



Thomas Egloffstein

icp@icp-ing.de
www.icp-ing.de

Quecksilberdampfemissionen aus abgelagerten quecksilberhaltigen Böden der Altlastensanierung
- Ein Erfahrungsbericht von der SAD Billigheim

Since 1991

Engineering for a Better Tomorrow

34. Karlsruher Deponie- und
Altlastenseminar

16. und 17. Oktober 2024

SAD Billigheim

Die Sonderabfalldeponie in Billigheim
Eigentümerin der Deponie ist die SAD
Sonderabfall-Deponiegesellschaft
Baden-Württemberg mbH mit Sitz in Malsch.

Betreiber der Deponie ist die HIM GmbH.
Deponiegröße in Zahlen

Grundflächen

Die gesamte Sonderabfall-Entsorgungs-
anlage Billigheim umfasst eine Gesamt-
fläche von ca. **10,8 ha**

Davon entfallen auf:

1. Deponieabschnitt ca. 2,1 ha
 2. Deponieabschnitt ca. 5,1 ha
- Gesamt ca. **7,2 ha**

Deponiekapazität

Gesamt ca. **930.000 m³** entspr. **1.190.000 t**

Ablagerungsphase seit 1984

Verfüllt voraussichtlich in 5 – 10 Jahren

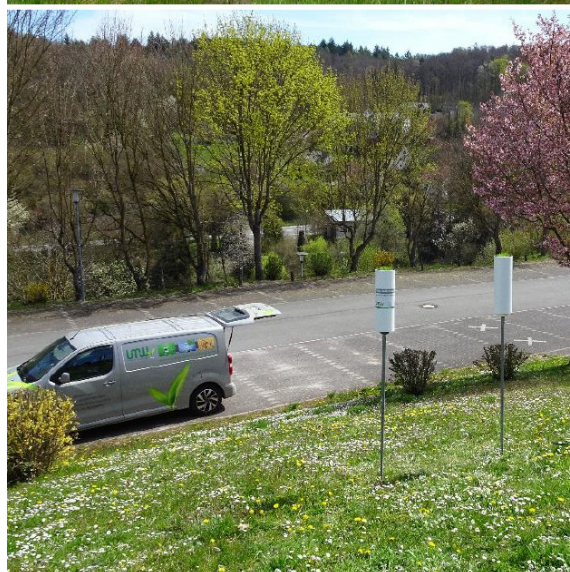
<https://sad-bw.de/deponie-billigheim>



Umgebungsüberwachung der Sonderabfalldeponie Billigheim mit pflanzlichen Bioindikatoren



Dr. Monica Wäber



Standardisierte Graskultur

Technische Durchführung und Beurteilungsgrundlagen nach Richtlinie VDI 3957 Blatt 2 [Foto: R. Kostka-Rick]

	Material Welsches Weidelgras (<i>Lolium multiflorum</i>) Sorte 'Gemini' Einheitserde Typ 0 (ungedüngt)+Weißtorf+CaCO₃; pH 6–7 Pflanztöpfe, handelsüblich Ø 14 cm; 2 Glasfasersaugdochtschlingen (Ø 5-6 mm x ca. 1200 mm); Expositionsgefäß aus Hart-PVC ca. 160 x 480 mm, weiß beschichtet, mit Überlaufbohrung und Gewindemuffe (3/4"); Standrohr aus Stahl (verzinkt), 3/4" x ca. 1500–1700 mm Anzucht im kalten Gewächshaus: von 1,0 g Saatgut/Topf; 1. Rückschnitt nach ca. 2 Wochen, 3 weitere Rückschnitte bis Expositionsbeginn (wöchentlich) auf 4 cm; 1 Woche vor Expositionsbeginn: Abhärten im Freiland (unter Regenschutz); Anzuchtdauer: 5 Wochen (Expositionsabschnitt 1: 6 Wo.) Düngung 1. zur Aussaat, 2. nach 2. Rückschnitt, 3. nach 4. Rückschnitt (=Expositionsbeginn), 4. nach 2 Wochen Expositionsdauer; jeweils 50 ml/Topf 5,8 g/L KH₂PO₄; 8,5 g/L KNO₃; 5,3 g/L NH₄NO₃ p.A.Qualität Exposition Dauer: 28 ±2 Tage; Expositionsbeginn: Ende April (KW17); 5 Expositionsabschnitte in Folge bis Mitte Sept. (KW37); Expositionshöhe: ca. 1,5 – 1,6 m über Grund
Probennahme vor Ort, in Papiertüten: Biomassezuwachs oberhalb 4 cm, ab Substratoberfläche, auf 5 Metalle und Fluorid: ungewaschene, bei 30°C getrocknete, gemahlene Proben, Mikrowellendruckaufschluss mit Säure, ICP-MS nach DIN EN ISO 17294-2 Analytik Messwerte <BG für Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (BG) wird der Zahlenwert 0,5x Bestimmungsgrenze eingesetzt Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH, VDI 3857 Blatt 2): 75. Perzentil + 1,5x IQR (Interquartilsabstand) aus mindestens 30 Einzelmesswerten bzw. 95. Perzentil aus mindestens 100 Einzelmesswerten, über mindestens 3 Untersuchungsjahre und 2 bzw. 3 Untersuchungsjahre; als immissionsbedingt zu betrachten sind Stoffgehalte, die abzüglich Standardunsicherheit <i>u</i> oberhalb OmH liegen, oder – falls <i>u</i> nicht bekannt ist – ≥1,5x OmH liegen. Beurteilung Stoffgehalte in den standardisierten Graskulturen werden anhand von OmH sowie Höchstgehalten für Futter- und Lebensmittel bzw. Richtwerten für die Maximale Immissionsdosis (Richtlinienreihe VDI 2310) beurteilt.	

Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Quecksilber, Antimon

Standardisierte Grünkohl-Exposition

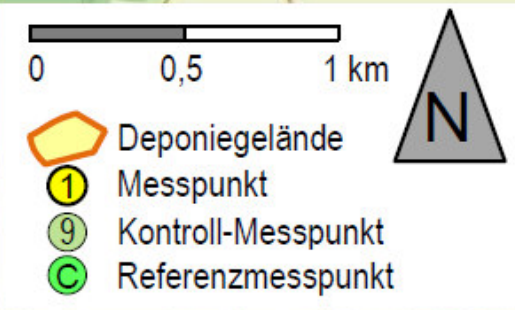
Technische Durchführung und Beurteilungsgrundlagen nach Richtlinie VDI 3957 Blatt 3 [Foto: R. Kostka-Rick]

	Material Grünkohl (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabellica</i>), Sorten 'Hammer Grüsa' oder 'Halbhoher Grüner Krauser'; Einheitserde Typ ED73 (vorgedüngt), mit Sand (Spielsand) vermisch (1 Teil auf 4 Teile ED73); Pflanztöpfe Ø 18-20 cm; 3 Glasfasersaugdochtschlingen (Ø 5-6 mm x ca. 1100 mm); Expositionsgefäß aus Hart-PVC, ca. 200 x 540 mm, weiß, mit Überlaufbohrung; Haltekreuz (verzinkt, Gummiüberzug; Standrohr aus Stahl (verzinkt), 3/4" x 1500–1700 mm Anzucht im Freiland (unter Regenschutzdach); Direktsaat in Erdpresslinge (4x4x4cm); 4 Wochen vor Exposition in Pflanztöpfe (s.o.) pflanzen Anzuchtdauer: 8–9 Wochen Düngung 1. 10-14 Tage nach Pflanzung (in Pflanztöpfen): 100 ml/Topf 2. unmittelbar vor Exposition: 150 ml/Topf 3. nach 4 Wochen Exposition; 150 ml/Topf 5,8 g/L KH₂PO₄; 8,5 g/L KNO₃; 5,3 g/L NH₄NO₃; 10,3 g/L (NH₄)₂SO₄ p.A. Qualität Exposition Beginn: wenn 10 ±2 Blätter ≥15 cm Gesamtlänge; Dauer: 8 Wochen ±3 Tage; Expositionsabschnitt 6 (Sommer): Mitte Juli – Mitte September (KW29–KW37); Expositionsabschnitt 7 (Herbst): Mitte September – Anfang November (KW 37–KW 45); Expositionshöhe: 1,5 – 1,6 m über Grund
Pflanzenschutz gesamte Anzucht einschließlich Abhärtung unter feinmaschigem Gemüseschutznetz (<1 mm), ältere Blätter (vergilbt, seneszent) laufend entfernen zur Vorbeugung gegen Pilzbefall, ab dem Pflanzen ggf. biologische Schädlingsbekämpfung – oder absammeln; Probennahme vor Ort, in Aluminiumfolie, diese in PE-Beutel verschlossen: "Probennahmefenster" umfasst das "Ringblatt", 2 nächstältere und 5 nächstjüngere Blätter; bei abweichender Pflanzenentwicklung "Probennahmefenster" verschoben, einheitlich über alle Pflanzen des Expositionsabschnittes ohne Blattstiel und Mittelrippe und ohne vergilbte, stark angefressene und verschmutzte Blätter Analytik nach gekühltem Transport bei ≤ +10°C (ggf. Lagerung bei ≤ -18°C) nach Gefriertrocknung und Homogenisierung, mit Toluol/Hexan aufgereinigter Extrakt, PAK-Bestimmung angelehnt an DIN ISO 12884 mittels HRGC, MSD und unter Verwendung der Isotopenverdünnungsmethode; PCB-Bestimmung gemäß Verordnung (EU) Nr. 252/2012 mit interner PCB-Standardlösung mittels HRGC-HRMS und unter Einsatz der Isotopenverdünnungsmethode Messwerte <BG für Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (BG) wird der Zahlenwert 0,5x Bestimmungsgrenze eingesetzt OmH Orientierungswert für maximalen Hintergrundgehalt (VDI 3957/3 und vgl. Kap. 3.1) Beurteilung Stoffgehalte in Grünkohl werden anhand der OmH-Werte sowie anhand Richtwerten für die Maximale Immissionsdosis für PCB (VDI 2310 Blatt 32) beurteilt	

PAK, PCB

Quelle: UMW Umweltmonitoring, Dr. Monica Wäber

Quelle: UMW Umweltmonitoring, Dr. Monica Wäber

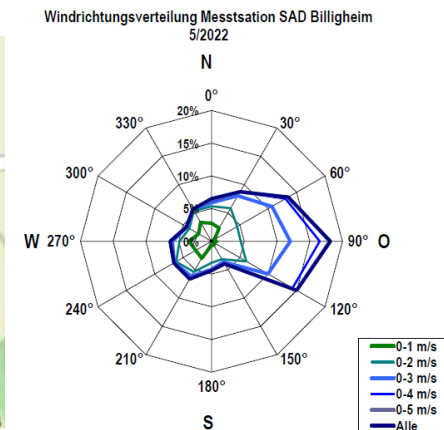
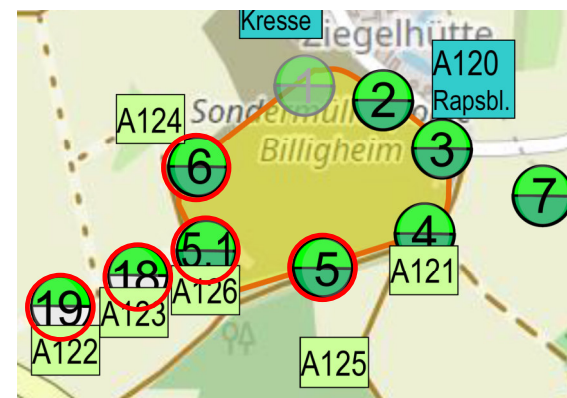


Übersichtskarte – Biomonitoring-Messpunkte

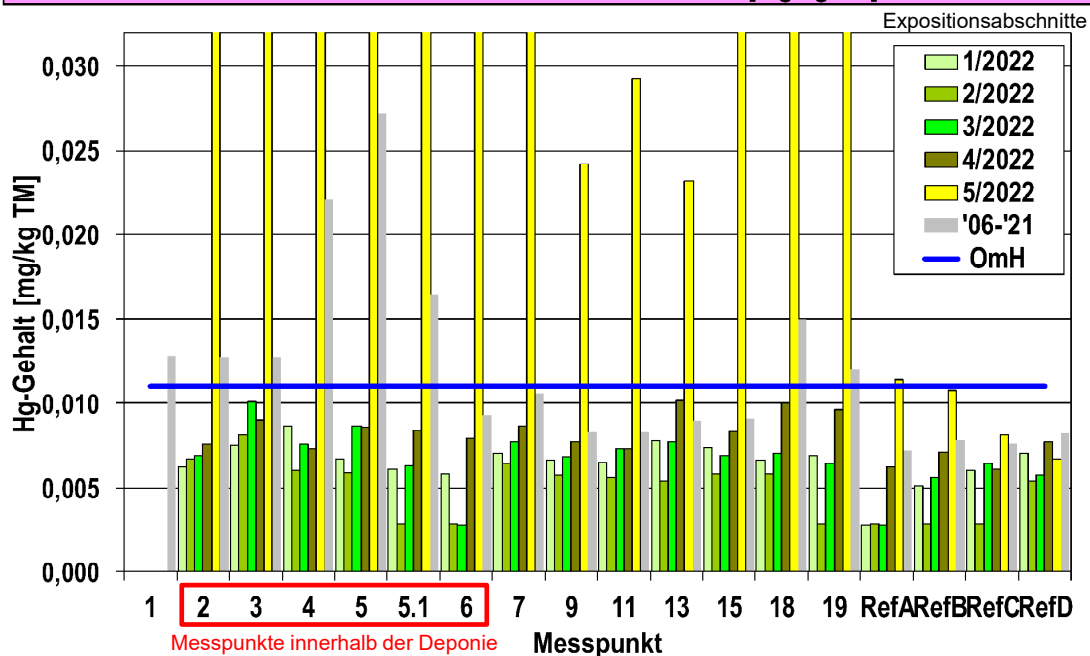
unmittelbarer Nahbereich (leuchtend gelb: Deponiegelände), Randbereich der Deponie (blassgelb: 2 Transekte außerhalb Deponie), 2 emittentennahe Kontrollpunkte (blassgrün), 4 Referenzmesspunkte (grün) [Kartengrundlage: OpenStreetMap]

© OpenStreetMap-Mitwirkende

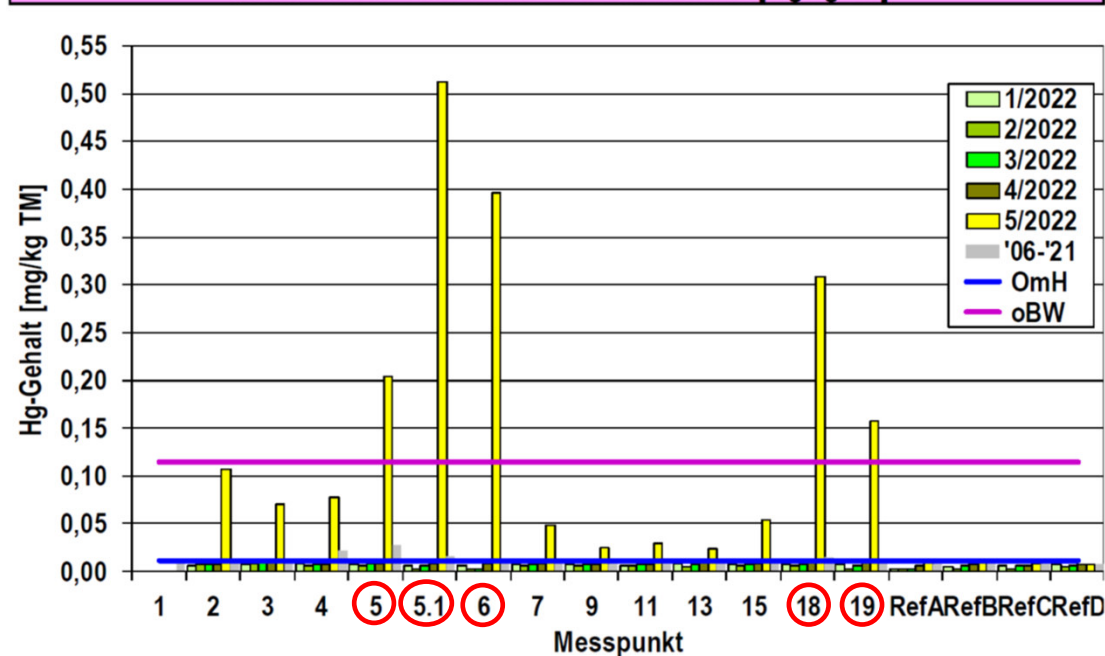
5. Expositionsabschnitt 09.08 – 06.09.2022



Quecksilber in Standardisierten Graskulturen [mg/kg TM]

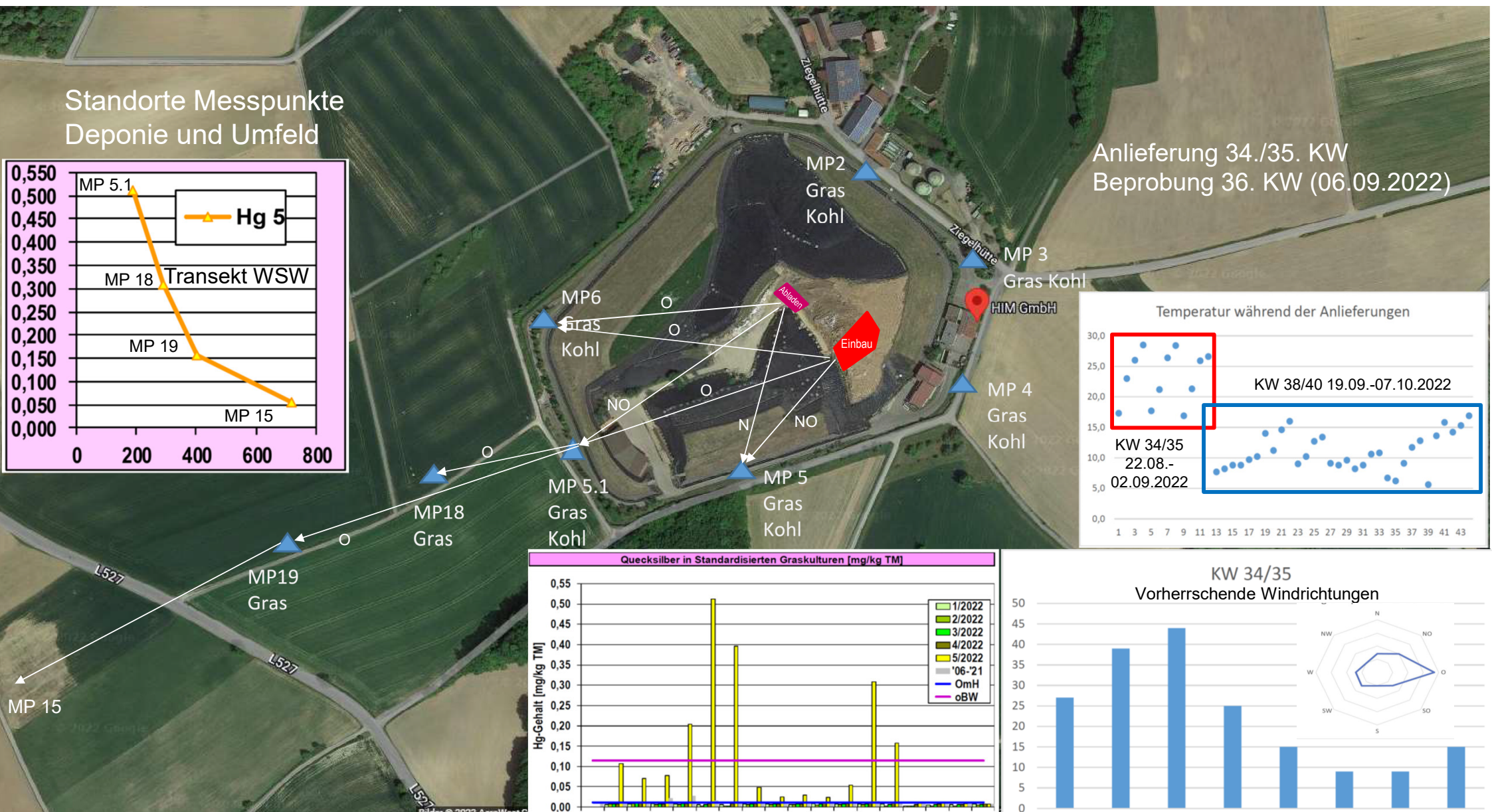
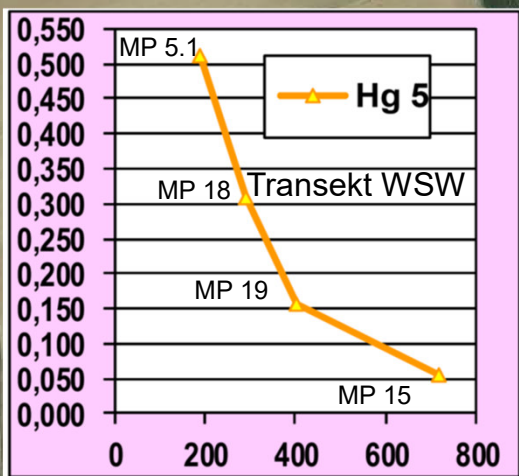


Quecksilber in Standardisierten Graskulturen [mg/kg TM]

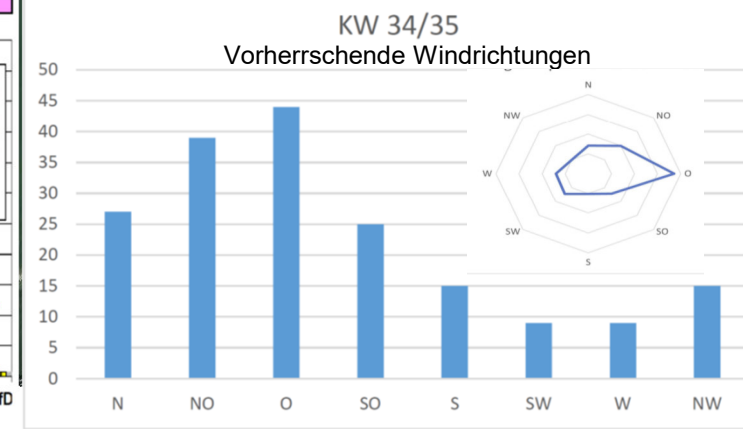
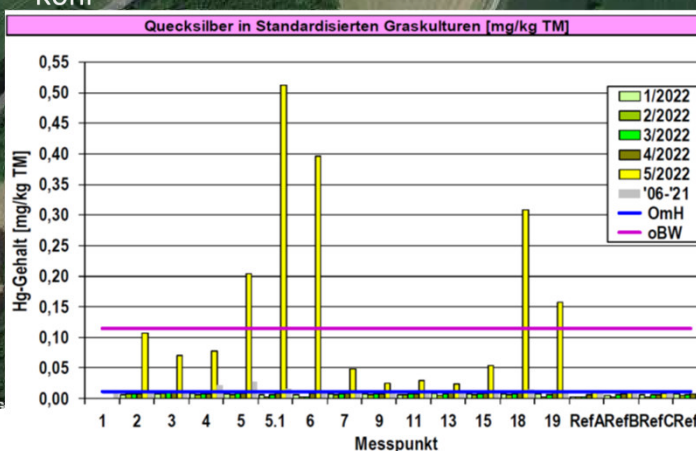
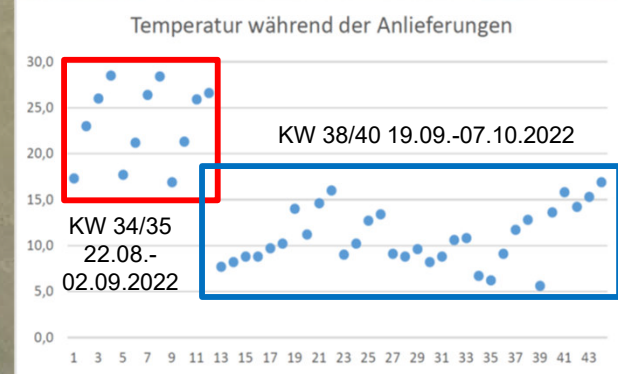


OmH = Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte in standardisierten Graskulturen (VDI 3857/2) = 0,011 mg Hg/kg TM
oBW = oberer Beurteilungswert (VDI 3957/2) = Höchstgehalt gemäß FuttmV = 0,114 mg Hg/ TM

Standorte Messpunkte Deponie und Umfeld



Anlieferung 34./35. KW
Beprobung 36. KW (06.09.2022)



Anlieferungszeitraum quecksilberhaltiger Boden

im 5. Expositionsabschnitt: 09.08.2022 – 06.09.2022 (KW 32-36)

Anzahl der Anlieferungen ENH20B702101 RUZ		
KW 34	8	Einzelfallzulassung
KW 35	4	Einzelfallzulassung
KW 36	-	Probenahme 5. Expositionsabschnitt
KW 37	-	
KW 38	10	DK III
KW 39	16	DK III
KW 40	6	DK III
KW 44		Probenahme 6. Expositionsabschnitt, Hg im Kohl für MP 5.1 beauftragt

09.08.2022

06.09.2022

Probenahme Gras 06.09.2022

19.09.2022

07.10.2022

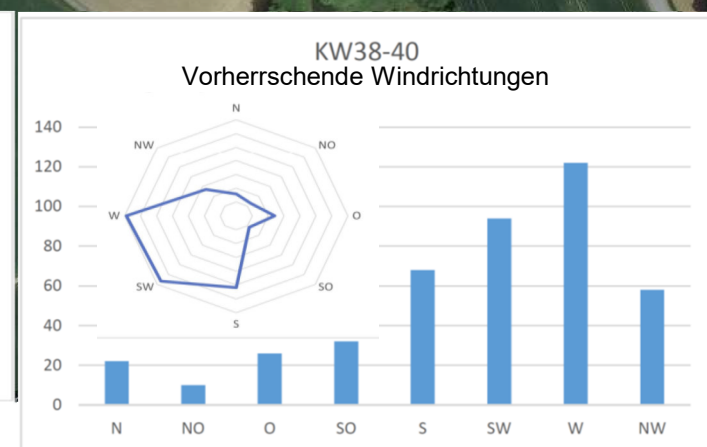
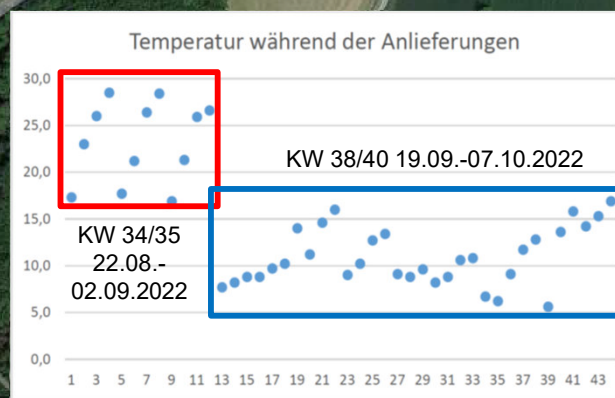
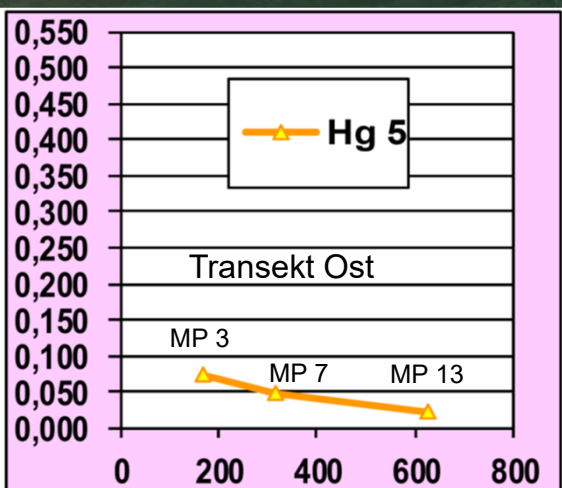
Probenahme Gras 03.11.2022

Probenahme Grasaufwuchs 28.11.2022

44 LKW á ≈ 25 t ≈ 1.100 t

Quelle: HIM GmbH

Standorte Messpunkte Deponie und Umfeld



Einbaustelle



Quelle: HIM GmbH

Aufnahmedatum 24.11.2022





Chronologie des Standortes

- 1852 – 1970 Fa. Katz und Klumpp OHG, ab 1930 AG (Betrieb eines Sägewerks mit Holzimprägnierung)
 - 1852 – 1946 Einsatz von Quecksilbersublimat/-chlorid (Kyan-Verfahren) Quecksilber(II)-Chlorid HgCl_2
 - 1934 – 1938 Einsatz von Teeröl
 - 1946 – 1952 Einsatz von chrom- und arsenhaltigen Verbindungen
 - 1952 Aufgabe der Holzimprägnierung und des Sägewerks, Umstellung auf Betonfabrikation
- 1970 – 2005 Fa. Pfeiderer AG (Betrieb eines Betonschwellenwerks)

Stoffeigenschaften von Quecksilber und seinen Verbindungen

Elementares Quecksilber Hg^0

Metall, silberglänzend geruchlos

Dichte: $13,55 \text{ g/cm}^3$ bei 20°C

Molare Masse: $200,59 \text{ g/mol}$

Festpunkt: $-38,87^\circ\text{C}$

Siedepunkt $356,58^\circ\text{C}$

Dampfdruck: $0,16 \text{ Pa}$ bei 20°C

Sättigungskonzentration: $0,013 \text{ g/m}^3$ bei 20°C

Wasserlöslichkeit: praktisch unlöslich in Wasser ($54 \mu\text{g/l}$)

Quecksilber(I)-chlorid (Kalomel) Hg_2Cl_2

Pulver weiß geruchlos

Dichte: $7,15 \text{ g/cm}^3$

Molare Masse: $472,09 \text{ g/mol}$

Festpunkt: 543°C

Sublimationspunkt: $400 - 500^\circ\text{C}$

Dampfdruck $0,0003 \text{ Pa}$ bei 20°C

Sättigungskonzentration: $1 \times 10^{-7} \text{ g/m}^3$ bei 20°C

Wasserlöslichkeit: praktisch unlöslich in Wasser ($2,3 \text{ mg/l}$)

Quecksilber(II)-chlorid (Sublimat) HgCl_2

Pulver weiß geruchlos

Dichte: $5,44$ bei 25°C

Molare Masse: $271,5 \text{ g/mol}$

Festpunkt: 277°C

Siedepunkt (Sublimation): 304°C

pH-Wert: $3,2$

Dampfdruck: $0,01 \text{ Pa}$ bei 20°C

Sättigungskonzentration: $0,0011 \text{ g/m}^3$ bei 20°C

Wasserlöslichkeit: 74 g/l bei 20°C

Quecksilber(II)-sulfid HgS (Zinnober)

Kristallines Pulver rot geruchlos

Dichte: $8,1$ bei 25°C

Molare Masse: $232,65 \text{ g/mol}$

Siedepunkt: 584°C

Schmelzpunkt: 580°C

Wasserlöslichkeit: praktisch unlöslich (ca. $10^{-54} \text{ mol}^2 \cdot \text{l}^{-2}$)

Aufgrund seiner extremen Schwerlöslichkeit **ungiftig!**

DK III Zuordnungswert nach DepV
für Quecksilber im Eluat $\leq 0,2$ mg/l

Analysen RUZ ENH20B702101 Quecksilber

Probennr.	Hg im Feststoff [mg/kg TS]	Hg im Eluat [mg/l]	
MP Boden (915) 2240575	3600	0,220	Vollanalyse-Anhang EN
MP Boden (916) 2240576	3200	0,300	Vollanalyse-Anhang EN
MP Boden (917) 2240948	550	0,150	nur Hg-Anhang EN
MP Boden (918) 2240949	580	0,120	nur Hg-Anhang EN
MP Boden (919) 2240950	500	0,150	nur Hg-Anhang EN
MP Boden (920) 2240951	710	0,086	nur Hg-Anhang EN
MP Boden (921) 2240952	600	0,097	nur Hg-Anhang EN
MP Boden (922) 2240577	3900	0,300	Vollanalyse-Einzelfallgenehmigung
MP Boden (923) 2240578	3900	0,380	Vollanalyse-Einzelfallgenehmigung
MP Boden (924) 2240953	1100	0,170	nur Hg- Einzelfallgenehmigung
MP Boden (925) 2240954	2300	0,160	nur Hg- Einzelfallgenehmigung
MP Boden (926) 2240955	1400	0,130	nur Hg- Einzelfallgenehmigung
MP Boden (927) 2240956	920	0,180	nur Hg- Einzelfallgenehmigung
MP Boden (928) 2240957	1000	0,170	nur Hg- Einzelfallgenehmigung

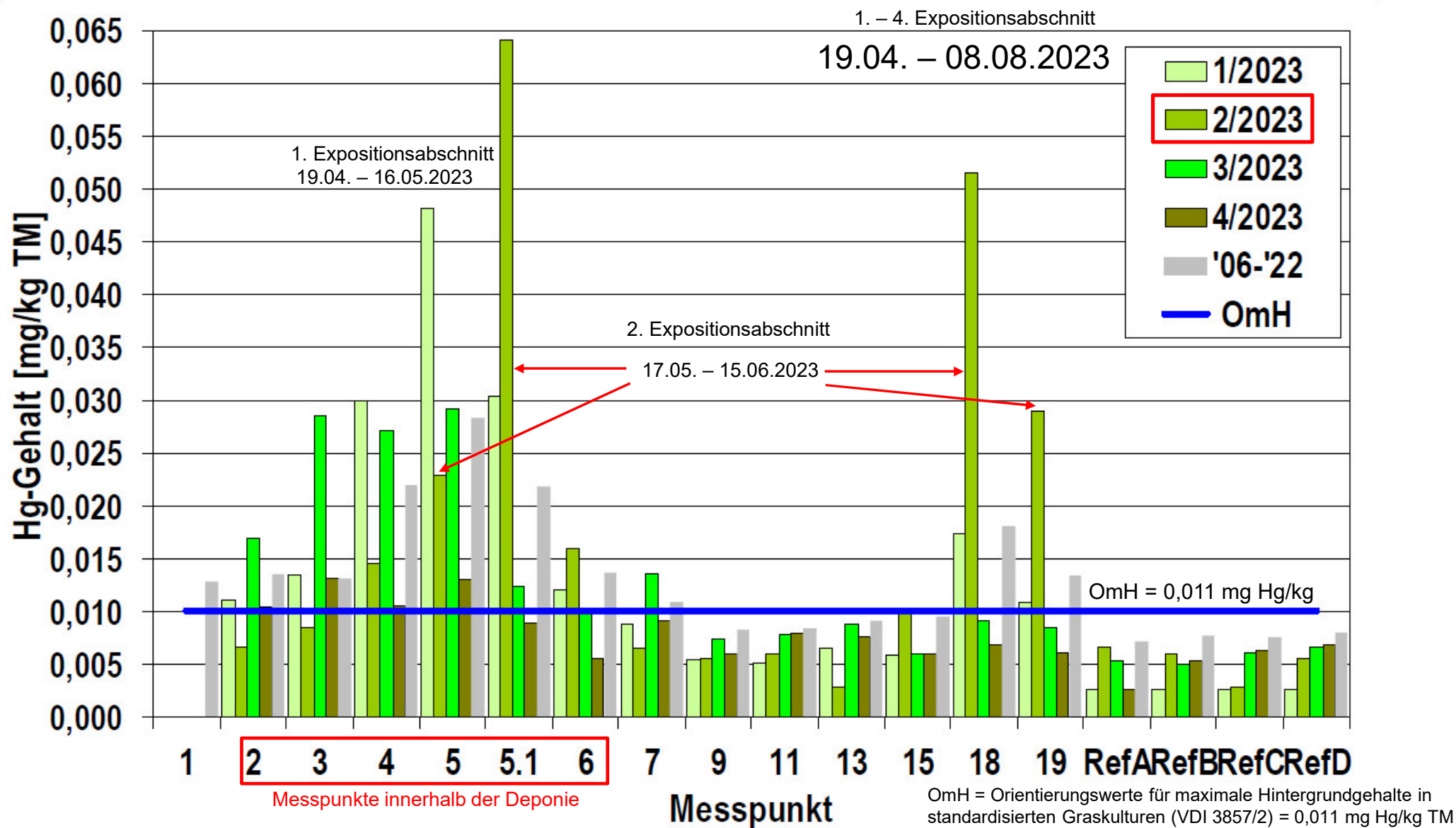
Löslichkeit
 $\text{Hg}^0 = 56 \mu\text{g/l}$
 $\text{HgCl}_2 = 74 \text{ g/l}$
 $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 = 2,3 \text{ mg/l}$

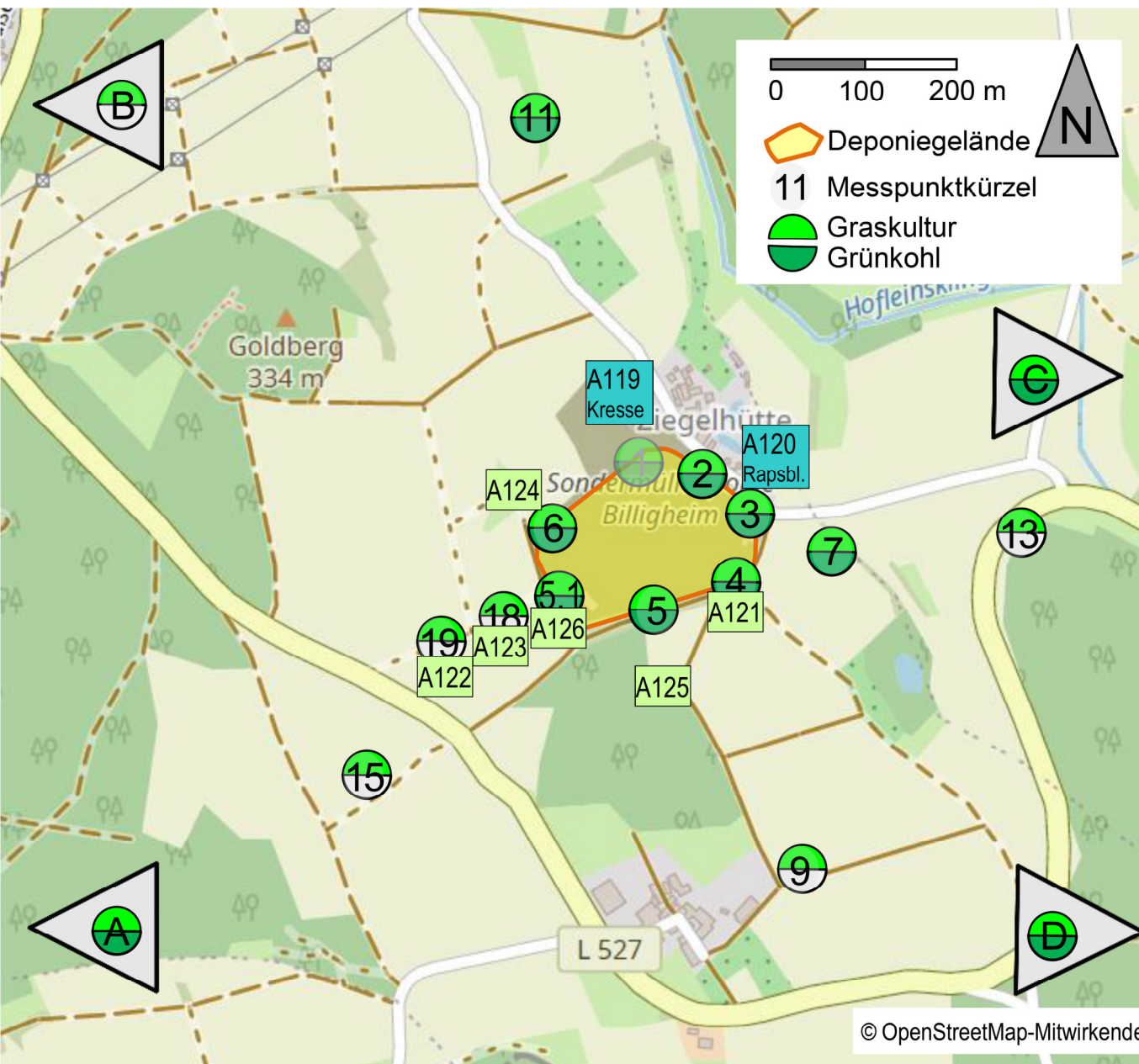
Rechnerisch wären
aufgrund der Löslichkeit
von 74 g/l und der
Feststoffgehalte
Eluatgehalte von etwa
160 bis 260 mg/l möglich
gewesen

Quelle: HIM GmbH
Hazwa-Consulting

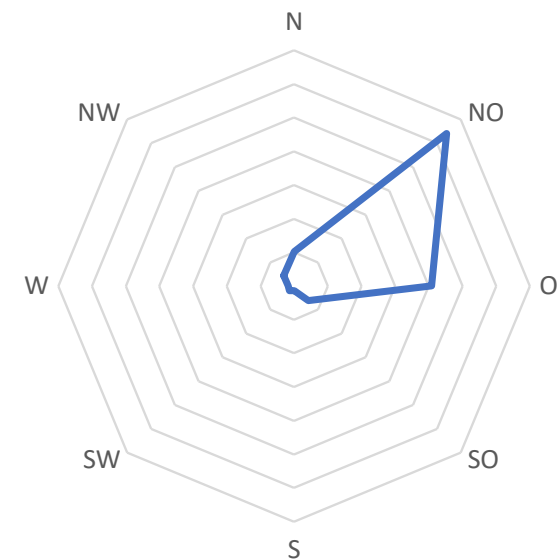
Mittelwert (o. g. 14 Proben) = 1.733 mg/kg / 0,187 mg/l insges. 33 Eluatanalysen MW = 0,11 mg/l

Quecksilber in Standardisierten Graskulturen [mg/kg TM]



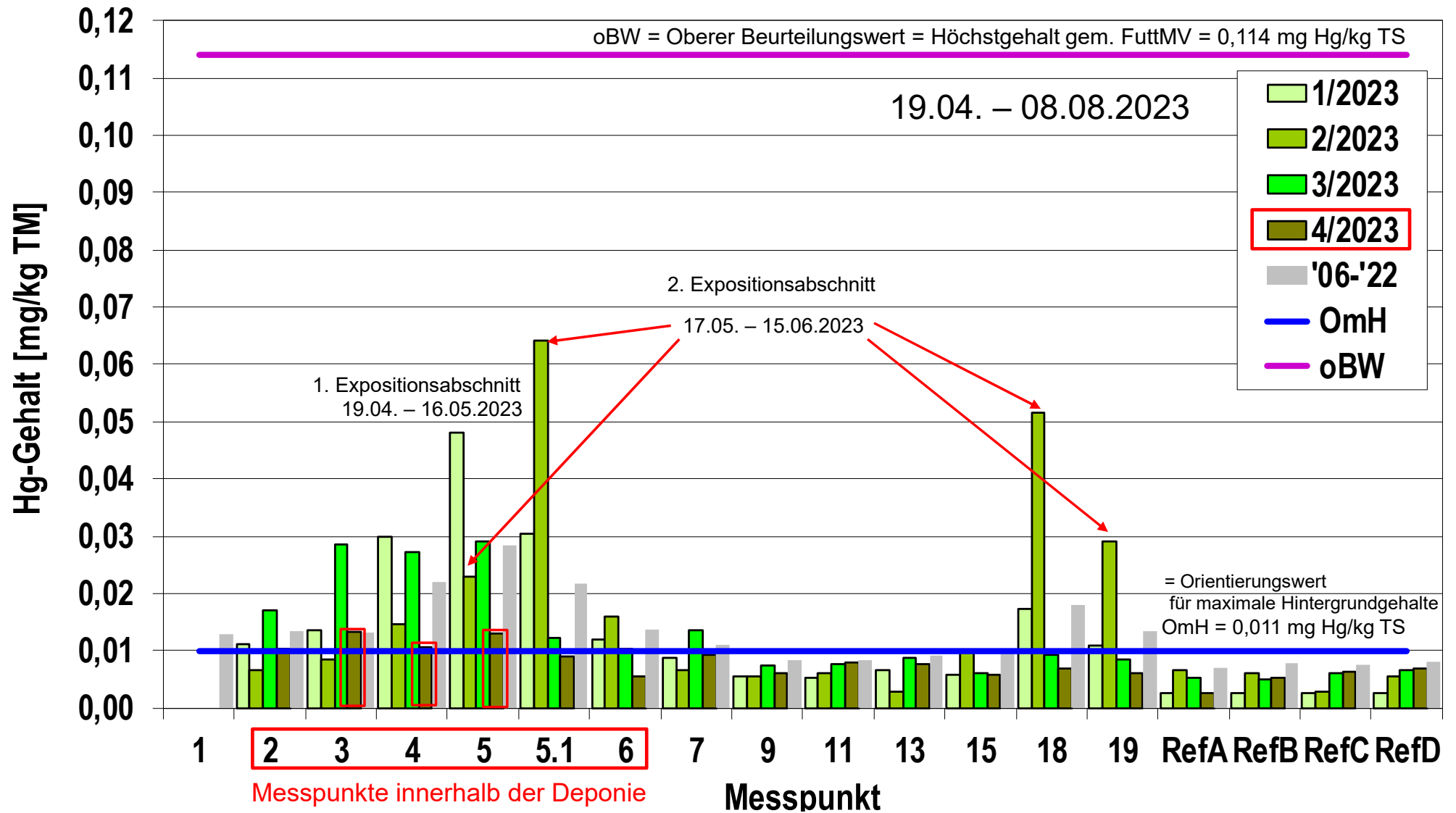


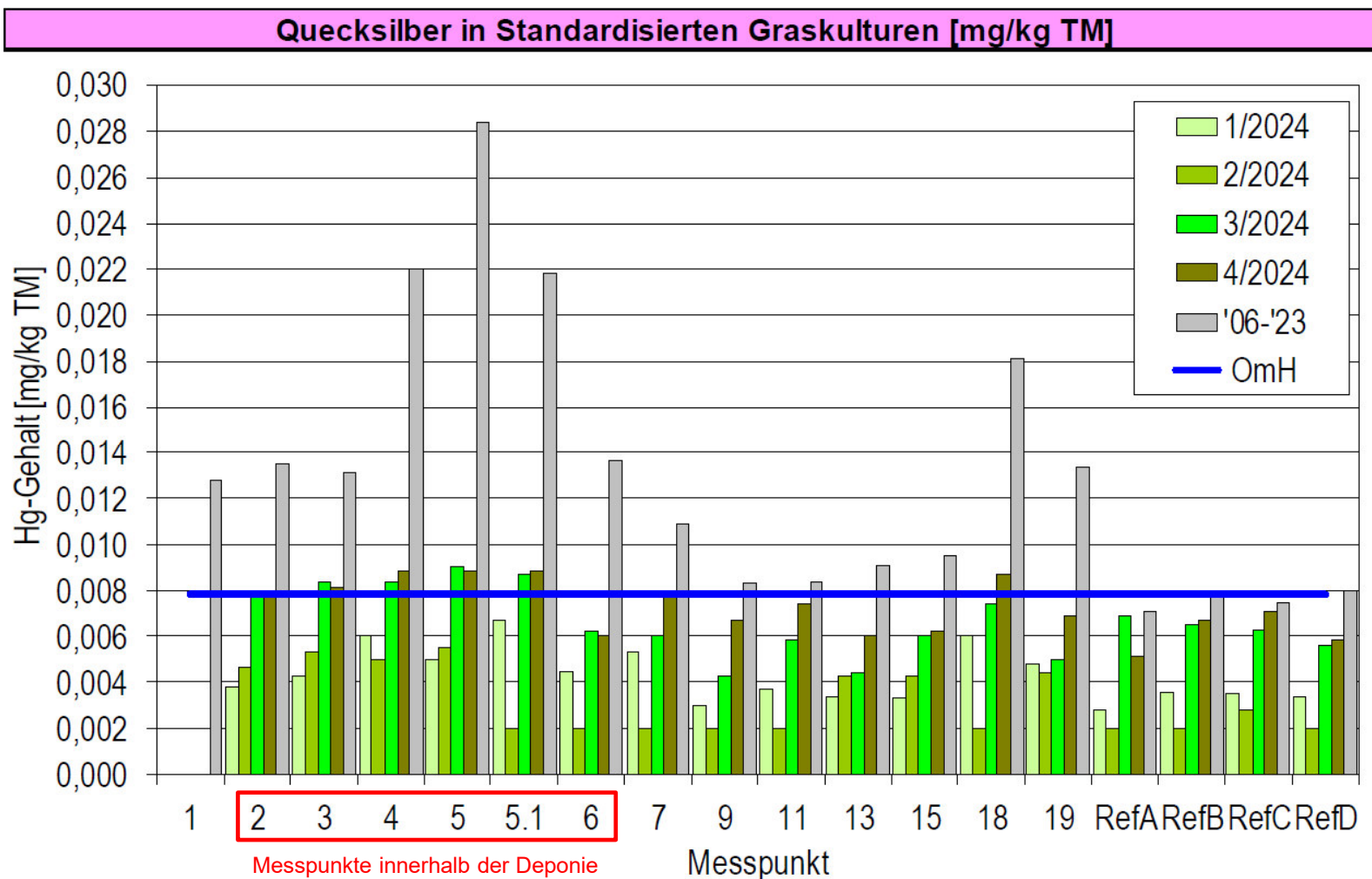
Windrichtung 2. Exposition 18.05-14.06.2023



Quelle: UMW Umweltmonitoring, Dr. Monica Wäber

Quecksilber in Standardisierten Graskulturen [mg/kg TM]





16.4.-14.5.2024

14.5.-11.6.2024

1.6.-10.7.2024

10.7.-6.8.2024

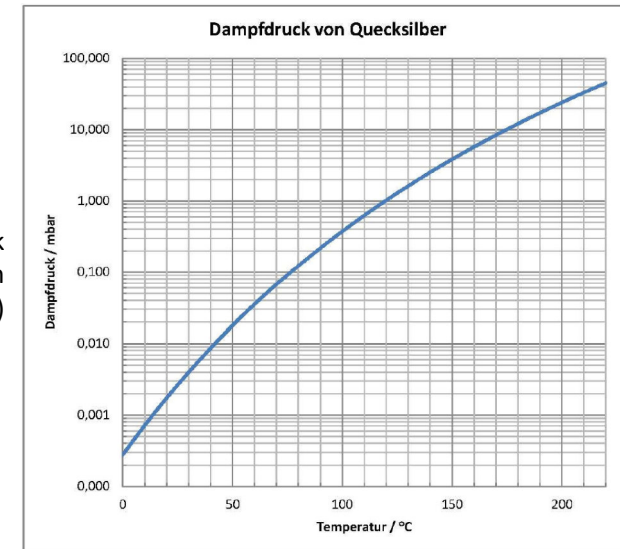
OmH = Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte in standardisierten Graskulturen (VDI 3857/2) = 0,088 mg Hg/kg TM

Quecksilber erreichte in 3 Fällen mit 0,088 mg/kg TM den OmH, überschritt ihn aber nicht, da eine Überschreitung erst bei Werten größer 0,088 mg/kg TM eintreten würde.

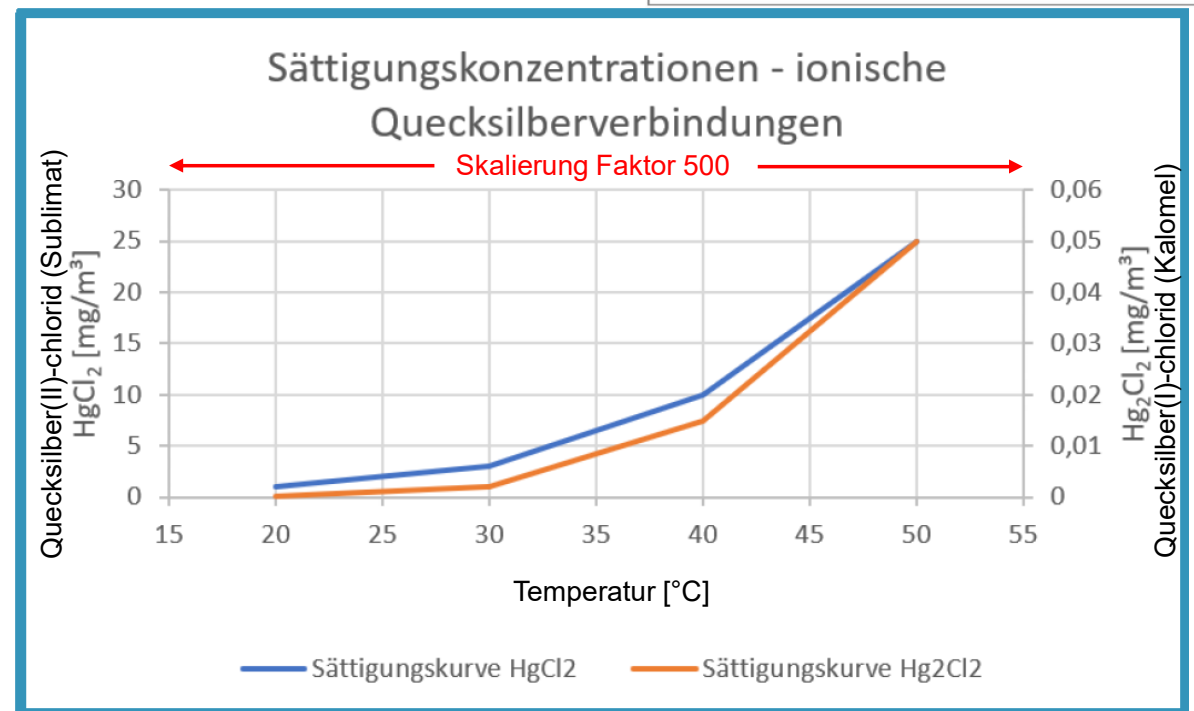
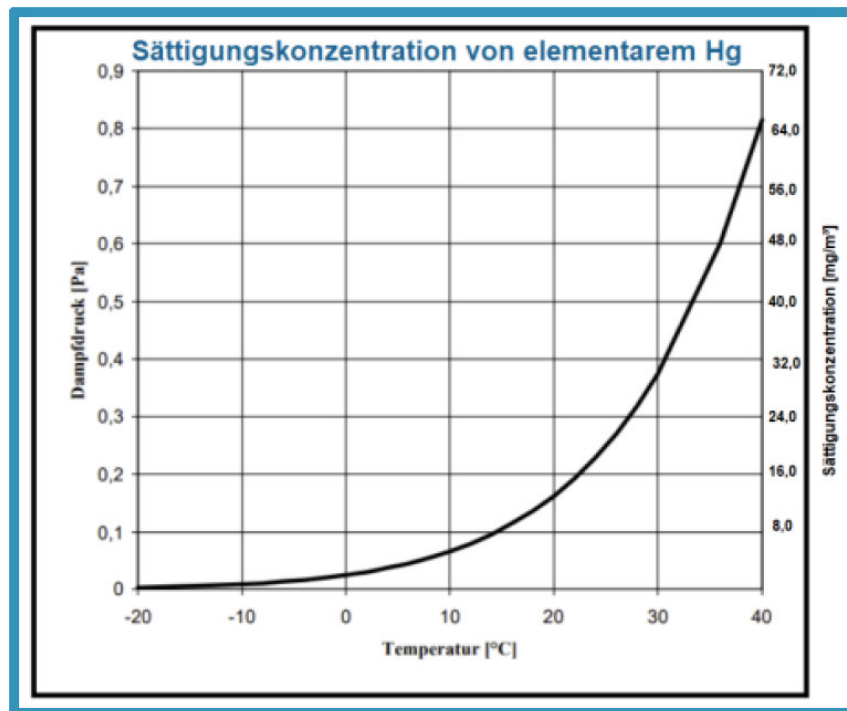
Temperatur °C	Sättigungskonzentration [mg/m ³]		
	Hg ⁰	HgCl ₂	Hg ₂ Cl ₂
20	13	1	0.0001
30	30	3	0,002
40	65	10	
50	130	25	0,05
Löslichkeit in Wasser (20-25 °C)			
	56 µg/l	74 g/l	2,3 mg/l

Sättigung/Löslichkeit von Hg-Spezies /8/

KIT Fakultät für Physik
Physikalisches Praktikum
(W. Jüngst 1883 / P. Blüm 1997)



Dampfdruckverhalten von Hg⁰ / Hg₂Cl₂ / HgCl₂ /8/9/ in Artmann S. (2023)



Hg-Dampfmessungen mit Quecksilberanalysator RA-915 M von Lumex Analytics Hg⁰: 0,5 – 50.000 ng/m³

Durchführung am 31.01.2023:

Werte sind gerundete Durchschnittswerte

Im Gebäude:

Labor: 60 ng/m³

Abfluss: 100 ng/m³

Beim Öffnen eines Probengefäßes mit ca. 5g Inhalt RUZ: 15000 ng/m³ (= 15 µg/m³)

Büro: 40 ng/m³

Eingangsbereich: 70 ng/m³

Schmutzfangmatte: 400 ng/m³

Keller: 100 ng/m³

Werkstatt:

offene Halle: 20 ng/m³

Maschinenhalle geheizt mit Radlader: 600 ng/m³

Rückstellprobenraum: 500 ng/m³

in der Nähe der RUZ-Proben: 2000 ng/m³

auf der Deponie:

starker Wind und 3°C Außentemperatur

Luft in Kopfhöhe: sehr stark schwankende Werte 100 - 1000 ng/m³,

in der Raupe: 500ng/m³, ohne Lüftung

mit dem Einschalten der Lüftung sinkt der Wert

in einzelnen Böen kurzzeitig über 1000 ng/m³

Deponiekörper: sehr stark unterschiedliche Werte

Verdichter und schlammiger Untergrund: 100 - 3000 ng/m³

Sandiger, lockerer Untergrund an verschiedenen Stellen > 50000 ng/m³

Zur Einordnung der Werte

Konzentration von Quecksilberdampf in der Atmosphäre: 2-5 ng/m³

in Ballungsgebieten: bis 100 ng/m³

unmittelbare Umgebung von Industriebetrieben (Emittentennahbereich):

bis 1000 ng/m³ = 1 µg/m³

Ableitung von Richtwerten für die Innenraumluft mit Langzeitexposition:

Richtwert I : 35 ng/m³ kein nennenswerter Beitrag zur Gesamtbelastung

(empfohlener Grenzwert für Kindergärten)

Richtwert II: 350 ng/m³ kann zu Quecksilber-Konzentrationen im Organismus führen, die deutlich über der Durchschnittsbelastung liegen. Um eine zusätzliche Belastung zu vermeiden, sollten die Quellen entfernt werden.

Leitlinienwert der WHO: 1000 ng/m³ = 1µg//m³

Arbeitsplatzgrenzwert von 0,02 mg/m³ = 20µg/m³

Bei dieser Konzentration darf in dem Raum 8:00 Stunden gearbeitet werden, ohne dass der oder die Mitarbeiterin gesundheitlich Schäden davonträgt.

Maximalwert am Arbeitsplatz: 50 000 ng/m³ (= 50µg/m³) der Arbeitsplatz ist zu verlassen

Quecksilber-Dampfmessungen

1. Zusammenfassung, Ergebnis

- Es wurden bei allen RUZ Anlieferungen erhöhte Werte festgestellt
- Es gibt keine weitere Anlieferung, die erhöhte Hg-Werte aufzeigt
- Die Messung wurde bei ungeöffneter Plastiktüte durchgeführt, ein Austrag mittels Staubes kann ausgeschlossen werden, das Hg sublimiert aus der Plastiktüte

2. Messprotokoll

Durchführung am 07.02.2023 von Elke Müller und Daniela Vogt

Die Messung wurde mit einem Messgerät, Typ Zeeman Mercury Analyzer RA-915 M durchgeführt. Das Gerät misst ausschließlich elementares Quecksilber, das als Dampf in der Luft vorliegt.

Die Proben wurden einzeln auf einen Tisch gelegt, 2 Minuten liegen gelassen und dann gemessen. Die Werte sind gerundete Durchschnittswerte an den ungeöffneten Rückstellproben gemessen.

Datum der Anlieferung 2022	Wiegeseinnummern der Anlieferungen	Messwerte Quecksilber [ng/m³]
08.08. - 11.08.	WS092200912 - 942	13 - 60
15.08. - 18.08.	WS092200943 - 978	13 - 39
22.08. - 26.08.	WS092200979 - 1020	19 - 2500
22.08.	WS092200982, 83, 87	18 - 20
23.08.	WS092200989 RUZ	1300
23.08.	WS092200990 - 996	17 - 35
24.08.	WS092200999 (10xTIB)	35
25.08.	WS092201011,1018, 1020	23 - 35
25.08.	WS092201016 RUZ	2500
26.08.	WS092201024	20
29.08. - 01.09.	WS0922001025 - 1051	20 - 500
29.08.	WS09220025 - 1035	20 - 60
30.08.	WS0922001036 RUZ	500
31.08.	WS092201040 - 1046	23 - 48
01.09.	WS092201047 - 1051	21 - 23
05.09. - 08.09.	WS092201025 - 1078	19 - 24
12.09. - 16.09.	WS092201079 - 1109	20 - 50
19.09. - 23.09.	WS092201110 - 1140	21 - 1700
19.09.	WS092201110 RUZ	1500

Datum der Anlieferung 2022	Wiegeseinnummern der Anlieferungen	Messwerte Quecksilber [ng/m³]
19.09.	WS092201114 , 1119,1120	25 - 30
20.09.	WS092201121-1126	21 - 52
21.09.	WS092201132 RUZ	1700
22.09.	WS092201133,37,38	27 - 62
22.09.	WS092201134 RUZ	1400
23.09.	WS092201139,1140	25, 32
26.-29.09	WS092201141 - 1188	23 - 5000
26.09.	WS092201141 RUZ	500
26.09.	WS092201143, 1144, 1150	23 - 25
27.09.	WS092201152 - 1159	24 - 39
27.09.	WS092201153 RUZ	5000
28.09.	WS092201164, 1173	24, 25
28.09.	WS092201165 RUZ	1000
29.09.	WS092201177 RUZ	1200
29.09.	WS092201176, 1180-1184	23 - 40
04.10 - 06.10	WS092201189 - 1211	27 - 2200
04.10.	WS092201189 RUZ	1400
04.10.	WS092201191,1198	47, 29
05.10.	WS092201203	27
06.10.	WS092201208 RUZ	2200
06.10.	WS092201209, 1211	37, 27
10.10. - 13.10	WS092201216 - 1247	21 - 45
17.10. - 20.10	WS092201549 - 1292	20 - 38

Die Proben, bei denen erhöhte Quecksilberwerte gefunden wurden, wurden separiert und in verschlossenen Eimern, im Freien unter Dach gelagert, um eine weitere Kontamination des Probenraums auszuschließen.

Messung vor dem Lüften des Rückstellprobenraums: 500 ng/m³

Messung vor der Türe: 10ng/m³

Beim Öffnen eines Probengefäßes mit ca. 5g Inhalt Rückstellprobe RUZ

(Nr.130 s. Analyse Graner) unter dem Abzug:

15.000 ng/m³ (= 15 µg/m³)

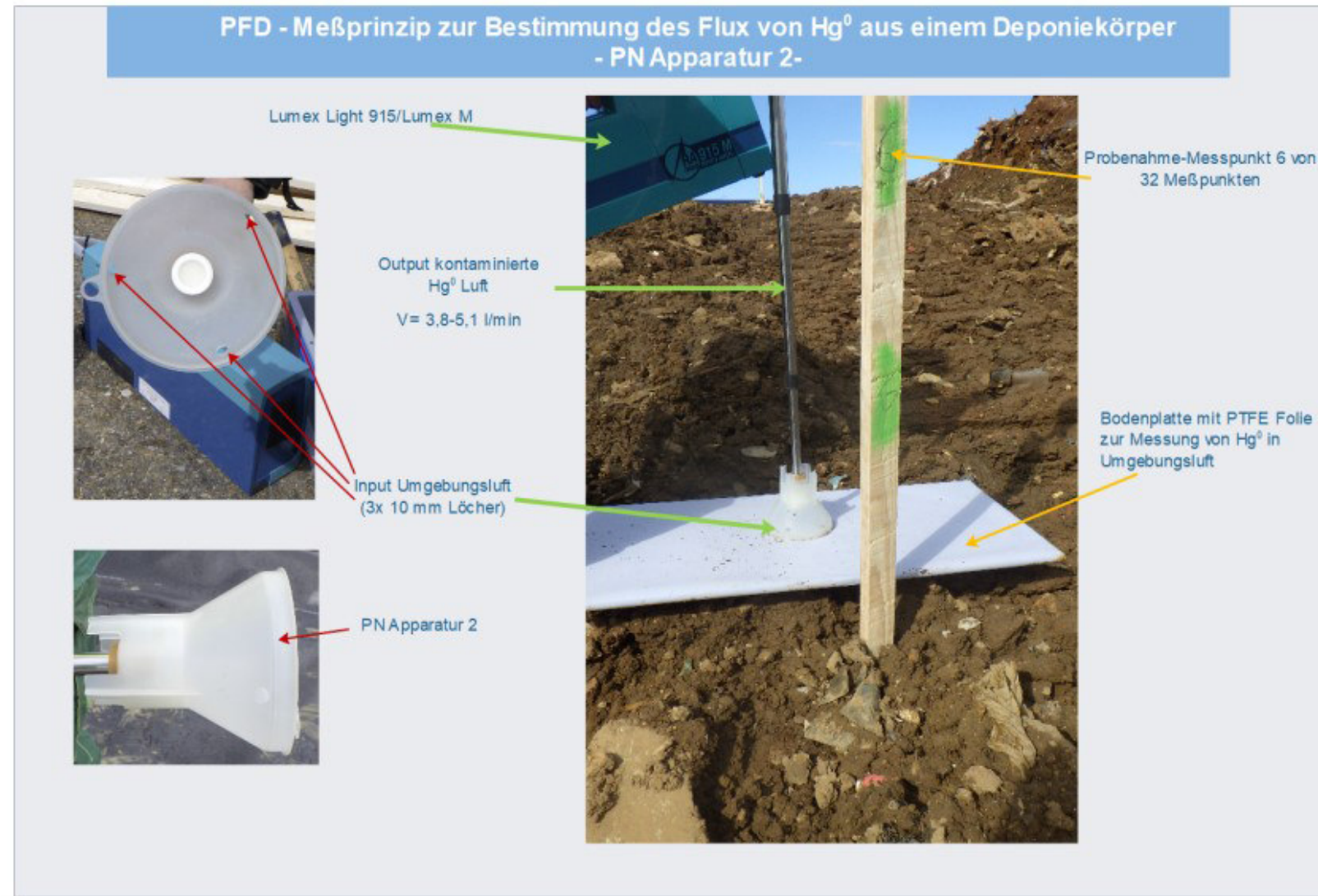
Abbildung 1a+1b: Festlegung der Probenahmepunkte - Screening (Messbericht)

Beprobungsplan für Screening-Messungen



- oberflächliche Hg Belastung
 - Direkteinlagerung ca. 1000 t Hg haltiger Abfall mit ca. 2 m Deckschicht von mineralischen Abfällen (Galvanik, Asbest)
- Anzahl Probenahmepunkte 32
Meßzeit/Probenahmepunkt: ca. 5 Minuten
Gesamte Meßdauer: ca. 3 h

**Abbildung 4: Messprinzip zur Bestimmung der orientierenden Fluxwerte (Screening)
Probenahme Apparatur 2 (Messbericht Hazwa-Consulting 15.04.2023)**



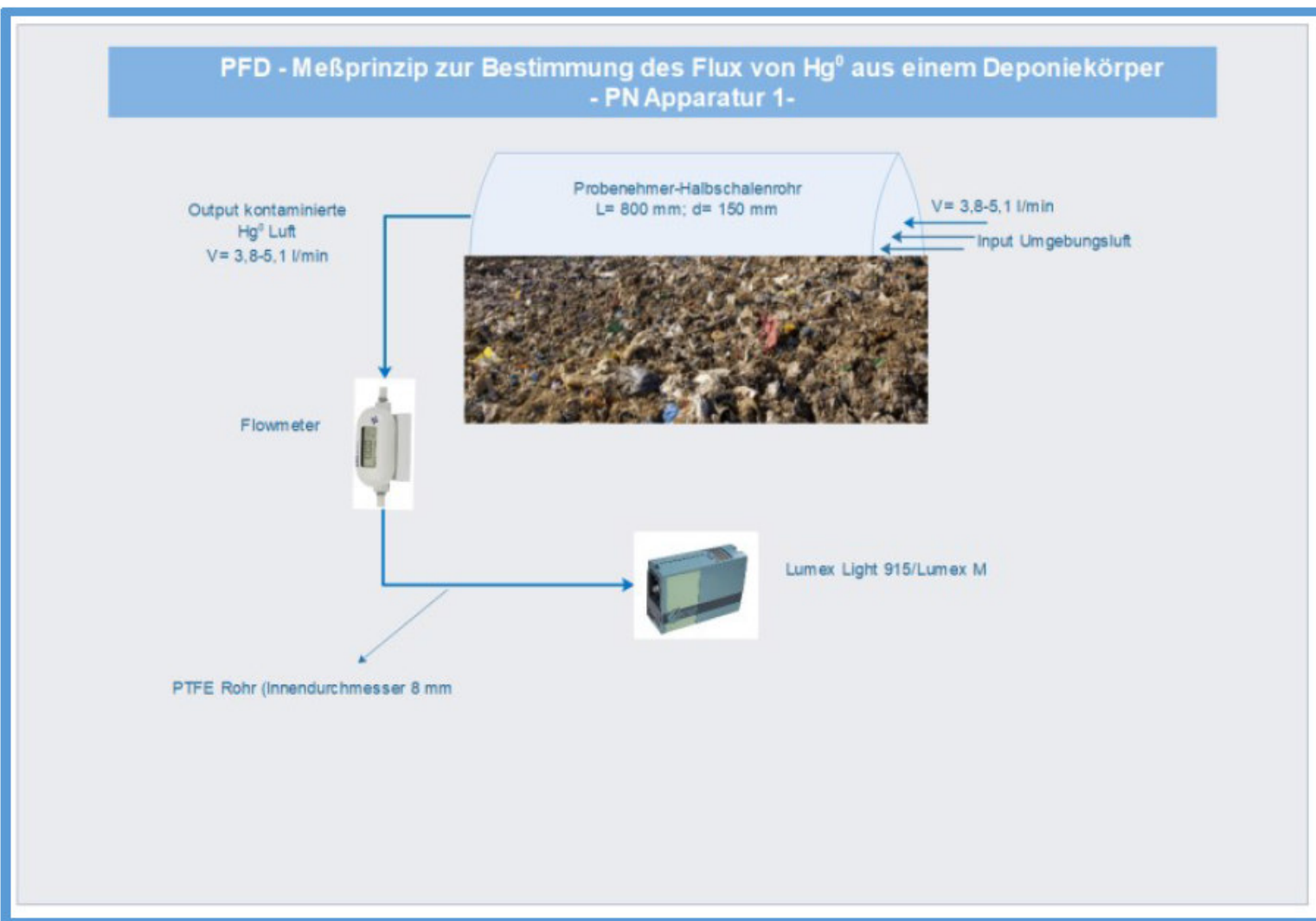




27.03.2023



Abbildung 3: Messprinzip zur Bestimmung des Flux von Hg^0 mit der Probenahme Apparatur 1 (hoch kontaminierter Bereich)



Auswertung Flux

Die Auswertung erfolgt mit folgender Formel:

$$F = Q \cdot (C_{1\text{Hg}^0} - C_{0\text{Hg}^0}) / A \quad [\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$$

wobei

F = Flux Hg^0 aus Deponiekörper in $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$

Q = Kammer Spülrate in m^3/h

A = Grundfläche der Probenahme Apparaturen 1+2
 $C_{0\text{Hg}^0}$ = Konzentration der Nullmessung bei Verschluss der Bodenöffnung mit einer OSB-Grundplatte
 gecoaed mit einer 0,25 mm PTFE-Folie

$C_{1\text{Hg}^0}$ = Konzentration der Flux Messung mit offener Bodenöffnung

Abbildung 2a-2c: PN-Apparatur 1 (Messbericht Hazwa-Consulting 15.04.2023)



Flux-Messungen bei
auffälligen Emissionen

Hg⁰-Emissionsprofil - aktive Einlagerungsfläche (3000 m²)



Wegen defekt am tragbaren Hg-Messgerät
und widriger Witterungsbedingungen
Verlegung der Versuche zu potentiellen
Abdeckmaterialien in die Halle der Sicker-
wasserreinigungsanlage

$F = \text{Flux Hg}^0 \text{ aus Deponiekörper in } \mu\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$

Quelle: Bericht Evaluierung –
Quecksilberemissionen nach Einlagerung
Hg-haltiger Abfälle auf der SAD Billigheim.
Hazwa Consulting, Schwerin 31.05.2023

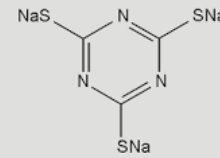
Abbildung 7: Hg⁰-Emissionsprofil – aktive Einlagerungsfläche von 3000 m²

Imprägnierung von Carbonfasern mit Precipan oder Netfloc und TMT 15 - Reaktionsmechanismen

Schwermetallfällung – Reaktion von Hg^0 mit Schwefel zu schwerlöslichem HgS

**PRAVO® /
PreciPAN®**

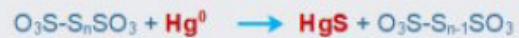
NETfloc SMF



TMT 15®

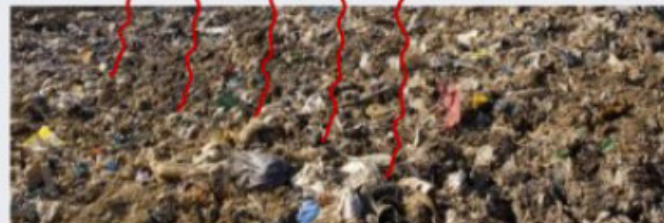
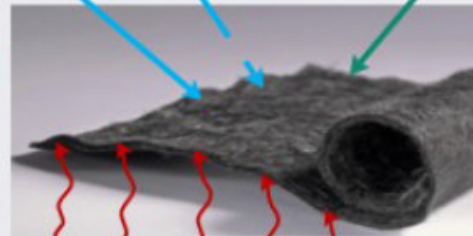
Trimercaptotriazine
 $\text{C}_3\text{N}_3\text{Na}_3\text{S}_3$

1. Schritt: Direkte Reaktion von Hg^0 zu HgS



Endprodukt: schwerlöslicher
anorganischer Niederschlag

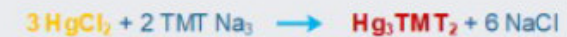
S^* = Hochaktiver Schwefel im „Status
Nascendie“ reagiert sofort.



1. Schritt: Oxidation von Hg^0 zu Hg^{2+}
Beispiel /5/:



2. Schritt: Reaktion von Hg^{2+} mit TMT 15:



Endprodukt: schwerlöslicher
organischer Niederschlag

Abb. 5: Reaktionsmechanismen verschiedener ausgewählter Imprägniermittel (Messbericht Hazwa Consulting 15.04.2023)

Versuche in der
Halle der
Sickerwasser-
reinigungsanlage
mit Hg-haltigem
Boden
28.03.2023

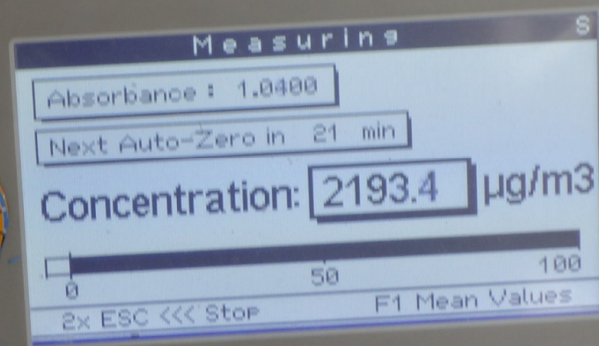


mit Hg^0 stark belasteter Boden



ohne Lab Analyze

HIM
IDENTUM DER
Hessische
Industriemüll GmbH
Nr. 03140



VM-7000 MERCURY VAPOR MONITOR

ohne Filter

envea ENVEA GmbH
Instrument kalibriert: 30.12.22
Kalibrierung gültig bis: 01.01.24

MERCURY INSTRUMENT





Carbonfaservlies mit
TMT 15 getränkt





Carbonfaser-
vlies mit Preci-
PAN getränkt



Seramis + PreciPan FS 401®



HUESKER Tektosil Active®

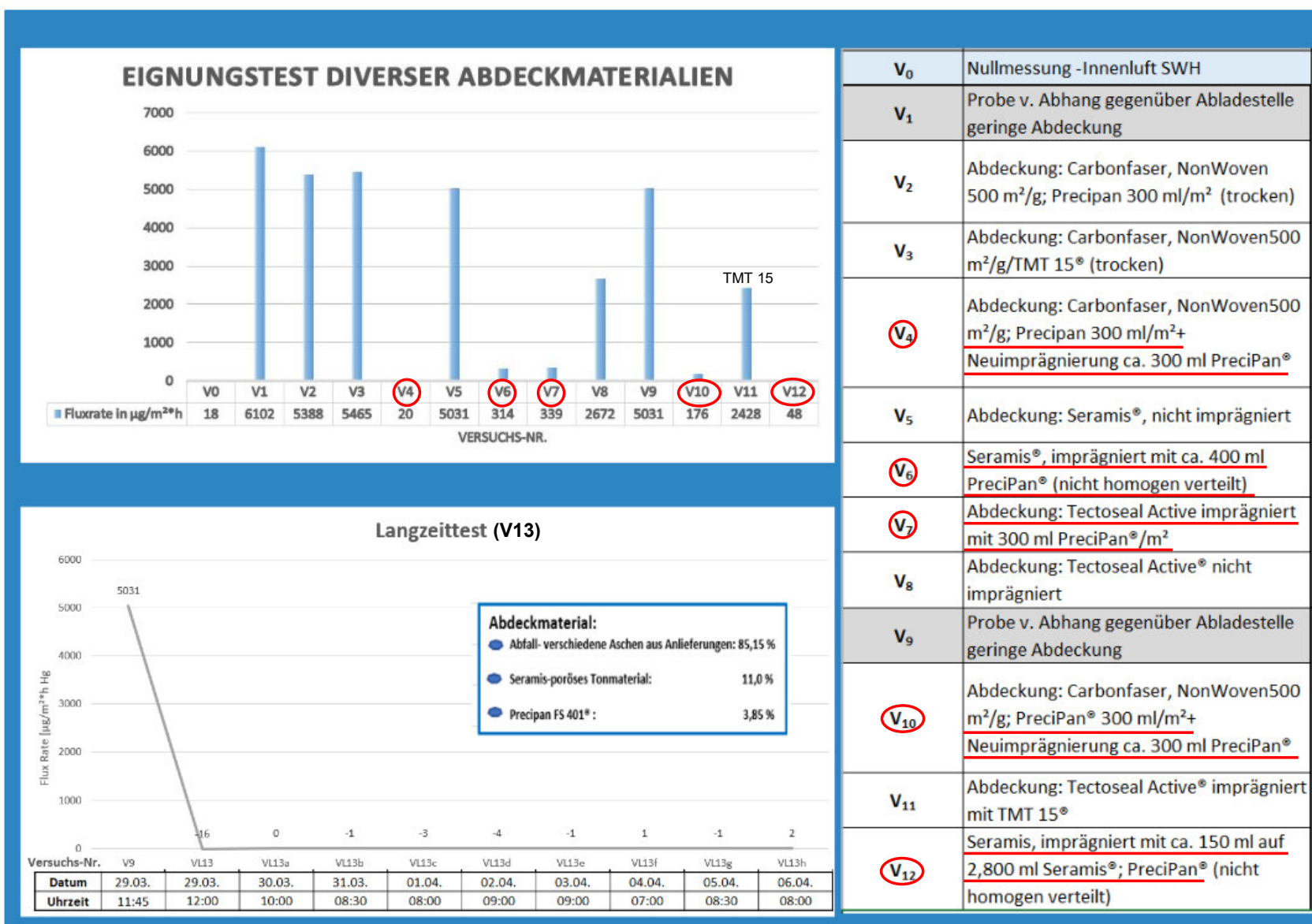


Abb. 7: Ergebnisse - Eignungstest verschiedener Abdeckmaterialien zur Vermeidung von Hg⁰ – Emissionen (Messbericht Hazwa-Consulting 15.04.2023)



An der Einbaustelle wurde eine ca. 2 x 2 m große Fläche mit dem Bagger ca. 40 - 50 cm tief ausgehoben und das ausgehobene Material als Rand ringsherum aufgeschüttet



Einteilung in 4 Felder:

Feld 1:

nur mit Abfallmix ca. 30 cm hoch abgedeckt

Feld 2:

mit Abfallmix ca. 30 cm hoch abgedeckt und mit 1l PreciPan®FS 401 zu 10 l verdünnt besprüht

Feld 3:

mit Abfallmix ca. 30 cm hoch abgedeckt in den 1,1 l Tonziegelsplitt mit PreciPan®FS 401 getränkt (s. Vorversuch) eingearbeitet wurde

Feld 4:

mit Abfallmix ca. 30 cm hoch abgedeckt und mit Sermis mit PreciPan®FS 401 getränkt überdeckt



Die Höhen von 30 cm Überdeckung wurde gewählt, damit im vorgesehenen Zeitraum von 2 Monaten ein Ergebnis abgeleitet werden kann. Eine höhere Überdeckung hätte keine Aussagekraft gehabt, da die Zeitdauer einer möglichen Durchdringung definitiv länger dauert, eine niedrigere entspricht nicht dem Deponiebetrieb.

Quecksilber belastetem Abfall aus den Anlieferung im August/September 2022 wurde ca. 10 cm hoch ausgebracht .

Bilder: HIM GmbH

Messwerte der Versuchsfelder

- 1) Messgeräte Lumex Light
- 2) Versuchsfeld Sohle: Durchschnitt: $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (alle Werte $< 0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- 3) Mit Quecksilber belastetes Versuchsfeld: $300 - 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 4) Versuchsfelder jeweils Durchschnitt aus 5 Messungen
- 5) Angabe der Messwerte in der Messtabelle in

nur Hg-freier Abfallmix
 Abfallmix mit PerciPan besprüht
 Abfallmix + Tonziegelsplitt mit PerciPan getränkt
 Abfallmix + Seramis mit PerciPan getränkt

Datum	Temperatur	Wind	Feld 1	Feld 2	Feld 3	Feld 4	Mittelwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
26.05.2023	18 °C	stark	2,2	1,3	1,2	1,1	1,5	
01.06.2023	23 °C	schwach	0,28	0,22	0,28	0,38	0,29	
14.06.2023	26 °C	sehr schwach	0,28	0,32	0,24	0,38	0,31	
19.07.2023	29 °C	stark in Böen	0,38	0,28	0,3	0,34	0,33	
10.08.2023	25 °C	schwach	1,0	0,74	0,96	0,48	0,80	
Mittelwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		0,83	0,57	0,60	0,54		

Verfahren+A1:G16	Zeitaufwand	Technischer Aufwand	Nachhaltigkeit	Emissionsverhalten während Sanierung	Dekontaminationseffekt	Kosten T€ (grob geschätzt)
In-situ-Verfahren (biologisch/chemisch)						
Biologische Meatllausfällung mit Mikroorganismen	1 Vegetationsperiode	mittel	gering	mittel	mittel	150-200
Chemische Metallausfällung	mehrere Monate	mittel	gut	mittel	sehr gut	150-200
In-situ-Verfahren (thermisch)						
THERIS	1,5-2 a	sehr hoch	sehr gut	schlecht: Halle mit Bodenluftabsaugung und A-Kohlefilter	sehr gut	> 1000
TUBA	1,5-2 a	sehr hoch	sehr gut		sehr gut	> 1000
Ex-situ Verfahren						
Bodenwäsche/Vacuumdestillation	1,5-2 a	sehr hoch	sehr gut	schlecht: Halle mit Bodenluftabsaugung und A-Kohlefilter	sehr gut	25.000-30.000
Stabilisierung	1-1,5 a	mittel: Kompletttaushub 18.000 t	sehr gut		sehr gut	2500-3000
Sonstige Verfahren						
Adsorption von Hg-Species an Sperrschicht: Karbonfasermatten imprägniert mit PreciPan FS 401®	3-4 Wochen	niedrig	schlecht: mechanisch instabil für Deponie nicht geeignet	sehr gut	nur Luftpfad-Emissionen	-
Adsorption von Hg-Species an Sperrschicht: Tectosil Active-Matten imprägniert mit PreciPan FS 401®	3-4 Wochen	niedrig	gut	sehr gut	nur Luftpfad-Emissionen	140-150
Adsorption von Hg-Species an Sperrschicht: poröses Tongranulat (z.B. Serasil) imprägniert mit PreciPan FS 401® mit Hg-freien Abfall gemischt.	3-4 Wochen	niedrig	sehr gut	begleitende Kontrollmessungen notwendig	nur Luftpfad-Emissionen	60-65
Adsorption von Hg-Species an Sperrschicht: 1,5-2 m hohe Deckschicht von Hg-freien angelieferten Abfällen	normaler Deponieablauf	niedrig	gut	begleitende Kontrollmessungen notwendig	nur Luftpfad-Emissionen	20-25 Kontrollaufwand über 5 Jahre
Favorisierte Methoden da bester Kosten/Nutzeneffekt	Quelle: Bericht Evaluierung – Quecksilberemissionen nach Einlagerung Hg-haltiger Abfälle auf der SAD Billigheim. Hazwa Consulting, Schwerin 31.05.2023					

Tabelle 7: Bewertung der Sanierungsmethoden

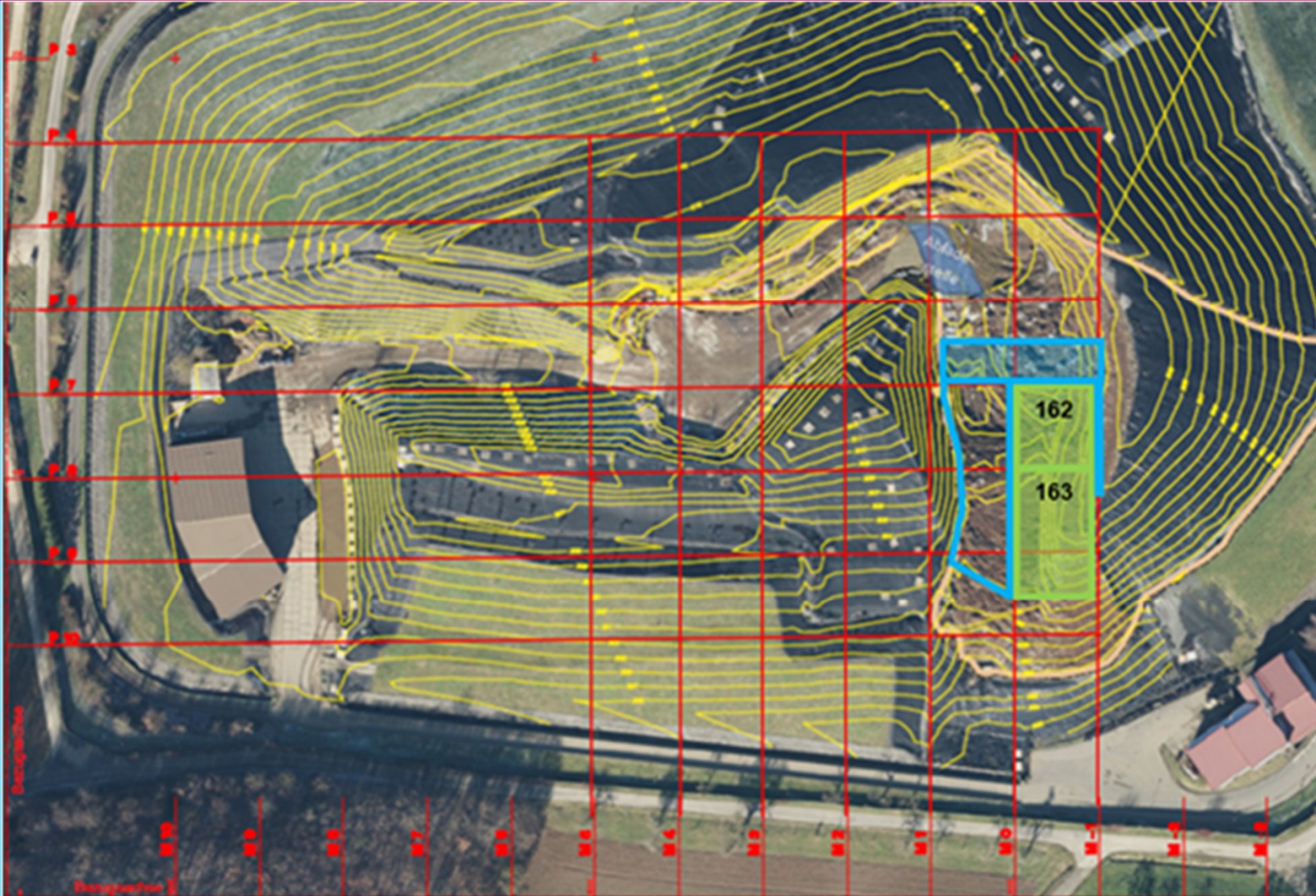


Bild des Tonziegelsplitts

E-Mail Hr. Hofmann, HIM, 28.07.2023

SAD Billigheim, geplante Quecksilberrückhalteschicht

Quecksilberrückhalteschicht



Grün markierte Einbaubereiche 162 und 163 mit blau markiertem Sicherheitsbereichen. Rechts von i. W. Einbaubereich 162 blau eingezeichneter Dichtungskeil an den steilen Böschungsbereich der bestehende Abfallschüttung. Abdichtung nach unten durch Anschluss einer 1,5 mm PE-HD verschweißten Folienabdichtung

Abschätzung der benötigten Menge an PreciPan FS 401®

Tabelle 1: Abschätzung der Flux-Rate auf Basis von Messergebnissen in Sichuan, China

Parameter	Maßeinheit	Sichuan, China	Maßeinheit	SAD Billigheim	Anmerkungen
Konzentration von Hg im Boden, max.	mg/kg TS	0,88	mg/kg TS	3900	Faktor: 4432-fache Konzentration auf SAD
Flux, max.	ng/m ² *h	538	mg/m ² *h	2,4	
Flux, max. über 5 Jahre	mg/m ² *5a	23,6	g/m ² *5a	104,5	

Tabelle 2: Abschätzung des Verbrauchs zur Imprägnierungen der Abdeckmaterialien

Parameter	Maßeinheit	PreciPan FS 401®	TMT 15®*	Anmerkung
Praktische Erfahrung	g Hg ⁰ /kg	300	-	Info von Lieferant
Stöchiometrische Berechnung	kg Hg ⁰ /kg	1	5,6	
Verbrauch /m ² über 5 Jahre	g/m ²	348	5215	Zeitraum bis zur finalen Abdeckung der SAD
Verbrauch Precipan/3000 m ² über 5 Jahre	kg/3000 m ² kg/2.100 m ²	1045 840 kg x 4-facher Überschuss	15647	
Empfehlung: Menge/Fläche	g/m ²	400	5.500	

* Bei Anwendung von TMT 15® ist eine Oxydation von Hg⁰ zu Hg²⁺ erforderlich, da TMT® 15 nur mit ionischem Quecksilber reagiert.

SAD Billigheim, geplante Quecksilberrückhalteschicht

Quecksilberrückhalteschicht

Die Gesamtflächengrößen setzen sich zusammen aus:

400 m ² für Einbaubereich 162 und 600 m ² für Einbaubereich 163	≈ 1.000 m ²
Sicherheitsbereich westlich der Einbaubereiche mit im Mittel ca. 46,8 x 14,2 m	≈ 665 m ²
Sicherheitsbereich nördlich von Einbaubereich 162 ca. 41,2 x 10 m	≈ 412 m ²
Dichtungskeil östlich von Einbaubereich 162 ca. 39 x 0,5 m	≈ 20 m ²
Dies ergibt eine Gesamtfläche für die Hg-Rückhalteschicht von rund	≈ 2.100 m ² .

Tonziegelsplitt als Abfall zur Verwertung (EBS)	2.100 m ² x 0,15 m Höhe 315 m ³ x 1,39 t/m ³	≈ 315 m ³ ≈ 438 t
PreciPan FS 401 [®] -Lösung	4-facher Überschuss = 4 x 0,4 kg/m ² x 2.100 m ² : 1,28 kg/L mit Wasser verdünnt (Aufnahme Tonziegelsplitt ca. 10 Vol.-%)	≈ 2.625 L ≈ 31.500 L
Schutzschicht als Abfall zur Verwertung (EBS)	2.100 m ² x 0,40 m Höhe 840 m ³ x 2,0 t/m ³	≈ 840 m ³ ≈ 1.680 t

SAD Billigheim, Aufbringen der Quecksilberrückhalteschicht



Tonziegelsplitt

IBC ist die Abkürzung für Intermediate Bulk Container und bezeichnet große Tankcontainer, die zur Lagerung und zum Transport von Flüssigkeiten verwendet werden.

PreciPAN®FS 401 in IBC-Containern



1 m³ 9 Vol.-% PreciPAN-Lsg.
= 90 L auf 910 L Wasser

SAD Billigheim, Aufbringen der Quecksilberrückhalteschicht



SAD Billigheim, Aufbringen der Quecksilberrückhalteschicht



SAD Billigheim, Aufbringen der Quecksilberrückhalteschicht



Abdecken mit bindigen Boden gegen Austrocknung

SAD Billigheim, Aufbringen der Quecksilberrückhalteschicht

Sicherheitsdatenblatt gemäß 1907/2006/EG, Artikel 31

aktualisiert

10.3.2022

Version 5.0

PreciPAN®FS 401

1: Bezeichnung des Stoffs bzw. des Gemischs und des Unternehmens

1.1. Produktidentifikator

Handelsname PreciPAN®FS 401

- UFI ER70-Q0VY-Q00X-CYJ2

- REACH-Registrierungsnummer entfällt, Polymer

1.2. Relevante identifizierte Verwendungen des Stoffs oder Gemischs und Verwendungen, von denen abgeraten wird

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen uns noch keine Informationen vor.

- Verwendung des Stoffs / des Gemischs Schwermetalldüngungsmittel

1.3. Einzelheiten zum Lieferanten, der das Sicherheitsdatenblatt bereitstellt

PANCHEMIE Dr. Gabor Fülöp GmbH

Am Gewerbehof 24

D-50170 Kerpen-Sindorf

Tel +49 2273 53800

E-Mail info@panchemie.de

Auskunftgebender Bereich

Abteilung Produktsicherheit

3: Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen

3.2. Gemische

Beschreibung Gemisch aus nachfolgend angeführten Stoffen mit ungefährlichen Beimengungen (Lösung in Wasser).
Alkalische Zubereitung eines anorganischen, schwefelhaltigen Fällungsmittels für Schwermetalle in Abwässern.

Gefährliche Inhaltsstoffe		
CAS: 1310-73-2 EINECS: 215-185-5 Reg.Nr.: 01-2119457892-27	Natriumhydroxid  Met. Corr.1, H290; Skin Corr. 1A, H314	1-5%
CAS: 1344-08-7 EINECS: 215-686-9 Reg.Nr.: 01-2119489803-26	Natriumpolysulfide  Acute Tox. 3, H301;  Skin Corr. 1B, H314;  Aquatic Acute 1, H400	5-10%

Zusätzl. Hinweise Der Wortlaut der angeführten Gefahrenhinweise ist dem Abschnitt 16 zu entnehmen.

2: Mögliche Gefahren

2.1. Einstufung des Stoffs oder Gemischs

Einstufung gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP)

Skin Corr. 1B H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

Acute Tox. 4 H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

Klassifizierungssystem

Die Klassifizierung entspricht den aktuellen EG-Listen, ist jedoch ergänzt durch Angaben aus der Fachliteratur und durch Firmenangaben.

2.2. Kennzeichnungselemente

Kennzeichnung gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008

Das Produkt ist gemäß CLP-Verordnung eingestuft und gekennzeichnet.

Gefahrenpiktogramme



GHS05 GHS07

Signalwort Gefahr

Gefahrbestimmende Komponenten zur Etikettierung

Natriumpolysulfide, Natriumhydroxid

Gefahrenhinweise

H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

Sicherheitshinweise

P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.

P264 Nach Gebrauch Hände gründlich waschen.

P303+P361+P353 BEI KONTAKT MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle beschmutzten, getränkten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.

P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen.

Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

P301+P312 BEI VERSCHLUCKEN: Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt anrufen.

pH-Wert: 13,2 – 13,5

Einstufung in Wassergefährdungsklassen nach AwSV

WGK 1, schwach wassergefährdend (Berechnung des Labors Laus GmbH)

Fazit

Rückblickend, nach den zwischenzeitlich gemachten Erfahrungen und Untersuchungsergebnissen kann festgehalten werden, **dass mit derart starken Ausgasungen** von im Boden befindlichem **Quecksilber im Promillebereich** (500 – 3.900 mg/kg), **mangels Erfahrungswerten**, **keiner** der für die umweltgerechte Beseitigung auf einer Sonderabfalldeponie Zuständigen **gerechnet hatte, bzw. rechnen konnte**.

Auch der Verfasser dieses Berichts war bezüglich der starken Ausgasung mehr als überrascht.

Nach der grundlegenden Charakterisierung hielten die Eluatwerte die Zuordnungswerte für DK III überwiegend ein. Auch die Einzelfallgenehmigungen des RP Karlsruhe bei Überschreitungen des Zuordnungswertes lagen innerhalb des von der Deponieverordnung zulässigen Rahmens.

Dem **Deponiebetreiber** und der **Genehmigungsbehörde** kann zugutegehalten werden, dass Sie sich an die **Vorgaben der Deponieverordnung gehalten** haben und danach alles getan haben, um **Schaden von Mensch und Umwelt abzuwenden**.

Durch eine über die Deponieverordnung hinausgehende zukünftige Anforderung der SAD Billigheim, bei der grundlegenden Charakterisierung unbekannter, oder einschlägig bekannter Hg-haltiger Abfälle, die **Quecksilbergehalte in der Originalsubstanz bestimmen** zu lassen, sollten vergleichbare Hg-haltige Anlieferungen zukünftig ausgeschlossen werden. Eine **Kontrolle** von möglichen **Hg-Ausgasungen** kann zusätzlich mit dem neu erworbenen Hg-Analysegerät RA 915 M von Lumex Instruments **vor Ort**, durchgeführt werden. Dadurch können zukünftig Fehlanlieferungen ausgeschlossen werden.

Eine **Deponierung quecksilberhaltiger Abfälle mit Ausgasungspotential** sollte zukünftig grundsätzlich **nur noch nach Vorbehandlung durch Immobilisierung** mit z. B. PreciPan FS 401® erfolgen. Dabei werden Hg⁰ und Hg²⁺ in schwerlösliches und damit **emissionsarmes Quecksilbersulfid (HgS) umgewandelt**.

Gemäß der **österreichischen Deponieverordnung** ist beim Vorliegen von **Quecksilber in Form schwerlöslicher sulfidischer Verbindungen**, und wenn der **Abfall** zuvor **stabilisiert, oder immobilisiert** wurde, auf Reststoffdeponien ein Quecksilbergehalt bis **maximal 3.000 mg/kg TM zulässig**. Die deutsche **Deponieverordnung (DepV)** sollte im Rahmen der nächsten **Novellierung** um einen **vergleichbaren Passus ergänzt werden**.

4.3.11 Quecksilberhaltiges Bodenmaterial

im Rahmen von Altlastensanierungen kann Bodenmaterial, welches mit quecksilberhaltigen Verbindungen verunreinigt, z.B. bei **ehemaligen Kyanisierungs-Betrieben**, bei denen **Quecksilber(II)-Chlorid** aufgrund seiner pilztötenden Eigenschaft zur Imprägnierung von Holz eingesetzt wurden. ist, als **gefährlicher Abfall** (17 05 03*) anfallen.

Bei elementarem Quecksilber und sonstigen Quecksilberverbindungen handelt es sich um **giftige Stoffe**, wobei die Expositionswege teilweise entscheidend für die toxische Wirkung sind. Elementares Quecksilber ist das einzige Metall, das unter Standardbedingungen ($T = 25\text{ °C}$ und $p = 1,013 \cdot 10^5\text{ Pa}$) in flüssiger Form vorliegt und bereits **bei üblichen Umgebungstemperaturen verdampft** (Informationssystem Chemikalien des Bundes und der Länder (Umweltbundesamt), www.chemikalieninfo.de.)

Beim Aushub, bei der Lagerung, aber auch bei der Ablagerung von quecksilberhaltigen Abfällen auf einer Deponie kann diese Eigenschaft zu Problemen führen. Eine mögliche **Ausgasung** von Quecksilber ist daher im Zusammenhang mit dem Eintrag in die Umwelt und dem Arbeitsschutz zu betrachten.

Für Deponien sind in Anhang 3 Tabelle 2 DepV Zuordnungswerte für Quecksilber im Eluat definiert (Nummer 3.09). Allerdings gibt es **keine Zuordnungswerte für Quecksilber im Feststoff**. Dies kann dazu führen, dass die Zuordnungswerte aufgrund der geringen Löslichkeit einer Quecksilberverbindung für die jeweilige Deponieklasse eingehalten und daher abgelagert werden können.

Allerdings kann **bei hohen Feststoffwerten** durch Abbau- und Reaktionsprozesse unter Umständen während der Ablagerung elementares Quecksilber gebildet werden, sodass die **Gefahr des Ausdampfens von Quecksilber aus dem Deponat** besteht und eine **Verlagerung der Schadstoffbelastung in die Atmosphäre** und auf andere Schutzgüter (Flora, Fauna, Boden, Mensch usw.) resultieren kann.

Eine **ausreichend mächtige Überdeckung mit mineralischem Materialien ($> 2\text{ m}$)** kann schädliche Auswirkungen auf die Schutzgüter minimieren. Quecksilberemissionen können über ein spezifisches **Biomonitoring oder Messgeräte** ermittelt werden.

Bei quecksilberhaltigem Bodenmaterial ist daher im Rahmen der grundlegenden Charakterisierung ein besonderes Augenmerk auf die Art der Quecksilberverunreinigung zu legen. Neben einer **umfassenden Abfalluntersuchung** (ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen), die auch auf **das Ausdampfverhalten von Quecksilber eingehen** sollte, ist ggf. eine **Immobilisierung des Quecksilbers durch eine geeignete Vorbehandlung** vor der Anlieferung des Abfalls auf die Deponie erforderlich.

Gegebenenfalls kann eine **Untertagedeponierung** in Frage kommen.

Freundliche mündliche Mitteilung von Falk Fabian UM BW / LUBW:

Dem Verordnungsgeber wurde im Zusammenhang mit den hier gewonnenen Erkenntnissen eine Information gegeben.

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**



Thomas Egloffstein

icp@icp-ing.de
www.icp-ing.de

Quecksilberdampfemissionen aus abgelagerten quecksilberhaltigen Böden der Altlastensanierung
- Ein Erfahrungsbericht von der SAD Billigheim

Since 1991

Engineering for a Better Tomorrow

34. Karlsruher Deponie- und
Altlastenseminar

16. und 17. Oktober 2024