

# ECOS

U M W E L T  
N O R D

GESELLSCHAFT FÜR  
TECHNISCHEN UND  
WISSENSCHAFTLICHEN  
UMWELTSCHUTZ MBH

**B-Plan Nr. 273**  
**„Wohnprojekt Flensburg Freiland“**  
**Weiterführende orientierende Untersuchung**

Auftraggeber

IHR SANIERUNGSTRÄGER FGS mbH

Datum

**26. September 2014**

ECOS UMWELT NORD GmbH

## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>ALLGEMEINES UND VERANLASSUNG</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>QUELLEN</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN</b>	<b>3</b>
3.1	Rammkernsondierungen	3
3.2	Grundwassermessstellen	4
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>5</b>
4.1	Geologie und Hydrogeologie	5
4.2	Analysenergebnisse Boden	5
4.3	Analysenergebnisse Grundwasser	9
<b>5</b>	<b>GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG</b>	<b>13</b>
5.1	Gefährdungspfad Boden-Mensch	13
5.2	Wirkungspfad Boden-Grundwasser	13
5.2.1	Anorganische und organische Schadstoffe in der ungesättigten Zone	16
5.2.2	Organische Schadstoffe im Grundwasserschwankungsbereich	18
5.3	Wirkungspfad Boden- Grundwasser-Oberflächengewässer	19

## **6 SCHUSSFOLGERUNGEN UND MAßNAHMENEMPFEHLUNG**

**20**

### **ANLAGENVERZEICHNIS**

- Anl. 1: Lageplan
- Anl. 2: Schichtenverzeichnisse
- Anl. 3: Säulenprofile
- Anl. 4: Entnahmeprotokolle Grundwasser
- Anl. 5: Analysenergebnisse
- Anl. 6. Lageplan Grundwasserstände
  - Anl. 6.1: 28.04.2014
  - Anl. 6.2: 18.08.2014
- Anl. 7: Lageplan Schadstoffbelastungen (PAK und MKW)
  - Anl. 7.1: Feststoffgehalte
  - Anl. 7.2: Grundwasserkonzentrationen
- Anl. 8: Profilschnitt
- Anl. 9: Vermessungsprotokoll

## 1 Allgemeines und Veranlassung

Die Stadt Flensburg erstellt zurzeit den Bebauungsplan N 273 „Wohnprojekt Freiland“. Auf diesem Standort wurden im Rahmen einer orientierenden Erkundung [1] durch die ECOS Umwelt Nord GmbH 2011 erhöhte Gehalte an MKW und PAK im Boden und erhöhte Konzentrationen an PAK im Grundwasser angetroffen.

Am 04.03.2014 wurde die ECOS Umwelt Nord GmbH von der IHR Sanierungsträger FGS mbH mit der Durchführung weiterführender Boden- und Grundwasseruntersuchungen beauftragt. Im Abstrom der Altablagerungen sollten 2 neue Grundwassermessstellen errichtet werden. Im Bereich eines geplanten Regenrückhaltebeckens sollten Rammkernsondierungen zur Prüfung der Versickerungsmöglichkeiten durchgeführt werden. Im Zuge diese Arbeiten wurden auch im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes erhöhte Schadstoffbelastungen im Boden und im Grundwasser angetroffen [2].

Daraufhin wurde der Auftrag um zusätzlich Boden- und Grundwasseruntersuchungen und die Durchführung einer verbal-argumentativen Sickerwasserprognose erweitert. Weiterhin soll eine Bewertung der Ergebnisse in Hinblick auf die Ausweisung der Fläche im B-Plan erfolgen. Diese Auswertung erfolgt in einem gesonderten Kurzbericht.

## 2 Quellen

- [1] ECOS Umwelt Nord GmbH (2011): Flensburg Freiland, orientierende Untersuchung
- [2] ECOS Umwelt Nord GmbH (2014): B-Plan Nr. 273 „Wohnprojekt Flensburg Freiland“ Boden- und Grundwasseruntersuchungen
- [3] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999
- [4] Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (2006): Ergänzende Bewertungshilfen für Schadstoffe in Altlasten bei der Gefährdungsabschätzung
- [5] Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (10.10.2007): Hinweise zur Anwendung der Arbeitshilfe „Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen“
- [6] Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) Altlastenausschuß (ALA) (2003): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen

Auftraggeber: IHR SANIERUNGSTRÄGER

B-Plan Nr. 273 „Wohnprojekt Flensburg Freiland“ Weiterführende orientierende Untersuchung



- [7] **Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) Altlastenausschuss (ALA) Unterausschuss Sickerwasserprognose (2006): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen**

### 3 Durchgeführte Untersuchungen

#### 3.1 Rammkernsondierungen

Zur Erkundung des Untergrundes im bislang kaum erkundeten nördlichen Bereich des Standortes wurden fünf Rammkernsondierungen (RKS 9 bis RKS 14) bis zu einer maximalen Tiefe von 8,00 m niedergebracht. Die Probenahme erfolgte schichtweise bzw. bei Auffälligkeiten. Insgesamt wurden 27 Bodenproben in Glasbehälter mit Schraubdeckel überführt.

An den in Tab. 2 aufgeführten Bodenproben wurden durch die UCL GmbH Feststoffanalysen durchgeführt.

Die Lage der Bohrungen ist der Anlage 1 zu entnehmen. Die Schichtenverzeichnisse sind in Anlage 3 dargestellt.

Tab. 1: Zur chemischen Analyse ausgewählte Bodenproben mit Parameterangaben

Probe	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Fremdbestandteile, Auffälligkeiten	Analysenparameter
RKS 10/2	0,60-0,75	KW-Geruch, Schlacke, Kalkreste	As, Schwermetalle, MKW, PAK
RKS 10/4	0,90-2,10	Schlacke, Bauschutt, Kreidereste	As, Schwermetalle, MKW, PAK
RKS 10/5	3,00-4,00	Schlacke, Bauschutt	PAK
RKS 11/2	0,20-0,50	KW-Geruch, Schlacke, Bauschutt, Teer	As, Schwermetalle, MKW, PAK
RKS 11/4	1,00-2,00	Bauschutt, Seilreste	As, Schwermetalle, MKW, PAK
RKS 11/5	2,60-3,00	Bauschutt	PAK
RKS 12/2	0,80-1,50	wenig Schlacke, Kalkreste	As, Schwermetalle, MKW, PAK
RKS 13/4	3,30-5,00	Geruch	MKW, PAK
RKS 14/5	2,90-3,10	Geruch	MKW, PAK
RKS 14/7	4,50-4,70		MKW, PAK
GWM 6/3	0,80-1,20	Schlacke	As, Schwermetalle, MKW, PAK
GWM 6/5	2,10-2,90	KW-Geruch, Schlacke, Bauschutt	As, Schwermetalle, MKW, PAK
GWM 6/6	2,90-3,50	keine	PAK
GWM 7/6	2,60-3,60	Geruch, Bauschutt	MKW, PAK
GWM 7/9	4,90-5,80	Geruch, Bauschutt	MKW, PAK



## 3.2 Grundwassermessstellen

An 3 Ansatzpunkten wurden mit Hilfe von Rammkernsondierungen (DN 80) gerammte 2“-Grundwassermessstellen (GWM 5, GWM 6 und GWM 7) errichtet. Am Ansatzpunkt GWM 4 wurde bis in eine Tiefe von 7,00 m unter GOK kein Grundwasser angetroffen. Daraufhin erfolgte kein Ausbau dieser Bohrung.

Die Grundwassermessstellen GWM 1,<sup>1</sup> GWM 3, GWM 5 und GWM 6 wurden am 28.04.2014 mittels Tauchmotorpumpe beprobt. Eine zweite Beprobung der Grundwassermessstellen GWM 1, GWM 5, GWM 6 und GWM 7 erfolgte am 18.08.2014.

Die Entnahmeprotokolle sind in Anl. 4 dokumentiert.

Die Grundwasserproben wurden durch die UCL GmbH auf Arsen und Schwermetalle sowie MKW und PAK untersucht (Anl. 5).

---

<sup>1</sup> Die Grundwassermessstelle GWM 2 ist zerstört und konnte daher nicht beprobt werden.



## 4 Ergebnisse

### 4.1 Geologie und Hydrogeologie

In allen Bohrungen wurden Auffüllungen aus umgelagertem Bodenaushub mit relevanten Anteilen an Bauschutt, Straßenaufbruch und Schlacken angetroffen. Die Mächtigkeit der Auffüllung variiert zwischen 1,20 und 6,00 m. Die Schlacken treten nach Anl. 8 in den hangenden Anteilen der Auffüllung bzw. in der ungesättigten Zone auf. Organoleptische Hinweise auf organische Verunreinigungen wurden in den Bohrungen GWM 6 (MKW-Geruch), GWM 7 (Geruch), RKS 10 (MKW-Geruch), RKS 11 (MKW- bzw. Teer-Geruch), RKS 13 und RKS 14 (Geruch) angetroffen.

In den Auffüllungen ist im mittleren und nördlichen Abschnitt des Standortes oberflächennah ein geringmächtiger Grundwasserleiter ausgebildet. Die Basis des Grundwasserleiters wird durch Geschiebemergel oder aufgefüllte bindige Böden aufgebaut (Anl. 8). Nach den in den Grundwassermessstellen erfassten Grundwasserständen (Tab. 2) ist von einem erheblichen Gefälle der Grundwasseroberfläche auszugehen.

Tab. 2: Wasserstände in den Grundwassermessstellen

		17.02.2011		28.4.2014		18.8.14	
Messpunkt	Punkthöhe POK	Abstich [m]	GW-Stand [m über NN]	Abstich [m]	GW-Stand [m über NN]	Abstich [m]	GW-Stand [m über NN]
GWM 1	19,170	4,08	15,09	4,71	14,46	4,62	14,55
GWM 3	20,000	0,65	19,35	0,62	19,38	0,64	19,36
GWM 5	19,460			1,97	17,49	2,21	17,25
GWM 6	16,670			3,35	13,32	2,85	13,82
GWM 7	14,050					2,71	11,34

Der Grundwasserleiter ist an den westlich des Standortes nach Norden entwässernden Vorfluter angebunden. Es liegen nordwestliche bis nordnordwestliche Grundwasserfließrichtungen vor (Anl. 6).

### 4.2 Analyseergebnisse Boden

In den Bodenproben wurden teilweise stark erhöhte Gehalten an Schwermetallen gemessen (Tab. 3). Die maximalen Gehalte betragen bei Blei 711 mg/kg, bei Cadmium 7,8 mg/kg, bei Chrom 41,7 mg/kg, bei Kupfer 209 mg/kg, bei Nickel 73,98 mg/kg, bei Quecksilber 4 mg/kg und bei Zink 9.170 mg/kg.





Tab. 3: Arsen- und Schwermetallgehalte im Boden in mg/kg

Probe	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink
RKS 10/2	0,60 - 0,75	5,7	117	n.n.	11,4	41,8	12,3	0,18	116
RKS 10/4	0,90 - 2,10	16,2	165	1,0	41,7	<b>112</b>	73,8	0,37	<b>442</b>
RKS 11/2	0,20 - 0,50	6,3	70,6	0,68	13,7	82,3	11,7	0,37	144
RKS 11/4	1,00 - 2,00	12,7	<b>440</b>	1,6	39,3	86,5	32,0	<b>4,0</b>	<b>2400</b>
RKS 12/2	0,80 - 1,50	29,8	<b>711</b>	<b>2,5</b>	39,0	<b>209</b>	62,7	0,15	201
GWM 6/3	0,80 - 1,20	10,4	<b>283</b>	<b>7,8</b>	21,1	<b>109</b>	22,4	<b>0,52</b>	<b>9170</b>
GWM 6/5	2,10 - 2,90	13,3	<b>319</b>	0,79	18,5	59,1	15,7	0,37	235
LAGA Z2-Wert		150	700	10	600	400	500	5	1500
Vorsorgewert BBodSchV für Sande		10	40	0,4	30	20	15	0,1	60
		= Überschreitung LAGA Z2-Wert							
<b>Fettdruck</b>		= 5-fache Überschreitung Vorsorgewert							

In den Bodenproben wurde ein maximaler PAK-Gehalt von 5.760 mg/kg (RKS 14/5) angetroffen. PAK-Gehalte von mehr als 1.000 mg/kg wurden in 3 weiteren Proben gemessen.

Tab. 4: PAK- und MKW-Gehalte im Boden in mg/kg

Probe	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Σ PAK	Naphthalin	MKW mobil	MKW
RKS 10/2	0,60 - 0,75	<b>1880</b>	<b>29,6</b>	210	340
RKS 10/4	0,90 - 2,10	<b>33,6</b>	0,111	n.n.	150
RKS 10/5	3,00 - 4,00	4,18	n.n.		
RKS 11/2	0,20 - 0,50	<b>1460</b>	<b>141</b>	110	120
RKS 11/4	1,00 - 2,00	<b>410</b>	1,56	340	580
RKS 11/5	2,60 - 3,00	14,5	0,116		
RKS 12/2	0,80 - 1,50	12,6	0,293	n.n.	140
RKS 13/4	3,30 - 5,00	1,04	n.n.		
RKS 14/5	2,90 - 3,10	<b>5760</b>	<b>453</b>	<b>3600</b>	<b>5200</b>
RKS 14/7	4,50 - 4,70	0,82	n.n.	n.n.	n.n.
GWM 6/3	0,80 - 1,20	<b>427</b>	0,433	110	260
GWM 6/5	2,10 - 2,90	<b>1290</b>	<b>10,3</b>	<b>1100</b>	2000
GWM 6/6	2,90 - 3,50	<b>42,1</b>	0,228		
GWM 7/6	2,60 - 3,60	<b>37,5</b>	0,13	51	300
GWM 7/9	4,90 - 5,80	5,76	n.n.	n.n.	n.n.
Vorsorgewert BBodSchV Humusgehalt < 8%		3			
Vorsorgewert BBodSchV Humusgehalt > 8%		10			
Beurteilungswert Schleswig-Holstein			5	1000	5000
<b>Fettdruck</b>		Überschreitung Beurteilungswert bzw. 5-fache Überschreitung Vorsorgewerte			

Nach Abb. 1 weisen die hoch belasteten Proben ein ähnliches PAK-Verteilungsmuster auf. Am stärksten sind jeweils Phenanthren und Fluoranthen vertreten. Die höher molekularen PAK bzw. 4er bis 6er-Ring PAK treten ebenfalls in deutlich messbaren Gehalten im 10er mg/kg-Bereich auf.

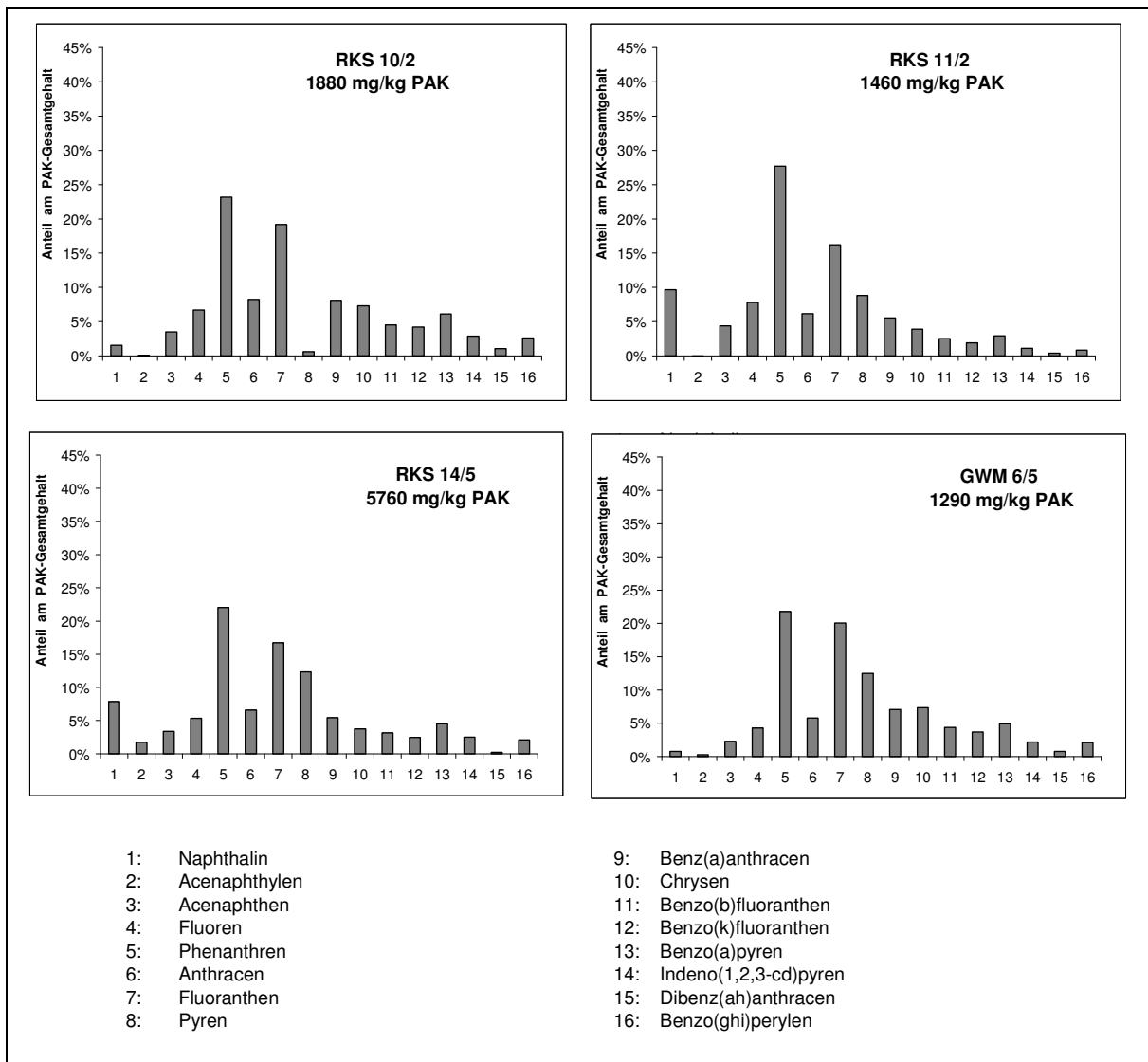


Abb. 1: PAK-Verteilungsmuster der hoch belasteten Bodenproben

PAK-Gehalte im 100er mg/kg-Bereich wurden in 2 Bodenproben erfasst. In den restlichen Proben liegen die PAK-Gehalte im 1er bis 10er mg/kg Bereich.

Die stark erhöhten MKW-Gehalte von 5.200 mg/kg (RKS 14/5) und 2.000 mg/kg (GWM 6/5) sind nach den Chromatogrammen der GC-FID-Untersuchungen auf die Miterfassung von

PAK zurückzuführen<sup>2</sup> (Abb. 2, unten). Bei den PAK-armen Proben RKS 10/4, RKS 12/2 und GWM 7/6 handelt es sich bei den im 100er mg/kg-Bereich liegenden MKW-Gehalten um höhersiedende Mineralölkohlenwasserstoffe aus dem Schmierölbereich (Abb. 2, oben).

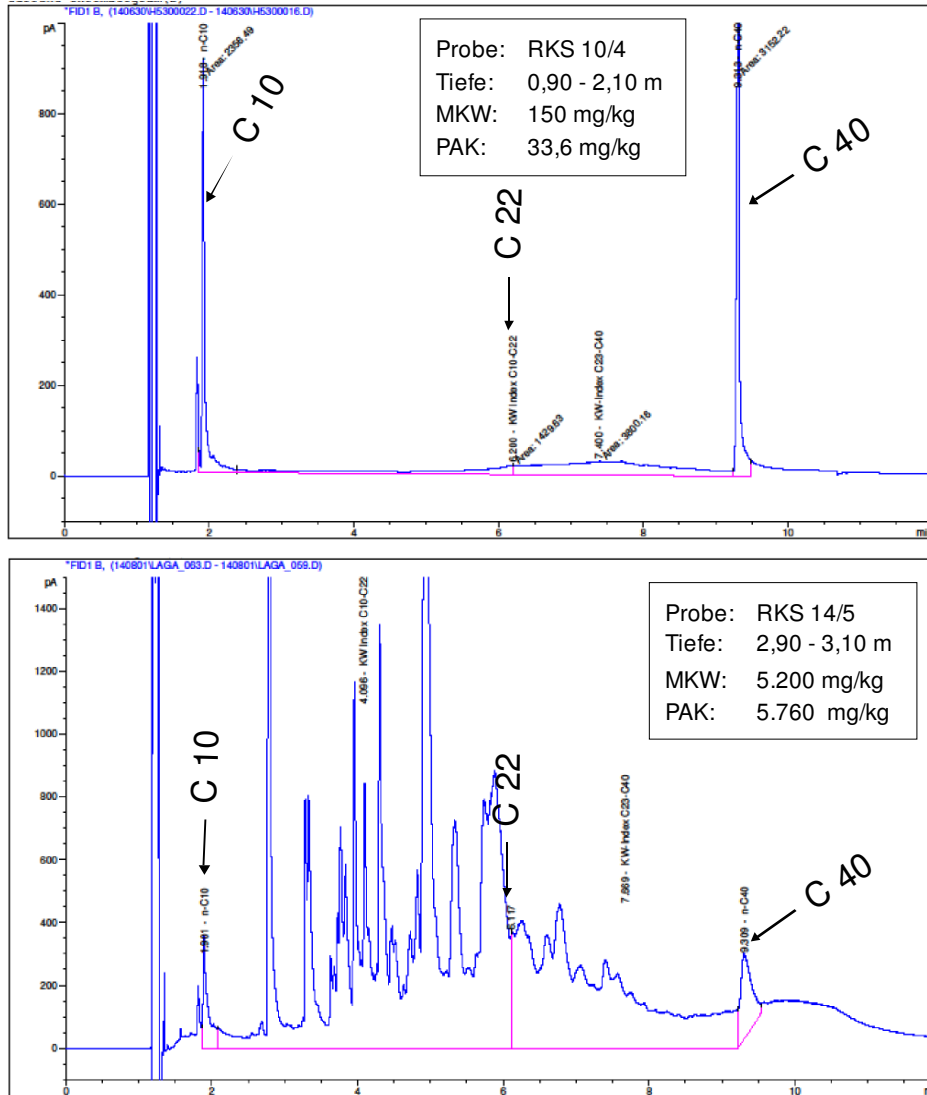


Abb. 2: GC-FID-Chromatogramme ausgewählter Bodenproben

<sup>2</sup> Bei der MKW-Analytik von Feststoffproben erfolgt eine einmalige Reinigung des Extraktes über eine Florisil-Säule. Liegen die PAK in der Probe in erhöhten Gehalten vor, werden sie in dieser Säule nicht vollständig abgereinigt und bei der quantitativen MKW-Bestimmung mit erfasst.

### 4.3 Analyseergebnisse Grundwasser

In der im April 2014 entnommenen Grundwasserprobe GWM 1 wurden erhöhte Konzentrationen an Arsen (18,2 µg/l), Blei (556 µg/l), Kupfer (74,2 µg/l) und Zink (743 µg/l) angetroffen. In der Messung aus dem August 2014 liegen die Konzentrationen an organischen Schadstoffen in einem deutlich niedrigeren Niveau. Die Probe aus der gering ergebigen Grundwassermessstelle aus dem April 2014 enthielt viel Bodensatz (siehe Prüfbericht 14-19691/1, Anl. 5). Vermutlich sind die hohen Schwermetallkonzentrationen in dieser Analyse auf die Miterfassung von gebundenen Schadstoffen zurückzuführen.

Tab. 5: Arsen- und Schwermetallkonzentrationen im Grundwasser in µg/l

		Arsen [µg/l]	Blei µg/l]	Cadmium [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Nickel [µg/L]	Queck- silber [µg/L]	Zink [µg/L]
<b>Grundwasseranstrom</b>									
GWM 3	2011	5,57	<5	<0,4	<1	<3	<1	<0,1	7,24
	04.2014	<5	<5	<0,4	2,23	<3	<1	<0,1	<5
<b>Grundwasserabstrom</b>									
GWM 1	2011	<5	<5	<0,4	<1	4,88	2,06	<0,1	61,7
	04.2014	18,2	556	2,35	4,55	74,2	7,98	<0,1	743
	08.2014	<5	65,1	<0,4	1,8	13,1	1,3	<0,1	57,5
GWM 2	2011	8,76	<5	<0,4	<1	<3	5,53	<0,1	109
GWM 5	04.2014	<5	<5	<0,4	2,61	<3	<1	<0,1	<5
	08.2014	<5	<5	<0,4	<1	10,2	1,56	<0,1	<5
GWM 6	04.2014	7,48	10,1	<0,4	2,58	6,14	2,18	<0,1	16,2
	08.2014	<5	19,6	<0,4	1,99	16,8	4,67	<0,1	220
GWM 7	08.2014	<5	5,05	<0,4	1,75	56	<1	<0,1	26,6
Prüfwert BBodSchV		10	25	5	50	50	50	1	500
Maßnahmenschwel- lenwert der LAWA		20-60	80-200	10-20	100-250	100-250	100-250	2-5	500-2.000
		= Überschreitung Prüfwert BBodSchV							
		= Überschreitung Maßnahmenschwellenwert der LAWA							

Bei den restlichen Messstellen liegen die Arsen- und Schwermetallkonzentrationen je nach Stoff in der Regel unterhalb der Nachweisgrenzen oder im 1er bis 10er µg/l-Bereich (Tab. 5).

PAK wurden in der Grundwassermessstelle GWM 6 im April 2014 in einer maximalen Konzentration von 23,1 µg/l gemessen. In der Probe aus dem August 2014 beträgt die PAK-Konzentration 5,43 µg/l. Das PAK-Spektrum der hoch belasteten Probe ist durch einen hohen Anteil an Naphthalin gekennzeichnet (Abb. 3 links). In der geringer belasteten Probe ist Naphthalin weniger stark vertreten. In beiden Proben treten neben Naphthalin vor allem 3er-Ring PAK auf.

Tab. 6: MKW- und PAK-Konzentrationen im Grundwasser in µg/l

Grundwassermessstelle		MKW [mg/L]	Naphthalin [µg/L]	Summe PAK ohne Naphthalin [µg/L]	Summe PAK [µg/L]
<b>Grundwasseranstrom</b>					
GWM 3	2011 unfiltriert	<0,1	< 0,02	0,395	0,395
	2011 filtriert		0,053	0,303	0,356
	04.2014 unfiltriert	<0,1	< 0,02	n.n.	n.n.
<b>Grundwasserabstrom</b>					
GWM 1	2011 unfiltriert	<0,1	0,357	<b>3,403</b>	3,76
	2011 filtriert		0,098	0,982	1,08
	04.2014 unfiltriert	<0,1	0,160	<b>2,50</b>	2,66
	08.2014 unfiltriert	<0,1	0,275	0,571	0,846
GWM 2	2011 unfiltriert	<0,1	0,053	0,484	0,527
	2011 filtriert		0,09	0,63	0,72
GWM 5	04.2014 unfiltriert	<0,1	< 0,02	0,105	0,105
	08.2014 unfiltriert	<0,1	0,894	0,266	1,16
GWM 6	04.2014 unfiltriert	<0,1	<b>17,0</b>	<b>6,1</b>	23,1
	08.2014 unfiltriert	<b>0,77</b>	<b>2,43</b>	<b>3,0</b>	5,43
GWM 7	08.2014 unfiltriert	<0,1	1,18	1,47	2,65
Maßnahmschwellenwert der LAWA		0,4 – 1,0	4 – 10	0,4 – 2,0	
Prüfwert BBodSchV		0,2	2	0,2	
<b>Fettdr.</b>		= Überschreitung Maßnahmschwellenwert der LAWA			
		= Überschreitung Prüfwert BBodSchV			

Deutlich erhöhte PAK-Konzentrationen wurden auch in der Grundwassermessstelle GWM 1 gemessen. Hier zeigt die Darstellung der Verteilungsmuster von 4 Proben aus aktuellen und älteren Untersuchungen (Abb. 4) ein uneinheitliches Bild. In allen Proben dominieren neben Naphthalin unterschiedliche 3er-Ring PAK.

Die unterschiedlichen PAK-Verteilungsmuster innerhalb der Grundwassermessstelle GWM 1 sind im Zusammenhang mit der Ergiebigkeit dieser Grundwassermessstelle zu sehen. Bei der Beprobung fällt die Messstelle trocken. Die Grundwasserproben haben eher die Güte einer Schöpfprobe.

Die zwischen den Grundwassermessstellen abweichenden Verteilungsmuster deuten auf unterschiedliche Quellverunreinigungen hin. Die naphthalinreichen Proben der Grundwassermessstelle GWM 6 zeigen die Nähe zu einem mit Teerölen oder ähnlichen Substanzen verunreinigtem Boden an.

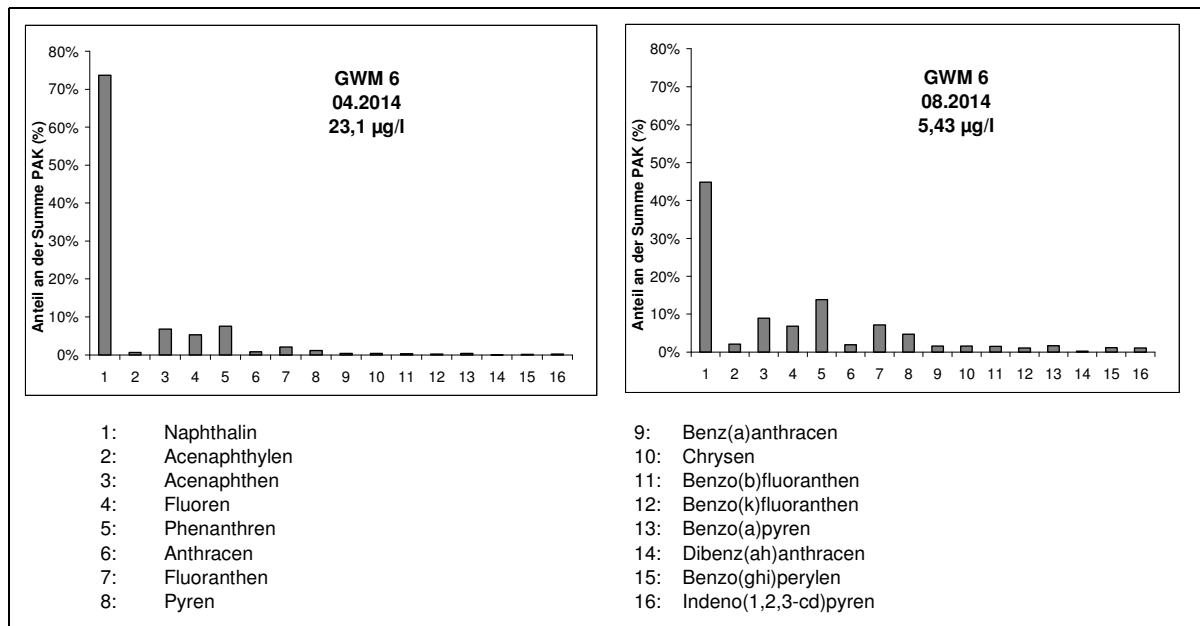


Abb. 3: Verteilung der PAK-Einzelkomponenten in den Grundwasserproben der Grundwassermessstelle GWM 6

PAK-Konzentrationen von mehr als 1 µg/l wurden auch in den Grundwassermessstellen GWM 5 und GWM 7 angetroffen. In Grundwassermessstelle GWM 3 liegen die PAK-Konzentrationen im April 2014 unterhalb der Nachweisgrenze.

In der Grundwassermessstelle GWM 6 wurde im August 2014 eine MKW-Konzentration von 770 µg/l gemessen. In den restlichen Proben wurden keine MKW nachgewiesen.

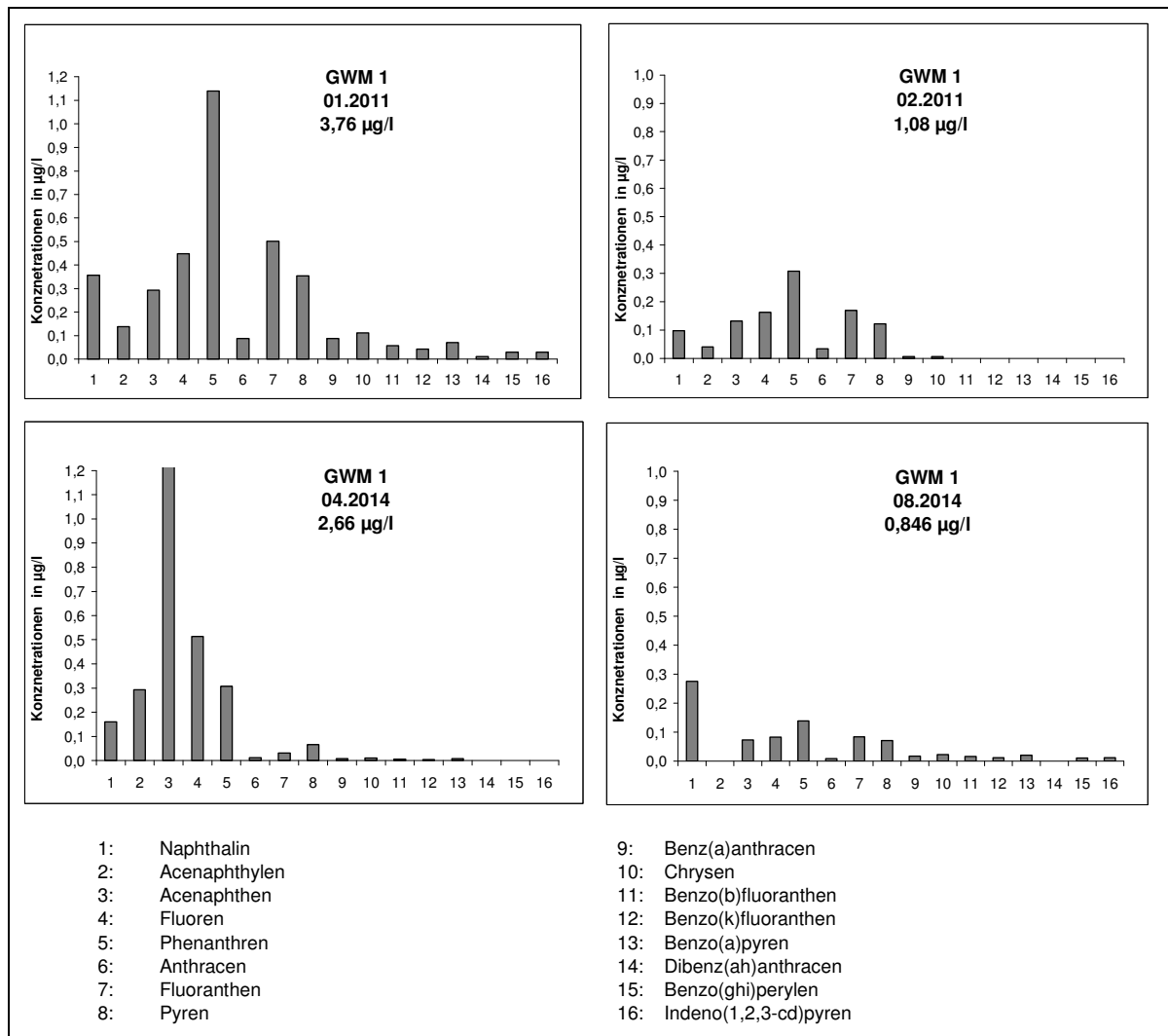


Abb. 4: Verteilung der PAK-Einzelkomponenten in den Grundwasserproben der Grundwassermessstelle GWM 1

## 5 Gefährdungsabschätzung

### 5.1 Wirkungspfad Boden-Mensch

Der Standort wird derzeit nicht genutzt. In Zukunft ist eine Wohnnutzung geplant.

Im Rahmen der bisherigen technischen Erkundungen wurden keine Oberbodenmischproben entnommen. Eine Abschätzung der Gefährdung mit Hilfe der Prüfwerte für die direkte Aufnahme von Schadstoffen in Wohngebieten aus der BBodSchV kann demnach nicht erfolgen.

Im oberen Meter der Auffüllung wurden bei den aktuellen Untersuchungen in den Einzelproben stark erhöhte an Blei (711 mg/kg, RKS 12/2) und Benzo(a)pyren (115 mg/kg RKS 10/2, 42,5 mg/kg RKS 11/2, 25,4 mg/kg GWM 6/3) angetroffen. In diesen Einzelproben werden die Prüfwerte der BBodSchV für Wohngebiete für Blei (400 mg/kg) und Benzo(a)pyren (4 mg/kg) überschritten.

Für die Beurteilung der Summehalte der PAK existiert in der BBodSchV kein Prüfwert. Nach [4] ist in Schleswig-Holstein zur Abschätzung der Gefährdung durch PAK - ausgehend von prozentual vergleichbaren Verteilungsmustern - ein Wert von 1 mg/kg für Benzo(a)pyren heranzuziehen. Dieser Wert wird in den organoleptisch auffälligen Einzelproben in der Regel überschritten bzw. nahezu erreicht. Somit ist auch im Falle der Entnahme von Oberbodenmischproben mit einer Überschreitung des Leitparameters auszugehen.

Bei der geplanten Nutzung wäre im Falle einer fehlenden Abdeckung des bislang aufgefüllten Bodens und je nach Profilierung der Flächen eine Gefährdung des Schutzgutes Mensch über den Wirkungspfad Boden-Mensch zumindest für den Parameter PAK zu besorgen.

### 5.2 Wirkungspfad Bodenluft-Mensch

Im Vorfeld der durchgeführten Untersuchungen lagen keine Hinweise auf das mögliche Vorhandensein von leichtflüchtigen Schadstoffen innerhalb der Altablagerung vor. Das Vorhandensein von aromatischen Kohlenwasserstoffen kann jedoch insbesondere in dem im Norden angetroffenen Ölschaden nicht ausgeschlossen werden. Für die Abschätzung der Gefährdung über den Wirkungspfad Bodenluft-Mensch ist eine Erfassung der LCKW- und BTEX-Konzentrationen in der Bodenluft erforderlich.

### 5.3 Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Die erhöhten Schwermetallgehalte sind überwiegend an die schlackeführenden Schichten in den oberen Metern der Auffüllung gebunden. Sie treten somit in der ungesättigten Zone auf.



Auf dem untersuchten Standort sind die Tiefenlage und die Ausbildung der Grundwasseroberfläche bekannt. Im Fall eines freien Grundwasserleiters von einer Mächtigkeit von mehr als 0,50 m wird der Übergang von der ungesättigten in die gesättigte Zone als Ort der Beurteilung angesehen (Abb. 5 rechts).

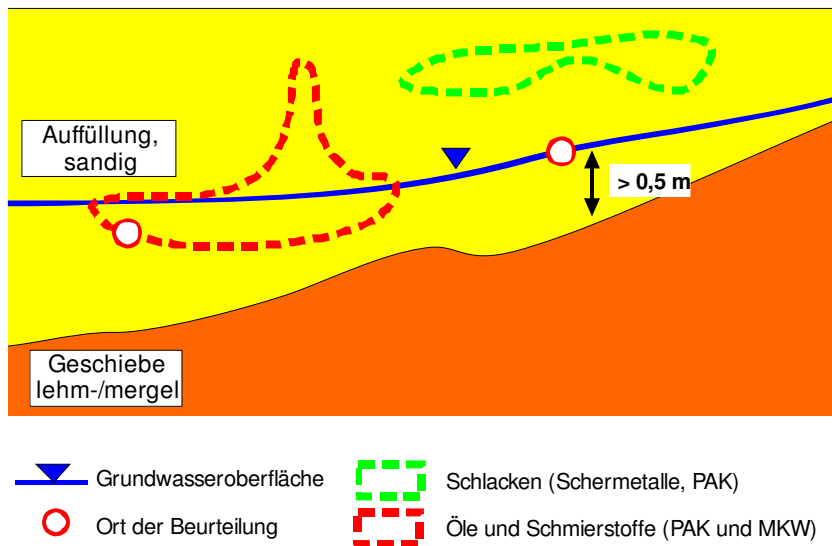


Abb. 5: Ort der Beurteilung (roter Kreis) für die jeweiligen Schadstoffarten

Die organischen Schadstoffe liegen in stark erhöhten Gehalten im Norden des Untersuchungsgebietes auch im Grundwasserschwankungsbereich bzw. unterhalb der Grundwasseroberfläche vor. Somit ist für diese Stoffe in dieser Teilfläche die Durchführung einer Sickerwasserprognose für den Bereich der ungesättigten Zone nicht erforderlich. Der Ort der Beurteilung wird nach [6] mit dem Kontaktbereich zwischen dem verunreinigten Boden und dem durch- bzw. umströmenden Grundwasser gleichgesetzt (Abb. 5 links). Zur Prognose des Stoffeintrages in das Grundwasser ist daher die Beschaffenheit des Kontaktgrundwassers abzuschätzen. Bei den im Feststoff gemessenen MKW handelt es sich bei den hoch belasteten Bodenproben überwiegend um PAK. Die Sickerwasserprognose in Kap. 5.3.2 kann sich daher auf die PAK beschränken.

Zur Durchführung der verbalen Sickerwasserprognose werden neben den ermittelten Feststoffgehalten auch die Schadstoffkonzentrationen aus den Grundwassermessstellen herangezogen. Die Grundwassermessstelle GWM 3 repräsentiert hierbei den Anstrom der relevanten Bodenbelastungen. Die in der ungesättigten Zone im Süden des Standortes freigesetzten Stoffe (Abb. 5 rechts) werden durch die Grundwassermessstellen GWM 1 und GWM 5 erfasst. Mit den Grundwassermessstellen GWM 6 und GWM 7 kann vor allen Dingen der direkte Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser (Abb. 5 links) überprüft werden.

Für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser enthält die BBodSchV keine Werte für Feststoffkonzentrationen.

Nach den Hinweisen zur Anwendung der Arbeitshilfe „Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen“ des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein vom 10.10.2007 [5] können die ermittelten Feststoffkonzentrationen durch einen Vergleich mit den Vorsorgewerten der BBodSchV bzw. den in Anhang 1 der ALA-Arbeitshilfe aufgeführten Werten zur Beurteilung von Schadstoff-Gesamtgehalten beurteilt werden. Die Vorsorgewerte der untersuchten anorganischen Schadstoffe sind in Tab. 3 und Tab. 4 aufgeführt.

Das Schadstoffpotential im Boden wird als **hoch** eingestuft, wenn die in der ALA-Arbeitshilfe genannten Werte flächig deutlich (mindestens um das 5-fache) überschritten werden.

Ein **mittleres** Schadstoffpotential im Boden liegt vor, wenn die Werte in Teilbereichen deutlich (mindestens um das 5-fache) überschritten, flächig jedoch unterschritten oder kaum überschritten werden.

Werden die Werte kaum oder nur punktuell, jedoch nicht deutlich überschritten, liegt ein **niedriges** Schadstoffpotential im Boden vor.

Zur Beurteilung weiterer organischer Schadstoffbelastungen im Boden können nach [5] die in Tab. 7 aufgeführten Werte herangezogen werden.

Tab. 7: Beurteilungswerte für Belastungen im Boden mit organischen Schadstoffen/Schutzgut Grundwasser [5]

Parameter	Beurteilungswert (mg/kg)
MKW	1.000 – 5.000
Naphthalin	5

Bei deutlicher Unterschreitung des Beurteilungswertes ist das Schadstoffpotential gering. Liegen die ermittelten Gehalte im Bereich des Beurteilungswertes oder überschreiten diesen in Teilbereichen, ist von einem mittleren Schadstoffpotential auszugehen. Flächige und deutliche Überschreitungen ergeben ein hohes Schadstoffpotential.

Bezogen auf den Ort der Beurteilung gibt die BBodSchV die in Tab. 5 und Tab. 6 aufgeführten Prüfwerte an. Liegen die Konzentrationen eines Schadstoffes am Ort der Beurteilung unterhalb des jeweiligen Prüfwertes, ist der Verdacht einer schädlichen Bodenverunreinigung oder Altlast ausgeräumt.

### 5.3.1 Anorganische und organische Schadstoffe in der ungesättigten Zone

Der Standort ist größtenteils unversiegelt. Die **Sickerwasserrate** wird daher als hoch eingestuft.

Die **Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserabdeckung** ist teilweise bekannt. Bezogen auf die Unterfläche der schlackehaltigen Auffüllung beträgt sie im Mittel wenige Dezimeter bis Meter. Da die Auffüllung bis zur Grundwasseroberfläche überwiegend aus sandigen Böden aufgebaut wird, ist sie unabhängig von der Mächtigkeit als gering einzustufen.

Die **Durchlässigkeit** der ungesättigten Bodenzone wird aufgrund der überwiegend sandigen Ausbildung als hoch eingeschätzt.

Die **Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone** ist daher als gering einzustufen.

#### **Schadstoffgesamtpotential im Boden**

Im Bereich der schlackehaltigen Auffüllung werden die Vorsorgewerte von Blei, Kupfer und Zink in den meisten Proben um mehr als das fünffache überschritten. Das Schadstoffpotential dieser anorganischen Schadstoffe wird daher als hoch eingestuft.

Die Vorsorgewerte die Summe PAK werden insbesondere im Westen des Standortes in den meisten Bohrungen um mehr als das 5-fache überschritten. Das Schadstoffpotential der PAK wird daher im Westen des Standortes (Anl. 7.1 PAK-Gehalt > 10 mg/kg) als hoch und in den restlichen Bereichen des Standortes als mittel eingestuft.

Die MKW-Gehalte in den hangenden Anteilen der Auffüllungen liegen in der Regel deutlich unter dem Beurteilungswert. Das Schadstoffpotential der MKW wird als gering eingestuft.

#### **Mobilität der Stoffe**

In den Schlacken liegen die oben genannten Schwermetalle in der Regel in schwer löslicher Form vor.

Die Mobilität der PAK nimmt mit steigender Ringzahl ab. Die Mobilität von Naphthalin und den dreikernigen PAK ist als mittel einzustufen. Die im südlichen Bereich des Standortes nach [2] dominierenden höherkernigen PAK haben in der Regel eine geringe Mobilität.

Die MKW wurden im südlichen Bereich des Standortes Form von Schmierstoffen angetroffen. Es handelt sich um Stoffe, dessen Mobilität aufgrund der geringen Flüchtigkeit, der hohen Viskosität und der geringen Wasserlöslichkeit als gering eingestuft wird.

#### **Grundwassergefährdung**

Die Beurteilung der Grundwassergefährdung auf der Grundlage der durchgeführten Feststoffuntersuchungen an Bodenproben aus der ungesättigten Zone erfolgt in einem ersten Schritt in Anlehnung an die Hinweise zur Anwendung der Arbeitshilfe

„Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen“ des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein vom 10.10.2007 [5] in Tab. 8.

Auf Grundlage der Bodenuntersuchungen ist eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung nur für den Parameter PAK als wahrscheinlich anzunehmen. Bei den MKW ist eine Grundwassergefährdung nicht wahrscheinlich. Bei den Schwermetallen kann die Gefährdung nicht abschließend beurteilt werden.

Tab. 8: Beurteilung der Gefährdung des Grundwassers auf Grundlage von Analysenergebnissen aus den Feststoffuntersuchungen

<b>Stoffe</b>	<b>Mobilität der Schadstoffe</b>	<b>Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone</b>	<b>Schadstoffgesamt-potential</b>	<b>Grundwasser-gefährdung</b>
As + Schwermetalle	gering	gering	mittel	nicht abschließend zu beurteilen
PAK	gering	gering	hoch (Westen)	wahrscheinlich
			mittel (Osten)	nicht abschließend zu beurteilen
MKW	gering	gering	niedrig	nicht wahrscheinlich

Diese Einstufungen werden durch die Grundwasseranalysen größtenteils Teil bestätigt (Tab. 9).

In der anstromigen Grundwassermessstelle GWM 3 liegen die Arsen- und Schwermetallkonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenzen bzw. deutlich unterhalb der Prüfwerte der BBodSchV. In den Grundwassermessstellen GWM 1 und GWM 6 ist bei diesen Parametern gegenüber dem Anstrom ein Anstieg der Konzentrationen zu verzeichnen. Eine Prüfwertüberschreitung liegt lediglich für den Parameter Blei in der Grundwassermessstelle GWM 1 in einer Messung (August 2014) vor<sup>3</sup>. Die Wahrscheinlichkeit einer Prüfwertüberschreitung kann daher nicht abschließend abgeschätzt werden.

<sup>3</sup> Die nicht repräsentativen Daten der Grundwassermessstelle GWM 1 aus dem April 2014 werden bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt (siehe Kap. 4.3).

Tab. 9: Beurteilung der Grundwassergefährdung auf Grundlage von Grundwasseruntersuchungen im An- und Abstrom des Standortes (Schadstoffe in der ungesättigten Zone)

Stoffe	Prüfwertüberschreitung		Anstieg zwischen An- und Abstrom	Grundwassergefährdung
	Anstrom (GWM 3)	Abstrom (GWM 1 und GWM 5)		
Arsen + Schwermetalle	nein	nein*	ja	nicht abschließend zu beurteilen
PAK	zum Teil	zum Teil	ja	nicht abschließend zu beurteilen
MKW	nein	nein	nein	nicht wahrscheinlich

\* mit Ausnahme eines Messwertes für Blei in GWM 1

Dasselbe gilt für die Schadstoffgruppe der PAK. Der Prüfwert für die PAK<sub>2-16</sub> wird teilweise sowohl im An- als auch im Abstrom überschritten. Gleichzeitig ist im Mittel ein Anstieg zwischen An- und Abstrom zu verzeichnen.

Bei den MKW liegen die Konzentrationen im An- und Abstrom der unterhalb der Nachweisgrenze. Eine Prüfwertüberschreitung ist daher nicht anzunehmen.

### 5.3.2 Organische Schadstoffe im Grundwasserschwankungsbereich

Bei der organoleptischen Ansprache der hoch belasteten Bodenproben wurden keine organischen Phasen angetroffen. Aufgrund der zum Teil sehr stark erhöhten PAK-Gehalte wird das Schadstoffpotential der PAK als hoch eingeschätzt. In den hoch belasteten Bodenproben sind sowohl die nieder- als auch die höhermolekularen PAK in deutlich erhöhten Gehalten vertreten. Bei den ersteren ist von einer mittleren und bei den letzteren von einer geringen Mobilität auszugehen. In beiden Fällen wird auf Grundlage der Bodenuntersuchungen von einer Überschreitung der Prüfwerte im Kontaktgrundwasser ausgegangen.

Diese Annahme wird durch die Grundwasseranalysen bestätigt. Zwischen dem Anstrom (GWM 3) und den im Abstrom liegenden Grundwassermessstellen GWM 6 und GWM 7 ist ein deutlicher Anstieg der PAK-Konzentrationen zu verzeichnen. Der Prüfwert für PAK<sub>2-16</sub> wird in den Grundwassermessstellen GWM 6 und GWM 7 deutlich überschritten. In der Grundwassermessstelle GWM 6 liegt eine Prüfwertüberschreitung für den Parameter Naphthalin vor.

Tab. 10: Beurteilung der Grundwassergefährdung auf Grundlage von Grundwasseruntersuchungen im An- und Abstrom des Standortes (Schadstoffe in der gesättigten Zone)

Stoffe	Prüfwertüberschreitung		Anstieg zwischen An- und Abstrom	Grundwassergefährdung
	Anstrom (GWM 3)	Abstrom (GWM 6 und GWM 7)		
Naphthalin	nein	zum Teil (GWM 7)	ja	wahrscheinlich
PAK <sub>2-16</sub>	zum Teil	ja	ja	wahrscheinlich

## 5.4 Wirkungspfad Boden- Grundwasser-Oberflächengewässer

Der Standort grenzt im Westen an den Gleisbach. Die mit dem Grundwasser ausgetragenen Schadstoffe werden unmittelbar nach der Elution oder nach einer Transportstrecke innerhalb des Grundwassers von wenigen 10er Metern in den Vorfluter eingetragen. Die mit dem Sickerwasser aus der ungesättigten Zone eluierten Schadstoffe werden indirekt über das Grundwasser in den Vorfluter transportiert. Der Eintrag von Schadstoffen in das Oberflächengewässer findet in gelöster Form statt. Die Schadstoffkonzentrationen am Ort der Beurteilung (Übergang vom Gewässerbett in das Oberflächengewässer) werden nach ihrer Größenordnung denen der Abstrommessstellen entsprechen.

## 6 Schussfolgerungen und Maßnahmenempfehlung

Auf dem untersuchten Standort wurde der Verdacht einer schädlichen Bodenverunreinigung durch die weiterführende orientierende Untersuchung bestätigt. Hinsichtlich der Gefährdung des Grundwassers und der erforderlichen weiteren Maßnahmen können drei Teilbereiche unterschieden werden.

Im südlichen Bereich der Altablagerung wurde im vermuteten Abstrom (GWM 4) kein Grundwasser angetroffen. Das Sickerwasser wird hier vermutlich der Oberfläche des Geschiebemergels bzw. der bindigen Schichten folgend in nördliche Richtungen in das dortige Grundwasservorkommen geleitet.

Im zentralen Bereich wurden die aufgrund früherer Untersuchungen vorliegenden Erkenntnisse über die dort in der ungesättigten Zone vorliegenden Boden und Grundwasserbelastungen mit PAK und mit Schwermetallen größtenteils bestätigt. Mit Hilfe der verbal-argumentativen Sickerwasserprognose und unter Berücksichtigung der Grundwasseranalysen kann weiterhin keine abschließende Abschätzung der Grundwassergefährdung erfolgen. Die hier angetroffenen Grundwasserbelastungen werden auch unter Berücksichtigung der Hintergrundbelastungen des Grundwassers mit PAK im Westen des Standortes insgesamt als geringfügig erhöht eingeschätzt. Es wird empfohlen, die zukünftige Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen in den vorhandenen Grundwassermessstellen zu überwachen. Im Vorfeld sollte die nicht mehr vorhandene Grundwassermessstelle GWM 2 neu errichtet werden.

Im nördlichen Bereich liegt eine erhebliche Bodenverunreinigung mit PAK innerhalb des Grundwasserschwankungsbereiches bzw. im Grundwasser vor. Für diesen Teilbereich ist die Anordnung weiterführender Untersuchungen für den Gefährdungspfad Boden-Grundwasser (Detailuntersuchung nach § 9 Abs. 2 BBodSchG) erforderlich. Im Zuge dieser Untersuchungen kann auch der Gefährdungspfad Bodenluft-Mensch mit Hilfe von Bodenluftuntersuchungen auf LCKW und BTEX überprüft werden.

Der nordöstliche Bereich des Standortes (nordöstlich von RKS 5 und RKS 9) ist bislang nicht hinreichend erkundet. Da auch in dieser Fläche eine Bebauung vorgesehen ist, wird deren Erkundung mit Hilfe von 3 Rammkernsondierungen empfohlen.

Kiel, den 26.09.2014

ECOS Umwelt Nord GmbH

Dr. S. Kreutzer