



## **Deponie Flotzgrün**

### **Fortschreibung der vorläufigen Gefährdungsbeurteilung Grundwasser auf Basis der Ergebnisse aus der Erkundungsphase**

Projekt-Nr.: **91501**

Bericht-Nr.: **05**

Erstellt im Auftrag von:

**BASF SE**  
**67056 Ludwigshafen**

**Eigentum der BASF SE**

urheberrechtlich geschützt

Dr.-Ing. B. Starke, Dr.-Ing. Joh. Weiß,  
Dipl.-Ing. J. Müller

2016-01-15

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1</b>	<b>AUSGANGSLAGE ZUR FORTSCHREIBUNG DER VORÄUFIGEN GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG ..... 5</b>
<b>2</b>	<b>UNTERLAGEN ..... 6</b>
<b>3</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG DER VORLIEGENDEN ERGEBNISSE AUS DER ERKUNDUNGSPHASE..... 8</b>
3.1	Überblick zu den Untersuchungen in der Erkundungsphase ..... 8
3.2	Einrichtung neuer Grundwassermessstellen ..... 8
3.3	Pumpversuche ..... 10
3.4	Grundwasserbeprobungen ..... 11
3.4.1	Schadstoffscreening an den Sanierungsbrunnen B01 bis B07 im Sept. 2014 ..... 11
3.4.2	Ergebnisse der Monitoring-Untersuchungen im Frühjahr 2015..... 12
3.4.3	Ergebnisse der Monitoring-Untersuchungen im Herbst 2015..... 13
3.5	Grundwasserstandsmessungen ..... 16
3.6	Bodenmechanische Laborversuche ..... 17
3.7	Säulenversuche ..... 19
3.8	Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Erkundungsphase..... 20
<b>4</b>	<b>FORTSCHREIBUNG DER VORLÄUFIGEN GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG ..... 22</b>
4.1	Gefährdungsabschätzung ..... 22
4.1.1	Trinkwassergewinnung Speyer Süd..... 22
4.1.2	Grundwasser..... 22
4.2	Gefährdungsbeurteilung für die Schutzgüter Trinkwasser / Mensch..... 23
4.3	Gefährdungsbeurteilung für die Oberflächengewässer ..... 24
4.3.1	Altrhein ..... 24
4.3.2	Rhein..... 25
4.3.3	Altrheinaue ..... 25
4.4	Gefährdungsbeurteilung für die Grundwassernutzungen im Bereich Speyerer Rheinbogen..... 26
4.5	Zusammenfassende Bewertung..... 26
<b>5</b>	<b>EMPFEHLUNGEN FÜR DAS WEITERE VORGEHEN..... 27</b>
5.1	Wesentliche Fragestellungen und offene Punkte ..... 27
5.2	Handlungsempfehlungen..... 29
5.2.1	Vorschläge für ergänzende Untersuchungen ..... 29
5.2.2	Aktualisierung des hydrogeologischen Modells ..... 31
5.2.3	Aktualisierung des numerischen Modells und Modelluntersuchungen..... 32

## TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
<b>Tabelle 1:</b> Analysenergebnisse Herbstbeprobung 2015 - Mecoprop ( $\mu\text{g/l}$ ) .....	14
<b>Tabelle 2:</b> Analysenergebnisse Herbstbeprobung 2015 - Bentazon ( $\mu\text{g/l}$ ) .....	15
<b>Tabelle 3:</b> Analysenergebnisse Herbstbeprobung 2015 - Summe Dioxan und Trioxan ( $\mu\text{g/l}$ ) .....	15
<b>Tabelle 4:</b> Analysenergebnisse Herbstbeprobung 2015 - Summe Sulfonsäuren ( $\mu\text{g/l}$ ) ...	16
<b>Tabelle 5:</b> Vergleich der aus den Untersuchungen abgeleiteten $k_f$ -Werte (kursive Schrift: aus Pumpversuchen, normale Schrift: aus Sieb- und Schämmanalysen) .....	18

## ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1	CDM Smith (2014): Deponie Flotzgrün - Bericht Nr. 02, Bewertung der Analysenergebnisse aus dem Stoffscreening an den Sanierungsbrunnen B01 bis B07 vom 16.09.2014, Alsbach, Dezember 2014
Anlage 2	CDM Smith (2015): Deponie Flotzgrün - Bericht Nr. 04, Stoffbewertung der Parameter Dioxan und Trioxan, Alsbach, Dezember 2015
Anlage 3	Lageplan ergänzende Messstellen - Wegebau und Ausgleichsmaßnahmen, M : 5000 (Kartengrundlage BCE GmbH, [U4])
Anlage 4	Ergebnisse der Monitoring-Untersuchungen im Frühjahr 2015 („Erstuntersuchung“ der neuen Grundwassermessstellen), aus [U4]
Anlage 5	Ergebnisse der Monitoring-Untersuchungen im Herbst 2015
Anlage 6	Maximalbefunde an Mecoprop- und Bentazon im Rheinwasser
Anlage 7	CDM Smith, Bericht Nr. 3 vom 15.04.2015: Bewertung der Ergebnisse aus den bodenmechanischen Untersuchungen
Anlage 8	Universität Tübingen, Bericht vom 16.06.2015: Laborversuche zur Bestimmung der Retardation von Mecoprop und Bentazon in Aquifermaterial

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADI	Acceptable Daily Intake, <i>engl.</i> für Erlaubte Tagesdosis
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutzverordnung
CLP	Classification, Labelling and Packaging, <i>engl.</i>
EC50	mittlere effektive Konzentration
FFH-RL	Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie
GHS	Globally Harmonized System of Classification, Labelling and Packaging of Chemicals
GrwV	Grundwasserverordnung
HGM	Hydraulisches Grundwassermodell
IKSR	Internationale Kommission zum Schutze des Rheins
Kd	Verteilungskoeffizient [ $L^3/M$ ]
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft
LC50	mittlere letale Konzentration
LD50	mittlere letale Dosis
LUWG	Landesamt für Umwelt und Wasserwirtschaft
MCPP	Mecoprop
MGWL	Mittlerer Grundwasserleiter
NOAEL	no-observe adverse effect level, <i>engl.</i>
OGewV	Oberflächenwasserverordnung
OGWL	Oberer Grundwasserleiter
OZH	Oberer Zwischenhorizont
PSM	Pflanzenschutzmittel
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UBA	Umweltbundesamt
UGWL	Unterer Grundwasserleiter
UQN	Umweltqualitätsnorm
UZH	Unterer Zwischenhorizont
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
ZH	Zwischenhorizont

## 1 AUSGANGSLAGE ZUR FORTSCHREIBUNG DER VORÄUFIGEN GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

Im Bereich der älteren Ablagerungsabschnitte (Felder 1 - 5) der auf der eingedeichten Insel Flotzgrün betriebenen Deponie Flotzgrün liegt ein durch Sickerwassereintrag verursachter Grundwasserschaden vor. Zur hydraulischen Sicherung werden am nördlichen Rand der Deponie aktuell 7 Sanierungsbrunnen betrieben.

Im Standortbereich ist ein etwa 45 - 50 m mächtiger oberer Grundwasserhorizont ausgebildet, der sich aus dem OGWL und dem MGWLo (Tiefenbereich I + II) zusammensetzt. Beide Grundwasserleiter stehen hydraulisch miteinander in Verbindung. Im unbeeinflussten Zustand ist der Grundwasserabstrom der Deponie Flotzgrün im OGWL und MGWLo nach Norden und im weiteren Abstrom nach Nordosten ausgerichtet. In den darunter liegenden und durch gering-durchlässige Schichten getrennten Grundwasserleitern MGWLu (Tiefenbereich III) und UGWL (Tiefenbereich IV) wird die Grundwasserströmung unmittelbar durch die Wasserentnahmen im Wassergewinnungsgebiet Speyer-Süd beeinflusst, die westlich des Berghäuser Altrheins von den Stadtwerken Speyer GmbH betrieben werden. Zwischen dem Deponiestandort und dem Wassergewinnungsgebiet ist die Grundwasserströmung auf die im Nordwesten gelegenen Trinkwasserbrunnen ausgerichtet.

Seit 2009 werden geringe Konzentrationen der identifizierten Leitparameter Mecoprop und Bentazon im nördlichen Deponieabstrom im TB III festgestellt. Vor diesem Hintergrund wurde CDM Smith von der BASF SE in Abstimmung mit der SGD als Prüfgutachter hinzugezogen, um die bisherigen Ansätze sowie die weitere Vorgehensweise zu überprüfen und zu bewerten. 2013 wurde von CDM Smith eine vorläufige verbal-argumentative Gefährdungsbeurteilung ausgearbeitet [U2].

Die vorläufige Gefährdungsbeurteilung wies eine Reihe von Kenntnislücken auf, zu deren Klärung im Standortbereich weiterführende Untersuchungen vorgeschlagen wurden. Hierauf aufbauend wurde der Untersuchungsumfang zwischen der BASF SE und den Behörden abgestimmt und die Umsetzung der Maßnahmen beschlossen. Auf dieser Grundlage wurden in 2014 und 2015 folgende Untersuchungen am Deponiestandort Flotzgrün und in dessen Abstrom durchgeführt:

- Bau von 34 zusätzlichen Grundwassermessstellen zur Verdichtung des vorhandenen Messstellennetzes
- Durchführung von Pumpversuchen an den neu gebauten Messstellen zur Bestimmung von geohydraulischen Kenndaten
- Durchführung von bodenmechanischen Laborversuchen an Bodenproben aus dem Bau der neuen Messstellen

- Durchführung von Laborversuchen zur Bestimmung der Retardation von Mecoprop und Bentazon in Aquifermaterial an der Universität Tübingen
- Durchführung von Monitoring-Untersuchungen im Frühjahr und Herbst 2015 zur Untersuchung der Schadstoffverteilung und der hydrochemischen Verhältnisse
- Durchführung von Wasserstandsmessungen zur Untersuchung der Fließverhältnisse im Standortbereich

Aufbauend auf den in den vorgenannten Untersuchungen aufgenommenen Daten und Informationen werden im vorliegenden Bericht die wesentlichen Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus der vorläufigen Gefährdungsbeurteilung überprüft und bewertet. Auf dieser Grundlage werden anschließend Empfehlungen abgegeben, deren Zielstellung es ist, noch verbliebene Wissenslücken zu schließen, um letztlich eine fundierte und umfassende Beurteilung der vom Deponiestandort Flotzgrün ausgehenden Gefährdung zu ermöglichen.

Nach derzeitiger Planung soll die „abschließende Gefährdungsbeurteilung Flotzgrün“ Ende 2016 / Anfang 2017 vorliegen.

## 2 UNTERLAGEN

Im Rahmen der Prüfung wurden folgende Unterlagen eingesehen und bei der Bewertung berücksichtigt:

- [U1] CDM Smith (2014): Deponie Flotzgrün - Bewertung der Analysenbefunde aus dem Stoffscreening an den Sanierungsbrunnen B01 bis B07 vom 16.09.2014, Alsbach, Dezember 2014
- [U2] CDM Smith (2013): Deponie Flotzgrün - Vorläufige Gefährdungsbeurteilung Grundwasser, Alsbach, April 2013
- [U3] CDM Smith (2012): Deponie Flotzgrün - Stellungnahme zur Konzeptplanung „Einrichtung ergänzender Grundwassermessstellen“, Alsbach, Oktober 2012
- [U4] Björnßen Beratende Ingenieure (2015): Deponie Flotzgrün - Einrichtung neuer Grundwassermessstellen - Messstellendokumentation, Koblenz, Juli 2015
- [U5] Björnßen Beratende Ingenieure (2012): Deponie Flotzgrün - Einrichtung ergänzender Grundwassermessstellen - Konzeptplanung, Koblenz, Mai 2012

- [U6] BjörnSEN Beratende Ingenieure (2012): Deponie Flotzgrün - Grundwassersicherung und -überwachung - Jahresbericht 2011, Koblenz, März 2012
- [U7] BjörnSEN Beratende Ingenieure (2011): Rückstandsdeponie Flotzgrün - Grundwassersicherung und -überwachung - Jahresbericht 2010, Koblenz, März 2011
- [U8] BjörnSEN Beratende Ingenieure (2010): Rückstandsdeponie Flotzgrün - Grundwassersicherung und -überwachung - Jahresbericht 2009, Koblenz, April 2010
- [U9] BjörnSEN Beratende Ingenieure (2009): Rückstandsdeponie Flotzgrün - Grundwassersicherung und -überwachung - Jahresbericht 2008, Koblenz, April 2009
- [U10] BjörnSEN Beratende Ingenieure (2008): Rückstandsdeponie Flotzgrün - Grundwassersicherung und -überwachung - Jahresbericht 2007, Koblenz, April 2008
- [U11] BjörnSEN Beratende Ingenieure (2007): Rückstandsdeponie Flotzgrün — Fortschreibung des Grundwasserüberwachungsprogramms, Koblenz, März 2007
- [U12] BjörnSEN Beratende Ingenieure (2006): Rückstandsdeponie Flotzgrün - Ergänzende Stofftransportmodelluntersuchungen zu den hydraulischen Abwehrmaßnahmen - Erarbeitung einer Förderkonzeption mit Intervallbetrieb der Brunnen, Koblenz, Januar 2006
- [U13] BjörnSEN Beratende Ingenieure (2004): Rückstandsdeponie Flotzgrün - Stofftransportmodelluntersuchungen zu den hydraulischen Abwehrmaßnahmen, Koblenz, Oktober 2004
- [U14] Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (2012): Kurzbericht zum Sondermessprogramm „Bentazon und Mecoprop im Berghäuser Altrhein“, Juni 2006, Oktober 2012
- [U15] Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (2014): Sonderuntersuchungen Berghäuser Altrhein, Juni 2014
- [U16] Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (2012): Rheingütestation Worms, Tätigkeitsbericht 2011, Teil 1 Arbeitsbericht, Worms, Oktober 2012
- [U17] [www.wasserblick.net](http://www.wasserblick.net)
- [U18] Umweltbundesamt (2003): Maßnahmenwerte (MW) für Stoffe im Trinkwasser während befristeter Grenzwert-Überschreitungen gem. § 9 Abs. 6-8 TrinkwV 2001

### **3 ZUSAMMENFASSUNG DER VORLIEGENDEN ERGEBNISSE AUS DER ERKUNDUNGSPHASE**

#### **3.1 Überblick zu den Untersuchungen in der Erkundungsphase**

In der Erkundungsphase wurden im Zeitraum 2014 bis 2015 folgende Untersuchungen am Deponiestandort Flotzgrün und in dessen Abstrom durchgeführt:

- Einrichtung von 34 neuen Grundwassermessstellen
- Durchführung von Pumpversuchen an allen neu errichteten Messstellen
- Durchführung von bodenmechanischen Laborversuchen an Bodenproben aus dem Bau der neuen Messstellen
- Durchführung von Säulenversuchen zur Bestimmung der Retardation von Mecoprop und Bentazon in Aquifermaterial an der Universität Tübingen
- Durchführung eines erweitertes Schadstoffscreenings an den Sanierungsbrunnen B1 bis B7 im Herbst 2014
- Durchführung flächendeckender Grundwassermonitoring-Untersuchungen einschließlich Erstbeprobung der neuen Grundwassermessstellen im Frühjahr und Herbst 2015
- Durchführung von flächendeckender Grundwasserstandsmessungen

#### **3.2 Einrichtung neuer Grundwassermessstellen**

Zur Erweiterung der Untergrundkenntnisse und zur Verdichtung des Grundwasserüberwachungsnetzes wurden insgesamt 34 neue Grundwassermessstellen in verschiedenen Bereichen des Untersuchungsgebiets und unterschiedlichen Tiefenbereichen eingerichtet:

- 2 neue Messstellen im TB I
- 10 neue Messstellen im TB II
- 11 neue Messstellen im TBZ/Zu
- 10 neue Messstellen im TB III
- 1 neue Messstelle im TB IIIu

Die Lage der neuen Messstellen ist der **Anlage 3** zu entnehmen.



Im Zusammenhang mit dem Messstellenbau wurden folgende Maßnahmen durchgeführt:

- Aufnahme von Schichtenverzeichnissen an allen neuen Grundwassermessstellen (bei Messstellengruppen: Schichtenaufnahme mindestens an der tiefsten Bohrung)
- Entnahme von Bodenproben für Laborversuche an ausgewählten Bohrungen
- Ausbaukontrolle
- Durchführung von Kurzpumpversuchen an allen neuen Grundwassermessstellen

Nach der Errichtung der neuen Grundwassermessstellen wurden jeweils Ausbaukontrollen (Kontrolle Ringraumabdichtung, Kameraerfahrung, geophysikalische Bohrlochmessungen) durchgeführt.

Im Zuge der Ausbaukontrollen wurde festgestellt, dass der Ausbau der neuen Grundwassermessstellen generell den Planvorgaben entspricht. Die Ausbautoleranzen bewegen sich bei Werten zwischen +/- 0,1 bis max. 0,3 m und damit in einem üblichen Bereich. Einzig bei der Grundwassermessstelle P055 I wurde die Verfilterung etwa 0,5 m tiefer eingebaut, was dazu führt, dass die Verfilterung am Bohrlochende bis in den Tiefenbereich II hineinreicht. Aufgrund der mit einer Filterstrecke von ca. 10 m deutlich größeren hydraulischen Anbindung an den TB I ist die Funktion der Messstelle nicht relevant eingeschränkt, so dass ein Neubau der Messstelle für nicht erforderlich erachtet wird. Des Weiteren wurden im Zuge der Ausbaukontrollen an 19 Grundwassermessstellen Auflandungen und an 10 Messstellen bereichsweise geschlossene Filterschlitzte festgestellt.

Im Zuge des Klarpumpens wurden an den neu errichteten Grundwassermessstellen Kurzzeitpumpversuche durchgeführt. Hierbei zeigte sich bei allen Messstellen eine abdichtende Wirkung [U4]. So wurden im Zuge der Pumpversuche keine hydraulischen Wegsamkeiten zwischen den einzelnen Grundwasserstockwerken festgestellt. Bei verschiedenen Messstellen wurde während des Pumpversuchs bzw. Klarpumpens allerdings ein Anstieg der Wasserstände bei konstanter Förderrate festgestellt, was darauf hinweist, dass diese Messstellen nicht vollständig entwickelt wurden. Unter Berücksichtigung der in den Ausbaukontrollen festgestellten Zusetzungen lässt dies wiederum den Schluss zu, dass einzelne Messstellen nur unzureichend an den jeweiligen Aquifer angebunden sind.

Zur Beseitigung der o.g. Auflandungen und zur vollständigen Entwicklung aller neu gebauten Grundwassermessstellen sollten fachgerechte Gegenmaßnahmen durchgeführt werden. In [U4] sind zu diesem Zweck verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen (Absaugen der Auflandungen, Bürsten und Kolben der Messstelle, Entwicklung der Messstelle), deren Umsetzung aus fachgutachterlicher Sicht als richtig erachtet wird. Die Maßnahmen sollten schnellstmöglich - noch vor der nächsten Beprobungskampagne - durchgeführt werden. Ferner sollten zur Erfolgskontrolle im Nachgang neuerliche Kurzpumpversuche und ggf. Kamerabefahrung erfolgen.

Aus einer ersten Interpretation der Bohrprofile durch BCE werden die bisherigen Modellvorstellungen vom Untergrund weitestgehend bestätigt. Nördlich der Deponie, im Bereich der Messstellengruppen P054 und P055, wurde erstmals ein tektonischer Versatz von markanten und relevanten Schichten aufgenommen. Zur Bestätigung und genaueren Eingrenzung dieser Versatzzone sind geophysikalische Methoden des lokalen Untergrundaufbaues vorgesehen, deren Umsetzung wir aus fachgutachterlicher Sicht ebenfalls empfehlen.

### 3.3 Pumpversuche

An allen neu errichteten Grundwassermessstellen wurden jeweils Kurzpumpversuche kombiniert mit dem Klarpumpen der Messstellen durchgeführt.

Die Auswertung der Pumpversuchsdaten erfolgte anhand des Wiederanstiegs nach Theis & Jacob. Es ergaben  $k_f$ -Werte von  $5 \times 10^{-5}$  bis  $5 \times 10^{-4}$  m/s in den grundwasserleitenden Schichten. Für die einzelnen Tiefenbereiche wurden folgenden Schwankungsbereichen ermittelt:

- TB I:  $< 2,9 \times 10^{-2}$  bis  $< 5,9 \times 10^{-2}$  m/s
- TB II:  $< 7,4 \times 10^{-4}$  bis  $< 1,1 \times 10^{-3}$  m/s
- TB Z:  $5,0 \times 10^{-5}$  bis  $3,2 \times 10^{-4}$  m/s
- TB III:  $6,6 \times 10^{-5}$  bis  $4,2 \times 10^{-4}$  m/s

Die aus den Pumpversuchen ermittelten  $k_f$ -Werte entsprechen im TB Z den Größenordnungen der bisherigen Modellvorstellung ( $1$  bis  $4 \times 10^{-4}$  m/s). Im TB III liegen die aus den aktuellen Pumpversuchen abgeleiteten Durchlässigkeiten mit Werten von  $7 \times 10^{-5}$  bis  $4 \times 10^{-4}$  m/s etwas geringer als im bisherigen HGM ( $2,4$  bis  $4,0 \times 10^{-4}$  m/s) auf dem Wertenniveau der  $k_f$ -Werte im TB Z.

Wie in der Messstellen-Dokumentation in [U4] beschrieben ist, sind die beiden Teilbereiche TB I und TB II durch einen wenig wirksamen sandigen „Zwischenhorizont“ getrennt und damit geohydraulisch verbunden. Die tatsächlichen  $k_f$ -Werte der TBI und TBII werden daher bei der Pumpversuchsauswertung überschätzt.

Weiterhin wurde, wie in **Kapitel 3.2** bereits angesprochen, an 10 der 34 neuen Messstellen eine zum Teil unzureichende hydraulische Anbindung an den Grundwasserleiter abgeleitet, was sich mindernd auf die Bestimmung der  $k_f$ -Werte im Zuge der Pumpversuche auswirkt.

### 3.4 Grundwasserbeprobungen

In der Erkundungsphase wurden während und nach Errichtung der neuen Grundwassermessstellen folgende Monitoring-Untersuchungen zur detaillierten Erfassung und Bewertung des Stoffspektrums in den einzelnen Grundwasserleitern durchgeführt:

- Schadstoffscreening an den Sanierungsbrunnen B01 bis B07 im Sept. 2014
- flächendeckende Monitoring-Untersuchungen im Frühjahr 2015 („Erstuntersuchung“ der neuen Grundwassermessstellen)
- flächendeckende Monitoring-Untersuchungen im Herbst 2015 („Zweituntersuchung“ der neuen Grundwassermessstellen)

Im Rahmen der ersten vorläufigen Gefährdungsbeurteilung war ein stufenweises Vorgehen bei der Durchführung der Stichtagsmessungen und Monitoring-Untersuchungen vorgesehen, bei dem nach einem erweiterten Schadstoffscreening an den Sanierungsbrunnen und der Auswertung der ersten Beprobungen der neuen Messstellen eine gesamtheitliche Bewertung (Erst- und Zweitbewertung) und anschließende Anpassung des Analysenprogramms erfolgen sollte.

#### 3.4.1 Schadstoffscreening an den Sanierungsbrunnen B01 bis B07 im Sept. 2014

Mit dem Ziel das Untersuchungsprogramm für das weitere Monitoring-Programm, bzw. eine Erstbeprobung von neu errichteten Messstellen, dem Schadstoffbild im Abstrom der Deponie Flotzgrün anzupassen, wurde im Zeitraum September 2014 ein Schadstoffscreening an den 7 Sanierungsbrunnen B01 bis B07 durchgeführt.

Bei der Auswertung der Ergebnisse des Schadstoffscreenings wurden zunächst relevante Stoffeigenschaften festgelegt. Anschließend erfolgte eine Bewertung der Stoffeigenschaften und Einstufung des Gefährdungspotentials für das Grundwasser in „niedrig“, „mittel“, „hoch“, sowie Kennzeichnung von Stoffen mit geringer Datengrundlage.

Die gewählten Stoffeigenschaften als Basis für die Gefährdungsabschätzung geben aussagekräftige Informationen darüber, wie gesundheitsgefährdend, bzw. ökotoxikologisch relevant ein Parameter für das zu bewertende System Grundwasser ist.

Von den insgesamt 360 untersuchten Parametern wurden 27 Parameter als hoch, mittel oder unklar eingeordnet:

- für 5 Parameter wurde ein „hohes“ Gefährdungspotenzial festgestellt:  
Mecoprop, Bentazon, Naphthalin, Trioxan, Dioxan
- für 7 Parameter wurde ein „mittleres“ Gefährdungspotenzial festgestellt:  
Benzol, Chlorbenzol, Diethylamin, Tetrahydrofuran, Triethylamin, 2-Methylanilin, 2-Propanamin
- für weitere 15 Parameter wurden als „unklares“ Gefährdungspotenzial festgestellt

Eine detaillierte Zusammenstellung und Auswertung des Schadstoffscreenings ist dem Untersuchungsbericht in **Anlage 1** zu entnehmen.

Im Rahmen der sukzessiven Anpassung des Analysenprogramms wurden die Parameter, die mit „hoch“, „mittel“ oder „unklar“ eingestuft wurden, zunächst in das Mess- und Analyseprogramm der Erstbeprobungen der neu errichteten Messstellen aufgenommen, die in den nachfolgenden zwei Kapiteln dokumentiert werden.

Auf Grundlage des Schadstoffscreenings wurden Dioxan und Trioxan als weitere relevante Einzelstoffe für die Fortschreibung der Gefährdungsbeurteilung Grundwasser identifiziert. Für die „neuen“ Leitparameter Dioxan und Trioxan wurde deshalb eine Stoffbewertung zu den Umwelt und Toxizitätseigenschaften durchgeführt, die dem Bericht als **Anlage 2** beiliegt. Die Stoffbewertung der Parameter Dioxan und Trioxan ergab für beide Parameter eine grundsätzlich sehr hohe Mobilität im Grundwasser sowie eine Zielorgan-Toxizität. Sowohl für Trinkwasser, als auch für Oberflächenwasser liegen aktuell allerdings keine behördlichen Vorgaben oder Grenzwerte vor.

### 3.4.2 Ergebnisse der Monitoring-Untersuchungen im Frühjahr 2015

Im Frühjahr 2015 wurde im Rahmen des jährlichen Monitoring-Programms am erweiterten Messstellennetz eine Erstbeprobung der neuen Grundwassermessstellen durchgeführt. In das Grundwassermonitoring wurden ergänzende Parameter einbezogen, die sich im Rahmen des Schadstoffscreenings (siehe **Kapitel 3.4.1** sowie **Anlage 1**) als potentiell gefährdend ergaben.

Insbesondere bei den ergänzenden Parametern aus dem Schadstoffscreening ergaben sich in der ersten Beprobungskampagne teilweise unplausibel hohe Werte an sonst unbelasteten Messstellen. In einer unmittelbar anschließenden Wiederholungsuntersuchung bestätigten sich diese Befunde nicht. Bei der Wiederholungsbeprobung wurden nur in den Messstellen Belastungen vorgefunden, die bekannter Weise direkt von der Deponie beeinflusst sind.

Die Ergebnisse der Erstbeprobung im Frühjahr 2015 zeigen, dass

- der Kernbereich der Belastungen unmittelbar nördlich der Deponieabschnitte 1 - 5 im Tiefenbereich II liegt und nach Westen bis etwa zur Messstelle P052II reicht,
- im unmittelbaren Vorfeld der Trinkwassergewinnungsanlage - an der etwa 300 m von der Trinkwassergewinnung entfernt liegenden Messstelle P061III - keine deponiebezogenen Schadstoffbelastungen vorliegen,
- die Ausbreitung der Belastungen im Bereich P049 bis in eine Tiefe von ca. 80 m reichen und darunter liegend - im Tiefenbereich P049IIIu - keine Belastungen mehr vorliegen,
- an der Messstelle P060III, die sich im weiteren Abstrom der Messstelle P049III befindet, in der Erstbeprobung im Frühjahr Spuren von Mecoprop und Bentazon nachgewiesen wurden, die sich im Herbst 2015 allerdings nicht bestätigten (vgl. **Kapitel 3.4.3**),
- im nordöstlichen Abstrom, an der Messstelle P051 nordöstlich des Altrheines und des Rheindeiches im Tiefenbereich II auffällige Befunde an Mecoprop und Sulfonsäuren vorhanden sind,
- sich nördlich der Deponie im Bereich der Messstellen P054, P055 und P056 eine Tiefenverlagerung der Belastungen bis in den TBZ (P054 und P056) und an der Messstelle P055 bis in den TBIII zeigen und
- am südlichen Deponierand (P057) im Tiefenbereich II sehr hohe Belastungen auf dem Niveau der Abstrommessstellen vorliegen, hier aber keine Belastungen in tiefer gelegenen Schichten vorhanden sind.

Eine Zusammenstellung und erste Bewertung der Ergebnisse der Erstbeprobung ist in der Messstellendokumentation der BCE GmbH [U4] sowie in der **Anlage 4** enthalten.

### **3.4.3 Ergebnisse der Monitoring-Untersuchungen im Herbst 2015**

Im Herbst 2015 (07.09. bis 13.10.2015) wurde im Zuge des jährlichen Monitoring-Programms eine 2. Untersuchungsreihe an den neuen Messstellen durchgeführt. Die zugehörigen Ergebnistabellen sind in **Anlage 5** zusammengestellt. Die folgenden **Tabellen 1 bis 4** zeigen die Analysenergebnisse ausgewählter Leitparameter (Mecoprop, Bentazon, Summe Sulfonsäuren, Summe Dioxan und Trioxan). Die Ergebnisse der Herbstbeprobung 2015 bestätigen i. W. die Ergebnisse aus der Erstbeprobung im Frühjahr. Die Untersuchungen zeigen Folgendes:

- der Kernbereich der Belastungen liegt unmittelbar nördlich der Deponieabschnitte 1 - 5 im Tiefenbereich II
- in Richtung Westen reichen die Belastungen im Kernbereich bis zur neuen Messstelle P053II bzw. möglichen Entnahmebrunnen B8; in der weiter westlich gelegenen Messstelle P052II liegen die Belastungswerte auf einem deutlich niedrigeren Niveau

- an der Vorfeldmessstelle P061III und im Tiefenbereich IIIu liegen keine relevanten Belastungen vor
- im TB III im weiteren Abstrom der Messstelle P049III wurden in der Messstelle P060III keine Spuren an Mecoprop und Bentazon mehr beobachtet
- im nordöstlichen Abstrom, landseits des Rheinhauptdeiches, zeigen sich erneut auffällige Befunde im TB II an Mecoprop und Sulfonsäuren und erstmals auch an Dioxan/Trioxan
- nördlich der Deponie zeigen sich im Bereich relevante Belastungen im TB Z (P054) und im TB III (P054, P055 und P056) und bestätigen damit eine Tiefenverlagerung der Belastungen in diesem Bereich
- die Befunde an Dioxan und Trioxan waren am nördlichen Deponierand gegenüber der Erstbeprobung im Frühjahr zum Teil deutlich höher (bis zu 2,5-fach an der Messstelle P055II)
- auch bei der Herbstbeprobung waren am südlichen Deponierand im Tiefenbereich II sehr hohe Belastungen auf dem Niveau der Abstrommessstellen vorhanden, während in den tiefer liegenden Schichten keine Belastungen vorlagen
- erstmals zeigten sich im TB II Spuren von Dioxan und Trioxan nordöstlich des Berghäuser Altrheins

**Tabelle 1:** Analyseergebnisse Herbstbeprobung 2015 - Mecoprop (µg/l)

Messstelle	Tiefenbereich					
	I	II	Z/Zo	Zu	III	IIIu
<b>Insel Flotzgrün – Zustrom Deponie</b>						
P057		<b>750</b>	n.n.		n.n.	
<b>Insel Flotzgrün – Abstrom Deponie</b>						
P052		<b>9,7</b>				
P053		<b>610</b>	n.n.		n.n.	
P054	<b>0,19</b>	<b>320</b>	<b>0,68</b>	n.n.		
P055	n.n.	<b>510</b>	n.n.		n.n.	
P056		<b>620</b>	n.n.		n.n.	
<b>Altrheinbereich</b>						
P049						n.n.
P058		n.n.	n.n.		n.n.	
P059		n.n.	n.n.		n.n.	
P060			n.n.		n.n.	
<b>Speyer landseits Rheinhauptdeich</b>						
P050		n.n.	n.n.		n.n.	
P051		<b>0,27</b>	n.n.		n.n.	
P061					n.n.	

**Tabelle 2:** Analysenergebnisse Herbstbeprobung 2015 - Bentazon ( $\mu\text{g/l}$ )

Messstelle	Tiefenbereich					
	I	II	Z/Zo	Zu	III	IIIu
<b>Insel Flotzgrün – Zustrom Deponie</b>						
P057		59	n.n.		n.n.	
<b>Insel Flotzgrün – Abstrom Deponie</b>						
P052		41				
P053		1200	n.n.		n.n.	
P054	0,19	210	13	n.n.		
P055	n.n.	160	n.n.		n.n.	
P056		410	n.n.		n.n.	
<b>Altrheinbereich</b>						
P049						n.n.
P058		n.n.	n.n.		n.n.	
P059		n.n.	n.n.		n.n.	
P060			n.n.		n.n.	
<b>Speyer landseits Rheinhauptdeich</b>						
P050		n.n.	n.n.		n.n.	
P051		n.n.	n.n.		n.n.	
P061					n.n.	

**Tabelle 3:** Analysenergebnisse Herbstbeprobung 2015 - Summe Dioxan und Trioxan ( $\mu\text{g/l}$ )

Messstelle	Tiefenbereich					
	I	II	Z/Zo	Zu	III	IIIu
<b>Insel Flotzgrün - Zustrom Deponie</b>						
P057		5300	n.n.		n.n.	
<b>Insel Flotzgrün - Abstrom Deponie</b>						
P052		274				
P053		11000	n.n.		n.n.	
P054	5,2	6600	218	n.n.		
P055	1,1	10960	n.n.		n.n.	
P056		6900	n.n.		n.n.	
<b>Altrheinbereich</b>						
P049						n.n.
P058		n.n.	n.n.		n.n.	
P059		n.n.	n.n.		n.n.	
P060			n.n.		n.n.	
<b>Speyer landseits Rheinhauptdeich</b>						
P050		1,3	n.n.		n.n.	
P051		1,3	n.n.		n.n.	
P061					n.n.	

**Tabelle 4:** Analysenergebnisse Herbstbeprobung 2015 - Summe Sulfonsäuren (µg/l)

Messstelle	Tiefenbereich					
	I	II	Z/Zo	Zu	III	IIIu
<b>Insel Flotzgrün - Zustrom Deponie</b>						
P057		<b>9390</b>	n.n.		n.n.	
<b>Insel Flotzgrün - Abstrom Deponie</b>						
P052		<b>77,3</b>				
P053		<b>5840</b>	n.n.		n.n.	
P054	n.n.	<b>7110</b>	<b>50</b>	n.n.		
P055	n.n.	<b>11600</b>	n.n.		<b>3,5</b>	
P056		<b>14510</b>	n.n.		n.n.	
<b>Altrheinbereich</b>						
P049						n.n.
P058		n.n.	n.n.		n.n.	
P059		<b>1,2</b>	n.n.		n.n.	
P060			n.n.		n.n.	
<b>Speyer landseits Rheinhauptdeich</b>						
P050		n.n.	n.n.		n.n.	
P051		<b>8,2</b>	n.n.		n.n.	
P061					n.n.	

### 3.5 Grundwasserstandsmessungen

Zur Erfassung der grundwasserhydraulischen Verhältnisse erfolgen seit Errichtung der neuen Messstellen vorläufig wöchentliche Stichtagsmessungen der Grundwasserstände. Eine Anpassung des Messprogrammes u.a. mit Festlegung, an welchen Messstellen Datenlogger eingesetzt werden, ist kurzfristig vorgesehen.

Bisher erfolgte keine Dokumentation und Auswertung der Wasserstandsmessungen bzw. Stichtagsmessungen. Eine Auswertung in Form von Grundwassergleichenplänen für die einzelnen Tiefenbereiche und eine Analyse der Druckdifferenzen, u.a. mit Differenzenplänen zwischen den Tiefenbereichen, z.B. II zu III und Z wird empfohlen.



### 3.6 Bodenmechanische Laborversuche

Im Zuge des Messstellenbaus wurde eine tiefengestaffelte Bodenprobenahme aus den grundwasserleitenden und grundwasserstauenden Schichten und die Bestimmung von geohydraulischen Kennwerten durchgeführt (siehe Untersuchungsbericht in **Anlage 7**):

- 17 x Bestimmung der  $k_f$ -Werte aus der Kornverteilung durch kombinierte Siebung und Schlämmung nach DIN 18123
- 13 x Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in bindigen Böden an ungestörten Proben nach DIN 18130

Die bodenmechanischen Laborversuche wurden im Labor der CDM Smith (Niederlassung Alsbach) durchgeführt. Die Untersuchungen ergaben für die grundwasserleitenden Schichten  $k_f$ -Werte zwischen  $4,3 \times 10^{-5}$  und  $5,6 \times 10^{-4}$  m/s und sehr geringe Durchlässigkeiten zwischen  $4 \times 10^{-11}$  bis  $1,6 \times 10^{-8}$  m/s für die bindigen Zwischenschichten. Für die einzelnen Tiefenbereiche wurden  $k_f$ -Werte in folgenden Schwankungsbereichen ermittelt:

- TB I:  $1,7 \times 10^{-4}$  bis  $5,6 \times 10^{-4}$  m/s
- OZH:  $6,6 \times 10^{-9}$  m/s
- TB II:  $1,8 \times 10^{-4}$  bis  $5,2 \times 10^{-4}$  m/s
- ZH2:  $3,9 \times 10^{-11}$  bis  $3,9 \times 10^{-10}$  m/s
- TB Z:  $6,5 \times 10^{-5}$  bis  $2,1 \times 10^{-4}$  m/s
- ZH3:  $7,2 \times 10^{-11}$  bis  $1,6 \times 10^{-8}$  m/s
- ZH4:  $2,3 \times 10^{-10}$  m/s
- TB III:  $4,3 \times 10^{-5}$  bis  $1,9 \times 10^{-4}$  m/s
- UZH:  $1,2 \times 10^{-10}$  bis  $2,2 \times 10^{-10}$  m/s

Die ermittelten  $k_f$ -Werte entsprechen überwiegend den Größenordnungen der bisherige Modellvorstellung (TB II, ZH2, Z) oder liegen in etwas niedrigeren Wertebereichen (TB I, OZH, III).

In den Zwischenschichten ZH3 und UZH bewegen sich die in den Laborversuchen ermittelten  $k_f$ -Werte auf einem zum Teil deutlich niedrigeren Wertenniveau (bis zu 2 Größenordnungen niedriger) gegenüber den bisherigen Modellvorstellungen (vgl. [U2], [U6] bis [U13]). Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass mit den ausgewählten Bodenproben für die bodenmechanischen Laborversuche nur Teilbereiche der jeweiligen Schicht in ihrer Gesamtmächtigkeit ausgewählt wurden. Die Gesamtdurchlässigkeit einer Schicht ergibt sich aus der Mittelung der  $k_f$ -Werte aller Schichten über die gesamte Schichtenmächtigkeit.

So kann dies v.a. in bindigen Zwischenschichten, in denen sandige Schichten eingeschaltet sind, zu einer höheren Gesamtdurchlässigkeit gegenüber den in den Laborversuchen ermittelten Werten führen. Andererseits können sich - durch eingeschaltete Tonlinsen - in grundwasserleitenden Schichten auch geringere Durchlässigkeiten ergeben.

Ein Vergleich der aus den Sieb- und Schlämmanalysen abgeleiteten Werte mit den aus den Pumpversuchen ermittelten  $k_f$ -Werte zeigt (vgl. **Tabelle 5**), dass die Werte - mit Ausnahme des TB I - in etwa der gleichen Größenordnung zwischen  $5 \times 10^{-5}$  m/s bis ca.  $5 \times 10^{-4}$  m/s in den Grundwasserleitern liegen. Die aus den Sieb- und Schlämmanalysen abgeleiteten Durchlässigkeiten sind für die TB Z, Zu und IIIu etwas größer als die aus den Pumpversuchen ermittelten Werte. Dies resultiert aus der zuvor beschriebenen möglichen Überschätzung der aus Sieb- und Schlämmanalysen abgeleiteten Durchlässigkeit in den grundwasserleitenden Schichten.

Größere  $k_f$ -Werte wurden hingegen im TBI und TBII und an den Messstellen im TBIII (P060III und P061III) ermittelt. Wie in der Messstellendokumentation [U4] beschrieben, ergeben sich die rechnerischen  $k_f$ -Werte jeweils aus den Mächtigkeiten der Tiefenbereich I und II, tatsächlich wirken die beiden Teilbereiche I und II jedoch aufgrund der wenig wirksamen Zwischenschicht als quasi zusammenhängender Grundwasserleiter TBI/II. Die tatsächlichen  $k_f$ -Werte der TBI und TBII werden daher bei der Pumpversuchsauswertung vermutlich überschätzt.

**Tabelle 5:** Vergleich der aus den Untersuchungen abgeleiteten  $k_f$ -Werte (kursive Schrift: aus Pumpversuchen, normale Schrift: aus Sieb- und Schlämmanalysen)

Messstelle	Untersuchungsmethode	Tiefenbereich					
		I	II	Z	III/Zu	III	IIIu
P54III	Sieb- und Schlämmanalyse	5.6E-04	4.8E-04	2.3E-04	1.4E-04		
	<i>Pumpversuch</i>	<i>5.9E-02</i>	<i>9.9E-04</i>	<i>2.0E-04</i>	<i>5.9E-05</i>		
P61III	Sieb- und Schlämmanalyse	1.7E-04	1.8E-04	6.1E-05		1.7E-04	
	<i>Pumpversuch</i>					<i>2.2E-04</i>	
P49IIIu	Sieb- und Schlämmanalyse	2.6E-04	3.4E-04	1.6E-04		1.9E-04	1.8E-04
	<i>Pumpversuch</i>						<i>1.3E-04</i>
P60III	Sieb- und Schlämmanalyse	5.5E-04	5.2E-04	2.1E-04		4.3E-05	
	<i>Pumpversuch</i>			<i>6.7E-05</i>		<i>1.4E-04</i>	

### 3.7 Säulenversuche

Zur Untersuchung des Mobilitätsverhaltens der Leitparameter Mecoprop und Bentazon erfolgten im Labor der Universität Tübingen Säulenversuche an ungestörten Bodenproben. Die Proben wurden im Zuge der Messstellenbauarbeiten aus den wasserführenden Schichten gewonnen. Ziel der Versuche war es, die Retardation der PSM, d.h. die Verzögerung des Schadstofftransports in Relation zur Grundwasserströmung, unter standortnahen Gegebenheiten zu untersuchen.

Die Säulenversuche wurden im Labor der Universität Tübingen an 5 repräsentativen Bohrkernlinern durchgeführt:

- Säulenversuch 1: P049III
- Säulenversuch 2: P054III
- Säulenversuch 3: P049Z
- Säulenversuch 4: P049II
- Säulenversuch 5: P049Zu

Bei den Laboruntersuchungen wurde folgender Untersuchungsablauf realisiert:

- Entnahme von ungestörten Bodenproben (Bohrkernlinern) durch die Bohrfirma, jeweils aus den Grundwasserleitern I, II, Z, Zu und III an repräsentativen Standorten im Zuge des Messstellenbaus
- Einbau des Linermaterials in Versuchssäulen
- Verwendung von Standortwasser aus dem TB III als Versuchswasser und hierbei Entnahme des Standortwassers aus der Messstelle P049III, an der geringfügigen PSM-Belastungen analysiert wurden
- Stickstoffbegasung des Standortwassers bei der Probenahme sowie Stickstoffbegasung des Wasserbehälters während des Versuchsverlaufes zur Sicherstellung einer dauerhaften Sauerstofffreiheit
- Durchströmen der Säulen von unten nach oben mit sauerstofffreiem Standortwasser
- Zugabe von Mecoprop und Bentazon (mit Stoffkonzentrationen von jeweils 20 µg/l analog der Gehalte im Abstrombereich der Deponie) sowie von Uranin als Tracersubstanz
- Regelmäßige Entnahme von Proben aus dem Ablauf der Säule während des Versuchs
- Analyse der PSM Mecoprop und Bentazon im UCL Umwelt Control Labor GmbH sowie Analyse von Uranin am Fluoreszenzspektrometer im Labor der Uni Tübingen

Zur Abschätzung des zeitlichen Versuchsablaufs, zur Festlegung des genauen Beprobungs-, Mess- und Analyseprogramms wie auch zur technischen Überprüfung des Versuchsaufbaus wurden im Vorfeld der eigentlichen Säulenversuche Vorversuche durchgeführt.

Wie die Ergebnisse aus den Säulenversuchen zeigen, weisen die untersuchten PSM Mecoprop und Bentazon ein nahezu identisches Durchbruchverhalten auf wie der eingesetzte Tracer Uranin. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass das untersuchte Standortmaterial keine messbare Retardation aufweist, was sich direkt auf den Deponiestandort Flotzgrün übertragen lässt.

Eine detaillierte Beschreibung des Versuchsablaufs wie auch der Ergebnisse aus den Säulenversuchen sind dem Bericht der Universität Tübingen zu entnehmen (vgl. **Anlage 8**).

### **3.8 Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Erkundungsphase**

In der Erkundungsphase wurden im Zeitraum 2014 und 2015 weiterführende Untersuchungen am Deponiestandort Flotzgrün und in dessen Abstrom durchgeführt, um den Kenntnisstand zum Standort Deponie Flotzgrün für eine abschließende Gefährdungsbeurteilung Grundwasser zu vertiefen. Der Untersuchungsumfang umfasste die Errichtung von 34 neuen Grundwassermessstellen in verschiedenen Tiefenbereichen einschließlich begleitenden bodenmechanischen, geohydraulischen und hydrochemischen Untersuchungen (Pumpversuche, Stichtagsmessungen, Grundwasserbeprobungen, bodenmechanische Laborversuche, Säulenversuche).

Aus der Erkundungsphase sind folgende neue Erkenntnisse gewonnen worden:

- Die Bohrprofile der neu eingerichteten Grundwassermessstellen liefern vertiefende Kenntnisse über den geologischen Aufbau des Untergrundes am Standort. Aus einer ersten Interpretation der Bohrprofile können die bisherigen Modellvorstellungen vom Untergrund bestätigt werden. Nördlich der Deponie, im Bereich der Messstellengruppen P054 und P055 ist jedoch ein Versatz von markanten Schichten erkennbar, der durch ergänzende Erkundungen genauer zu untersuchen ist.
- Die Auswertung der Pumpversuche (Kurzpumpversuche mit Klarpumpen) anhand des Wiederanstieges nach Theis & Jacob ergab  $k_f$ -Werte von  $5 \times 10^{-5}$  bis  $5 \times 10^{-4}$  m/s in den grundwasserleitenden Schichten. Im TB Z entsprechen die ermittelten  $k_f$ -Werte den Größenordnungen der bisherige Modellvorstellung, im TB III liegen die aus den aktuellen Pumpversuchen abgeleiteten Durchlässigkeiten - anders als in dem bisherigen HGM - auf dem Niveau der  $k_f$ -Werte im TB Z. Die ermittelten  $k_f$ -Werte für die TB I und II können nur als obere Schwankungsgrenze abgeschätzt werden.
- Die aus den bodenmechanischen Laborversuchen ermittelten  $k_f$ -Werte entsprechen i.d.R den Größenordnungen der bisherige Modellvorstellung (TB II, ZH2, Z) oder liegen etwas niedriger (TB I, OZH, III). In den Zwischenschichten ZH3 und UZH bewegen sich die in den Laborversuchen ermittelten  $k_f$ -Werte auf einem zum Teil deutlich niedrigeren Wertenniveau (bis zu 2 Größenordnungen niedriger) gegenüber den bisherigen Modellvorstellungen.

- Da die Durchlässigkeiten in den bindigen Zwischenschichten durch eingelagerte sandige Horizonte in den Laborversuchen oft unterschätzt werden, können die abgeleiteten  $k_f$ -Werte für die Zwischenschichten nur als untere Schwankungsgrenze angesehen werden.
- Auf Grundlage von Schadstoffscreening-Untersuchungen an den Sanierungsbrunnen B01 bis B07 wurden Dioxan und Trioxan als weitere Leitparameter für die Fortschreibung der Gefährdungsbeurteilung Grundwasser identifiziert. Eine Stoffbewertung der Parameter Dioxan und Trioxan ergab eine sehr hohe Mobilität im Grundwasser sowie Zielorgan-Toxizität beider Stoffe. Neben Mecoprop und Bentazon wurden hierbei weitere relevante Parameter identifiziert, die ein hohes bis mittleres oder bisher noch unklares Gefährdungspotential haben.
- Im Zuge flächendeckender Monitoring-Untersuchungen, bei denen auch die neuen Grundwassermessstellen erstmals untersucht wurden, konnten die Belastungsbereiche in den unterschiedlichen Tiefenbereichen präziser eingegrenzt bzw. ausgeschlossen werden:
  - Der Kernbereich der Belastung im **Tiefenbereich II** reicht im Westen und auch im Nordosten bis etwa zur Messstelle P052II im Westen und bis zu den Messstelle P050II und P051II nördlich des Altrheines. Am südlichen Deponierand im Tiefenbereich II liegen bei P057II hohe Belastungen auf dem Niveau der Abstrommessstellen vor.
  - Die Befunde im **Tiefenbereich Z** deuten auf eine Tiefenverlagerung der Belastungen im Bereich des unmittelbaren nördlichen Abstroms der Deponie hin.
  - Im **Tiefenbereich III** reichen Mecoprop- und Bentazon-Befunde mit geringen Gehalten im Südosten bis zur Messstelle P055III und im Nordwesten bis zur Messstelle P060III. Das Zentrum der Belastungen ist im Bereich der Messstelle P049III zu vermuten. Die Befunde in den darüber liegenden Schichten korrelieren nicht mit der Ausbreitung im TBIII - an P049 wurden keine PSM im TB II und TBZ festgestellt - was darauf hindeutet, dass in diesem Bereich keine Absickerung aus dem TB II stattfindet.
  - **Horizontal** reicht die Belastung nach derzeitigen Kenntnissen bis ca. 80 m unter Gelände. In darunter liegenden Schichten wurden bisher keine Belastungen gefunden.
  - Im unmittelbaren Vorfeld der Trinkwassergewinnungsanlage liegen keine Belastungen vor.

**Fazit:** Die aktuellen Befunde deuten auf eine lokale Tiefenverlagerung der Belastungen im Bereich nördlich der Deponie hin. Die aktuellen Befunde im TB III bekräftigen die bisherige Annahme, dass die vorliegenden Belastungen aus einer früheren Durchsickerung des Zwischenhorizontes in Zeiten eines anhaltenden Druckgradienten von TB II in den TBIII als Folge vergleichsweise hoher Förderraten der Trinkwassergewinnung Speyer resultieren.

- Die Ergebnisse der Säulenversuche zeigen, dass es im untersuchten Standortmaterial unter lokalen Bedingungen keine Retardation gibt. Die PSM Mecoprop und Bentazon verhalten sich am Standort Deponie Flotzgrün demgemäß wie ein Tracer. Dies berücksichtigend kann der Transport der beiden Stoffe in der numerischen Modellierung wie bisher konservativ durchgeführt werden, d.h. ohne Ansatz von Stoffabbau und Retardation.

## 4 FORTSCHREIBUNG DER VORLÄUFIGEN GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

### 4.1 Gefährdungsabschätzung

#### 4.1.1 Trinkwassergewinnung Speyer Süd

Die Trinkwassergewinnung Speyer Süd ist aktuell nicht gefährdet. An den Vorfeldmessstellen P019I und P019IV und P061III sowie an den Wasserwerksbrunnen liegen bislang keine Belastungen vor. Künftig kann eine Gefährdung der Trinkwassergewinnung allerdings nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Ob überhaupt und wenn ja, in welcher Zeit sich Spuren von PSM im TB III bis zu den Wasserwerksbrunnen ausbreiten können, ist derzeit noch nicht vollständig absehbar. Im Hinblick auf den Schadstofftransport fehlen noch weitere Daten und Informationen, um abschließende Aussagen zum vertikalen und lateralen Schadstofftransport und zu möglichen Fließzeiten treffen zu können. Dies betrifft insbesondere Informationen zum Untergrundaufbau hinsichtlich potentieller Absickerungen aus dem TB II in den TB III.

#### 4.1.2 Grundwasser

##### ***Oberer Grundwasserleiter (TB I) und Mittlerer Grundwasserleiter, oben (TB II):***

Im Deponienahbereich ist das Grundwasser sowohl im TB I als auch im TB II mit Bentazon und Mecoprop mit Gehalten deutlich oberhalb der in der Grundwasserverordnung (GrwV) festgelegten Schwellenwerte (0,1 µg/l für Einzelstoffe von Pflanzenschutzmitteln) belastet.

Darüber hinaus liegen im Deponienahbereich im TB I und TB II weitere Parameter mit einem hohen bis mittleren oder bisher noch unklaren Gefährdungspotential in nennenswerten Konzentrationen vor (Naphthalin, Trioxan, Dioxan, Benzol, Chlorbenzol, Diethylamin, Tetrahydrofuran, Triethylamin, 2-Methylanilin, 2-Propanamin sowie weitere 15 Parameter mit unklarem Gefährdungspotential).

Durch die laufende hydraulische Sicherungsmaßnahme wird die Ausdehnung der Belastungen im TB I und TB II über die Grenzen des Deponiegeländes hinaus weitestgehend unterbunden. Ein Teil der Belastungen strömt jedoch mit der natürlichen Grundwasserströmung in nordöstlicher Richtung ab. Beleg dafür sind die Befunde, die jenseits des Berghäuser Altrheins in der Grundwassermessstelle P061II aufgenommen wurden. Anhand des Schadensbildes und der Lage der Sanierungsbrunnen ist zu vermuten, dass es v.a. am westlichen Rand der hochbelasteten Bereiche (Messstellen P052II und P053II) zu einer Schadstoffverfrachtung in den Abstrom kommen kann. Weiterhin sollte die Schadensausbreitung in Richtung Süden (Anstrom) genauer untersucht werden.

### ***Mittlerer Grundwasserleiter (Z):***

Im Tiefenbereich Z zeigen sich vereinzelt leicht erhöhte Belastungen an den neu eingerichteten Messstellen im näheren nördlichen Abstrom. Im Deponiebereich werden die Schwellenwerte aktuell an 2 Messstellen (bedingt durch frühere Messstellendefekte) leicht überschritten. Zudem waren im Bereich Z geringe Befunde an Dioxan, Trioxan sowie Sulfonsäuren festzustellen.

### ***Mittlerer Grundwasserleiter, unten (TB III):***

In der im direkten Standortabstrom ca. 270 m vom Deponierand entfernt gelegenen Grundwassermessstelle P049III wurden seit der Erstbeprobung im Jahr 2008 wiederholt Mecoprop- und Bentazon-Befunde bis maximal 4,5 µg/l aufgenommen, so dass der Schwellenwert von 0,1 µg/l hier dauerhaft überschritten wird. Im weiteren Abstrom liegen an einer neu eingerichteten Messstelle (P060III) minimale Überschreitungen der Belastungen an Mecoprop und Bentazon bis 0,12 µg/l vor. Die Parameter Dioxan und Trioxan wurden bisher nicht im TB III vorgefunden.

Von den Grundwasserbelastungen in TB III geht damit eine grundsätzliche Gefahr aus, dass es mit der Grundwasserströmung in Richtung Wasserwerk zu einer Ausbreitung des belasteten Bereiches in bisher unbelastete Bereiche und damit zu einer sukzessiven Schadstoffverlagerung kommt.

Der untere Abschnitt TB IIIu zeigt bisher keine Belastungen.

### ***Unterer Grundwasserleiter (TB IV):***

Im Tiefenbereich IV wurden bisher keine Belastungen an Mecoprop und Bentazon sowie Dioxan oder Trioxan gefunden. Aufgrund der geringen PSM-Befunde einer Messstelle im TB III sowie Spuren von Befunden an 2 weiteren Messstellen (Befunde < 1 µg/l), der unterhalb dessen liegenden Schicht TB IIIu ohne Belastungen sowie einer wirksamen Zwischenschicht von ca. 8 m zwischen TB III und TB IV liegt aktuell keine Gefährdung des Unteren Grundwasserleiters vor. Dies berücksichtigend ist auch zukünftig nicht mit einer Gefährdung des Tiefenbereichs IV zu rechnen.

## **4.2 Gefährdungsbeurteilung für die Schutzgüter Trinkwasser / Mensch**

Die in der Trinkwasserverordnung festgelegten Grenzwerte für Pflanzenschutzmittel und Biozidwirkstoffe im Trinkwasser sind nicht toxikologisch begründet, sondern entsprechen Vorsorgewerten im Bereich der analytischen Nachweisgrenze. Da die toxikologisch abgeleiteten Beurteilungswerte für die meisten Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte im Trinkwasser deutlich höher liegen als die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung, ist davon auszugehen, dass Überschreitungen der in der Trinkwasserverordnung festgelegten Grenzwerte für Pflanzenschutzmittel und Biozidwirkstoffe per se keine Gesundheitsgefahr darstellen, solange die toxikologisch begründeten Beurteilungswerte nicht überschritten werden.



Da bei einer kurzfristigen und vorübergehenden Überschreitung der für Mecoprop und Bentazon geltenden Grenzwerte nicht mit einer Gesundheitsgefahr zu rechnen ist, kann das zuständige Gesundheitsamt nach § 10 der Trinkwasserverordnung unter bestimmten Voraussetzungen Grenzwertüberschreitungen für einen Zeitraum von höchstens 3 Jahren zulassen [U18]. Als zulässige obere Konzentration ist der Trinkwasser-Maßnahmenwert des Umweltbundesamtes anzuwenden. In Analogie zu den PSMBP-Grenzwerten der Trinkwasserverordnung wird vorgeschlagen, die für PSM genannten Maßnahmenwerte auf Einzelstoffe anzuwenden, und für die PSM-Summenkonzentration den 5-fach höheren Maßnahmenwert anzusetzen, d.h. 5 - 25 µg/l.

Eine Überschreitung des Trinkwasser-Maßnahmenwertes oder der toxikologisch begründeten Beurteilungswerte für Bentazon und Mecoprop im Trinkwasser ist derzeit und auf absehbare Zeit auszuschließen. Für die Bevölkerung im Versorgungsgebiet des Wasserwerkes besteht daher keine Gesundheitsgefahr durch Bentazon und Mecoprop im Trinkwasser. Eine Gesundheitsgefahr kann auch vor dem Hintergrund ausgeschlossen werden, dass das zuständige Gesundheitsamt bei Nachweis von Spuren an Bentazon oder Mecoprop im Trinkwasser eine verstärkte Überwachung des Trinkwassers anordnen wird. Hierdurch wird sichergestellt, dass ein Auftreten kritischer Konzentrationen rechtzeitig erkannt wird und frühzeitig geeignete Maßnahmen zur Abwendung von Gesundheitsgefahren für die Bevölkerung im Versorgungsgebiet eingeleitet werden können.

Für die neu identifizierten Leitparameter Dioxan und Trioxan liegen derzeit keine Grenzwerte für das Trinkwasser vor (gemäß TrinkwV, Trinkwasser-Maßnahmenwerte und Trinkwasser-Leitwerte). Aufgrund der Tatsache, dass sich die Belastung an Dioxan/Trioxan auf den Deponiebereich im oberen Grundwasserleiter TB II beschränkt und derzeit keine Befunde an Trioxan und Dioxan im Abstrom der Deponie aufgefunden wurden, besteht derzeit und in absehbarer Zeit keine Gefährdung der Bevölkerung im Versorgungsgebiet des Wasserwerkes durch Dioxan und Trioxan.

### **4.3 Gefährdungsbeurteilung für die Oberflächengewässer**

#### **4.3.1 Altrhein**

Eine Untersuchung des Berghäuser Altrheins an 3 Messorten im März 2012 (vgl. [U14]) ergab geringe Befunde an Mecoprop und Bentazon im Wasserkörper. Dies deutet darauf hin, dass ausgehend vom Deponiegelände ein Übertritt dieser Stoffe in den Berghäuser Altrhein erfolgt.

Mit den im März 2012 gemessenen Konzentrationen (bis 0,28 µg/l) wurde die Umweltqualitätsnorm von 0,1 µg/l überschritten. Weitere 6 Untersuchungsreihen im August 2012 sowie Februar, April, Juni, August und Oktober 2013 zeigten keine Überschreitungen mehr. Die Befunde liegen um den Faktor 5 - 10 niedriger als bei der 1. Messung 2012 etwa auf dem Niveau der Bestimmungsgrenze. Die Konzentrationen von Bentazon und Mecoprop liegen insgesamt deutlich unterhalb der Konzentrationen, bei denen schädliche Wirkungen auf Wasserorganismen auftreten können.



Untersuchungen auf das Vorkommen von Dioxan und Trioxan im Altrhein wurden bisher nicht durchgeführt, da aber für diese Stoffe keine Umweltqualitätsnormen definiert sind und sich Mecoprop und Bentazon vergleichsweise mobiler verhalten, besteht keine Gefährdung des Altrheins durch Dioxan/Trioxan.

Aufgrund der vorliegenden Informationen ist daher eine Gefährdung des Altrheins durch Belastungen, die aus der Deponie Flotzgrün stammen, unwahrscheinlich.

#### **4.3.2 Rhein**

Nachdem im Rhein an den beobachteten Stationen in Mainz und Worms die Gehalte an Mecoprop und Bentazon von 2004 bis 2010 stets niedriger als die Umweltqualitätsnorm (UQN) für Oberflächengewässer von 0,1 µg/l lagen, wurden an der Rheingütestation Worms 2011 vereinzelt wieder Bentazon-Gehalte über der Umweltqualitätsnorm (UQN) von 0,1 mg/l gefunden [U16]. Im Rheinoberlauf (Station Karlsruhe) lagen im Zeitraum 2007 bis 2011 die Mecoprop- und Bentazon-Gehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,05 mg/l und damit unterhalb der UQN.

Für Dioxan und Trioxan wurden bisher keine Umweltqualitätsnormen (UQN) für Oberflächengewässer festgelegt und keine Messungen im Rheinwasser durchgeführt.

Aus diesen Ergebnissen leitet sich ab, dass eine Gefährdung des Rheins grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden kann. Da es keine Hinweise auf Belastungen im Altrhein gibt, ist eine Gefährdung über den Pfad Deponie-Sickerwasser-Altrhein-Rhein nicht wahrscheinlich.

Da keine Daten im unmittelbaren Unterlauf der Deponie Flotzgrün im Rhein vorliegen, kann derzeit keine abschließende Bewertung erfolgen.

#### **4.3.3 Altrheinaue**

Die vorliegenden Informationen liefern keine Hinweise auf eine Gefährdung der Altrheinaue durch Belastungen, die aus der Deponie Flotzgrün stammen. Relevante Einträge und Akkumulationen von Schadstoffen in die Altrheinaue werden als sehr unwahrscheinlich erachtet, da ein Eintrag in die oberen Bodenschichten nur bei Hochwasser möglich ist, was mit einer starken Verdünnung und entsprechend niedrigen PSM-Konzentrationen verbunden ist. Darüber hinaus sind beide PSM in den oberen Bodenschichten unter den dort vorliegenden aeroben Milieubedingungen sehr gut abbaubar, so dass es nicht zu einer Akkumulation von Mecoprop und Bentazon kommen kann. Vor diesen Hintergründen ist eine Gefährdung der Altrheinaue auszuschließen.

#### 4.4 Gefährdungsbeurteilung für die Grundwassernutzungen im Bereich Speyerer Rheinbogen

Aktuelle Untersuchungen an den neu eingerichteten Messstellen zeigten Überschreitungen der Schwellenwerte für Mecoprop sowie Dioxan und Trioxan nordöstlich des Altrheins. Eine Gefährdung der Grundwassernutzungen aus den Tiefenbereichen I/II/Z/III im Bereich des Speyerer Rheinbogens kann damit nicht ausgeschlossen werden. Aufgrund der aktuellen Datenlage ist eine abschließende Bewertung jedoch derzeit noch nicht möglich.

#### 4.5 Zusammenfassende Bewertung

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand lässt sich für die von der Deponie Flotzgrün ausgehenden Grundwasserbelastungen folgende vorläufige verbal-argumentative Gefährdungsbeurteilung ableiten:

- Eine Gefährdung der Trinkwassergewinnung Speyer Süd ist aktuell nicht vorhanden, kann jedoch aufgrund der derzeit vorhandenen Kenntnislage künftig nicht vollständig ausgeschlossen werden.
- Für die Bevölkerung im Versorgungsgebiet des Wasserwerkes Speyer Süd besteht derzeit und auf absehbare Zeit keine Gesundheitsgefahr durch Bentazon und Mecoprop wie auch für Dioxan und Trioxan im Trinkwasser. Eine mögliche Überschreitung des Trinkwasser-Maßnahmenwertes oder toxikologisch begründeter Beurteilungswerte für Bentazon und Mecoprop im Trinkwasser kann derzeit und auf absehbare Zeit ausgeschlossen werden. Für die Parameter Dioxan und Trioxan wurden bisher keine Grenzwerte festgelegt.
- Durch die Deponie Flotzgrün sind die Grundwasserleiter I, II, Z und III gefährdet. Insbesondere in den Tiefenbereichen I und II liegen deutlich erhöhte Belastungen vor, die aus dem älteren Deponieteil ohne Basisabdichtung stammen. Eine hydraulische Sicherungsmaßnahme erfasst derzeit den größten Anteil der deponiebürtigen Belastungen im Tiefenbereich I und II. Ein kleinerer, schwer zu quantifizierender Anteil der Belastungen wird durch die Sicherung nicht gefasst und strömt ab. Im Tiefenbereich Z wurden bei den Erstbeprobungen der neu eingerichteten Messstellen erhöhte Belastungen im unmittelbaren Abstrom analysiert, die auf ein Absickern der Belastung aus der Deponie in tiefere Schichten hinweisen. Im Grundwasserleiter III unterhalb der Deponie wurden seit Beginn der PSM-Analysen keine erhöhten Belastungen vorgefunden. Im Standortabstrom liegen seit Jahr 2008 wiederholt geringfügige Mecoprop- und Bentazon-Befunde im Bereich der Schwellenwerte vor, die mit den bestehenden Modellen bisher nicht erklärbar sind. An den neuen Messstellen zeigen sich nördlich der Deponie Spuren von PSM im TB III. Nach derzeitigen Kenntnissen wird eine Stofffahne bis nördlich des Schäferweihers sowie im Nordosten bis außerhalb des Rheindeiches vermutet.

- Auf Grundlage des vorliegenden Daten- und Wissenstands muss davon ausgegangen werden, dass Bentazon und Mecoprop aus der Deponie über den Wirkungspfad Deponie-Sickerwasser-Grundwasser in den Altrhein gelangen. Hier wurden die Umweltqualitätsnormen für Mecoprop- und Bentazon in 2012 im Rahmen zweier Untersuchungskampagnen teilweise leicht überschritten. Mehrere Wiederholungsmessungen in 2012 und 2013 zeigten jedoch keine Überschreitungen mehr. Die gemessenen Konzentrationen von Bentazon und Mecoprop liegen deutlich unterhalb der Konzentrationen, bei denen schädliche Wirkungen auf Wasserorganismen auftreten können. Von einer relevanten Gefährdung des Gewässers ist daher mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auszugehen.
- Eine Gefährdung der Altrheinaue und der darin lebenden Flora und Fauna kann aufgrund der starken Verdünnungseffekte bei Hochwasser sowie des schnellen Stoffabbaus in den oberen Bodenschichten ausgeschlossen werden.

## 5 EMPFEHLUNGEN FÜR DAS WEITERE VORGEHEN

### 5.1 Wesentliche Fragestellungen und offene Punkte

Nach der Einarbeitung der in der Untersuchungsphase aufgenommenen Informationen, Daten, und Ergebnisse in die vorläufige Gefährdungsbeurteilung für den Deponiestandort Flotzgrün verbleiben noch folgende Fragestellungen und offenen Punkte:

#### ***Wesentliche Fragestellungen und offene Punkte zur Hydrogeologie:***

- Die Kenntnisse über den Untergrundaufbau insbesondere im Bereich zwischen Deponie und dem nördlichen Deponieabstrom - bis zur Messstellengruppe P049 - reichen nicht aus, um den Schadstoffabstrom aus der Deponie eindeutig zu beschreiben und die aktuellen Befunde im Tiefenbereich III zu erklären. In diesem Bereich befindet sich auch der erstmals aufgenommene tektonische Versatz markanter Schichten (vgl. **Kapitel 3.2**).
- Es ist noch nicht eindeutig geklärt, ob der Tiefenbereich Z in seinen lithologischen Eigenschaften ein zusammenhängender Horizont mit grundwasserführenden Sedimenten ist, der vom Deponiebereich bis zu den Brunnen der Wassergewinnung Speyer Süd reicht. Hierzu sollten die Bohrergebnisse der neuen Bohrung P061III mit den Schichtenaufnahmen der Messstellen im Anstrom und der Trinkwasserentnahmehrungen im Abstrom gegenübergestellt werden.
- Eine flächenhafte Auswertung der Grundwasserhydraulik (z.B. in Form von Grundwassergleichenplänen) ist für das neue verdichtete Messstellennetz bisher noch nicht erfolgt. Ebenso fehlen noch Auswertungen der Wasserstände hinsichtlich Interaktion zwischen den Oberflächengewässern des Berghäuser Altrheins und dem Grundwasser.

- Über das hydrologische Jahr gesehen ist die Grundwasserhydraulik so instationär, dass es v.a. im Nahbereich der Oberflächengewässer und der Sicherungsbrunnen (insbesondere in den Tiefenbereichen I und II) zu unterschiedlichen Fließzuständen im Jahresverlauf kommt. Eine wesentliche Fragestellung liegt deshalb darin, diese interstationären Fließzustände im Deponiebereich und im Bereich des Altrheins zu untersuchen und zu bewerten.
- Es liegen noch unzureichende Kenntnisse zur flächigen Wirksamkeit der Zwischenschichten ZH2 und ZH3 vor. So ist nicht bekannt, ob es im Deponiebereich oder in dessen Abstrom Bereiche mit geringer hydraulischer Trennung (hydraulische Fenster) gibt, an denen es zu einem Absickern von PSM kommen kann.

#### ***Wesentliche Fragestellungen und offene Punkte zur Schadstoffverteilung/-entwicklung:***

- Die Datendichte zur zeitlichen Entwicklung der Schadstoffe ist derzeit noch zu gering, um den Schadstofftransport aus der Deponie fundiert zu bestimmen.
- Die Lage und Ausdehnung der Schadstoffquelle (Stoffverteilung) in der Deponie ist weitestgehend unbekannt. Dementsprechend liegen relativ wenige Kenntnisse zu den Transportwegen von der Deponie in das Grundwasser vor. Nicht näher bekannt ist auch der Anteil des Schadstoffaustrags, der durch einen temporären Einstau des Deponiefußes im Hochwasserfall verursacht wird.
- Die vorliegende Datenbasis zu den Belastungen im Rhein ist zu gering, um eine abschließende Beurteilung der daraus resultierenden Gefährdungen abzuleiten.

#### ***Wesentliche Fragestellungen und offene Punkte zu den numerischen Modellen:***

- Der Tiefenbereich Z wurde im numerischen Modell bisher nicht angesetzt.
- Die Gewässerrandbedingung wurde im Modell stationär umgesetzt. Da der Einfluss der Rheinwasserstände einen wesentlichen Einfluss auf die Fließbedingungen haben, sollten die Oberflächengewässer im Modell instationär umgesetzt werden.
- Es sind Modellunsicherheiten hinsichtlich der  $k_f$ -Werte und hydraulischen Wirksamkeiten der Zwischenschichten vorhanden, die im Rahmen einer Sensitivitätsuntersuchung überprüft und bewertet werden sollten. Die aus der Erkundungsphase ermittelten  $k_f$ -Werte sollten hierbei als maßgebliche Grundlage herangezogen werden.
- Die festgestellten PSM-Befunde an P049III werden mit dem vorliegenden Modell nicht wiedergegeben. Zudem zeigt die Hauptrichtung der Stoffausbreitung im TB III etwas mehr nach Nordosten und nicht direkt in Richtung der Trinkwasserbrunnen Speyer Süd.

## 5.2 Handlungsempfehlungen

Mit dem Ziel die vorgenannten Kenntnislücken zu schließen und eine abschließende und hinreichend genaue Gefährdungsbeurteilung für die Deponie Flotzgrün durchführen zu können, werden folgende ergänzende Maßnahmen empfohlen:

- Durchführung von ergänzenden Untersuchungen (siehe **Kapitel 5.2.1**)
- Prognose der langfristig zu erwartenden Sickerwassermengen in den Altabschnitten der Deponie nach der jüngst durchgeführten Ertüchtigung der Oberflächen
- Prüfung und ggf. Optimierung der hydraulischen Sicherungsmaßnahme
- Aktualisierung und Erweiterung des hydrogeologischen Modells auf Grundlage der neuen Ergebnisse aus der Untersuchungsphase (siehe **Kapitel 5.2.2**)
- Aktualisierung und Erweiterung des numerischen Modells anhand des aktuellen hydrogeologischen Modells und Neukalibrierung, hierbei Implementierung der grundwasserleitenden Schicht TB Z in das numerische Modell (siehe **Kapitel 5.2.3**)

### 5.2.1 Vorschläge für ergänzende Untersuchungen

Der aktuelle Stand der vorläufigen Gefährdungsbeurteilung weist noch einige Kenntnislücken und offenen Fragen auf, die mit Hilfe weiterer Untersuchungen zu klären sind. Hierzu sollten weitere Daten und Informationen zur Beurteilung der vom Deponiestandort Flotzgrün ausgehenden Gefährdungen aufgenommen werden, um auf dieser Basis eine abschließende Gefährdungsbeurteilung (Risk Assessment) durchführen zu können.

#### ***Untersuchungen zur Klärung der Schichtenlagerung und eines möglichen Versatzes:***

Zur Klärung des vermuteten tektonischen Versatzes markanter Schichten im Umfeld der Deponie empfehlen wir ein stufenweises Vorgehen. Zunächst sollten aus den von BCE vorgeschlagenen geophysikalische Untersuchungen [U4] weitere Kenntnisse über die Lage der Schichten und eines möglichen tektonischen Versatzes gewonnen werden. Sofern die geophysikalischen Untersuchungen nicht zu einer eindeutigen Klärung der Schichtenlagerung führen, sind im zweiten Schritt weitere Untersuchungen (z.B. Pumpversuche) durchzuführen.

### ***Untersuchungen zur Geohydraulik:***

Insbesondere vor dem Hintergrund der instationären Fließverhältnisse am Standort wird eine Aktualisierung und Erweiterung des aktuellen Messprogramms zur Grundwasserhydraulik und eine zielgerichtete Auswertung der darin gewonnenen Wasserstandsdaten empfohlen:

- monatliche Aufnahme der Wasserstände an allen Messstellen (Grundwassermessstellen, Rhein, Altrhein) im Rahmen flächendeckender Stichtagsmessungen bei unterschiedlichen Fließzuständen (Hochwasser, Mittelwasser, Niedrigwasser)
- Erstellung von Grundwassergleichenplänen für alle Tiefenbereiche bzw. Grundwasserleiter (unter Einbeziehung der Wasserstände der Oberflächengewässer)
- Aufnahme täglicher Wasserstandsdaten im Altrhein und Übertragung der Werte auf die Rheinwasserstände im Bereich der Deponie einschließlich Bewertung einer möglichen Interaktion zwischen Berghäuser Altrhein und Rhein im Oberstrom
- Installation von Datenloggern in ausgewählten Messstellen mit täglichen Wasserstandsaufzeichnungen - mit Schwerpunkt im Deponieabstrom - zur zeitlich fein aufgelösten Aufzeichnung und Dokumentation der Wasserstände (zur Untersuchung jahreszeitlicher, kurzfristiger Schwankungen in den betrachteten Bereichen)

### ***Untersuchungen zur Grundwasserbeschaffenheit:***

Zur Erfassung und Bewertung der Stofftransportprozesse wie auch der Schadstoffausbreitung sollten in allen im Untersuchungsgebiet vorhandenen Messstellen und Brunnen flächendeckende Monitoring-Untersuchungen zur detaillierten Erfassung und Bewertung der Beschaffenheit in den einzelnen Grundwasserleitern durchgeführt werden:

- Weiterführung der flächendeckenden Monitoring-Untersuchungen unter Einbeziehung der neu eingerichteten Grundwassermessstellen.
- Im Rahmen des stufenweisen Vorgehens bei den Monitoring-Untersuchungen sollte nach der gesamtheitlichen Bewertung der durchgeführten Erst- und Zweitbeprobungen eine Anpassung (Reduzierung) des Mess- und Analyseprogramms erfolgen.
- Auswertung der vorliegenden und zukünftigen Daten zur stofflichen Verteilung der relevanten Mess- und Analyseparameter und Erstellung von Verteilungsplänen (z.B. in Form von Isokonzentrationsplänen) oder Verlaufsgrafiken zur Bewertung der Milieubedingungen sowie der flächigen und/oder zeitlichen Stoffverteilung in den einzelnen Tiefenbereichen.
- Mit dem Ziel eine abschließende Gefährdungsbeurteilung für den Altrhein durchführen zu können, werden weitere Untersuchungen im Altrhein im direkten Deponieabstrom auf die relevanten Parameter Mecoprop, Bentazon sowie Dioxan/Trioxan empfohlen.

### ***Ergänzung des Grundwassermessnetzes***

Zur präziseren Eingrenzung der Schadstofffahne und des Stofftransportes wird die Einrichtung ergänzender Grundwassermessstellen nördlich des Rheinhauptdeiches empfohlen. Dies betrifft insbesondere die Ausdehnung der Schadstoffbelastungen im Umfeld der Messstelle P051II (vgl. **Anlage 3**).

Mit dem Ziel die von der Deponie ausgehende Schadensausbreitung nach Süden (Anstrom) genauer zu untersuchen, sollte eine weitere Messstelle im direkten Anstrom der neu gebauten Messstelle P057II errichtet werden.

### **5.2.2 Aktualisierung des hydrogeologischen Modells**

Das hydrogeologische Modell ist anhand der neuen Daten und Erkenntnisse (Bohrprofile der neu eingerichteten Grundwassermessstellen, Pumpversuche, bodenmechanische Laborversuche, Säulenversuche, Monitoring-Untersuchungen, Grundwasserstandsdaten an den neuen Messstellen) fortzuschreiben:

- Aktualisierung des räumlichen Untergrund- und Schichtenaufbaus auf der Basis der aktuellen Profilschnitten aus allen Bohrprofilen,
- Aktualisierung der Verteilung der Untergrundparameter ( $k_f$ -Werte, Speicherkoeffizient) auf Grundlage der Erkenntnisse aus den Pumpversuchen und bodenmechanischen Laborversuchen
- Aktualisierung des geohydraulischen Modells unter Einbeziehung aktueller Wasserstandsdaten (Grundwasser, Rheinwasser)
- Aktualisierung des geochemischen Modells unter Einbeziehung aktueller Monitoring-Daten sowie der Erkenntnisse aus der Säulenversuchen



### 5.2.3 Aktualisierung des numerischen Modells und Modelluntersuchungen

Die Entwicklung der Stoffausbreitung im Hinblick auf eine potentielle Gefährdung der Trinkwassergewinnung Speyer sollte mit Hilfe von numerischen Modelluntersuchungen aktualisiert betrachtet werden. Hierfür ist zunächst das aktualisierte und erweiterte hydrogeologische Modell in das numerische Modell umzusetzen. Nach Aktualisierung und Erweiterung des numerischen Grundwassermodells und anschließender Neukalibrierung sollten folgende Modellrechnungen durchgeführt werden:

- numerische Sensitivitätsuntersuchungen zur Ermittlung der Modellunschärfe und Berechnung eines Worst-Case- und eines Real-Case-Szenarios
- instationäre Berechnung der Grundwasserströmung mit instationären Rheinwasserständen, z.B. eines hydrologischen Jahres
- Überprüfung und ggf. Optimierung der hydraulischen Sicherungsmaßnahme, um die Ausbreitung der Belastungsfahne im TB II und die Tiefenverlagerung von Belastungen in tiefere Schichten wirkungsvoll zu unterbinden (z.B. durch eine Grundwasserentnahme über den neu gebauten Sicherungsbrunnen B8)

CDM Smith Consult GmbH  
2016-01-15

i.V.



Dipl.-Ing. Jörn Müller

i.V.



Dr.-Ing. Bettina Starke

ppa.



Dr.-Ing. Johannes Weiß