

Bericht

zur Ermittlung der mineralölhaltigen Restbelastungen von
zementführenden Tankbeschichtungen im Tanklager Farge,
Betonstraße 99 in 28777 Bremen-Farge

Auftraggeber : Bundesamt für Infrastruktur
-Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr-
Hans-Böckler-Allee 16
30173 Hannover

Ansprechpartner : [REDACTED]

Auftrag erteilt : 02.09.2016
09.05.2018



durchgeführt von : DEKRA Automobil GmbH
- Fachbereich Industrie, Bau und Immobilien -
Essener Bogen 10
22419 Hamburg
Tel.: 040-236 03-834

Sachverständiger : [REDACTED]

Berichts-Nr. : 55.100.1020-2.1

Berichtsdatum : 02.11.2018

INHALTSVERZEICHNIS

<u>Kapitel</u>	<u>Seite</u>
1 Einleitung und Aufgabenstellung	3
2 Objektbeschreibung	3
3 Durchgeführte Arbeiten	4
4 Ergebnisse	6
4.1 Ergebnisse der laborchemischen Analytik	6
4.2 Ergebnisse der Schichtdickenbestimmung	11
4.3 Quantitative Ermittlung des Stoffbestands der Zementbeaufschlagungen	12
4.4 UEG-Berechnungen bei maximalem Ausgasungsverhalten	13
5 Zusammenfassung der Ergebnisse / Empfehlungen und Maßnahmen	14
6 Schlussbemerkung.....	15

ABBILDUNGEN

ohne

ANLAGENVERZEICHNIS

ohne

VERZEICHNIS GEBRÄUCHLICHER ABKÜRZUNGEN

AG	= Auftraggeber	n.n	= nicht nachgewiesen
BTEX	= Aromatische Kohlenwasserstoffe (Summe: Benzol, Toluol, Ethylbenzol, m-/o-/p-Xylol)	ppm	= parts per million
DK	= Diesekraftstoff	SVK	= Super Vergaserkraftstoff
Jet A1 / F34	= Kerosine	TS	= Trockensubstanz
MKW	= Mineralölkohlenwasserstoffe	UEG	= Untere Explosionsgrenze
		VK	= Vergaserkraftstoff

1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

- Veranlassung:** Die Bundeswehr ist Eigentümerin des unterirdischen Tanklagers Farge mit einem Fassungsvermögen von 312.000 m³ in Bremen-Farge und plant dessen Stilllegung.
- Aufgabenstellung und Untersuchungsumfang:** Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zur Ermittlung der Standortsicherheit der Gesamtanlage ist mittels der Durchführung von repräsentativen Materialprobeentnahmen und nachgeschalteter laborinstrumenteller Analytik und Bestimmung der Schichtdicken der Innenbeschichtungen der Belastungsgrad der Zementbeaufschlagungen durch die eingebrachten Lagermedien sowie dessen Wassergehalt zu bestimmen.
- Des Weiteren sollen auf Basis der Ergebnisse der Materialuntersuchungen (s.o.) Aussagen bzgl. der Atmosphärenentwicklung auf das mögliche Erreichen der Explosionsgrenze (hier: UEG) innerhalb der untersuchten Tankanlagen getroffen werden.
- Die Ergebnisse der vorliegenden Materialuntersuchungen stehen im Zusammenhang mit einem Überwachungsprogramm zur Ermittlung des Langzeitverhaltens der Gaskonzentrationen in den gegenständlichen Tankbehältern.
- Die Ergebnisse der Materialuntersuchungen und daraus abgeleiteten Berechnungen zur quantitativen Erfassung der Restmengenbelastungen durch die eingebrachten Lagermedien sowie der Gesamtkonzentrationsberechnung bei einer vollständigem Freisetzung sind im vorliegenden Bericht dargelegt.
- Begrenzungen / Ausschlüsse / Sonderabreden:** Entfällt.
- Verwendete Unterlagen:** [U1] IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung: GESTIS-Stoffdatenbank. <https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-stoffdatenbank/index.jsp>.

2 OBJEKTBE SCHREIBUNG

- Allgemeines:** Das Tanklager Bremen-Farge mit seinen peripheren Anlagenteilen wurde in den Jahren 1936 bis 1941 erbaut und besteht aus 16 Behälterblöcken mit insgesamt 78 genieteten zylindrischen Stahltanks. Die einwandigen, in einem etwa 1 m mächtigen Betonmantel eingebetteten Stahltanks weisen eine Länge von 50 m mit einem Durchmesser von 10 m auf. Die Wandstärke der jeweiligen Stahltanks beträgt 1 cm. Das Fassungsvermögen der einzelnen Tankbehälter ist mit circa 4.000 m³ bemessen.
- In den Tankbehältern wurden die Lagermedien Vergaserkraftstoff, Dieselmkraftstoff, Jet A1 und F 34 gelagert.
- Zum Schutz vor Korrosion erhielten die Tankbehälter eine Innenbeschichtung aus einer aufgeschichteten Zementschlämme bis etwa 6,0 m lichte Höhe. Im Bereich der Tanksohlen wurde die Zementbeschichtung im Rahmen von Reinigungsmaßnahmen vollständig entfernt. Zudem weisen alle untersuchten Tankbehälter Fehlstellen in der Zementbeschichtung auf. Der Flächenanteil der beobachteten Fehlstellen ist mit etwa 20 % abzuschätzen. Die Stärke der an den Tankinnenwänden aufgetragenen Zementinnenbeschichtungen beträgt nach vorliegenden Untersuchungen in der Regel < 5 mm.

Fotodokumentation:



Tankinnenansicht.



Zementbeschichtung auf Tankinnenwand bis etwa 6,0 m lichter Höhe.



Entfernte Zementbeschichtung im Niveau der Tanksohle (ca. 2,5 lfm).



Zementbeschichtung (hellbraun) mit Fehlstellen (dunkelbraun).



Zementbeschichtung (oliv) mit Fehlstellen (grau).



Zementbeschichtung (oliv) mit Fehlstellen (grau).

3 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Datum der Ortsbegehung(en):	Die erforderlichen Vorort-Tätigkeiten wurden im Zeitraum zwischen dem 17.08.2016 und 23.02.2017 durchgeführt.
Objektbezogene Einschränkungen:	Entfällt.
Probenahmebedingungen:	Vor der Aufnahme der Probenahmen wurden die Tankbehälter mit Außenfrischluft bewettert. Die Tankbehälter waren zuvor gereinigt.
Auswahl der Tankbehälter:	Die Auswahl der zu untersuchenden Tankbehälter erfolgte durch DEKRA ohne Einflussnahme durch den Auftraggeber. Die Anzahl von 16 der 78 Tankbehälter, welche mit unterschiedlichen Kraftstoffarten gefüllt waren, wurde durch DEKRA als repräsentativ für eine gutachterliche Auswertung zur Beantwortung der o.g. Fragestellung angesehen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Tankbehälter für Materialprobenahme/Schichtdickenbestimmung/Gasmonitoring				
Behälterblock	Behälternummer	Letzte Belegung	Reinigung	Probenahme
1	2	SVK	08/2013	17.08.2016
	3	SVK	08/2013	10.02.2017
2	8	SVK	09/2013	31.08.2016
	9	SVK	09/2013	16.02.2017
3	15	Jet A1	03/20012	14.09.2016
6	30	Jet A1	10/2015	30.09.2016
7	33	Jet A1	04/2015	14.10.2016
8	40	Jet A1	09/2013	28.10.2016
9	41	Jet A1	12/2015	14.11.2016
10	47	Jet A1	01/2016	05.12.2016
11	52	DK	08/2014	19.12.2016
	54	DK	08/2014	06.01.2017
	55	DK	08/2014	23.02.2017
14	69	DK	10/2013	21.02.2017
	70	DK	10/2013	20.01.2017
16	78	F-34	10/2013	03.02.2017

SVK = Vergaserkraftstoff Super, DK = Dieselmkraftstoff, Jet A1, F-34 = Kerosin

Umfang der Probenahmen:

Zwecks der Ermittlung des Belastungsgrads der Zementbeschichtungen wurden aus jedem Tankbehälter im Abstand von 5 m aus dem Wandungsbereich jeweils 4 repräsentative Materialproben entnommen, so dass zum Abschluss der Probenahme insgesamt 40 Materialproben je Tankbehälter zur nachgeschalteten laborchemischen Analytik vorlagen.

Als Probenahmebehälter dienten jeweils 250 ml-Weithalsgläser (Braunglas). Um ein Ausgasen von leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffbestandteilen aus dem gewonnenen Probenmaterial zu unterbinden wurden die verwendeten Probenahmegefäße im Verschlussbereich mit Alufolie ausgekleidet.

Als Probenahmewerkzeuge wurden Hammer und Meißel verwendet. Zur Aufnahme der Probenmaterialien kamen entsprechende Kehrbleche und Besen zur Anwendung.



Schematische Darstellung der Probenahmebereiche (rot). Durchführung der Probenahmen.

Probenahme und Analysen:

Im Labor wurden folgende Analysen durchgeführt:

Parameter	Prüfvorschriften	Bestimmungsgrenze
Trockenrückstand (TS)	DIN EN 14346 (Verf A)	0,1 %
Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (MKW)	DIN EN ISO 16703	100 mg/kg TS
Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)	DIN 38407-9	0,05 mg/kg TS

Analyselabor:

DEKRA Automobil GmbH
Labor für Umwelt- und Produktanalytik
Köthener Straße 33
06118 Halle

Akkreditiertes AnalySELabor D-PL-11060-03-00 in Stuttgart und Halle

Schichtdickenbestimmung:

Die Schichtdickenbestimmung der auf den Tankbehälter aufgetragenen Zementbeschichtungen erfolgte mittels eines Ultraschall-Wanddickenmessgeräts der Firma Elcometer, Typ 456 und integrierter Messwertspeicher mit separater Sonde für Eisen/Spachtelmassen (Typ: Elcometer 456 C Sonde). Die Messungenauigkeit beträgt nach Herstellerangaben 1 %.

Insgesamt wurden je Tankbehälter 200 Stück Schichtdickeneinzelbestimmungen durchgeführt.



Schichtdickenbestimmung.



Messgerät zur Schichtdickenbestimmung.

4 ERGEBNISSE

4.1 Ergebnisse der laborchemischen Analytik

Ergebnisbeschreibung:

In den nachfolgenden Tabellen sind die laborchemischen Ergebnisse der Materialuntersuchungen zusammenfassend dargestellt. Die Prüfberichte können auf Wunsch zur Verfügung gestellt werden.

Aus den vorliegenden laborchemischen Untersuchungen ergaben sich für die jeweiligen letztmaligen Tankmedien Konzentration an MKW und BTEX wie folgt:

- **Jet A1 und F-34:** MKW: 3.300 – 44.000 mg/kg
BTEX: 0,40 – 21,2 mg/kg TS
- **VK:** MKW: 430 – 21.000 mg/kg
BTEX: 3,60 - 729 mg/kg TS
- **DK:** MKW: 1.200 – 53.000 mg/kg
BTEX: 0,12 – 545 mg/kg TS

**Chemischer
Stoffbestand:**

Tabelle 2: Ergebnisse des laborchemischen Stoffbestands											
Tank 15 (JET A1)			Tank 30 (JET A1)			Tank 33 (JET A1)			Tank 40 (JET A1)		
TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]	TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]	TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]	TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]
87,5	19.000	0,90	82,2	17.000	4,60	84,9	36.000	2,55	86,7	7.200	15,6
84,7	16.000	1,10	82,2	15.000	5,85	86,0	37.000	2,75	8,07	6.900	15,5
84,6	19.000	1,30	82,6	19.000	4,77	86,6	40.000	1,93	86,9	3.500	13,7
85,2	23.000	1,73	82,9	17.000	6,45	86,1	36.000	1,98	87,1	3.300	12,4
85,7	8.600	1,55	83,0	18.000	4,47	84,7	40.000	5,57	87,5	7.000	14,5
85,7	17.000	0,98	82,9	17.000	4,38	84,3	30.000	4,95	87,1	7.400	13,5
85,0	20.000	0,90	84,0	14.000	7,23	83,7	32.000	3,41	86,9	3.700	12,0
85,5	13.000	1,62	83,0	19.000	8,32	85,2	36.000	3,01	86,4	3.300	12,4
86,3	19.000	1,12	82,5	19.000	8,91	84,7	44.000	3,78	86,1	7.100	21,2
85,2	16.000	1,02	82,7	17.000	7,99	85,3	38.000	3,61	85,4	4.900	19,2
85,3	12.000	1,69	84,2	13.000	7,61	85,8	17.000	3,20	86,3	5.100	15,7
85,9	11.000	1,70	83,0	21.000	6,65	85,6	18.000	3,30	86,1	4.500	17,1
85,5	16.000	0,98	82,6	17.000	2,63	86,4	24.000	2,02	86,5	6.300	17,8
84,1	20.000	0,95	83,0	15.000	3,00	85,5	22.000	1,94	85,6	6.500	15,5
85,1	16.000	1,40	83,4	14.000	2,31	85,7	22.000	2,90	86,1	5.000	11,8
84,7	16.000	1,57	83,0	17.000	0,82	86,4	24.000	1,98	85,8	4.900	12,7
84,8	24.000	0,93	82,6	19.000	3,52	86,0	25.000	1,85	86,4	6.300	17,8
84,9	19.000	1,68	82,8	14.000	3,38	85,9	22.000	1,92	87,3	7.200	12,9
85,2	13.000	1,35	83,1	14.000	1,72	85,9	24.000	1,65	86,8	4.600	8,92
85,1	17.000	0,90	82,5	16.000	1,93	85,7	24.000	1,59	86,4	5.000	8,85
84,5	8.600	1,24	82,8	16.000	6,44	86,2	24.000	1,60	86,8	4.900	9,77
84,5	14.000	1,15	83,1	16.000	3,05	86,6	21.000	1,49	86,8	5.900	10,8
85,3	11.000	1,11	83,9	12.000	3,53	86,2	20.000	1,56	87,1	6.900	7,97
84,9	8.600	1,15	84,6	15.000	2,41	86,9	21.000	1,58	87,5	6.800	7,17
84,0	16.000	1,36	84,2	13.000	3,34	86,9	22.000	2,21	87,2	8.800	11,8
83,6	18.000	1,39	84,1	12.000	3,26	86,7	24.000	2,45	86,9	6.700	13,5
83,3	14.000	1,38	82,8	14.000	4,02	86,9	24.000	1,49	86,8	7.400	7,48
83,3	20.000	1,05	83,7	17.000	3,73	86,3	22.000	1,54	87,4	7.200	6,41
82,9	12.000	1,63	83,9	20.000	2,45	86,6	23.000	2,20	87,1	8.900	15,6
84,9	18.000	1,77	84,3	15.000	2,34	86,5	20.000	2,26	87,6	8.400	8,22
86,1	19.000	1,16	82,2	13.000	3,93	85,2	26.000	1,49	87,3	7.600	7,72
83,9	14.000	0,93	82,4	11.000	3,37	85,4	26.000	1,62	88,1	7.200	8,69
83,8	21.000	1,02	82,47	14.000	2,15	85,4	29.000	1,36	86,4	8.800	9,75
83,8	20.000	1,39	83,2	7.000	2,16	85,1	33.000	1,35	86,4	8.400	8,03
83,8	19.000	0,94	82,9	16.000	2,95	86,6	22.000	1,65	88,7	8.000	9,33
84,8	20.000	1,08	83,7	12.000	2,81	85,7	24.000	1,70	87,9	7.100	8,36
83,5	21.000	1,19	84,0	13.000	2,27	90,6	24.000	1,29	88,1	8.200	9,80
84,3	23.000	1,11	83,3	17.000	2,43	89,4	25.000	1,23	88,6	8.100	12,0
83,9	21.000	1,02	83,6	18.000	3,74	86,9	21.000	1,63	88,4	8.000	10,9
84,5	16.000	1,23	84,0	17.000	5,13	87,9	24.000	2,15	88,5	10.000	10,2
Ø 84,7	Ø 16.720	Ø 1,24	Ø 83,2	Ø 15.500	Ø 4,05	Ø 86,1	Ø 26.650	Ø 2,24	Ø 87,0	Ø 6.575	Ø 12,1

**Chemischer
Stoffbestand:**

Tabelle 2: Ergebnisse des laborchemischen Stoffbestands											
Tank 41 (JET A1)			Tank 47 (JET A1)			Tank 52 (JET A1)			Tank 78 (F-34)		
TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]	TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]	TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]	TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]
85,0	9.000	4,81	86,9	26.000	3,43	84,8	29.000	0,47	85,6	23.000	9,50
85,1	9.600	5,06	85,3	17.000	11,9	85,3	28.000	0,60	85,4	22.000	10,0
86,3	8.400	2,47	87,1	20.000	4,40	86,4	17.000	0,43	85,3	24.000	4,13
86,3	9.100	2,16	85,8	29.000	5,10	86,0	17.000	0,45	85,2	24.000	3,96
91,3	12.000	0,43	87,4	15.000	7,4	85,6	31.000	0,22	85,5	27.000	4,64
91,1	14.000	0,40	86,8	11.000	16,9	85,7	31.000	0,28	85,4	25.000	5,14
85,3	11.000	9,85	87,8	14.000	6,80	85,3	18.000	1,10	86,1	25.000	2,90
85,6	9.300	10,2	86,2	11.000	18,1	84,6	17.000	1,10	85,6	26.000	4,51
91,2	12.000	0,75	88,1	25.000	3,74	84,5	27.000	0,27	85,6	23.000	4,15
92,0	14.000	0,54	89,3	24.000	3,47	83,0	28.000	0,28	85,6	22.000	4,28
88,6	9.300	3,30	86,8	12.000	13,3	85,0	21.000	0,36	85,8	24.000	5,33
88,5	11.000	1,88	86,1	12.000	10,9	84,8	22.000	0,37	86,1	27.000	3,75
94,5	14.000	0,19	89,5	27.000	2,54	83,4	27.000	0,66	85,2	24.000	2,61
94,7	13.000	0,20	87,4	28.000	3,10	83,9	38.000	0,30	84,4	26.000	3,27
86,1	91.000	2,05	86,8	28.000	3,78	84,2	19.000	0,50	85,5	27.000	4,28
87,0	11.000	2,60	86,7	26.000	3,62	84,1	18.000	0,47	85,9	27.000	4,45
90,5	14.000	0,46	86,7	22.000	4,56	83,9	17.000	0,22	85,5	22.000	6,55
89,2	14.000	0,77	87,5	25.000	3,41	84,1	18.000	0,23	85,5	23.000	4,98
92,8	16.000	0,76	89,0	25.000	3,19	84,7	13.000	0,94	85,7	21.000	2,66
92,3	15.000	0,92	88,8	23.000	3,43	83,9	14.000	0,74	85,5	24.000	3,06
91,4	15.000	0,86	87,0	29.000	2,51	83,6	21.000	0,23	85,1	24.000	6,41
90,9	15.000	1,01	87,6	30.000	2,47	84,6	28.000	0,18	85,0	22.000	6,83
89,7	19.000	0,96	87,3	18.000	6,31	84,8	16.000	0,64	85,3	27.000	4,55
90,4	17.000	1,12	87,4	23.000	5,66	84,9	15.000	0,83	85,0	31.000	4,20
93,2	16.000	0,73	87,0	17.000	5,10	85,3	26.000	0,60	85,8	25.000	6,66
94,5	15.000	0,67	88,1	17.000	4,56	85,1	26.000	0,71	85,5	25.000	8,45
93,0	17.000	0,64	86,8	29.000	3,09	85,6	28.000	0,26	85,0	33.000	50,2
93,2	17.000	0,63	86,9	28.000	2,67	84,3	28.000	0,26	84,9	32.000	4,26
89,7	22.000	0,69	86,9	18.000	5,62	85,7	23.000	0,78	85,2	33.000	3,34
90,7	22.000	0,67	86,8	18.000	5,30	86,2	24.000	1,00	85,0	35.000	3,70
88,2	20.000	1,29	87,9	20.000	3,83	84,6	26.000	0,43	85,69	30.000	3,89
88,9	16.000	2,35	87,2	19.000	3,59	86,3	22.000	0,54	85,1	32.000	3,89
91,2	14.000	1,67	87,2	20.000	3,64	85,4	27.000	0,29	86,0	21.000	6,43
91,6	13.000	1,14	86,2	23.000	4,99	84,9	27.000	0,31	85,7	20.000	6,55
91,2	14.000	0,91	85,6	26.000	4,05	85,1	26.000	0,20	84,0	30.000	15,2
90,3	17.000	0,95	87,4	27.000	3,23	86,0	25.000	0,21	84,3	30.000	13,9
88,2	18.000	4,82	85,9	31.000	3,59	84,0	31.000	0,21	86,0	26.000	4,47
89,1	15.000	3,79	86,8	21.000	5,62	83,9	23.000	0,18	86,1	25.000	4,70
90,5	13.000	1,62	86,3	17.000	5,41	85,8	21.000	0,32	84,8	32.000	8,20
90,5	14.000	1,72	87,4	31.000	3,41	85,1	23.000	0,31	85,0	35.000	4,00
Ø 90,0	Ø 16.143	Ø 1,95	Ø 87,1	Ø 22.050	Ø 5,44	Ø 84,9	Ø 23.400	Ø 0,46	Ø 85,4	Ø 26.350	Ø 6,60

**Chemischer
Stoffbestand:**

Tabelle 2: Ergebnisse des laborchemischen Stoffbestands											
Tank 2 (VK Super)			Tank 3 (VK Super)			Tank 8 (VK Super)			Tank 9 (VK Super)		
TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]	TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]	TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]	TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]
84,2	980	69,6	86,7	12.000	8,24	83,5	2.100	82,7	89,8	1.100	251
84,6	960	84,9	86,9	11.000	9,76	80,8	2.400	67,2	90,3	1.200	381
85,9	1.100	77,1	87,1	11.000	10,2	85,9	1.400	67,7	86,4	1.600	406
86,0	1.200	64,9	85,9	12.000	8,86	81,6	1.600	43,1	86,7	1.600	409
84,3	1.300	75,5	86,5	13.000	6,17	83,2	1.100	76,4	89,1	1.500	393
89,4	1.000	57,1	86,3	14.000	5,55	84	1.900	70,0	89,0	1.300	382
87,8	940	70,2	90,0	12.000	4,04	81,1	1.400	78,6	89,7	800	337
85,8	1.200	64,6	89,4	13.000	3,60	83,8	1.100	71,1	89,2	1.200	345
89,6	910	66,5	86,6	15.000	8,95	81,6	1.300	89,1	90,5	1.100	361
89,0	820	63,6	86,7	14.000	7,65	79,7	1.500	102	89,0	1.500	244
84,2	1.800	80,6	86,6	13.000	6,76	83,5	2.000	71,6	88,1	1.400	416
84,4	970	80,7	86,5	14.000	4,85	83,1	1.100	81,2	89,3	1.300	393
86,9	890	65,3	86,4	14.000	5,18	83,5	1.300	38,2	89,6	2.200	138
85,5	870	63,8	86,3	18.000	5,66	79,2	1.100	76,8	93,2	1.700	333
84,8	1.300	81,0	86,2	16.000	5,27	82,2	1.500	34,7	84,1	1.500	256
88,7	800	65,7	85,8	21.000	5,2	82,1	1.300	44,3	90,0	1.500	195
85,5	720	69,1	86,2	13.000	11,7	83,2	1.200	41,9	90,5	1.200	323
84,5	710	76,1	86,3	13.000	8,8	79,7	1.200	43,2	89,5	1.400	306
85,8	570	44,6	86,7	12.000	7,63	85,6	1.900	37,8	88,4	1.200	364
86,0	430	46,9	86,3	13.000	5,65	84,2	1.600	19,9	88,0	1.100	257
84,7	640	65,6	86,9	14.000	5,31	82,9	1.200	27,1	91,2	1.000	262
91,4	700	63,9	86,5	14.000	4,46	82,8	700	20,4	91,4	1.100	222
88,2	680	66,0	86,7	15.000	4,51	83,1	550	37,8	90,0	1.300	322
89,1	490	55,5	86,7	14.000	4,95	83,5	970	38,1	88,0	1.600	346
92,2	590	26,5	86,6	17.000	5,99	82,4	810	41,0	89,3	1.500	331
89,4	950	64,1	86,0	19.000	4,83	84,4	910	36,8	89,4	2.600	299
87,9	590	63,0	86,2	17.000	6,46	82,2	720	37,4	89,4	2.200	290
84,4	640	43,0	87,1	18.000	4,02	84,9	870	33,1	90,5	1.100	258
89,6	840	52,2	87,0	13.000	7,26	86,0	1.100	40,7	92,1	940	245
86,9	670	55,5	87,9	12.000	6,65	85,0	1.200	38,7	93,1	910	223
86,4	680	64,3	87,8	12.000	7,71	82,1	990	36,7	87,6	2.100	615
84,0	850	84,2	88,5	12.000	5,80	84,5	1.100	34,8	88,9	1.900	299
90,0	620	74,1	86,8	14.000	4,83	88,6	1.200	43,0	88,4	1.700	304
88,1	520	58,4	87,6	15.000	4,00	88,4	870	42,5	88,7	1.700	280
86,6	610	53,4	86	14.000	4,50	87,1	1.300	42,6	88,9	1.800	264
87,7	720	47,1	86,8	14.000	5,07	87,5	1.400	43,7	90,2	1.500	555
88,7	550	40,2	86,4	13.000	11,8	90,8	960	40,4	92,9	1.100	620
88,6	470	56,3	86,3	13.000	9,79	87,6	1.200	41,6	90,2	1.000	617
87,9	490	45,9	83,5	14.000	4,19	88,3	1.100	40,7	89,2	1.400	729
87,9	470	68,1	85,9	15.000	4,56	88,7	1300	42,7	88,7	1.300	690
Ø 87,1	Ø 806	Ø 62,9	Ø 86,7	Ø 14.075	Ø 6,41	Ø 84,1	Ø 1.261	Ø 49,9	Ø 89,5	Ø 1.429	Ø 357

**Chemischer
Stoffbestand:**

Tabelle 2: Ergebnisse des laborchemischen Stoffbestands

Tank 54 (DK)			Tank 55 (DK)			Tank 69 (DK)			Tank 70 (DK)		
TS [%]	MKW [mg/kg TS]	BTEX [mg/kg TS]									
87,2	28.000	0,13	88,5	1.200	545	84,6	37.000	6,34	88,0	34.000	3,00
86,5	31.000	0,24	88,0	1.300	351	85,2	40.000	5,54	87,6	30.000	4,04
87,9	29.000	0,40	87,7	1.400	212	86,4	44.000	5,78	86,6	26.000	3,14
86,8	33.000	0,23	90,0	1.400	204	85,6	35.000	4,79	86,7	25.000	3,51
86,9	37.000	0,34	88,7	1.800	318	89,7	34.000	4,5	87,0	22.000	4,51
88,4	30.000	0,38	88,4	1.500	364	85,0	42.000	4,65	87,0	19.000	3,94
86,0	42.000	0,37	88,9	1.600	535	85,0	40.000	4,17	85,8	19.000	4,38
86,3	43.000	0,40	87,2	1.800	261	86,4	35.000	4,94	86,2	20.000	3,50
86,7	25.000	0,95	87,7	2.300	354	85,2	41.000	4,94	85,6	21.000	3,33
88,4	25.000	0,81	89,2	2.800	340	84,9	36.000	5,19	85,8	29.000	3,82
86,2	29.000	0,53	88,0	1.700	267	85,6	39.000	7,29	88,9	42.000	0,86
86,3	32.000	0,67	87,4	2.100	357	85,8	37.000	5,01	88,2	37.000	1,71
86,8	34.000	0,38	88,9	1.900	252	84,9	35.000	4,98	86,9	43.000	1,52
88,1	36.000	0,31	87,9	2.200	383	85,1	36.000	4,29	86,7	33.000	5,75
86,8	33.000	0,61	89,6	2.000	321	85,3	39.000	4,70	85,9	33.000	3,51
86,9	32.000	0,70	89,9	1.800	414	86,0	45.000	5,8	86,6	29.000	2,30
86,6	30.000	0,32	88,7	2.200	261	84,8	38.000	6,07	86,8	26.000	4,10
85,7	21.000	0,43	88,0	2.200	406	85,2	36.000	6,9	85,9	29.000	6,57
89,2	33.000	0,13	87,5	2.300	279	85,9	43.000	4,79	86,8	34.000	1,28
88,0	35.000	0,21	86,8	2.200	329	86,7	38.000	5,29	87,5	32.000	1,92
87,1	34.000	0,22	87,3	2.000	123	85,4	42.000	4,85	86,7	27.000	6,15
88,4	36.000	0,38	87,1	2.600	279	85,7	40.000	5,60	88,2	53.000	0,53
88,6	42.000	0,16	88,4	2.100	193	86,4	36.000	5,34	88,9	43.000	0,71
86,6	41.000	0,21	86,6	2.800	228	86,8	34.000	5,62	87,2	34.000	2,35
88,3	24.000	0,62	88,4	2.300	227	86,1	42.000	6,57	87,3	41.000	1,84
86,7	28.000	0,71	87,0	2.500	156	86,1	45.000	5,12	87,9	30.000	2,35
87,6	34.000	0,22	89,2	1.800	158	86,7	42.000	7,86	8,08	44.000	1,31
89,4	38.000	0,14	87,6	2.900	353	86,1	41.000	5,63	86,7	40.000	2,63
86,6	38.000	0,64	86,6	3.100	292	86,5	43.000	5,10	87,2	40.000	2,62
86,8	34.000	0,72	87,2	3.100	137	86,3	43.000	4,43	88,5	40.000	1,74
88,3	41.000	0,31	89,9	2.200	299	86,5	45.000	5,83	88,6	36.000	2,17
88,5	33.000	0,33	89,1	2.300	23,7	86,6	52.000	6,10	88,9	37.000	3,15
86,3	39.000	0,34	86,3	2.300	159	86,1	49.000	5,69	87,7	34.000	2,31
87,2	44.000	0,18	87,1	2.300	56,8	86	42.000	5,29	88,3	41.000	1,16
87,8	42.000	0,18	87,0	2.900	291	86,8	45.000	6,33	87,9	35.000	2,44
88,0	42.000	0,19	87,1	2.300	211	87,5	50.000	5,26	87,1	42.000	1,59
86,4	47.000	0,12	88,4	2.600	162	86,5	47.000	6,25	86,1	33.000	2,24
86,5	45.000	0,33	86,7	2.400	113	86,6	46.000	6,42	86,5	42.000	1,10
88,0	43.000	0,12	86,2	2.300	174	87,8	55.000	4,99	86,5	40.000	0,96
89,3	43.000	0,14	85,2	2.200	205	87,3	55.000	5,13	86,5	40.000	0,97
Ø 87,4	Ø 35.150	Ø 0,17	Ø 87,9	Ø 2.168	Ø 265	Ø 86,1	Ø 41.600	Ø 5,48	Ø 87,2	Ø 33.875	Ø 2,67

Bestimmung des Wassergehaltes:

Aus der Differenz des bestimmten Trockensubstanzanteils zu 100 % ergibt aus dem untersuchten Feststoffanteil (Trockensubstanz) überschlägig dessen Wassergehalt (siehe Tabelle 3). Dieser beträgt für die Zementbeschichtungen der gegenständlichen Tankbehältern einen durchschnittlichen Wasseranteil zwischen 10,0 bis 17,8 %.

Tabelle 3: Ermittlung des Wasseranteils in den Zementbeaufschlagungen			
Behälterblock	Behälternummer	Durchschnittlicher Anteil der Trockensubstanz [%]	Durchschnittlicher Wasseranteil [%]
1	2	87,1	12,9
	3	86,7	13,3
2	8	84,1	15,9
	9	89,5	10,5
3	15	84,7	15,3
6	30	83,2	17,8
7	33	86,1	13,9
8	40	87,0	13,0
9	41	90,0	10,0
10	47	87,1	12,9
11	52	84,9	15,1
	54	87,4	12,6
	55	87,9	12,1
14	69	86,1	13,9
	70	87,2	12,8
16	78	85,4	14,6

4.2 Ergebnisse der Schichtdickenbestimmung

Ergebnisbeschreibung: In den nachfolgenden Tabellen sind die durchschnittlichen Ergebnisse der Schichtdickenbestimmung der Zementbeschichtungen auf den Tankinnenwandungen zusammenfassend aufgeführt. Demnach ergeben sich durchschnittlich Schichtdicken zwischen 1,98 bis 4,38 mm.

Tabelle 4: Ergebnisse der Schichtdickenbestimmung		
Behälterblock	Behälternummer	Durchschnittliche Schichtdicke der Zementbeschichtung
1	2	3,82 mm
	3	2,10 mm
2	8	2,15 mm
	9	2,36 mm
3	15	3,54 mm
6	30	2,11 mm
7	33	1,45 mm
8	40	1,98 mm
9	41	4,33 mm
10	47	4,38 mm
11	52	2,97 mm
	54	2,45 mm
	55	2,76 mm
14	69	2,32 mm
	70	3,15 mm
16	78	3,96 mm

4.3 Quantitative Ermittlung des Stoffbestands der Zementbeaufschlagungen

Allgemeines:

Die Ermittlung der Gesamtmengenermittlung (quantitative Ermittlung) in den gegenständlichen Zementbeschichtungen hinsichtlich vorhandener schadstoffgebundener Anteile durch Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX) sowie des Wasseranteils führen zu folgenden Ergebnissen ¹:

Hinsichtlich des Wasseranteils lassen sich für die untersuchten Tankbehälter Wassermengen zwischen 387 bis 1.100 Liter/Tank berechnen.

Für MKW ergeben sich Mengen zwischen 6,12 bis 241 Liter/Tank. Der Volumenanteil an BTEX ergibt Mengenanteile zwischen 0,003 bis 1,90 Liter/Tank.

Tabelle 5: Ergebnisse der Mengenermittlung des Stoffbestandes						
Tankbehälter	Medium	Schichtdicke	Zementschlämme	Wasser-Anteil	MKW-Anteil	BTEX-Anteil
		[mm]	[kg]	[Liter]	[Liter]	[Liter]
2	VK	3,82	7.334	946	6,95	0,54
3		2,10	4.032	536	66,8	0,03
8		2,15	4.128	656	6,12	0,24
9		2,36	4.531	476	7,62	1,90
15	Jet A1 / F-23	3,54	6.797	1.040	134	0,01
30		2,11	4.032	718	73,5	0,02
33		1,45	2.784	387	87,3	0,01
40		1,98	3.802	494	29,4	0,05
41		4,33	8.314	831	158	0,02
47		4,38	8.410	1.085	218	0,05
52		2,97	5.702	861	157	0,003
78		3,96	7.603	1.100	236	0,06
54	DK	2,45	4.704	593	195	0,001
55		2,76	5.299	641	13,5	1,65
69		2,32	4.454	619	218	0,03
70		3,15	6.048	774	241	0,02

¹ **Rahmenbedingungen:**

- Länge Tankbehälter: 50 m
- Höhe der Beaufschlagung: 2 x 6,00 m
- Fläche der Beaufschlagung: 600 m² (bei 100% Zementbeaufschlagung => worst-case Szenario !!!)

- Dichte Portlandzement: 3,1 t/m³
- Dichte Wasser: 1,0 kg/l
- Dichte MKW-Gemisch: 0,86 kg/l
- Dichte BTEX-Gemisch: 0,86 kg/l

4.4 UEG-Berechnungen bei maximalem Ausgasungsverhalten

Allgemeines:

Im Folgenden werden theoretische Berechnungen zum maximalen Ausgasungsverhalten der in den Zementbeaufschlagungen der Tankbehälter vorliegenden Restmengen der eingesetzten Lagermedien (hier: Summe MKW und BTEX) vorgelegt.

Die Berechnungen haben zum Ziel, Aussagen darüber zu erhalten, welche maximalen Konzentrationen in den Tankatmosphären der jeweilig untersuchten Tankbehälter bei vollständigem Ausgasungsverhalten der verbliebenen Restmengen der letztmalig eingesetzten Lagermedien erreicht werden können und, ob und inwieweit die UEG von 6.000 ppm² in den gegenständlichen Tankbehältern überschritten wird.

Bei den Berechnungen wird vorausgesetzt, dass die Tankbehälter bei einem Normaldruck von 1.013,25 hPa verschlossen sind. Auch wird bei den Berechnungen zu Grunde gelegt, dass eine 100%-Zementbeschichtung auf den Tankinnenwandungen ausgebildet ist.

Die Details der jeweiligen Berechnungen können auf Wunsch zur Verfügung gestellt werden.

Berechnungen VK-Tankbehälter:

Tabelle 6: Gesamtkonzentrationsberechnung bei vollständigem Ausgasungsverhalten				
Molare Masse:	95 g/mol			
Molvolumen:	22,41 m ³ /mol			
Umrechnungsfaktor ppm => mg/m ³ :	4,239			
Dichte:	0,86 g/m ³			
	Tank 2	Tank 3	Tank 8	Tank 9
Volumen im Material [Liter]:	7,49	66,8	6,36	9,52
errechnete Masse im Tank [kg/4000 m ³]:	6,44	57,5	5,47	8,19
errechnete Masse im m ³ [kg/m ³]:	0,0016	0,0144	0,00114	0,0020
errechnete Masse im m ³ in mg [mg/m ³]:	1,610	14.368	1.367	2.047
errechnete Gesamtkonzentration [ppm]:	380	3.389	323	483
Erforderliche Maximalvolumen (errechnet) von VK/Tank zur Erreichung der UEG von 6.000 ppm [U1]	118 Liter			

Berechnungen DK-Tankbehälter:

Molare Masse:	252,32 g/mol			
Molvolumen:	22,41 m ³ /mol			
Umrechnungsfaktor ppm => mg/m ³ :	11,26			
Dichte:	0,86 g/m ³			
	Tank 54	Tank 55	Tank 69	Tank 70
Volumen im Material [Liter]:	195	15,2	218	241
errechnete Masse im Tank [kg/4000 m ³]:	168	13,0	187	207
errechnete Masse im m ³ [kg/m ³]:	0,0419	0,0033	0,0469	0,0518
errechnete Masse im m ³ in mg [mg/m ³]:	41.925	3.268	46.870	51.815
errechnete Gesamtkonzentration [ppm]:	3.724	290	4.163	4.602
Erforderliche Maximalvolumen (errechnet) von DK/Tank zur Erreichung der UEG von 6.000 ppm [U1]	310 Liter			

² Anmerkungen: Es handelt sich um eine Worst Case-Betrachtung, bei welcher sämtliche Restmengen (MKW+BTEX Anteile) zur Ausgasung gelangen.

**Berechnungen
Kerosin (Jet A1, F-34)-
Tankbehälter:**

Molare Masse:	205 g/mol			
Molvolumen:	22,41 m ³ /mol			
Umrechnungsfaktor ppm => mg/m ³ :	9,1477			
Dichte:	0,84 g/m ³			
	Tank 15	Tank 30	Tank 33	Tank 40
Volumen im Material [Liter]:	134	73,5	87,3	29,5
errechnete Masse im Tank [kg/4000 m ³]:	113	61,8	73,3	24,7
errechnete Masse im m ³ [kg/m ³]:	0,0281	0,0154	0,0183	0,0062
errechnete Masse im m ³ in mg [mg/m ³]:	28.842	15.439	18.335	6.185
errechnete Gesamtkonzentration [ppm]:	3.076	1.688	2.004	676
	Tank 41	Tank 47	Tank 52	Tank 78
Volumen im Material [Liter]:	158	218	157	236
errechnete Masse im Tank [kg/4000 m ³]:	133	183	132	198
errechnete Masse im m ³ [kg/m ³]:	0,0332	0,0458	0,0330	0,0496
errechnete Masse im m ³ in mg [mg/m ³]:	33.184	45.791	32.971	49.573
errechnete Gesamtkonzentration [ppm]:	3.628	5.006	3.604	5.419
Erforderliche Maximalvolumen (errechnet) von Kerosin/Tank zur Erreichung der UEG von 6.000 ppm [U1	259 Liter			

Ergebnisbewertung:

Die Berechnungen zum maximalen Ausgasungsverhalten (Worst Case-Betrachtungen) der in den Zementbeschichtungen vorliegenden Restlagermengen (Stoffbestand: MKW und BTEX) haben zum Ergebnis, dass die UEG von 6.000 ppm in allen untersuchten Tankbehältern auch bei einem vollständigen Ausgasungsverhalten des Stoffbestandes deutlich unterschritten bleibt.

5 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE / EMPFEHLUNGEN UND MAßNAHMEN

**Zusammenfassung
der Ergebnisse:**

Die vorliegenden Untersuchungen zur quantitativen Bestimmung des Stoffbestands der durch Restlagermengen verunreinigten Zementinnenbeschichtungen an ausgewählten Tankbehältern (16 Stück) des Tanklagers Farge, Betonstraße 99 in 28777 Bremen-Farge haben zusammenfassend folgende Ergebnisse:

- Die auf den Tankinnenwänden aufgetragenen zementgebundenen Innenbeschichtungen sind trotz erfolgter Reinigungsmaßnahmen durch die Lagermedien (DK, VK, Kerosin) mit MKW und BTEX verunreinigt. Die Ergebnisse der laborchemischen Analytik lassen für die jeweilig untersuchten Tankbehälter durchschnittliche MKW Konzentrationen zwischen 806 bis 41.600 mg/kg TS und für BTEX 0,17 bis 357 mg/kg in den untersuchten Tankinnenbeschichtungen nachweisen.
- Die Stärke der an den Tankinnenwänden aufgetragenen Zementbeschichtungen beträgt nach vorliegenden Untersuchungen zwischen 1,98 bis 4,38 mm.
- Der Wasseranteil in den Innenwandbeschichtungen der Tankbehälter weist Mengen zwischen 387 bis 1.100 Liter/Tank auf.
- Die quantitative Mengenermittlung, der an der Innenwandbeschichtung vorliegenden Restmengen wurde für MKW mit 6,12 bis 241 Liter/Tank und für BTEX mit 0,001 bis 1,90 Liter/Tank berechnet.

- Die theoretischen Berechnungen zum maximalen Ausgasungsverhalten der Tankbehälter (Worst Case-Betrachtungen) führen zum Ergebnis, dass die in den Tankbehältern verbliebenen Restmengen der eingebrachten Lagermedien mengenmäßig nicht ausreichend sind, um eine explosionsfähige Tankatmosphäre der UEG von 6.000 ppm entwickeln zu können.

Vorschläge für weitere Maßnahmen: Aus sachverständiger Sicht sind auf der Grundlage des vorliegenden Kenntnisstands weitere Erkundungsmaßnahmen nicht abzuleiten.

6 SCHLUSSBEMERKUNG

Dieser Bericht wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt; er besteht aus 15 Seiten.

Hamburg, 02.11.2018

