die in Pegel 7 geförderten Grundwässer stellten mit Abstand die weitaus aktivsten Reaktivitäten (und Belastungen) bereit, die Ursache jedoch ist bisher nicht zweifelsfrei ableitbar.

Im 11. Bericht zum Grundwasser-Monitoring wurden turnusgemäß die Untersuchungsergebnisse der Probennahme vom 01.10.2007 vorgestellt und somit das hydrologische Sommerhalbjahr 2007 bewertet. Die gemessenen Wasserstände lagen wie erwartet im Bereich der Herbstmessungen der Vorjahre, jedoch nur mit schwacher Tendenz, insbesondere in der Messstelle GWM 2 im lateralen Abstrom mit nur 0,5 m niedrigeren Grundwasserstand gegenüber den Wintermessungen. Dies kann auf die zum Teil sehr hohen Niederschlagsraten im Verlaufe des Sommers 2007 zurückgeführt werden.



Der Wasserstand in der neuen Grundwassermessstelle Igel 1 hingegen lag zwischen den Wasserständen im Herbst 2006 und Frühjahr 2007 bei einer Grundwasserstand- Schwankung von 3,4 m! Damit ist das Gebiet des Igelpfuhls in Bezug auf den Trinkwasserbrunnen Michelbach eindeutig ein Gebiet der Grundwasserneubildung mit hohen Sickerraten in den Grundwasserkörper. Hinsichtlich der kennzeichnenden Ionenverhältnisse zeigten sich die analysierten Grundwässer in Pegel 7 durch Ionen- Austauschprozesse derart verzerrt, dass die Grundwässer der Umgebung von Pegel 7 wiederholt nicht mehr dem Grundwassertyp der weiteren Umgebung angepasst werden konnten. Hinsichtlich der anorganischen Untersuchungsparameter traten keine besonderen Vorkommnisse auf. Die Mineralisation mit Anionen sowie Erdalkali- und Alkali-Kationen war in den untersuchten Wässern (außer P 7!) durchaus vergleichbar, wobei sich die Wässer des Deponie- Abstrombrunnen GWM 3, des Brunnen Michelbach und Igel 1 am stärksten glichen.

Im 12. Bericht zum Grundwasser-Monitoring wurden turnusgemäß die Untersuchungsergebnisse der Probennahme vom 31.03.2008 vorgestellt und somit das hydrologische Winterhalbjahr 2007/2008 bewertet. Die gemessenen Wasserstände lagen wie erwartet im Bereich der Frühjahrmessungen der Vorjahre. Allerdings weist GWM 1 einen um 0,3 m höheren Grundwasserspiegel als in der Frühjahrmessung 2007 auf, GWM 2 jedoch einen um 0,4 m niedrigeren Wert. Der Wasserstand in der Grundwassermessstelle Igel 1 lag im Bereich der Vorjahrmessung im Frühjahr, im Vergleich zur letzten Messung im Herbst ergibt sich ein Unterschied von 3,6 m. Diese Tatsache unterstreicht die Feststellung aus Bericht 11, dass das Gebiet des Igelpfuhls ein Gebiet mit hohen Sickerraten in den Grundwasserkörper und damit ein Grundwasserneubildungsgebiet ist.

Im 13. Bericht zum Grundwasser-Monitoring wurden turnusgemäß die Untersuchungsergebnisse der Probennahme vom 18.11.2008 vorgestellt und somit das hydrologische Sommerhalbjahr 2008 bewertet. Die gemessenen Wasserstände lagen wie erwartet im Bereich der Herbstmessungen der Vorjahre.

Ab April 2008 bis Dezember 2008 fanden im Bereich zwischen Pegel 7 und GWM 2 Strassenbauarbeiten an der L 3092 statt, mit dem Ziel, die Strassenführung zu vereinfachen und die Kuppe im Bereich der Deponie zu eliminieren. Hierzu wurden Einschnitte in die ungesättigte Bodenzone im engeren hydraulischen Umfeld der Deponie vorgenommen. Nach Rücksprache mit Herrn Steih-Winkler im Mai 2008 wurde empfohlen, aktuell keine weitergehenden Schritte zur Beweisführung zu unternehmen, jedoch sollten die Analysenwerte der Beprobung des hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahres 2008/2009 dahingehend spezifisch überprüft werden.

Im 14. Bericht zum Grundwasser-Monitoring wurden turnusgemäß die Untersuchungsergebnisse für das Winterhalbjahr 2008/2009 dargestellt. Die Probennahme erfolgte pünktlich zum saisonalen Grundwasserhöchststand im Frühjahr am 07.04.2009. Die gemessenen Wasserstände lagen wie erwartet im Bereich der Messungen der Vorjahre.

Es war kein erkennbarer Einfluss der erfolgten Straßenbaumaßnahme auf den Grundwasser-Chemismus in Pegel 7 festzustellen.



Im 15. Bericht wurden die Ergebnisse des Grundwasser-Monitorings für das Sommerhalbjahr 2009 vorgestellt. Aufgrund der kennzeichnenden Ionenverhältnisse zeigt sich, dass die analysierten Grundwässer aus GWM 1 bis 3, Trinkwasserbrunnen Michelbach und Igel 1 dem gleichen Grundwassertyp zuzurechnen sind und somit hydraulisch in Verbindung stehen. Lediglich das Grundwasser aus Pegel 7 zeigt eine davon deutlich unterschiedliche Ionenzusammensetzung, die mit keinem der anderen Messstellen in der Umgebung vergleichbar ist. Bisher noch nicht geklärte chemische Einflüsse und Reaktionen im Untergrund sind der wahrscheinlichste Grund für diese Messwerte.

Der 16. Bericht zum Grundwasser-Monitoring (Stichtag: April 2010) beschreibt die Grundwasser-Verhältnisse zum Ende des hydrologischen Winterhalbjahres 2009/2010. Im Nachweis des Igelpfuhl und seiner Umgebung als Grundwasserneubildungsgebiet, orientiert zum Trinkwasserbrunnen Michelbach, mit offensichtlich hohen Sickerwassereinspeisungen in das Grundwasser und nachgewiesenen Schwankungstendenzen bis ca. 8 m (!) wurde die bereits diskutierte Durchführung des angebotenen Baggerschurfes auf der Altablagerung Igelpfuhl anempfohlen. Ebenso wurde die Vertiefung des bestehenden - bisher trockenen - 7m tiefen Pegels „Igel 4“ mittels 2“- Inloch-Bohrung auf eine neue Endtiefe von 20m mit weiterer Beprobung im Grundwasser-Monitoring Programm vorgeschlagen.

Am 12. Mai 2010 wurde ein Ortstermin durchgeführt. Ziel des Ortstermins war eine Fachbegehung der aktuellen Verhältnisse vor Ort. Im Zuge der Straßenbaumaßnahme (Umverlegung und Teilneubau der L3092) und damit einher gehender Bodenbewegungen war die Situation betreffend der Lage der Deponie Michelbach zu den stattgefundenen Baumassnahmen neu zu bewerten. Außerdem wurde der Zustand der zur Verfügung stehenden Grundwasser-Messstellen überprüft und die Notwendigkeit von weiterführenden Untersuchungen diskutiert. Im Ergebnis wurden zwei Protokolle erstellt, die zum einen dringend notwendige Sofortmaßnahmen in Bezug auf die Funktionstüchtigkeit der Messstelle Igel 1 und zum anderen fachlich erforderliche Untersuchungen im Rahmen des Grundwasser-Monitorings darstellen. Die Protokolle sind in Anlage 6 und 7 dieses Berichtes beigefügt.

Im 17. Bericht wurden die Ergebnisse des Grundwasser-Monitorings für das Sommerhalbjahr 2010 vorgestellt. Die Messstelle „Igel 1“ (siehe Lageplan, Anlage 1) im Abstrom der ehemaligen Bauschuttdeponie „Igelpfuhl“ konnte bei der aktuellen Messkampagne nicht eingemessen werden, da hier durch Vandalismus das neu erstellte Aufsatzrohr verstopft worden war. Die Probenahme erfolgte vergleichsweise spät zum hydrologischen Sommer, nämlich erst am 26.11.2010.

Die gemessenen Wasserstände zeigten zwar die jahreszeitlich leicht niedrigeren Grundwasserstände, waren jedoch infolge des späten Messdatums nicht signifikant niedrig. Die stärksten Schwankungen treten wie auch in den Vorjahren in der GWM 2 auf. Die Strömungsrichtungen waren vom Zentralteil der Altablagerung im Bereich zwischen den Messstellen GWM 1- 3 und Pegel 7 nach Süden gerichtet. Hinsichtlich der Ionenzusammensetzung der Grundwässer in Pegel 7 zeigten die Messwerte die bekannten deutlichen Unterschiede hinsichtlich der Ionen-Äquivalente zu den anderen Grundwässern.



Auffällig war, dass die Leitfähigkeiten der Grundwässer höher lagen als in den Messungen des Winterhalbjahres 2009/2010. Hinsichtlich der Laborergebnisse zeigte Pegel 7 einen erhöhten Eisengehalt und wies zudem eine rotbraune Färbung sowie Trübung auf, was wahrscheinlich auf Einflüsse der nahegelegenen Straße zurückzuführen ist. Erhöhte Gehalte von Nitrat in den Messstellen GWM 1 und GWM 3 deuten auf Sickerwassereinfluss durch die Landwirtschaft belasteten Wassern hin. Im Trinkwasserbrunnen Michelbach wurde neben dem regelmäßig relativ hohen Nitratgehalt auch Arsen im Bereich der Nachweisgrenze nachgewiesen. Die Analyse der organischen Parameter ergab einen AOX-Gehalt nahe der Nachweisgrenze in den Grundwassermessstellen GWM 1, GWM 3 und Pegel 7. In Pegel 7 wurden zudem wiederholt erhöhte CSB- und DOC-Konzentrationen festgestellt.

Im 18. Bericht wurden die Ergebnisse des Grundwasser-Monitorings für das Winterhalbjahr 2010/2011 vorgestellt. Die Messstelle „Igel 1“ im Abstrom der ehemaligen Bauschuttdeponie „Igelpfuhl“ konnte bei dieser Messkampagne wiederum nicht eingemessen werden, da sie weiterhin verstopft war. Im Bericht wurde die Dringlichkeit einer Reparatur dieser Messstelle nochmals herausgestellt. Die ermittelten großen Flurabstände untermauern den Trend der sinkenden Grundwasserstände. Der Wasserstand in GWM 2 schwankte mit 1,76m am stärksten gegenüber den Vormessungen. Die Mineralisation des Grundwassers variierte in Pegel 7 am stärksten im Verlauf des Jahres.

Im 19. Bericht wurden die Ergebnisse des Grundwasser-Monitorings für das Sommerhalbjahr 2011 vorgestellt. Die Messstelle „Igel 1“ im Abstrom der ehemaligen Bauschuttdeponie „Igelpfuhl“ konnte bei der 19. Messkampagne zum wiederholten Male nicht eingemessen werden. Im Bericht wurde die Dringlichkeit einer kurzfristigen fachlichen Herrichtung dieser Messstelle nochmals herausgestellt. Der Wasserstand in GWM 2 schwankte mit 2,50 m am stärksten gegenüber der Vormessung. Die Mineralisation des Grundwassers variierte wie in den vorangegangenen Messungen in Pegel 7 am stärksten im Verlauf des Jahres.

Im 20. Bericht wurden die Ergebnisse des Monitorings für das Winterhalbjahr 2011/2012 dargestellt. „Igel 1“ war erneut nicht beprobt worden. Die Grundwasserstände in den zur Verfügung stehenden Messstellen lagen im Bereich der vorangegangenen Jahre.

Im 21. Bericht sind die eher unauffälligen Messwerte des hydrologischen Sommerhalbjahres 2012 diskutiert. Auffälligkeiten sind wie bisher im Pegel 7 zu verzeichnen, neben Schwermetallmustern war aktives Ammonium nachzuweisen, die jetzige Lage von Pegel 7 am Straßenrand könnte Ursache für diese Auffälligkeiten sein.

Im 22. Bericht zum Grundwasser-Monitoring des hydrologischen Winterhalbjahres 2012/2013 wird die Rolle der Deponie und deren Umgebung als Niederschlag-Infiltrationsgebiet deutlich, die Grundwasserstände waren saisonal typisch, aber z.T. extrem erhöht, so + 4,53 m in GWM2 (!) Innerhalb der Diskussion in der Verbindung der Aquifere des Brunnens Michelbach und des Deponie Untergrundes ist die Grundwasserchemische Typisierung von GWM 3 und Brunnen Michelbach sehr auffallend und damit die Vernetzung der beiden Aquifere verdeutlicht.



Brunnen 7 weist den Einfluss der benachbarten Straße mit rötlich- braunen Wasser und Chlorid-Gehalten von 130 mg/l (!!) auf, der Brunnen ist hinsichtlich einer Beweisführung im Sinne der Untersuchungen nicht mehr relevant. Die Analytik erbrachte keine neuen Ergebnisse, auffallend sind die wiederholten Befunde von Arsen im Trinkwasser des Brunnen Michelbach.

Im 23. Bericht wurden die Messwerte des hydrologischen Sommerhalbjahres 2013 dargestellt und bewertet. „Igel 1“ war erneut nicht beprobt worden. Die Grundwasserstände in den zur Verfügung stehenden Messstellen lagen im Bereich der vorangegangenen Jahre.

Im Feb.-März 2014 wurden im Rahmen der Untersuchung des Grundwasserpfades drei neue Grundwassermessstellen errichtet. Es handelt sich um die Pegel „Igel 2“ und „Igel 4“ in der Umgebung der Bauschuttdeponie Igelpfuhl sowie um die „GWM 4“ als Ersatz für Pegel 7 im Süden des ehemaligen Gemeindemüllplatzes Michelbach. Pegel 7 wurde fachgerecht zurückgebaut und verfüllt. Außerdem wurde die Messstelle „Igel 1“, die in den vorangegangenen Messkampagnen nicht gemessen werden konnte, wieder gängig gemacht. Die Arbeiten erfolgten unter der Fachbauleitung von IPP – es wurde ein diesbezügliches Bautagebuch erstellt. Hierzu wird auf den Dokumentationsbericht von IPP vom 30.06.2014 verwiesen.

Für die folgenden Kampagnen stehen nunmehr insgesamt sieben Grundwassermessstellen zur Verfügung.

Im Rahmen der 24. Messkampagne im Frühjahr 2014 mit Messungen am 07.04.2014 (bzw. 16.04.2014 mit Schöpfprobe in Igel 4) wurden die Grundwasserstände vergleichbar zu vorhergehenden Grundwasserständen der Winterhalbjahre mit Grundwasseranstieg eingemessen. Es ist hervorzuheben, dass die neue GWM 4 (als Ersatz für Pegel7) sich zwanglos in die Abstrommorphologie zum Trinkwasserbrunnen Michelbach einpasst. Auch im Pegelfeld des Igelpfuhl ist der Abstrom parallel mit dem Bachlauf auf den Trinkwasserbrunnen gerichtet. Als bemerkenswerte geochemische Anomalie ist die Mischwasserführung in Igel 2 anzumerken. Obgleich das hoch mineralisierte Tiefenwasser erfolgreich abgesperrt wurde, sind im Kluft System hohe (aber jedoch tendenziell abnehmende) Anteile von Na und Cl als Beimischung zu analysieren.

Die 25. Kampagne wurde im Herbst 2014 durchgeführt und ergab hinsichtlich der Grundwasserstände eine saisonal bedingte Absenkung der Wasserstände, welche nicht ganz so stark ausfielen wie noch im Herbst 2013.

Im 26. Bericht wurde das hydrologische Winterhalbjahr 2014/2015 bewertet. Die Aufhöhung der Grundwässer in den Messpegeln blieb im üblichen Rahmen zwischen den Halbjahren, nur GWM 2 fiel durch den extremen Grundwasseranstieg von ca. 4 m auf. Es ist anzumerken, dass der neue Pegel GWM 4 (Ersatz für Pegel 7) nun auch in das Abstrommuster der anderen Pegel passt, die bis dahin postulierte Grundwasserscheide ist damit hinfällig geworden. Jedoch ist das Grundwasser im neuen Pegel GWM 4 ebenso auffällig braun und trüb wie im ehemaligen Pegel 7 und führt reichlich Eisen und Mangan.



Im 27. Bericht wurde das hydrologische Sommerhalbjahr 2015 bewertet. In den Igel-Pegeln wurden die niedrigsten Grundwasserstände seit Beginn der Messungen festgestellt. Dies erklärt sich direkt aus dem niederschlagsarmen Jahr 2015. Pegel Igel 4 konnte auf Grund der Vegetation nicht aufgefunden und beprobt werden. Außerdem war die Abschlusskappe von GWM 3 defekt – es wurde von IPP für die nächste Messkampagne eine kurzfristige Reparatur sowie ein Freischneiden von der Pegel gefordert.

Im hier vorliegenden 28. Bericht zum Grundwasser-Monitoring werden auf der Grundlage des Angebotes von IPP vom 18.08.2015 und der Beauftragung durch die Stadt Marburg vom 05.10.2015 turnusgemäß die Untersuchungsergebnisse der Probennahme vom 04.04.2015 vorgestellt und somit das hydrologische Winterhalbjahr 2015/2016 bewertet. Die Bewertung und Diskussion der Situation erfolgt auf dieser Basis.

2 Grundwasseruntersuchungsprogramm

2.1 Stichtagsmessungen

Am 04.04.2016 wurde von Mitarbeitern der Fa. Wartig in den Grundwassermessstellen GWM 1-4 sowie Igel 1 und 2 vor der Grundwasserentnahme die jeweilige Stichtagsmessung mittels Lichtlot durchgeführt. Messstelle Igel 4 konnte vom Probenehmer auf Grund des geringen Wasserdargebotes nur mittels Schöpfer beprobt werden. Die Ergebnisse für Igel 4 werden daher im Weiteren nur unter Vorbehalt bewertet.

Anhand der gemessenen GW-Pegelstände wurde ein aktueller Grundwassergleichenplan erstellt (s. Anlage 2).

2.2 Vor-Ort-Messungen

Die Grundwasser-Probennahmen aus den Grundwasser-Messstellen (GWM 1-4, Igel 1,2 und 4 sowie Trinkwasserbrunnen Michelbach) erfolgten durch die Fa. Wartig Chemieberatung GmbH, Marburg, im Anschluss an die Stichtagsmessungen. Die Probennahme erfolgte (mit Ausnahme des Igel 4) mit einer Unterwasserpumpe unter Kontrolle der physikochemischen Vor-Ort-Parameter: pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Temperatur und Redoxpotential mittels Durchflussmesszelle.

Durch entsprechend langes Vorpumpen wurde das in den Messstellenrohren stehende Wasservolumen vor Beginn der Probennahme mehrfach ausgetauscht und erneuert, so dass sichergestellt war, repräsentative Proben zu gewinnen. Die Probennahmen erfolgten nach Erreichen der Leitfähigkeits- und Temperaturkonstanz.

Die Messstelle Igel 4 wurde mittels Schöpfgerät beprobt.

Über die Wasser- Probennahme wurden Protokolle geführt, die in Anlage 3 beigelegt sind.



2.3 Laboruntersuchungen

Die analytischen Untersuchungen der Grundwasserproben erfolgten durch das Labor Wartig Chemieberatung GmbH, Marburg (Akkreditiert nach DIN EN 45001).

Die Grundwasserproben aus den Grundwassermessstellen (GWM 1-4, Igel 1, 2) und dem Trinkwasserbrunnen Michelbach wurden gemäß der Parameterliste der Stadt Marburg für Wasser (HLfU WA 3.1 und HLfU WA 3.2, Positionen 24-37, 52-56) analysiert.

Die Laborberichte vom 12.05.2016 liegen als Anlage 4 bei.

Tab. 1: Parameterliste der Stadt Marburg für Wasser (HLfU WA 3.1)

Lf Nr	Parameter Nr.	Parameter	Lf Nr	Parameter Nr.	Parameter
01	10111	Wassertemperatur	23	11820	Blei
02	10614	pH-Wert	24	11800	Quecksilber
03	10710	Redox-Potential	25	11290	Kupfer
04	10810	El.-Leitfähigkeit	26	11480	Cadmium
05	12810	Sauerstoff in Wasser	27	11340	Selen
06	13310	Chlorid	28	11330	Arsen
07	13130	Sulfat	29	11050	Bor
08	12460	Nitrit	30	14320	Abdampfrückstand
09	12440	Nitrat	31	14350	Glührückstand
10	14710	Hydrogencarbonat	32	15320	CSB
11	12620	Phosphor, gesamt	33	13360	AOX
12	12480	Ammonium	34	15430	Kohlenwasserstoffe H18
13	11110	Natrium	35	15471	Phenol-Index
14	11190	Kalium	36	15240	DOC
15	11120	Magnesium	37	133600	POX
16	11200	Calcium	38	17955	Fluoranthren
17	11250	Mangan	39	17918	Benzo(b)fluoranthren
18	11260	Eisen, gesamt	40	17919	Benzo(k)fluoranthren
19	12310	Cyanid, gesamt	41	17927	Benzo(ghi)perylen
20	11240	Chrom, gesamt	42	17929	Benzo(a)pyren
21	11300	Zink	43	17957	Indeno(1,2,3-cd)pyren
22	11280	Nickel			



Tab. 2: Parameterliste der Stadt Marburg für Wasser (HLfU WA 3.2, Positionen 24-37, 52-56)

Lf Nr	Parameter Nr.	Parameter	Lf Nr	Parameter Nr.	Parameter
24	17116	Trichlormethan	52	17401	Benzol
25	17118	Tetrachlormethan	53	17402	Toluol
26	17122	1,1-Dichlorethan	54	17403	Ethylbenzol
27	17123	1,2-Dichlorethan	55	174035	Xylole
28	17124	1,1,1-Trichlorethan	56	17404	O-Xylole
29	17125	1,1,2-Trichlorethan			
30	17128	1,1,2,2-Tetrachlorethan			
31	17129	Hexachlorethan			
32	171310	Chlorethen			
33	17132	1,1-Dichlorethen			
34	171324	trans1,2-Dichlorethen			
35	171327	cis 1,2-Dichlorethen			
36	17134	Trichlorethen			
37	17135	Tetrachlorethen			

3 Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse

3.1 Stichtagsmessungen

Die Auswertungen der Stichtagsmessung vom 04.04.2016 repräsentieren die Grundwassermorphologie am exakten Messdatum zum Ende des hydrologischen Winterhalbjahres 2015/2016 mit Grundwasserständen, die den vergleichbar höheren Niederschlägen und dem geringeren Wasserbedarf der Vegetation in den Wintermonaten und den daraus resultierenden tendenziell etwas angestiegenen Wasserständen entsprechen (siehe Tab 3).



Tab. 3: Ergebnisse der Stichtagsmessungen

		Wasserstand [m u. MP]												
Mess- stelle	Höhe Messpkt [NN+m]	16.03.2005	13.10.2005	29.03.2006	12.10.2006	21.03.2007	01.10.2007	31.03.2008	18.11.2008	07.04.2009	30.09.2009	12.04.2010	26.11.2010	18.04.2011
GWM 1	296,43	5,60	4,89	4,57	4,96	4,22	4,38	4,50	4,82	4,58	5,12	4,65	5,05	5,00
GWM 2	296,57	4,10	9,48	4,17	9,33	4,30	4,84	3,90	9,64	3,97	9,83	4,05	8,41	5,81
GWM 3	270,53	5,90	7,43	6,50	7,22	5,68	5,62	5,53	6,85	5,63	7,49	5,65	6,48	6,45
Pegel 7	297,65	11,53	12,63	11,82	12,70	10,40	11,70	9,88	11,62	10,80	11,97	10,05	11,52	11,58
Igel 1	256,43				22,37	14,49	17,89	14,25	21,05	18,18	22,66	16,05		
		Höhe Grundwasserstand [NN+m]												
GWM 1	296,43	290,83	291,54	291,86	291,47	292,21	292,05	291,93	291,61	291,85	291,31	291,78	291,38	291,43
GWM 2	296,57	292,47	287,09	292,40	287,24	292,27	291,73	292,67	286,93	292,60	286,74	292,52	288,16	290,76
GWM 3	270,53	264,63	263,10	264,03	263,31	264,85	264,91	265,00	263,68	264,90	263,04	264,88	264,05	264,08
Pegel 7	297,65	286,12	285,02	285,83	284,95	287,25	285,95	287,77	286,03	286,85	285,68	287,60	286,13	286,07
Igel 1	256,43				234,06	241,94	238,54	242,18	235,38	238,25	233,77	240,38		

Die aktuelle Messung vom 04.04.2016 wurde rot hervorgehoben.

		Wasserstand [m u. MP]									
Messstelle	Höhe Messpkt [NN+m]	14.10.2011	19.03.2012	24.09.2012	06.03.2013	16.10.2013	07.04.2014	27.10.2014	24.04.2015	16.10.2015	04.04.2016
GWM 1	296,43	5,55	5,42	5,19	4,92	4,90	4,58	4,50	4,28	5,05	4,50
GWM 2	296,57	9,99	7,49	8,65	4,12	8,67	5,47	8,21	4,45	9,82	4,50
GWM 3	270,53	7,64	6,25	6,91	5,50	7,05	6,14	5,89	5,73	7,54	5,40
GWM 4	303,11						10,12	10,41	9,54	12,90	9,85
Pegel 7	297,65	11,83	10,72	10,99	9,87	10,72	-	-	-	-	-
Igel 1	256,43						16,61	19,43	15,24	21,93	16,35
Igel 2	252,13						11,37	11,45	9,84	12,67	10,34
Igel 4	255,04						12,75	13,09	12,10	-	12,55
		Höhe Grundwasserstand [NN+m]									
GWM 1	296,43	290,88	291,01	291,24	291,51	291,53	291,85	291,93	292,15	291,38	291,93
GWM 2	296,57	286,58	289,08	287,92	292,45	287,90	291,10	288,36	292,12	286,75	292,07
GWM 3	270,53	262,89	264,28	263,62	265,03	263,48	264,39	264,64	264,80	262,99	265,13
GWM 4	303,11						292,99	292,70	293,57	290,21	293,26
Pegel 7	297,65	285,82	286,93	286,66	287,78	286,93	-	-	-	-	-
Igel 1	256,43						239,82	237,00	241,19	234,50	240,08
Igel 2	252,13						240,76	240,68	242,29	239,46	241,79
Igel 4	255,04						242,29	241,95	242,94	-	242,49

Im Vergleich zur Vormessung (Kampagne im Herbst 2015) liegen alle Wasserstände erwartungsgemäß zum Teil deutlich höher. In GWM 2 und Igel 1 beträgt der Anstieg jeweils über 5m.

Ansonsten liegen die Grundwasserstände in den GWM im Bereich der vorangegangenen Messungen der hydrologischen Winterhalbjahre.

Aus den nachfolgenden Abbildungen wird ersichtlich, dass die Summe der Niederschläge bis April 2016 (Stichtag) mit ca. 210 l/m² deutlich über dem Vorjahr liegt (ca. 140 l/m²).



Jahr 2015

Wetterstation Marburg Mitte



Jahr 2016

Wetterstation Marburg Mitte



Abb. 1: Verlauf der Niederschläge im ersten Halbjahr 2016 für die Wetterstation Marburg-Mitte im Vergleich zum Vorjahr (Quelle: wettereule.de)

Die Wasserstände in den nunmehr umfangreich zur Verfügung stehenden Messstellen müssen in den folgenden Kampagnen weiter beobachtet und überprüft werden.

Die Auswertung der Stichtagsmessung vom 04.04.2016 und der aus den Grundwasserständen abgeleitete Grundwassergleichenplan (siehe Anlage 2) repräsentieren die Grundwasserströmungsverhältnisse zum Beginn der Grundwasser-Probennahme: Die Grundwasseroberfläche orientiert sich demnach analog zu den vorangegangenen Messungen im Wesentlichen an den topographischen Verhältnissen.



Die in älteren Messkampagnen im Untersuchungsgebiet postulierte Grundwasserscheide im Zentralbereich der Altablagerung ist nicht mehr nachweisbar. GWM 4 war somit als Anstrom-Messstelle zu betrachten.

Die Strömungsrichtung ist demnach von der Altablagerung im Bereich zwischen den Messstellen GWM 1-3 maßgeblich mit $i=0,09$ nach NNW (Richtung Trinkwasserbrunnen Michelbach) gerichtet. Mit sehr viel geringerem Gradienten strömt das Grundwasser zwischen GWM 4 und der Altablagerung in die gleiche Richtung.

Die Abstromverhältnisse im Bereich des Igelpfuhls sind ebenfalls in Anlage 2 ersichtlich. Entsprechend den ermittelten Grundwasserständen strömt das oberflächennahe Grundwasser nach Osten ab, also ebenfalls in Richtung des Trinkwasserbrunnens Michelbach.

Auf Grund der hydraulisch z.T. extremen Grundwasserbewegungen im Jahresverlauf dokumentiert durch das Pegelnetz – sind die weiterführenden Messungen essentiell.

3.2 Grundwasserbeschaffenheit

Bei der Auswertung der hydrochemischen Analysendaten wurde schrittweise wie folgt vorgegangen:

- Hydrochemische Typisierung des Grundwassers anhand der gelösten Hauptinhaltsstoffe
- Definition hydrochemischer Beschaffenheitsmuster für die Differenzierung des An- und Abstroms einschließlich der Charakterisierung der beobachtbaren Emissionen auf dem Grundwasserpfad anhand von Ionenverhältnissen und Einzelstoffdiskussionen

Die chemische Beschaffenheit von Grundwässern hängt von Versickerungs-/Lösungsinhalten und von der löslichen chemisch- petrographischen Beschaffenheit des durchflossenen Grundwasserleiters ab. Alles wird überprägt durch unterschiedlichste anthropogene Einflüsse. Denkansatz ist, dass die Beschaffenheit von Grundwasser, also die in einer Analyse wiedergegebenen Ionengehalte, das Ergebnis von physikalisch-chemischen Prozessen in Richtung auf einen Gleichgewichtszustand sind.

Daher sind Analysen nur punktuell zu werten und nur zeitlich-regional dynamisch zu verstehen. Hierzu geben die an acht verschiedenen Orten (GWM 1-4, Igel 1, 2, Trinkwasserbrunnen Michelbach) vorliegenden Grundwasseranalysen Hinweise wie folgt:

Typisierung des Grundwassers

FURTAK & LANGGUTH (1967) stellten ein Vierstoff-Diagramm zur qualitativen Charakterisierung der Wässer nach Kennzahlenintervallen vor. Dafür werden die Konzentration der im Grundwasser enthaltenen Ionen und Anionen in ein Piper-Diagramm eingetragen. Dieses wird in die verschiedenen Kennzahlen-Felder unterteilt. Die jeweiligen Feldergruppen, in Klammern die chemischen Kennzahlen in der Folge Erdalkalien / Hydrogencarbonat / Chlorid (Einheit: Äqui.-%) lauten:



Normal erdalkalische Wässer

- | | | |
|----|----------------------------------|-----------------------|
| a) | überwiegend hydrogencarbonatisch | (> 80// > 60/ < 10) |
| b) | hydrogencarbonatisch-sulfatisch | (> 80// 40-60/ < 10) |
| c) | überwiegend sulfatisch | (> 80// < 40/ < 10) |

Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt

- | | | |
|----|----------------------------------|----------------------|
| d) | überwiegend hydrogencarbonatisch | (50-80// > 50/ < 20) |
| e) | überwiegend sulfatisch | (50-80// < 50/ < 20) |
| | überwiegend chloridisch | (50-80// < 50/ > 50) |

Alkalische Wässer

- | | | |
|----|-------------------------------------|----------------------|
| f) | überwiegend (hydrogen-)carbonatisch | (< 50// > 50/ < 50) |
| g) | überwiegend sulfatisch-chloridisch | (< 50// < 50/ > 50) |
| | überwiegend chloridisch | (< 50// < 20/ > 70) |

Der weitaus größte Teil aller süßen Grundwässer der Welt sind in der Feldergruppe a anzutreffen. So sind auch die hier analysierten Grundwässer als „normal erdalkalische, überwiegend hydrogencarbonatische Wässer“ einzuordnen.

Die im Trinkwasserbrunnen Michelbach geförderten Wässer sind dem Grundwassertyp des Deponie- Abstrombrunnen GWM 3 sehr ähnlich, ein erneut geführter Beweis der hydraulischen Verbindung der Grundwasservorkommen beider Aquifere.

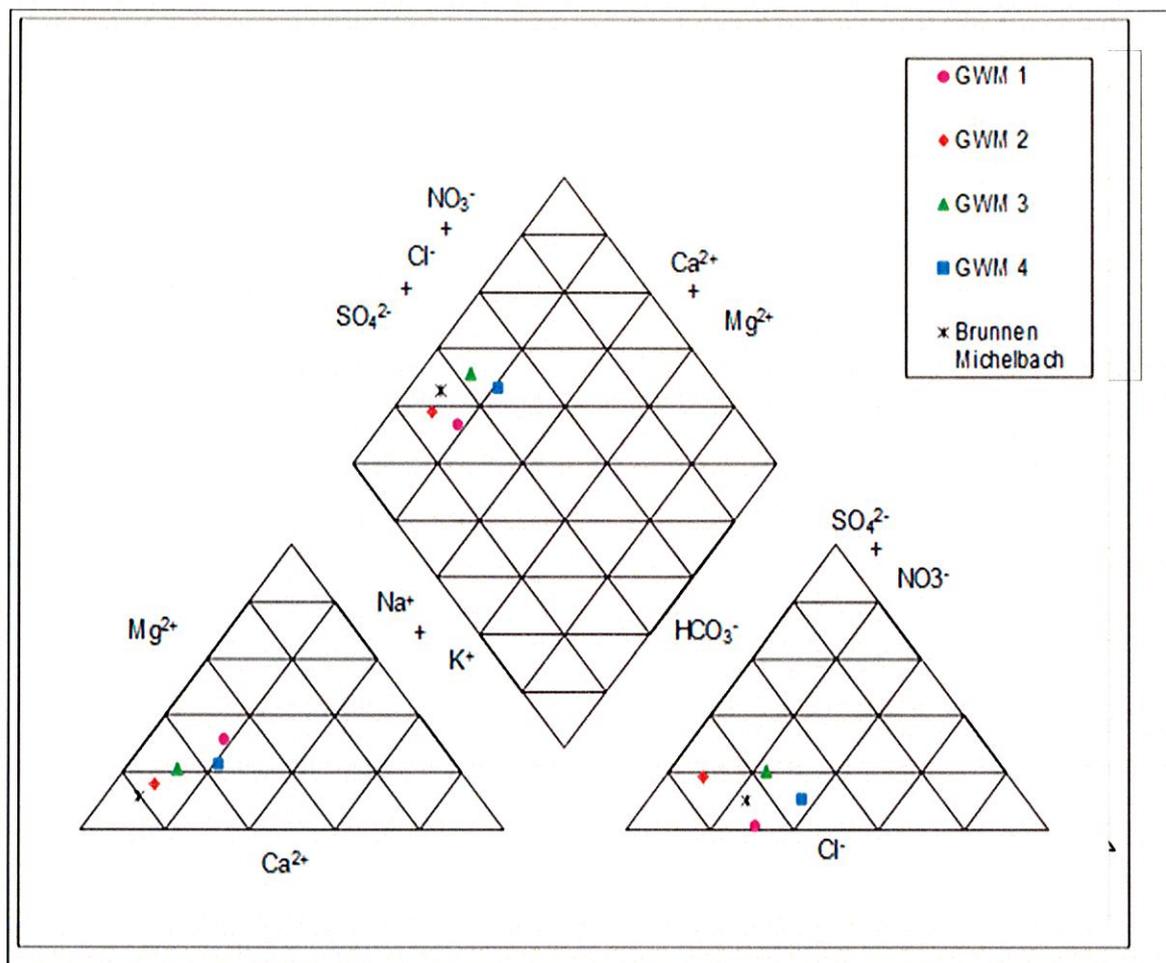


Abbildung 2: Darstellung der Ionenverhältnisse im Piper-Diagramm für den 04.04.2016 - Bereich ehemaliger Gemeindemüllplatz Michelbach

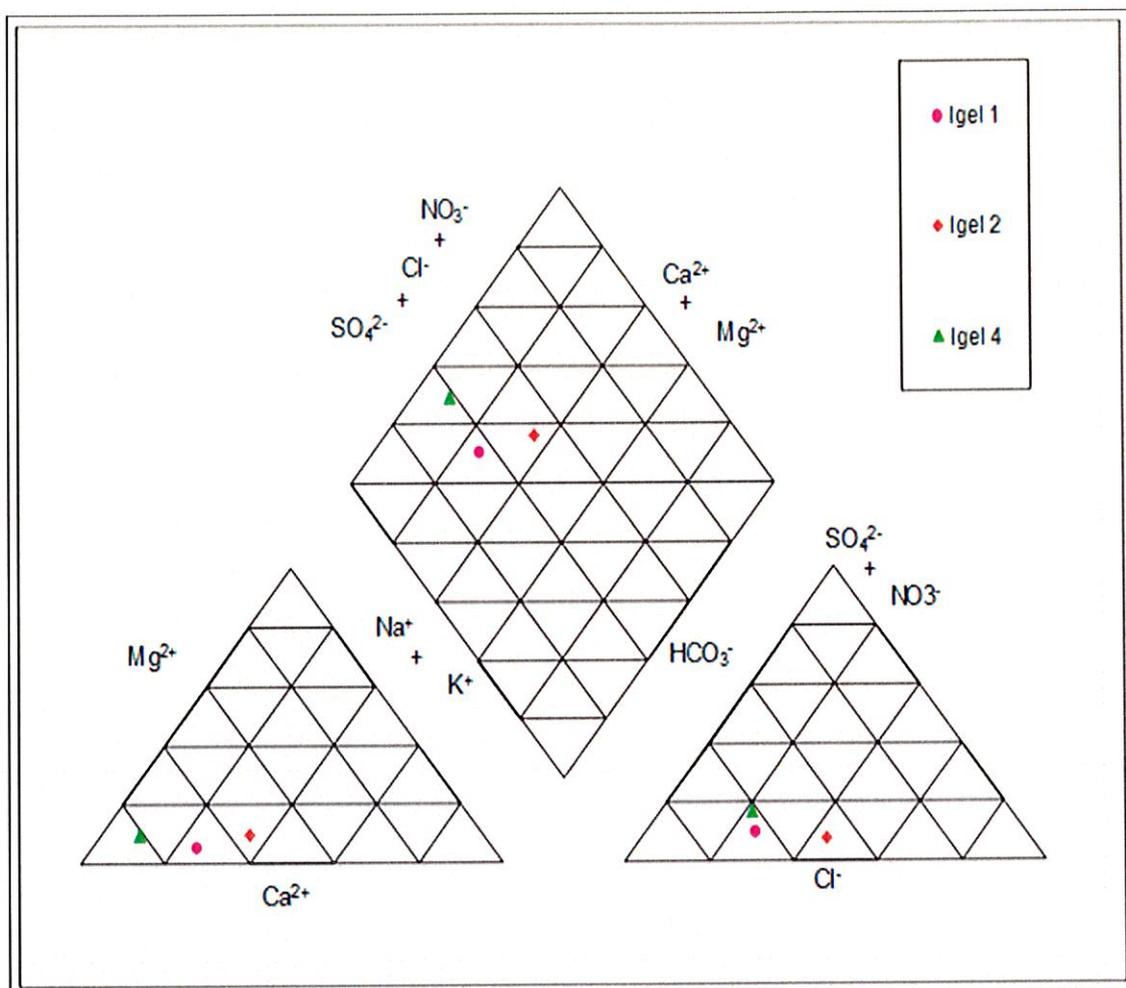


Abbildung 3: Darstellung der Ionenverhältnisse im Piper-Diagramm für den 16.10.2015 - Bereich Bauschuttablagerung Igelpuhl (Igel 4 unter Vorbehalt wegen Schöpfprobe)

3.3 Analytik

3.3.1 Bewertungsgrundlagen

Die im Grundwasser gemessenen Konzentrationen wurden insbesondere in Anbetracht der derzeitigen und geplanten Nutzung mit den Richtwerten der nachfolgend diskutierten Bewertungsmaßstäbe analog der Vorgehensweise im Hauptgutachten vom 18.06.01 verglichen:

- Das **Bundes-Bodenschutzgesetz** (BBodSchG) ist am 01.03.1999 in Kraft getreten. In der **Bodenschutz- und Altlastenverordnung** (BBodSchV) vom 12.07.1999 werden Vorsorgewerte für verschiedene Bodenarten sowie Prüf- und Maßnahmewerte für verschiedene Nutzungsarten genannt. Gemäß Definition der Vorsorgewerte besteht bei Überschreitung dieser die Besorgnis einer schädlichen Bodenverunreinigung, so dass künftige, zusätzliche Bodenbelastungen vermieden werden sollen.



- Bei Überschreitung der Prüfwerte ist eine weitergehende Einzelfallprüfung notwendig und die Feststellung, ob eine schädliche Bodenveränderung vorliegt oder eine Altlast. Im vorliegenden Fall sind die Vorsorgewerte für Sand bzw. Humus $< 8\%$ sowie die Nutzung als Industrie- und Gewerbegrundstücke relevant. Zusätzlich ist eine Sickerwasserprognose für die von der Verdachtsfläche ausgehenden Gefahren für das Grundwasser zu erstellen.
 - Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt)

Direkter Kontakt mit belastetem Boden kann zur direkten (oral, inhalativ) und dermalen Aufnahme von Schadstoffen führen und damit zu einer Gefährdung der menschlichen Gesundheit. Im Unterschied zu anderen Gefährdungspfaden kommt es dabei weniger auf die Möglichkeit der Freisetzung und der Ausbreitung von Schadstoffen an als vielmehr auf die Möglichkeiten des Zugangs zum Schadstoffinventar. Gefährdet sind Personen, die z. B. bei Baumaßnahmen Kontakt mit dem Boden haben. Die Stoffe können dabei durch Verschlucken oder über die Haut aufgenommen werden.

- Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze

Bei den Böden im Untersuchungsgebiet handelt es sich im Wesentlichen um anthropogen veränderte, d. h. aufgebrachte oder umgesetzte, Bodenmaterialien sowie um Böden im Sinne der Bodenkunde, die durch die anthropogene Vornutzung überprägt wurden. Die oberste Bodenschicht im Untersuchungsgebiet dient zum Teil als Pflanzenstandort. Dabei spielt im Untersuchungsgebiet die Wirkung fester und flüssiger Schadstoffe im Boden auf Pflanzen, insbesondere Futterpflanzen für die beheimatete Tierwelt, eine wesentliche Rolle. Hierbei ist zu beachten, dass nicht nur der unmittelbare Bereich der Kontaminationsbereiche mit Schadstoffen belastet sein kann, sondern dass auch die Möglichkeit von Schadstoffeinträgen in Böden der Umgebung insbesondere durch Verwehungen, Abschwemmungen und Umlagerungen besteht.

- Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Der Grundwasserpfad ist besonders sensibel für Verunreinigungen. Die Stoffwanderung in Boden und Grundwasser erfolgt physikalisch mit der Schwerkraft, wobei z. B. versickerndes Niederschlagswasser als Transportmedium dient, und der Grundwasserströmung. Außerdem findet ein nicht unmittelbar an ein Transportmedium gekoppelter, physikochemischer Stofftransport in Richtung eines Konzentrationsgefälles (Diffusion) statt. Das Migrationsverhalten von Stoffen im Boden und Grundwasser hängt von einer Vielzahl an Einzelfaktoren ab. Der Stofftransport wird außerdem durch die geologische und hydrogeologische Situation, insbesondere durch die hydraulische Durchlässigkeit des Aquifers bestimmt. Das Grundwasser kann im betrachteten Fall demnach dadurch verunreinigt werden, dass

- Niederschlagswässer Schadstoffe auf dem Wege durch die ungesättigte Bodenzone aufnehmen und als belastetes Sickerwasser in das Grundwasser gelangen oder
- die Kontaminationen vom Grundwasser direkt durchströmt und wasserlösliche Inhaltsstoffe durch Auslaugung gelöst und transportiert werden.



- **Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe** (Trinkwasserverordnung TVO) vom 01.01.2003. Die Verordnung regelt die Qualität und Güte des Trinkwassers. Danach muss Trinkwasser frei sein von Krankheitserregern. In Trinkwasser dürfen die in der Anlage 2 der TVO festgesetzten Grenzwerte für chemische Stoffe nicht überschritten werden. Andere als die in der Anlage 2 aufgeführten Stoffe und radioaktive Stoffe darf das Trinkwasser nicht in Konzentrationen enthalten, die geeignet sind, die menschliche Gesundheit zu schädigen. Konzentrationen von chemischen Stoffen, die das Trinkwasser verunreinigen oder die Beschaffenheit des Trinkwassers nachteilig beeinflussen können, sollen so niedrig gehalten werden, wie dies nach dem Stand der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles möglich ist. Um einer nachteiligen Beeinflussung des Trinkwassers vorzubeugen und um eine einwandfreie Beschaffenheit des Trinkwassers sicherzustellen, dürfen im Trinkwasser die in Anlage 2 festgesetzten Grenzwerte nicht überschritten werden. Des Weiteren sind in der TVO sogenannte „Indikatorparameter“ festgelegt, bei denen eine Überschreitung des jeweiligen Grenzwertes eine Überprüfung der Ursachen nach sich zieht.

Hinweis: Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die TVO hier nicht zur Qualitätsbewertung der in Frage kommenden Grundwässer herangezogen wird. Sie wird lediglich ergänzend diskutiert, um eine eventuelle Relevanz der Lage der Altablagerung in der Trinkwasserschutzzone IIIa der Wasserfassung Michelbach zu berücksichtigen.

- **„Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden“** der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) von 1994. Die LAWA-Empfehlungen stellen eine Leitlinie für den wasserrechtlichen Vollzug dar, anhand dieser der Einzelfall individuell bewertet werden kann. Im Anhang werden ausschließlich Orientierungswerte, d. h. neben Prüfwerten für Basisparameter zur Vor- und Hauptuntersuchung von Grundwasser auch Prüf- und Maßnahmenschwellenwerte für einige Leitparameter der Hauptuntersuchung von Grundwasser sowie Orientierungswerte (Prüf- und Maßnahmenschwellenwerte) für Bodenbelastungen mit leichtflüchtigen und lipophilen organischen Stoffen definiert:

Referenz- bzw. Hintergrundwerte geben den geogenen Hintergrund einschließlich der ubiquitären Belastung an.

„Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser (LAWA, Dez. 2004)“: Zur einheitlichen Bewertung von Grundwasserverunreinigungen werden nachvollziehbare Bewertungskriterien benötigt. Ein hierfür von der LAWA als geeignet angesehener Maßstab ist die Geringfügigkeitsschwelle (GFS). Sie bildet die Grenze zwischen einer geringfügigen Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer schädlichen Verunreinigung.

- **„Verwaltungsvorschrift zu § 77 des Hessischen Wassergesetzes (HWG) für die Sanierung von Grundwasser- und Bodenverunreinigungen im Hinblick auf den Gewässerschutz“ (Gw-VwV).** Diese Verwaltungsvorschrift ist laut Auskunft des Regierungspräsidiums Gießen, Abteilung IV Umwelt, nicht mehr maßgeblich.



- **Grundwasserverordnung (GrwV) vom 16.11.2010.** Die Verordnung setzt die Europäische Grundwasserrichtlinie in nationales Recht um.

In den nachfolgenden Tabellen sind die Gehalte der untersuchten Inhaltsstoffe den o. g. Grenz-, Prüf- und Maßnahmenschwellenwerten vergleichend gegenübergestellt. Die Schadstoffgehalte, die die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) der LAWA, die Grenzwerte der TVO oder die Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser der BBodSchV überschreiten, sind fett hervorgehoben.

3.4 Grundwasser

3.4.1 Vor-Ort-Parameter

Bei den gemessenen Vor-Ort-Parametern lässt sich folgendes feststellen:

Tab. 4: Ergebnisse der Messung der Vor-Ort-Parameter

Messstelle			GWM 1	GWM 2	GWM 3	GWM4	Michelbach	Igel 1	Igel 2	Igel 4*
Parameter	Einheit	TVO								
16.10.2015										
Färbung			farblos	farblos	farblos	schw. rosa	farblos	farblos	gelblich	rot-braun
Trübung			klar	klar	klar	trüb	klar	klar	schw. trüb	st. trüb
Geruch			ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Temperatur	°C		10,7	9,4	10,2	10,4	10,6	10,6	9,6	10,5
pH-Wert		$\geq 6,5$ und $\leq 9,5$	7,1	6,57	6,92	6,65	7,14	7,14	6,74	6,92
elektr. Leitf.	$\mu\text{S/m}$	2790 bei 25 °C	614	213	536	387	582	582	634	430
Redoxpotential	mV		447	510	460	433	434	434	440	510
Sauerstoff	mg/l		1,9	5,0	3,9	2,0	5,6	5,6	4,4	4,4

*: Igel 4: Schöpfprobe

Die gemessenen Temperaturen von 9,4 - 10,7°C im Grundwasser stellen typische Werte für oberflächennahes Grundwasser in diesem Jahresabschnitt dar und liegen im Bereich der bisherigen Messungen.

Die pH-Werte der Grundwässer liegen allgemein im neutralen bis schwach sauren Bereich.



Die elektrischen Leitfähigkeiten der Wässer, die ein orientierendes Maß für die Konzentration an gelösten Ionen sind und temperaturabhängig auf 25 °C bezogen werden, liegen für GWM 1 und GWM 3 auf dem bekannten hohen Niveau bei 614 bzw. 536 $\mu\text{S}/\text{cm}$, während GWM 2 und GWM 4 mit ca. 213 und 387 $\mu\text{S}/\text{cm}$ deutlich niedriger liegen. Der Trinkwasserbrunnen Michelbach liegt mit 582 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ebenfalls auf einem hohen Niveau. Igel 1 und Igel 2 weisen ebenfalls mit 582 bzw. 634 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ein erhöhtes Leitfähigkeitsniveau auf.

Igel 2 liegt aktuell allerdings deutlich unterhalb der Werte aus den Vormessung ($>1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$). Anlässlich der ersten vor Ort Messung am 05.03.2014 wurde eine Leitfähigkeit von 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ermittelt, am gleichen Tag im Labor 1.160 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Das analysierte Grundwasser führte zudem erhöhte Gehalte an Na-, Ca- und Cl- Ionen, was bereits am 05.03.2014 durch Frau Dr. Lorenz (Labor Wartig) analysiert wurde (vgl. Laborbericht Wartig vom 10.03.2014). Der Aufstoß dieses höher mineralisierten Wassers wurde aus einer Bohrtiefe von ca. 19 m u.AP aus einem zweiten tiefgelegenen Grundwasservorkommen festgestellt und nach Absprache mit der Stadt Marburg (Herr Steih-Winkler) bis ca. 14 m u. AP mit Quillon abgesperrt. Jedoch steht das obere Grundwasservorkommen in IGEL 2 über wasserleitende Kluftsysteme mit dem tieferen gespannten, höher mineralisierten Grundwasser in hydraulischer Verbindung, wie die auffällig abweichende Mineralisierung aufzeigt.

Der Nachweis dieser höher mineralisierten Wässer korreliert mit den im unweit gelegenen Brunnen IGEL 1 nachgewiesenen „Mineral-Wässern“ vom 02.02.2006 von etwa identer Zusammensetzung, wo sich jedoch offenbar nach Abbau der hydraulischen Spannung ein normaler und zu der allgemeinen Grundwasserlandschaft vergleichbarer Chemismus einstellte.

Die Sauerstoffgehalte der Grundwässer liegen am Ende des Winterhalbjahres 2015/2016 zwischen 1,9 und 6,6 mg/l. GWM 1 und GWM 4 wiesen dabei die geringsten Werte auf - hier finden im Grundwasser mikrobielle Abbauprozesse statt.

Oxidation und Reduktion sind im Grundwasser verbreitete, wesentliche geo-hydrochemische Prozesse. Das Redoxpotential (E_h) bestimmt zusammen mit dem pH-Wert die Löslichkeit bzw. Mobilität einiger relevanter Schadstoffe. Oxidierende Bedingungen sind gekennzeichnet durch erhöhte Sauerstoffgehalte ($> 5 \text{ mg/l}$) sowie E_h -Werte $> 100 \text{ mV}$, andernfalls liegen reduzierende Bedingungen vor. Das Redoxverhalten der untersuchten Grundwässer ist bei einem Redoxpotential zwischen 433 - 510 mV auffallend einheitlich als oxidierend einzustufen.



3.4.2 Laboranalytik

Im Grundwasser wurden die nachfolgend aufgelisteten, **anorganischen** Inhaltstoffe (u. a. Kationen, Anionen, Schwermetalle) analysiert:

Tab. 5: Ergebnisse der Laboranalysen der anorganischen Inhaltsstoffe (Laborbericht 12.05.2016, Probenahme: 04.04.2016)

Messstelle		LAWA GFS	TVO	BBod SchV *	GWM 1	GWM 2	GWM 3	GWM 4	Brunnen Michel- bach	Igel 1	Igel 2	Igel 4**
Parameter	Einheit											
Hydrogen- carbonat	mg/l				277	122	189	122	229	243	201	183
Chlorid	mg/l	250	250		48	3,6	20	27	25	40	100	24
Sulfat	mg/l	240	250		3,6	25	55	19	36	29	27	40
Nitrit	mg/l		0,5		< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Nitrat	mg/l		50		41	9,3	44	40	49	31	11	23
Phosphor, ges.	mg/l				0,17	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,12	0,12
Bor	mg/l	0,74	1		0,07	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cyanid, ges.	mg/l	0,005	0,05	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ammonium- N	mg/l		0,5		< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Natrium	mg/l		200		27	5,6	15	18	11	36	58	9,5
Kalium	mg/l				3,7	1,4	2,3	2,7	1,7	1,6	3,2	1,7
Magnesium	mg/l				27	5,8	15	11	8,1	5	8,7	6,3
Calcium	mg/l				70	44	78	45	92	89	81	84
Eisen, ges.	mg/l		0,2		< 0,02	0,19	0,07	0,47	< 0,02	0,16	0,31	< 0,02
Mangan	mg/l		0,05		< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03
Arsen	mg/l	0,01	0,01	0,01	< 0,001	0,001	0,003	< 0,001	< 0,001	0,006	0,002	< 0,001
Selen	mg/l	0,007	0,01	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Quecksilber	mg/l	0,0002	0,001	0,001	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Zink	mg/l	0,058		0,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Blei	mg/l	0,007	0,01	0,025	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Chrom, ges.	mg/l	0,007	0,05	0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Kupfer	mg/l	0,014	2	0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Nickel	mg/l	0,014	0,02	0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,006	< 0,005
Cadmium	mg/l	0,0005	0,005	0,005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005

** : Igel 4: Schöpfprobe

TVO: Trinkwasserverordnung

GFS: Geringfügigkeitsschwellenwert nach LAWA

* Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser



Die Mineralisation mit Anionen sowie Erdalkali- und Alkali-Kationen ist in den untersuchten Wässern mit Ausnahme von Igel 2 ähnlich (vgl. Piper-Diagramme, Abb. 2 und 3). Hier dominieren die Verbindungen von Na und Ca mit Cl - typisch im Zusammenhang mit „Mineralwässern“ aus größerer Tiefe (NaCl- Tiefenwässer).

In keiner der untersuchten Wasserproben konnten die reduzierten Stickstoffverbindungen Ammonium oder Nitrit in nennenswerten Konzentrationen nachgewiesen werden. Nur in GWM 4 wurden Spuren von Ammonium festgestellt.

Die höheren Gehalte von Nitrat in den Messstellen (mit Ausnahme von GWM 2 und Igel 2) sowie im Brunnen Michelbach deuten eventuell auf Sickerwassereinfluss durch landwirtschaftlich belastetes Wasser hin.

Erhöhte Eisen- oder Mangangehalte wurden nur in den Messstelle GWM 4 und Igel 2 gemessen - sie korrelieren mit einer Färbung bzw. Trübung des Grundwassers.

Die Ergebnisse der Parameter Gesamtcyanide, Gesamtphosphate und Bor lagen bei allen Messstellen im Bereich von oder unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen der Analysenmethode.

In keiner der Messstellen wurden nennenswerte Schwermetallmuster in den analysierten Grundwässern nachgewiesen. Es wurden allerdings bei GWM 2, GWM 3, Igel 1 und Igel 2 Arsen Spuren nachgewiesen.



Im Grundwasser wurden die in Tabelle 6 aufgelisteten, **organischen** Inhaltstoffe analysiert:

Tab. 6: Ergebnisse der Laboranalysen der organischen Inhaltsstoffe (Laborbericht 12.05.2016)

Messstelle		LAWA GFS	TVO	BBod SchV*	GWM 1	GWM 2	GWM 3	GWM 4	Brunnen Michelbach	Igel 1	Igel 2	Igel 4**
Parameter	Einheit											
CSB	mg/l				< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
DOC	mg/l				1,2	3,2	1,5	0,9	0,8	2,1	4,5	1,2
AOX	mg/l				0,022	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,022	0,011
POX	mg/l				< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Phenolindex	mg/l	0,008		0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
KW	mg/l	0,1	0,01	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
PAK nach TVO	mg/l	0,0002	0,0001	0,0002	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
LHKW	mg/l	0,02		0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
BTEX	mg/l			0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

** : Messstelle Igel 4: Schöpfprobe

TVO: Trinkwasserverordnung

GFS: Geringfügigkeitsschwellenwert nach LAWA

* Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Die Schadstoffparameter Kohlenwasserstoffe (KW), Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK, ohne Naphthalin), Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) und der Summenparameter BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol) konnten nicht nachgewiesen werden. Ebenso wenig sind Werte für den Summenparameter POX und für den Phenolindex gemessen worden.

Der AOX-Gehalt (Summenparameter für adsorbierbare organische Halogenverbindungen) liegt in GWM 1 und in Igel 2 nahe der Nachweisgrenze. Ein chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) wurde in keiner der Grundwasserproben nachgewiesen.

Dafür wurden aber, wie in der vorangegangenen Messkampagne, Werte für den gelösten organischen Kohlenstoffanteil (DOC) in **allen** Messstellen festgestellt – dieser Befund muss in der Folgemessung im Herbst 2016 überprüft werden.



4 Gefährdungsabschätzung

Die ökotoxikologischen Bewertungen der festgestellten Problemstoffe sind in dem Gutachten der UIC vom 18.06.2001 ausführlich dargelegt.

Es wurde insbesondere darauf verwiesen, dass Schwankungstendenzen von maßgeblichen Grundwasserinhaltsstoffen regelmäßig zu überprüfen sind, denn diese geben den ersten begründeten und konkreten Hinweis auf Durchströmung (bzw. Nicht-Durchströmung) des Deponiefußes bei entsprechenden Grundwasserständen.

Besondere Auffälligkeiten mit Nachweis von bedenklichen Verschmutzungsindikatoren betrafen in der Analytik des Hauptgutachtens die Grundwässer des Abstrombrunnens GWM 3 und des Lateralbrunnens GWM 1. Die Situation hat sich an den bisherigen Beprobungsterminen bis 2016 dahingehend nicht geändert, die durchgehend hohe Gesamtmineralisation im Grundwasser des Abstrompegels GWM 3 und des Lateralbrunnens GWM 1 ist Fakt.

Es muss jedoch immer wieder betont werden, dass es im Kluftaquifer des grundwasserführenden Untergrundes zunächst nicht relevant ist, ob die nachgewiesenen wechselnden Grundwasserbelastungsmuster nur für den Abstrombrunnen beweisaussagend sind, die weitgehend unbekanntem Fließvorgänge im Untergrund lassen auch belastete Grundwässer im Lateralbereich der Deponie z.B. in Hauptabflussrichtungen übertreten und umgekehrt.

Bewiesen ist die Pfadverknüpfung des Zechsteinaquifers (in dem der Trinkwasserbrunnen Michelbach fördert) mit dem Grundwasser-oberstromigen karbonischen Kluftaquifer, in welchem sich der Deponiefuß sowie die Grundwasser-Beobachtungsbrunnen befinden (siehe Hauptgutachten vom 18.06.2001).

Als Adressat des nachgewiesenen betroffenen Schutzgutes Grundwasser verbleibt daher weiterhin die Trinkwasser-Gewinnungsanlage Michelbach. Die Entfernung zu der Anlage beträgt ab der Deponie sowie dem Igelpfuhl je ca. 800 m. Der potentiell nachteilige Wirkungspfad über das Grundwasser im Grundwassergefälle und im Entnahmetrichter der Brunnenanlage ist relevant. Die Feststellung einer Besorgnis eines Übertrittes von Problemstoffen aus der Deponie in das geförderte Grundwasser und folgend in das zur Nutzung bereitgestellte Trinkwasser bleibt bestehen. Da die GWM 3, genau wie der Trinkwasserbrunnen Michelbach, in der von der Deponie nach NNW gerichteten Grundwasserfließrichtung liegt, ist ein Einfluss vom ehemaligen Gemeindemüllplatz wahrscheinlich und weitere Beobachtungen unerlässlich.

Eine weitere Problematik tritt nach der Stilllegung von Pegel 7 und mit dem Neubau und Ersatz durch GWM 4 (ca. 20 m östlich von Pegel 7) hinzu, wie schon bei der Diskussion des aktuellen Grundwassergleichenplanes angemerkt. Das Grundwasser strömt demnach mit leichtem Gradienten von Süden über → GWM 4 in Richtung → Deponiekörper → GWM 3 → Brunnen Michelbach. Die in Pegel 7 über viele Jahre gemessenen geochemisch unausgewogenen Reaktivitäten, die das dort analysierte Grundwasser nicht an die übrige Grundwasserlandschaft adaptierten, lassen nach den ersten Beprobungen von GWM 4 nicht mehr den Schluss auf eine Beeinflussung durch die Deponie zu.



Bis dato noch unerklärlich sind auch hier die schwankenden Auffälligkeiten im Muster der aktiven Belastungshinweise im Grundwasser (Phosphor, Eisen, Mangan).

Die Quelle dieser Belastungsindikatoren kann nicht auf die zur Untersuchung anstehende Deponie zurückgeführt werden - ein bisher unentdeckter Belastungskörper, etwa im angrenzenden Wald gelegen, muss zwangsläufig in Diskussion gebracht werden. Dieser Fakt ist im Zusammenhang mit der nun eindeutig festgestellten Fließrichtung über GWM 4 nach Norden zum Brunnen Michelbach zu beachten.

Die im Umfeld der Altablagerung Igelpfuhl fertiggestellten Pegel IGEL 2 und IGEL 4 sowie der wieder nutzbare Pegel IGEL 1 zeigen in einer engbemessenen Grundwasserlandschaft den eindeutigen Abstrom nach Nordosten, ebenfalls in Richtung Trinkwasserbrunnen Michelbach.

Obgleich in einer ersten vergleichenden Analytik der drei Beobachtungspegel keine typischen und gravierenden Indikatoren auf Deponieeinfluss einer mutmaßlichen Bauschuttdeponie festgestellt werden konnten, kann im Fall der Altablagerung Igelpfuhl eine vergleichbare Situation der potentiellen Gefährdung durch Verfrachtung belasteter Sickerwässer in das genutzte Grundwasservorkommen nicht ausgeschlossen werden.

Die Begründung hierfür ist einmal in der vergleichbaren topographischen Nähe vom Igelpfuhl zum Brunnenstandort Michelbach (800 m), der topographischen Tiefenlage von Igelpfuhl (ca. 257 m), der Höhendifferenz von ca. 20 m zum Standort Trinkwasserbrunnen und der indirekten Verknüpfung durch ein E-W verlaufendes Bachtal mit der Grundwasserabflussrichtung, welches hinsichtlich des Bachtals zwanglos einem gleich orientierten Kluftsystem zugeordnet werden kann. Im tieferen Untergrund hat der Aufstoß druckentlasteter saliner Zechsteinwässer die Verbindung zu tiefgreifenden Grundwasservorkommen bewiesen (IGEL 1 - Analytik 02.06.2006 und Bericht Igelpfuhl vom 15.06.2007 sowie IGEL 2 Voranalytik vom 10.03.2014 und Analytik vom 07.04. und 25.11.2014), die hydraulische Verknüpfung zu oberflächennahen Grund- und Sickerwässern sowie zu Oberflächenstauwässern am Deponierand ist zwingend logisch. Jedoch sind Filter- und Absorptionsprozesse bei Sickerwässern aus dem Deponiekörper mit bisher unbekannter Tiefenlage in das Grundwasser, bedingt durch die auffallend tiefe Grundwasseroberfläche (IGEL 4: ca. 13 m u.MP), positiv zu bewerten.

Es wird wieder auf die relativ und z.T. erheblich variierenden Werte des Redoxpotentials im Brunnen Michelbach hingewiesen, und dies ohne relevante Labornachweise auf fehlende, zusätzliche oder reduktiv/oxidativ wirkende Redoxpartner. Der sehr sensible Wert des Redoxpotentials sollte im Brunnen Michelbach weiterhin der speziellen Überwachung unterworfen werden.

Da durch vorausschauende frühzeitige Sicherungsmaßnahmen und Flächenstilllegung auf den Flächen oberhalb der Deponie durch das Amt für Grünflächen, Umwelt und Naturschutz Marburg sowohl ein direkter Kontakt zwischen Schadstoff und Mensch als auch die Aufnahme durch angebaute Pflanzen unmöglich geworden ist, wiegt eine potentielle Gefährdung des Grundwassers durch der Deponie zuzuordnende Stoffe und Stoffreaktionen umso mehr.



5 Feststellung des Handlungsbedarfs

Auf der Grundlage der vorliegenden, durch das Grundwasser-Monitoring erweiterten Untersuchungsergebnisse wird aus gutachterlicher Sicht und der ausgesprochenen, weiterhin bestehenden potentiellen Besorgnis im Hinblick auf den Grundwasserschutz in Bezug auf die Trinkwassergewinnung in Michelbach folgende Vorgehensweise anempfohlen:

- Fortsetzung des Grundwasser-Monitoring-Programms, d.h. Wiederholungsmessungen (Stichtagsmessungen und Grundwasserprobennahmen) sollten weiterhin im hydrologischen Jahr jeweils zu Ende des hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahres durchgeführt werden, um insbesondere die Schwankungstendenzen der Konzentration von maßgeblichen Wasserinhaltsstoffen, die mit der begründeten Durchströmung des Deponiekörpers zusammenhängen, zu systematisieren. Es wird weiterhin die Einbeziehung des Trinkwasserbrunnens in die Messtermine als *selbstverständlich* notwendig erachtet. **Hinsichtlich der bisher nicht erklärbaren Nachweise von sensiblen Stoffen im neugebohrten Pegel GWM 4 wäre eine eingehende umfassende Vorort-Recherche zunächst unter Anwendung von untiefen Bohrungen evtl. ergänzt durch flächenhaft angelegte Geophysik anzuraten.**

Auf die exakte Einhaltung der Mess- und Analytiktermine im hydrologischen Jahr wird hingewiesen, d.h., die Messungen und Beprobungen sind zeitlich eng orientiert an die Termine zu Ende Oktober bzw. Ende April des Jahres durchzuführen. Die Zeitspanne zwischen Probenahme und Laborbericht sollte durch geeignete Organisation deutlich verkürzt werden.

In diesem Zusammenhang soll weiterhin angemerkt werden, dass zur gesicherten Durchführung von Schutz-, Beschränkungs- oder Sanierungsmaßnahmen die Durchführung der sog. **Sickerwasserprognose nach Bundesbodenschutzgesetz** und der hierzu gestellten Verfügung (BBodSchV) **unerlässlich** ist. Die hier im Übergangsbereich der ungesättigten zur gesättigten Zone im Abstrombereich der Deponie zu erhebenden Werte sind mit den vorliegenden geohydraulischen Messdaten abzugleichen und in Bezug auf Handlungs-Konsequenzen zu betrachten. Laut Mitteilung des HfU zur Sickerwasserprognose (2002) müssen die erforderlichen Untersuchungen zwingend zum Zeitpunkt des anzunehmenden höchsten Grundwasserstandes durchgeführt werden (das ist im Verlaufe/ zu Ende des jeweiligen hydrologischen Winterhalbjahres).

Zum Abgleich der Maßnahmen zur evtl. Durchführung der Sickerwasserprognose fand bereits am 11. August 2004 im Hause der Stadtwerke Marburg unter Beteiligung der Herren Schlipp und Dr. Prade, Steih-Winkler (Umweltamt Marburg) sowie Voß (uic Kiel) und Dr. Gronemeier ein Fachgespräch zur Realisierung des anempfohlenen Handlungsbedarfes statt. Im Ergebnis der Besprechung wurde festgehalten, dass eine Durchführung der Sickerwasserprognose zum einem nächst möglichen Termin anzustreben sei.

IPP hat hierzu eine erste Kurzstellungnahme am 31.10.2013 vorgelegt. Die getroffenen Aussagen basieren unter Berücksichtigung von aktuellen Klimadaten auf einer numerischen Auswertung der vorliegenden Daten, die keine belastbare Ergebnismatrix ergab.



In der o.g. Stellungnahme ist das weitere Vorgehen hinsichtlich einer abschließenden Sickerwasserprognose wie in BBodSchV und HLUG gefordert, beschrieben. Für die unumgängliche Untersuchung des Grundwassers im unmittelbaren Anstrom und Abstrom der Deponie müssen zwei temporäre Messstellen eingerichtet und zum Zeitpunkt der anzunehmenden höchsten Grundwasserstände im April beprobt werden. Die im Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 6 des HLUG gegebenen Hinweise zur Bauart der Messstellen und zur Vorgehensweise bei der Beprobung und Auswertung werden strikt eingehalten.

Die geplante Erstellung von ein bis zwei zusätzlichen Messstellen auf der Verbindungslinie Deponie - GWM 3 - Brunnen Michelbach und IGEL 2 – Brunnen Michelbach, wird hinsichtlich der Dringlichkeit sowie von Tiefe, Ausbau und definitiver Lokalisierung der Bohrungen von den Ergebnissen der Sickerwasserprognose abhängig gemacht.

Es wurde die Einbeziehung des im Senktrichter des Trinkwasserbrunnens gelegenen Peilbrunnens der Hauptbohrung Michelbach in das Monitoring -Netz nach Vorliegen der Ergebnisse der Sickerwasserbeprobung ggf. additiv empfohlen.

Als nächste Schritte sind zeitnah noch folgende Tätigkeiten umzusetzen:

- Aktenrecherche und Ortsbegehung für den Anstrombereich von GWM 4 (ungeklärter Grundwasserchemismus) – Angebot IPP liegt vor (24.02.2016)
- evtl. stufenweise Erkundung des Untergrundes im weiteren Umfeld von GWM 4, insbesondere im angrenzenden Wald mittels Rammkernbohrungen, evtl. ergänzt durch geophysikalische an die Thematik angepasste Messungen

Sämtliche Aussagen und Bewertungen basieren auf den dokumentierten Untersuchungen und wurden nach bestem fachlichem Wissen und Gewissen erarbeitet.

gez. Dipl.-Ing. D. Noack
(Projektleiter)


i. A. Dipl.-Geol. A. Voß
gez. Dr. K. Gronemeier
(Verfasser)