

# 23. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar 17.10.2013



## Gastechnische und bodenspezifische Betrachtungen zu Methanoxidationsschichten in Sachsen

**Teil 1:** Bodenspezifische Betrachtungen  
Dr. M. Müller, DBI-EWI GmbH Freiberg

**Teil 2:** Gastechnische Betrachtungen –  
Dr. A. Seyfert, SEF Energietechnik GmbH  
Zwickau

# Einleitung

- Methanoxidationsschichten als passives Entgasungssystem – mehr als 10 Deponien in Sachsen
- unterschiedliche Systeme in Form/Aufbau und Lage der Methanoxidationsschicht
- Prüfung und Wertung der bereits hergestellten und betriebenen Systeme auf Basis bodenspezifischer und gastechnischer Untersuchungen
- Auswahl von 5 Deponien (Deponie A – E) mit differenzierten Systemen und Aufbau

**Variante 1** - Gaseinleitung in die Entwässerungsschicht (30 cm Kies ), Tiefenlage 1,0 m

**Variante 2** - Gaseinleitung in die Entwässerungsschicht (Drainagematte und im Plateaubereich + Gasverteilerschicht), Tiefenlage 1,5 m

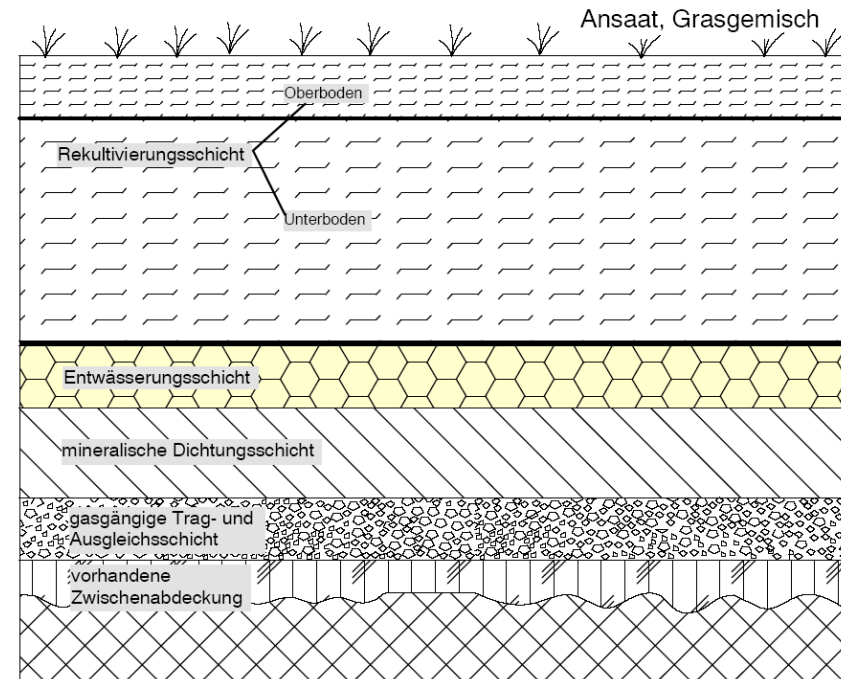
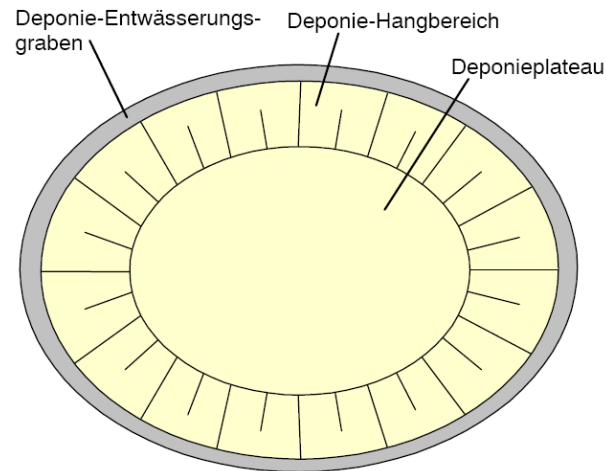
**Variante 3** - Gaseinleitung oberflächennah in flache Einzelkanäle, Tiefenlage ca. 0,3 m, zusätzliche Einleitung in die Entwässerungsschicht, Tiefenlage 1,2 m

**Variante 4** - Gaseinleitung in ein Verteilerrigolensystem, Tiefenlage ca. 0,4 m, zusätzliche Einleitung in die Entwässerungsschicht

**Variante 5** - Gaseinleitung in eine Gasverteilerfläche, Tiefenlage 0,4 m, zusätzliche Einleitung in die Entwässerungsschicht

# Beschreibung der untersuchten Verfahren zur passiven Deponiegasentsorgung

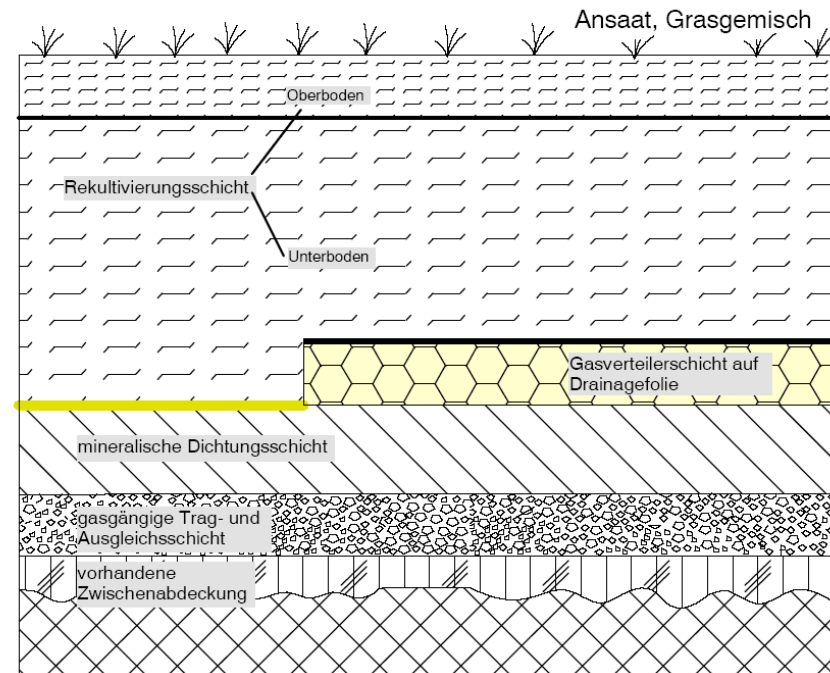
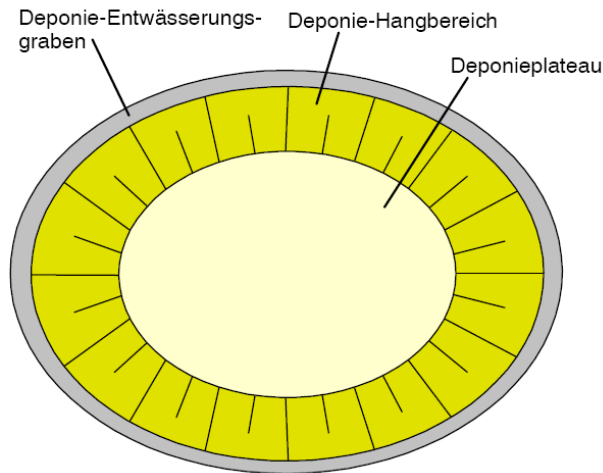
## Variante 1 – Einleitung in die Entwässerungsschicht, tief liegend



- Alleinige Nutzung der Kies-Entwässerungsschicht unterhalb der Rekultivierungsschicht zur Deponiegaseinleitung sowie Gasverteilung (Abstand zur Oberfläche größer/gleich 1 m)

# Beschreibung der untersuchten Verfahren zur passiven Deponiegasentsorgung

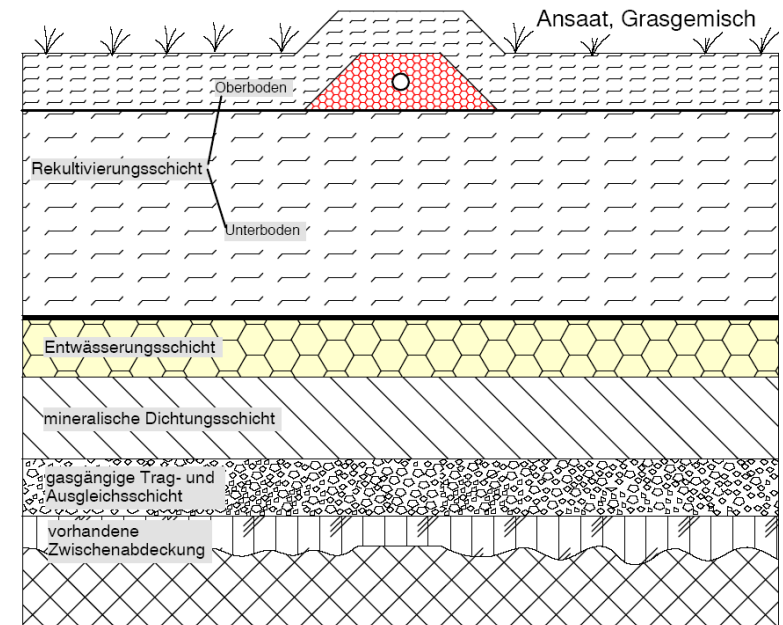
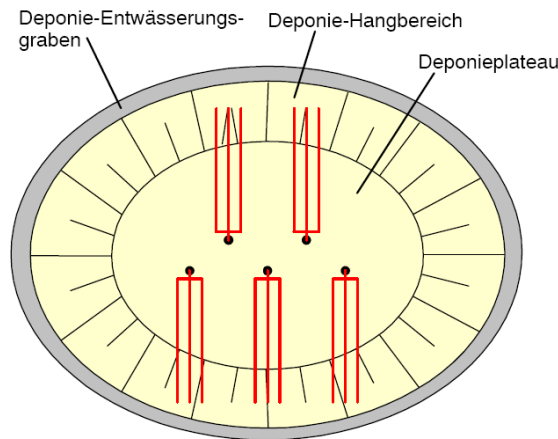
## Variante 2 – Einleitung in eine tiefliegende Gasverteilerschicht



Nutzung der Drainagematte des Deponiekörpers in Verbindung mit einer direkt auf dieser Schicht partiell aufgebauten zusätzlichen Gasverteilerschicht. Der Oberbodenabstand der Gasverteilerschicht beträgt dabei ca. 1,5 m (tiefe Lage)

# Beschreibung der untersuchten Verfahren zur passiven Deponiegasentsorgung

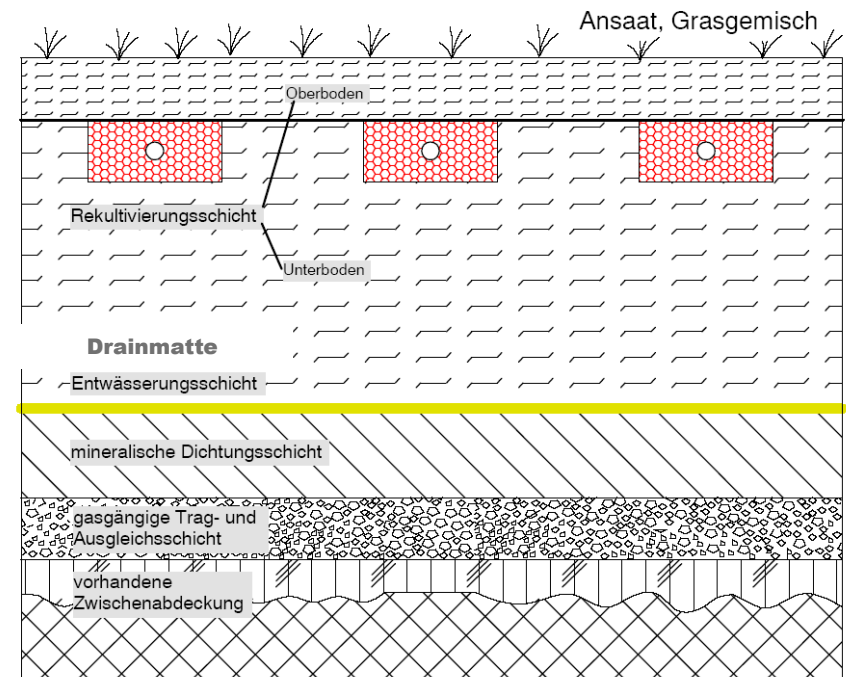
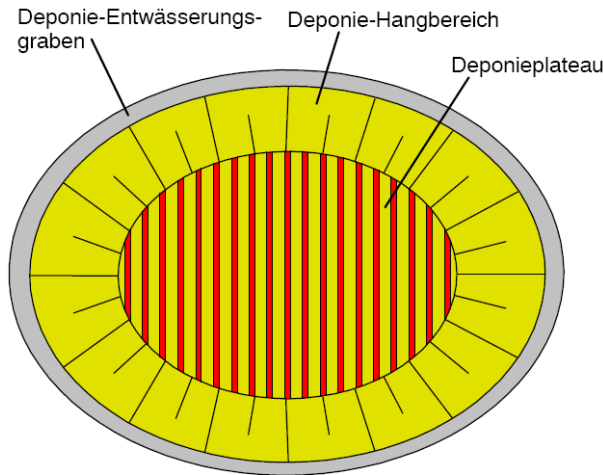
## Variante 3 – Einleitung in oberflächennah gelegene Einzelrigolen



- Gasverteilungssystem mit aufgesetzten bzw. teilweise auch eingearbeiteten flachen Einzelkanälen, die in Oberflächennähe (ca. 20 – 30 cm Abstand) des Deponiekörpers eingebracht und entsprechend überschüttet wurden. Eine zusätzliche Deponiegaseinleitmöglichkeit in die Entwässerungsschicht (1,2 m Tiefenlage) ist durch einen separaten 2. Anschluss an den Gasbrunnen/Gasdomen möglich

# Beschreibung der untersuchten Verfahren zur passiven Deponiegasentsorgung

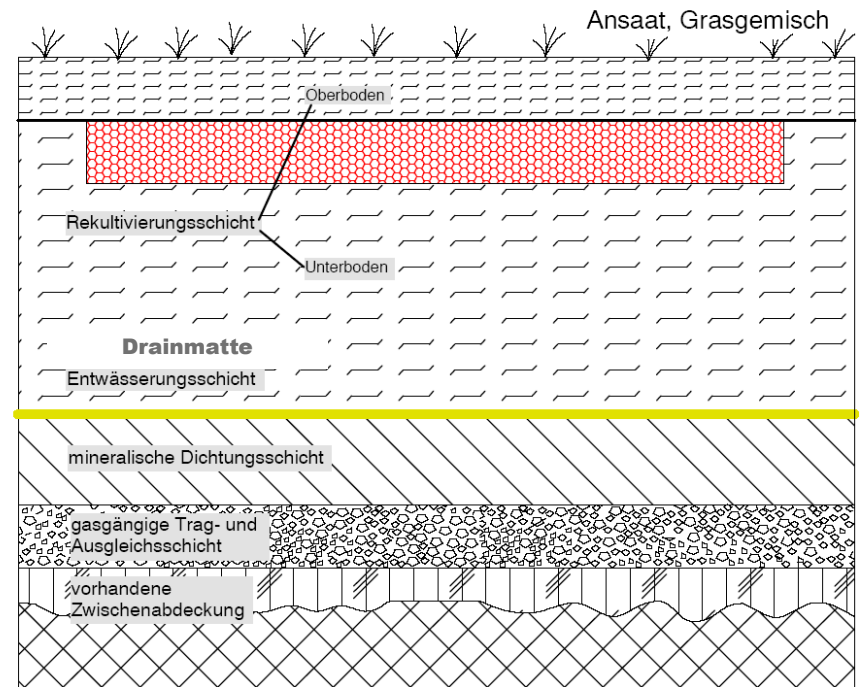
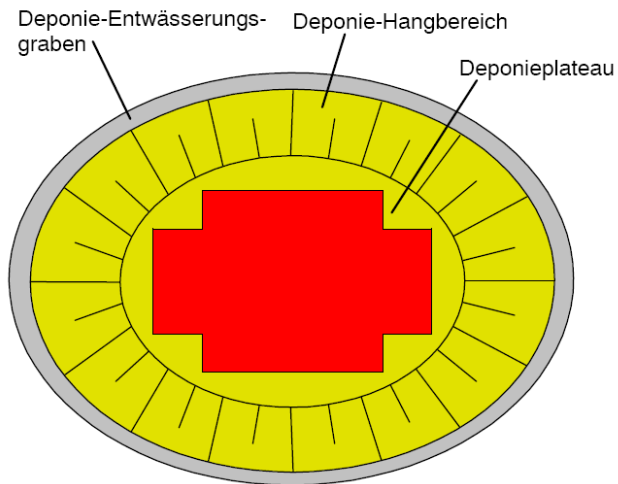
## Variante 4 – Einleitung in ein oberflächennah bis mittig in der Reku-Schicht angeordnetes Verteilerrigolensystem



- Ein integriertes Verteilerrigolensystem (durch Einzelkanäle unterbrochene Fläche), die innerhalb der Rekultivierungsschicht in einem Abstand von 30 cm bis 40 cm von der Deponieoberfläche angeordnet sind. Eine separate Überschüttung der Rigolen erfolgte nicht. Zusätzlich ist die Deponiegaseinleitung in die Entwässerungsschicht möglich

# Beschreibung der untersuchten Verfahren zur passiven Deponiegasentsorgung

## Variante 5 – Einleitung in ein oberflächennah bis mittig in der Reku-Schicht angeordnete Verteilerrigolenfläche



- Ein integriertes Verteilerflächensystem, bei dem innerhalb der Rekultivierungsschicht eine nicht unterbrochene Gasverteilerfläche mit definierter Tiefenlage (30 cm – 40 cm) eingebracht wird. Zusätzlich ist die Deponiegaseinleitung in die Entwässerungsschicht möglich

# Teil 1 – Bodenspezifische Untersuchungen

## Charakterisierung des Einbauzustandes (Berichte der Fremdprüfung)

- Herstellung der Methanoxidationsschichten vor 2009 → lediglich Anforderungen an die Bodenchemie und Schichtmächtigkeit ( $d \geq 1 \text{ m}$ )
- oberflächennahe Anordnung der Gasverteilung bei den Deponien C – E bedingt eine geringere Mächtigkeit des wirksamen Bereiches der Methanoxidationsschicht
- \*verwendeten Bodenarten: schluffig, lehmige Sande und sandige Schluffe
- Deponien A, C und D: Ermittlung des Wasserrückhaltevermögens nach KA4 / KA5
- chemische Unbedenklichkeit wurde nachgewiesen
- Die eingebauten Böden entsprachen dem damaligen Stand der Technik bzgl. Rekultivierungs- bzw. Methanoxidationsschichten

## Bodenprobenahme an den Methanoxidationsschichten

- Gewinnung von gestörten und ungestörten Bodenproben (02.11. & 18.11.2011)
- jeweils 3 Gewinnungsstellen je Deponie
- jede Probenahmestelle → aktuelle FID-Messung (SEF Energietechnik GmbH)



# Teil 1 – Bodenspezifische Untersuchungen

Parameter	Forderung nach BQS 7-3	Deponie A	Deponie B	Deponie C	Deponie E	Deponie F
Klassifikation (Feinboden)	Su2-Su4; Sl2-Sl4; St2; Slu	Su3; Sl2	Sl3; Sl4; Uls	Su3; Sl2; Sl3	Su4; Sl3; Slu	Slu; Us; Uls
Verdichtungsgrad	lockerer Einbau	$D_{Pr} = 112\%$	$D_{Pr} = 103\%$	$D_{Pr} = 102\%$	$D_{Pr} = 90\%$	--
Lagerungsdichte (KA 5)	Ld3	Ld4	Ld5	Ld5	Ld3	Ld3
Luftkapazität	10-14 Vol. %	5,1 Vol.-%	5,9 Vol.-%	6,7 Vol.-%	9,1 Vol.-%	6,3 Vol.-%
nFK (Labor) bzgl. UB	140 mm	12 Vol.-% bzw. 192 mm	16 Vol.-% bzw. 208 mm	11 Vol.-% bzw. 132 mm	16 Vol.-% bzw. 136 mm	11 Vol.-% bzw. 121 mm
nFK (KA 5) bzgl. UB	--	276 – 330 mm	153 – 224 mm	168 – 170 mm	129 – 147 mm	180 – 195 mm

# Teil 1 – Bodenspezifische Untersuchungen

## Charakterisierung des Einbauzustandes (Berichte der Fremdprüfung)

- Bodenklassifikation → geringfügige Abweichungen gegenüber der FP beim Einbau
- Bodenarten entsprechen den grundsätzlich geeigneten Arten gemäß BQS 7-3
- Glühverluste (2 - 4%) entsprechend den Anforderungen nach BQS 7-3
- Lagerungsdichten / Verdichtungsgrade teilweise zu hoch (Deponie A, B und C) → Ursache: Konsolidierung des Bodens, technologisch bedingte Verdichtung beim Einbau
- Wasserrückhaltevermögen über die Gesamtmächtigkeit der Rekultivierungsschicht:
  - Deponie A: 192 mm
  - Deponie B: 253 mm
  - Deponie C: 181 mm
  - Deponie D: 171 mm
  - Deponie E: 145 mm
- Luftkapazitäten (< 10 Vol.-%) zu gering gegenüber BQS 7-3

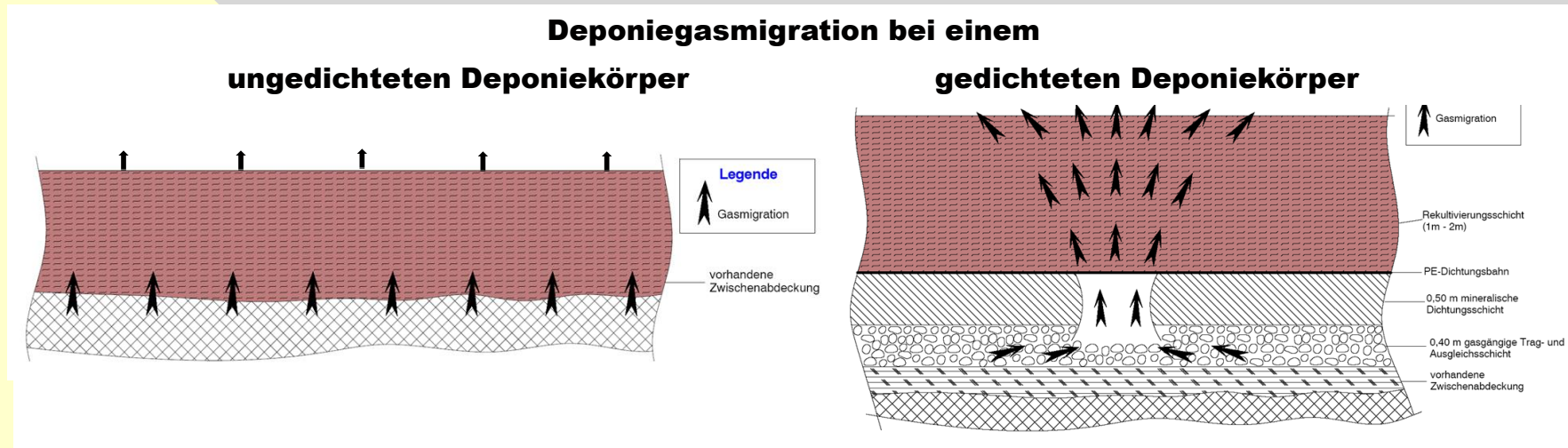
# Teil 1 – Bodenspezifische Untersuchungen

## Charakterisierung des Einbauzustandes (Berichte der Fremdprüfung)

- verwendete Böden grundsätzlich geeignet für Methanoxidationsschichten
- verringerte Abbauraten bei Deponie A-C bedingt durch die schlechte Gaswegsamkeit
- teilweise sehr hoher Verdichtungsgrad → Minimierung der Konvertierungsraten des Gases (starke Verdichtung → Bildung einer CH<sub>4</sub>-Glocke)
- hoher Verdichtungsgrad bedingt nicht zwangsläufig eine schlechte Gaswegsamkeit □  
hoher Feinkornanteil des Bodens → hohe Empfindlichkeit gegenüber Verdichtungseinwirkung
- Deponie D und E gute Abbauleistungen → Verdichtung DPr = ca. 90%
- Methanoxidationsleistung = f (Porenvolumen, Porenraumgliederung, Wassergehalt, Aufenthaltszeit des Methangases)
- oberflächennahe Gaseinleitung → bessere Konvertierungsraten, aber starke Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen (z. B. Trockenheit, Nässe)

# Notwendigkeit von Systemen mit passiver Deponiegasentsorgung

- Mit der Abdichtung der Deponien durch Oberflächendichtungssysteme, die eine Migration des Deponiegases durch den Oberboden nahezu vollständig verhindern, wird die Migration des Deponiegases durch den Unterbodenbereich, bzw. durch ungedichtete Seitenbereiche, begünstigt



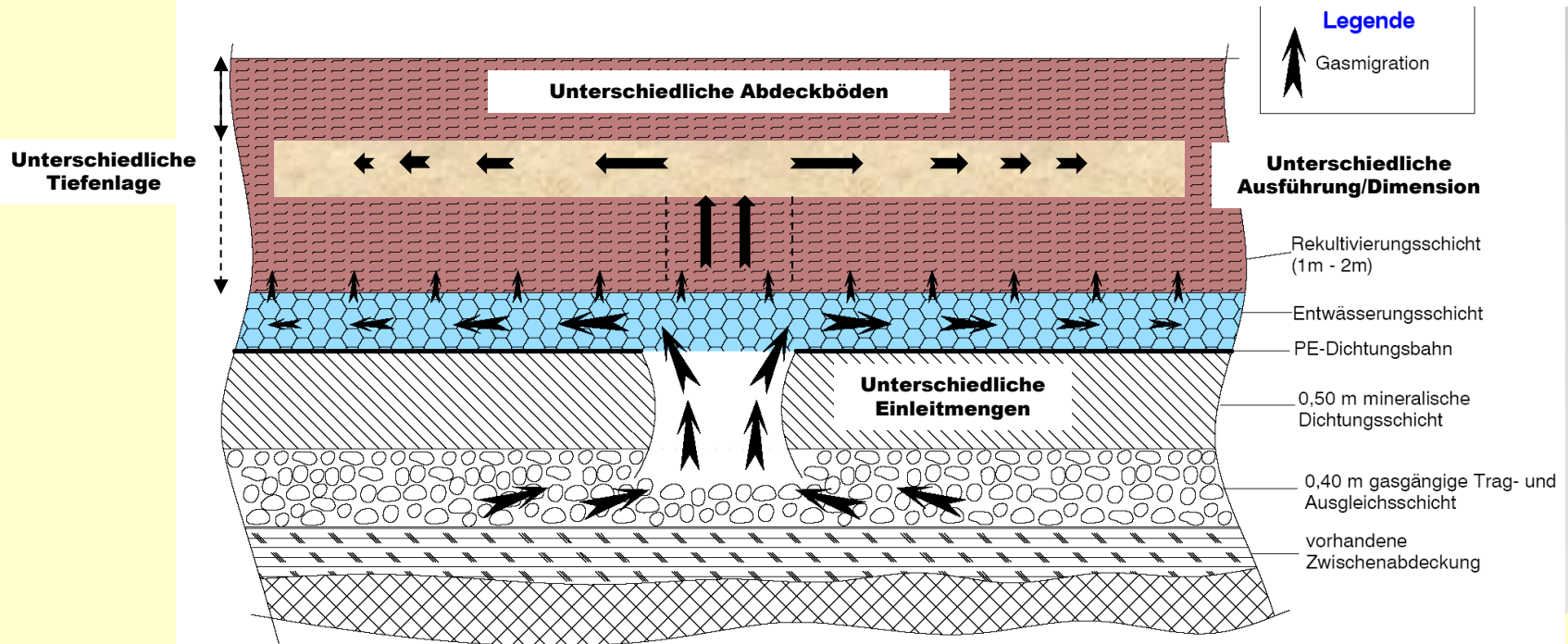
- Die Schaffung entsprechender „Entlastungsstellen“ wie z.B. Gasbrunnen oder Gasfenster wird notwendig, um eine gastechnische Entspannung zu gewährleisten und den Druckaufbau unter der Dichtung zu verhindern
- Die vorher eher gleichmäßige Bodenanstömung, mit „natürlicher“ Methanoxidation in der Abdeckschicht, wird durch lokale Emissionsströme abgelöst

➡ **Einzelfilteraufsätze sind überlastet!**

# Unterschiedliche Systeme zur passiver Deponiegasentsorgung

## Deponiegasmigration bei einem gedichteten Deponiekörper

- mit Einleitung in Entwässerungsschicht bzw. in spezielle Gasverteilerschicht



## Systemvariationen

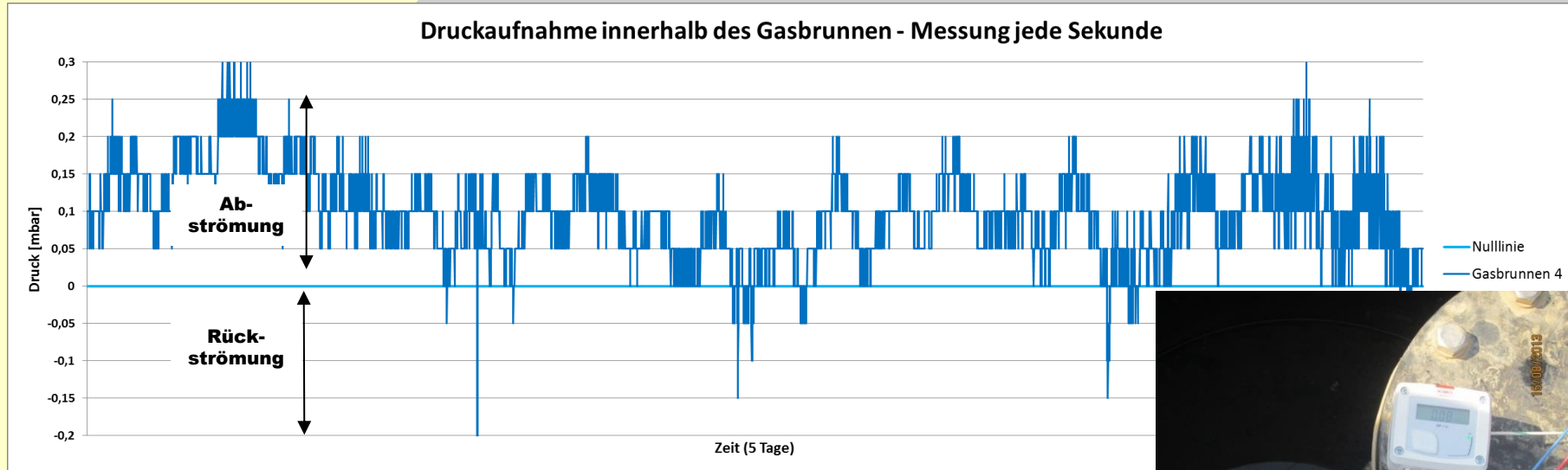
- ↪ Unterschiedliche Tiefenlage der Gasverteilerschicht sowie Art der Abdeckböden
  - ↪ Unterschiedliche Ausführung und Dimensionierung der Gasverteilerschicht - separate Rigolen, Fläche oder offene Entwässerungsschicht!
  - ↪ Unterschiedliche Einleitmengen (je nach Deponiegröße und Alter) - z.T. Doppeleinleitung
- ➔ große Systemvielfalt und freie Parameter, Problem oberflächengedichtete Deponien finden in den Empfehlungen des BQS 7-3 kaum Berücksichtigung

# Hauptproblemstellungen

## Welche Hauptproblemstellungen gibt es bei der Anwendung einer Gasverteiler- und Methanoxidationsschicht?

- Ein Hauptproblem ist die Realisierung einer homogenen Gasverteilung in der Gasverteilerschicht, insbesondere unter Berücksichtigung der starken Dynamik des Systems – Neue Ergebnisse von Abströmuntersuchungen auf Deponien
- Die Bodendurchlässigkeiten sind trotz Bodenwahl nach entsprechenden Klassifikationen (im ersten Vortragsteil benannt) sehr unterschiedlich - Ergebnisse der Untersuchungen zu den Bodendurchlässigkeiten bestätigen das
- Die sachgerechte Bemessung sowie Beurteilung von Methanoxidationsschichten ist sehr schwierig – Es erfolgte die Ableitung eines Berechnungsverfahrens unter Berücksichtigung neuer Messergebnisse

# Messung des Einleitdruckes und Nachweis der Dynamik der eingeleiteten Deponiegasmengen



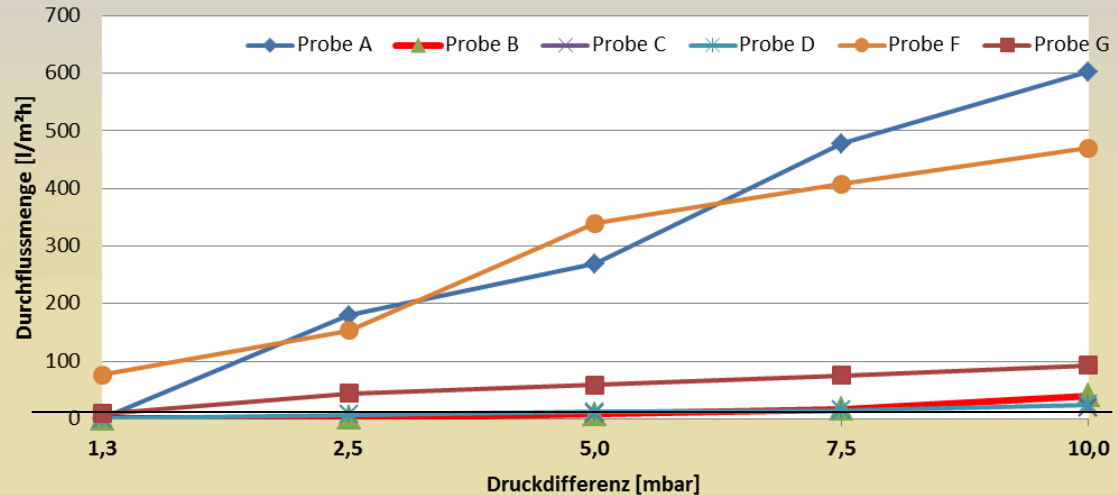
- ↪ Der Abströmdruck und somit auch die Abströmmenge unterliegt bei älteren Ablagerungen starken Schwankungen, wodurch nicht nur Zustände des Abströmens, sondern auch des Rückströmens in den Deponiekörper auftreten (insbesondere Luftdruckeinfluss)
- ↪ Die Dynamik erschwert zudem eine eindeutige Zuordnung von gemessener Einleitmenge und zeitlich verzögerter Abströmmenge, wodurch eine exakte Berechnung erheblich erschwert wird
- ↪ Einleitdruck meist sehr gering - maximal 1 mbar

# Ergebnisse der gastechnischen Untersuchungen - Durchströmversuche

Bild: Durchströmversuchsstand



Luftdurchlässigkeit unterschiedlicher Böden in Abhängigkeit von unterschiedlichen Druckdifferenzen (normiert auf 1 m Bodenstärke)

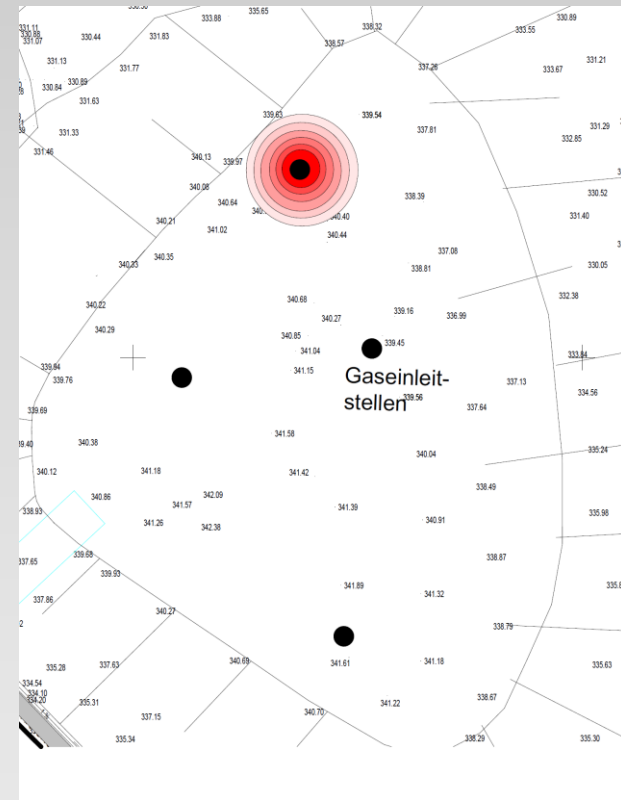
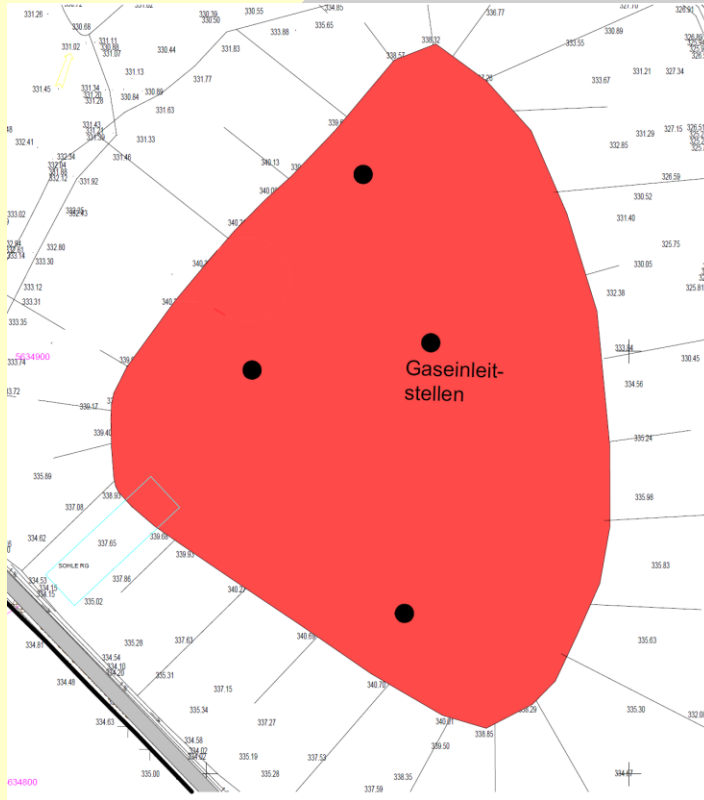


- Schlagprobe direkt von der Methanoxidationsschicht entnommen; Anlegen von geringen Luftdrücken 1,0; 2,5; 5,0 und 10,0 mbar und Abströmung in 10 l Messbeutel, Methanproben kein signifikanter Unterschied
- Trotz Auswahl eines geeigneten Bodens sind die Bodendurchströmraten sehr unterschiedlich
- Ohne Druckaufbau in der Gasverteilerschicht sind die Durchströmraten vieler Abdeckschichten zu gering um die Methanoxidationsleistung der Abdeckböden (von z.B. 4 l/m²h) zu erreichen – **Einleitung in die Entwässerungsschicht ist aber drucklos!**
- Bei lockeren Bodenschüttungen auch viel zu hohe Durchströmraten!



# Ergebnisse der gastechnischen Untersuchungen - Gasverteilungsanalysen

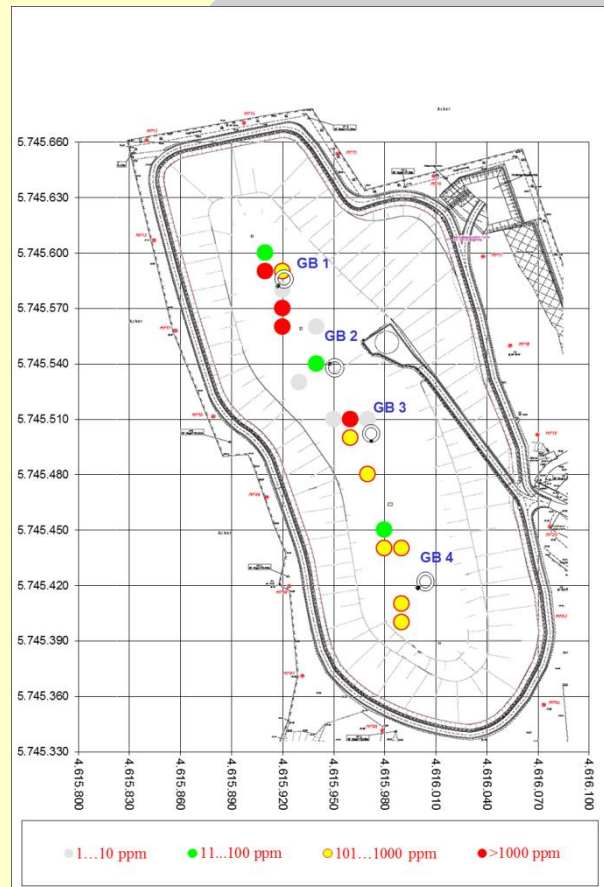
● Bilder: Beispiel für eine homogene bzw. inhomogene Gasverteilung in der Gasverteilerschicht



- ↪ Fazit: Eine Abstimmung zwischen möglichst homogener Deponiegasverteilung in der Gasverteilerschicht und ausreichender Bodendurchlässigkeit ist sehr schwer realisierbar, auch wenn die empfohlenen Bodenarten zum Einsatz kommen
- ↪ Einfluss von Bodenveränderungen und Boden Anpassungen werden derzeit untersucht

# Ergebnisse der gastechnischen Untersuchungen – FID Nachweismessungen

● Bild: Im Rahmen einer FID-Messung auf der Methanoxidationsschicht detektierte CH-Emissionen - Beispieldeponie

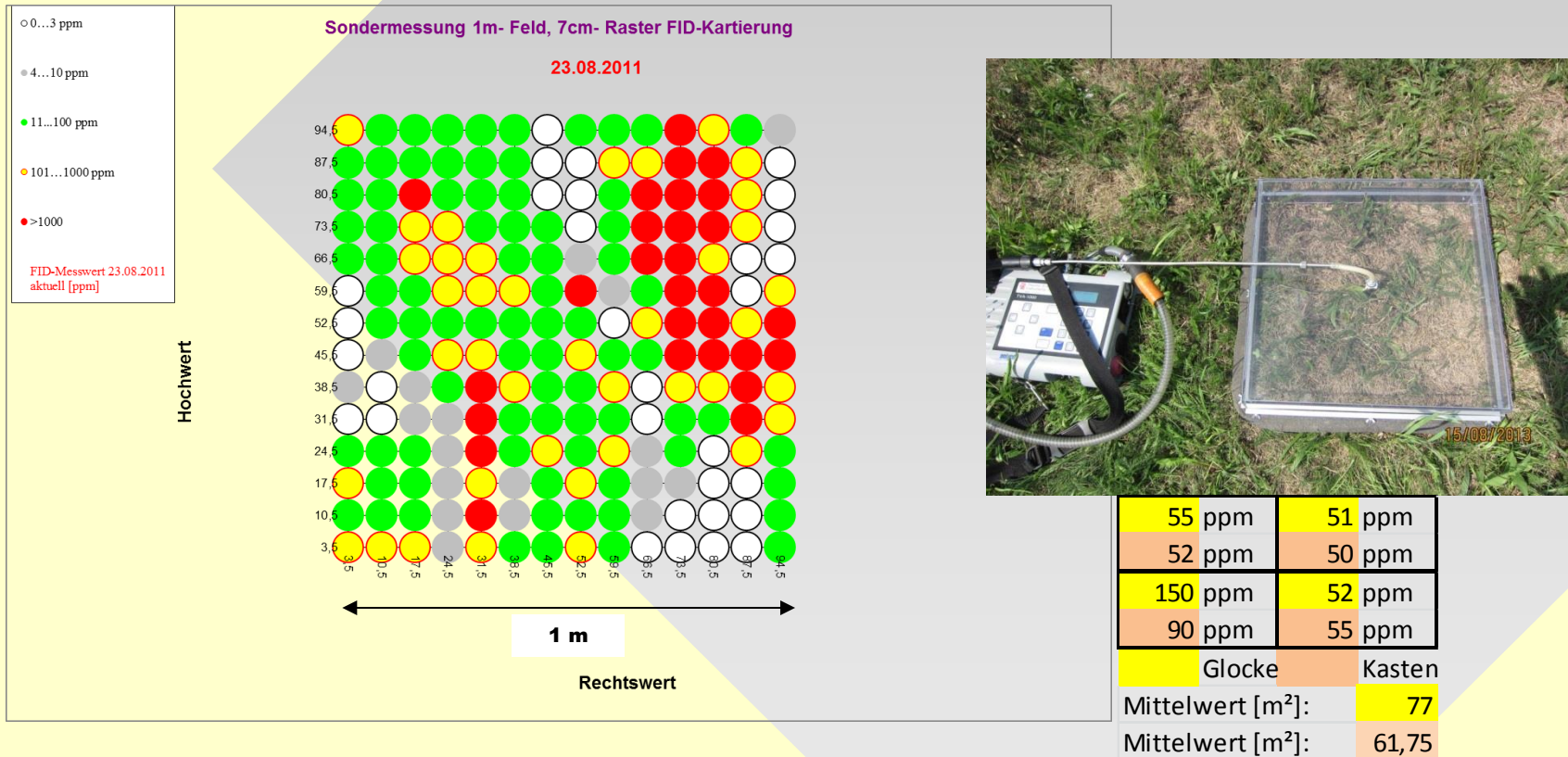


- Trotz eines homogenen Boden- und Schichtaufbaus ist die Bildung von „Hot Spots“ mit erhöhten Emissionen kaum zu verhindern. Insbesondere an Durchdringungsbauwerken treten Häufungen auf
- Auch bei einer Verringerung des Messrasters (10 m) können aus FID-Messergebnissen die freigesetzten Emissionen nicht sachgerecht berechnet werden
- Vertiefte Messungen bzw. Sondermessungen waren notwendig

⇒ **These:** Die unkonvertiert austretende Menge an Deponiegas ist trotz der lokalen Emissionen gering und kann unter Berücksichtigung eines angepassten messtechnischen Nachweises berechnet werden

# Ergebnisse der gastechnischen Untersuchungen – FID Nachweismessungen

Bilder: Messungen mit einer 7 cm Saugglocke bzw. Messkasten in einem Bereich von 1 m<sup>2</sup>



- Punktmessungen mit FID-Saugglocke können schon in einem Teilgebiet von einem Quadratmeter ganz unterschiedliche Messergebnisse bringen
- Die Durchführung von Kastenmessungen mit einem Flächenanteil von 0,25 m<sup>2</sup> erbringt erst einen bewertbaren Flächenbezug

# Ergebnisse der gastechnischen Untersuchungen – FID Nachweismessungen

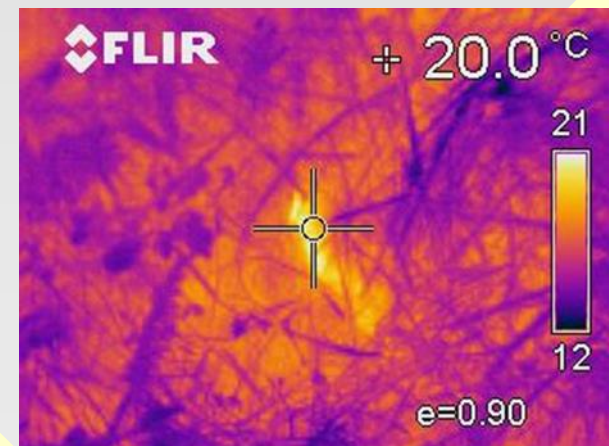
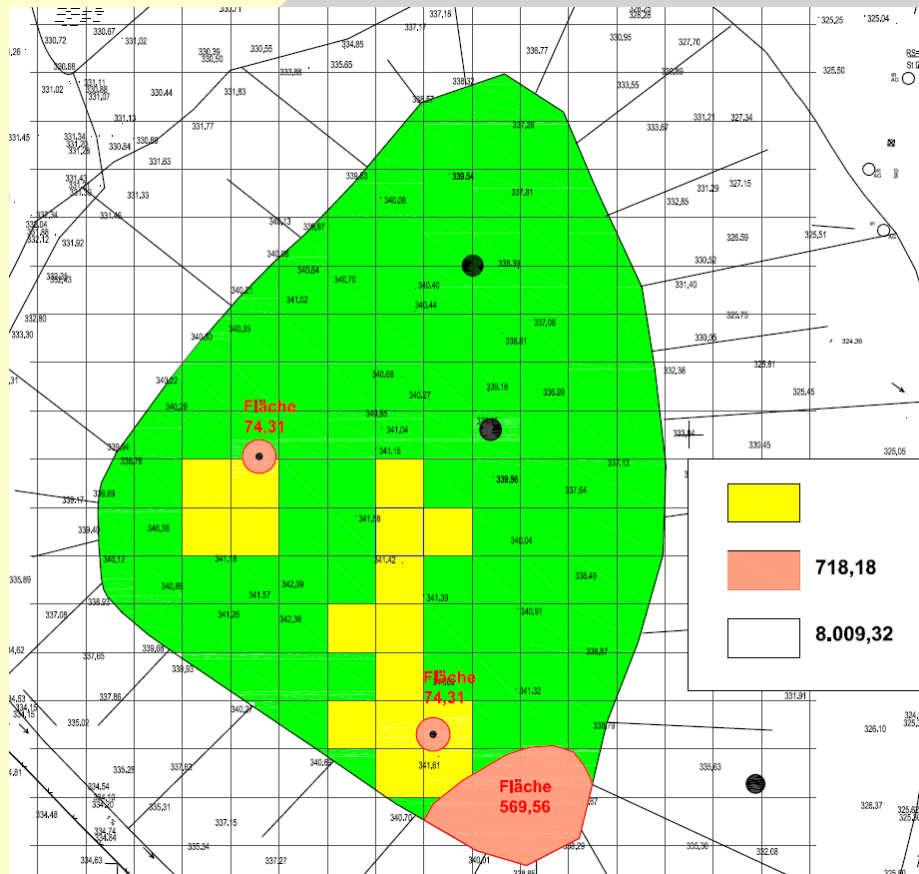
● Tabelle: Im Rahmen einer FID-Kastenmessung mit einem Flächenanteil von 0,25 m<sup>2</sup> erhaltene Emissionswerte [ppm] auf einer stärker belasteten Teilfläche von 10 m x 10 m

5	5	40	800	2000	2000	600	50	100	60	20	20	70	70	60	60	50	10	20	20
0	0	0	0	300	200	200	5	10	20	0	0	10	20	5	5	5	5	20	0
0	0	10	150	500	250	500	20	0	0	0	5	20	30	50	100	200	100	5	0
0	0	5	300	900	1200	400	800	40	0	0	150	200	600	2000	1000	800	5	10	10
0	10	40	500	800	800	100	40	0	5	60	50	300	400	800	3000	800	10	0	5
0	5	20	250	100	120	0	10	20	10	5	30	40	60	500	10000	50	0	0	0
0	5	10	10	50	50	0	0	0	5	0	0	0	20	100	300	30	0	0	0
5	0	0	5	20	0	0	0	5	10	20	0	0	0	10	10	10	0	0	0
20	30	10	10	60	20	30	10	0	0	10	20	150	30	10	5	15	0	10	20
50	40	60	40	200	40	50	40	10	20	20	40	300	50	30	10	20	30	30	30
20	30	50	30	20	5	20	30	0	10	10	20	50	9	0	10	0	10	20	70
10	0	0	20	10	0	0	10	15	0	200	10	0	10	0	20	0	10	0	0
0	0	0	10	10	0	50	10	20	0	100	20	800	300	500	15	0	10	10	0
0	0	0	0	20	10	10	30	40	60	800	0	150	40	20	20	0	10	5	0
5	0	0	0	20	10	60	50	100	60	100	10000	2000	500	20	10	50	10	10	0
0	10	0	0	5	10	10	30	20	300	50	300	25000	80	0	0	0	200	100	60
5	10	10	10	20	5	10	10	20	20	400	9500	9500	700	5000	10	0	20	70	500
20	20	10	10	10	10	10	10	10	20	10	5	0	10	5	10	10	10	10	5
5	10	5	5	0	0	5	0	0	20	10	10	10	5	5	0	5	0	0	5
50	5	0	0	10	0	0	10	20	10	5	10	5	5	5	10	0	5	5	5

- ↪ Aus dieser Detailvermessung lässt sich mathematisch eindeutig die Emission für die Teilfläche von 10 m x 10 m berechnen
- ↪ Abstrahierung auf Gesamtfläche lässt sich durch Einteilung in unterschiedliche Emissionszonen durchführen

# Einteilung der Methanoxidationsfläche in Flächenanteile als Berechnungsvoraussetzung

- Bilder: Einteilung der Deponiezonen in Flächen mit geringen, mittleren sowie höheren Emissionen, Bodentemperatur und Bewuchs bilden dabei wesentliche Anhaltspunkte



# Beispiel: Ergebnisse der Berechnung der unkonvertierten Deponiegas-Austrittsmenge

● Tabelle: Zonen mit höheren Emissionen

Summierter Gesamtaustritt von Deponiegas (aus Tabelle) [ $\text{m}^3_{(\text{Depon})}/\text{h}$ ]:	0,0716
Deponiegas-Einleitmenge aus allen Gasbrunnen [ $\text{m}^3_{(\text{Depon})}/\text{h}$ ]:	2,50
Prozentualer Anteil Einleitmenge für Emissionszonen [%] (bei erhöhtem Durchlasswert)	14,00%
Zuordenbare berechnete Deponiegas-Einleitmenge aus allen Gasbrunnen [ $\text{m}^3_{(\text{Depon})}/\text{h}$ ]:	0,35
Berechnete Konvertierungsrate:	79,55%

● Tabelle: Zonen mit geringeren Emissionen

Summierter Gesamtaustritt von Deponiegas (aus Tabelle) [ $\text{m}^3_{(\text{Depon})}/\text{h}$ ]:	0,0252
Deponiegas-Einleitmenge aus allen Gasbrunnen [ $\text{m}^3_{(\text{Depon})}/\text{h}$ ]:	2,50
er Anteil Einleitmenge für Zone geringer Emission [%] (bei leicht erhöhtem Durchlasswert)	22,35%
Zuordenbare berechnete Deponiegas-Einleitmenge aus allen Gasbrunnen [ $\text{m}^3_{(\text{Depon})}/\text{h}$ ]:	0,56
Berechnete Konvertierungsrate:	95,49%

● Tabelle: Zonen mit nahezu Nullemissionen und Gesamtergebnis

Summierter Gesamtaustritt von Deponiegas (aus Gesamteinfläche Nullgas) [ $\text{m}^3_{(\text{Depon})}/\text{h}$ ]:	0,0208
Deponiegas-Einleitmenge aus allen Gasbrunnen [ $\text{m}^3_{(\text{Depon})}/\text{h}$ ]:	2,50
Prozentualer Anteil Einleitmenge für emissionsfreie Zone [%]	78,10%
Zuordenbare berechnete Deponiegas-Einleitmenge aus allen Gasbrunnen [ $\text{m}^3_{(\text{Depon})}/\text{h}$ ]:	1,59
Berechnete Konvertierungsrate:	98,69%
Gesamtkonvertierungsgrad unter Berücksichtigung aller Flächenanteile der wirksamen Gasverteilerfläche	95,30%

**Ergebnis:** Mit entsprechender Sicherheit berechneter Gesamtkonvertierungsgrad liegt trotz punktueller Emissionsquellen bei ca. 95 %, d.h. hohe Einzelwerte bedeuten nicht zwangsläufig die Unwirksamkeit des Systems!

↪ Die Berechnung der freien Emissionen aus den Ergebnissen von FID-Kastenmessungen kann bei größerem Messaufwand ein statistisch bewertbares Ergebnis über den unkonvertierten Methangasaustritt liefern. Notwendigkeit der Zoneneinteilung mit unterschiedlicher Nachweisintensität! Die Dynamik des Prozesses kann jedoch nur schwer Berücksichtigung finden

↪ Die Messungen mit Messkästen bringen rechnerisch weitaus geringere Flächenbelastungen als mit Saugglocken

# Systemvergleich unter Verwendung von Durchschnittswerten der Einzelmessungen

Variante der Deponiegaseinleitung:	Variante 1 - Einleitung in Entwässerungsschicht (tiefliegend)	Variante 2 - Drainagematte + Gasverteilerschicht (tiefliegend)	Variante 3 - aufgesetztes Rigolensystem + Entwässerungsschicht	Variante 4 - integriertes Verteilerrigolensystem + Entwässerungsschicht	Variante 5 - integriertes Verteilerflächensystem + Entwässerungsschicht
<b>Durchschnittswerte aus allen Messungen!</b>					
Anzahl der berücksichtigten Messungen	5	7	11	7	4
Tiefenlage der Einleitschicht [m]	1,5	1,7 (1,0 Böschung)	0,2 - 0,3	0,4	0,3
Gesamtverteilerfläche [m <sup>2</sup> ]	60.000	36.000	60.000	30.000	26.500
<b>Durchschnittliche Konzentrationen</b>					
Mittelwert CH <sub>4</sub> [%]	49,86	58,49	43,50	41,31	29,31
Mittelwert CO <sub>2</sub>	8,98	17,70	19,18	17,75	16,77
Durchschnittliche Einleitmengen bzw. Abströmmengen aus den Gasbrunnen/Gasdomen	tiefliegend		geringere Tiefenlage		
Einleitmenge in Gasverteilerschicht [m <sup>3</sup> /h]			10,48	8,47	4,28
Einleitmenge in Entwässerungsschicht [m <sup>3</sup> /h]	8,78	7,76	9,88	2,69	4,23
Summe Einleitmenge in Entwässerungs- und Gasverteilerschicht [m <sup>3</sup> /h]	8,78	7,76	20,36	11,16	8,51
Mengenbeaufschlagung (Methan) je m <sup>2</sup> Gesamtverteilerfläche [I <sub>(CH<sub>4</sub>)</sub> /m <sup>2</sup> xh]	0,073	0,126	0,148	0,154	0,094

- Die Konzentration der Gas-Hauptkomponenten, insbesondere die Methankonzentration, blieb bei den untersuchten Deponien mit tiefliegender Einleitschicht (mit beschränktem Durchgangsvermögen) auf einem unverändert hohen Niveau – bei geringerer Tiefenlage der Schicht – Aerobisierung und Abkonzentration
- Die Möglichkeit des zyklischen Lufteintrages in den Deponiekörper, mit der damit verbundenen beginnenden Aerobisierung, bringt in der Gesamtbilanz der Restemissionen einen entscheidenden Vorteil, ungeachtet temporärer Mehremission

# Systemvergleich unter Verwendung von Durchschnittswerten der Einzelmessungen

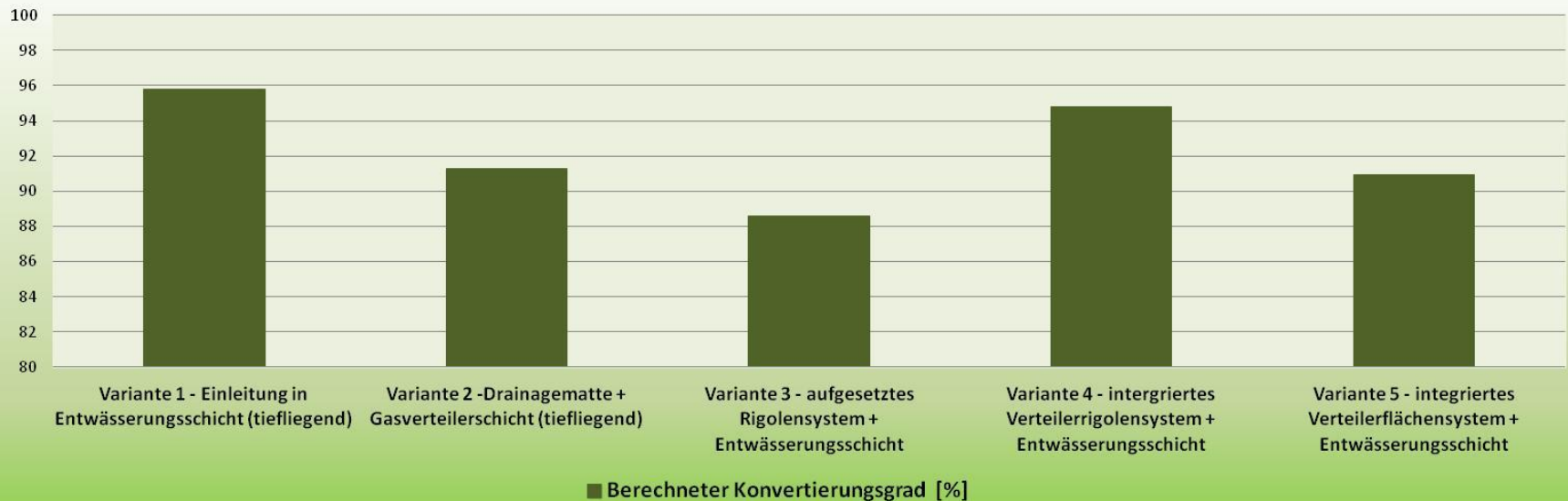
Variante der Deponiegaseinleitung:	Variante 1 - Einleitung in Entwässerungsschicht (tiefliegend)	Variante 2 - Drainagematte + Gasverteilerschicht (tiefliegend)	Variante 3 - aufgesetztes Rigolensystem + Entwässerungsschicht	Variante 4 - integriertes Verteilerrigolensystem + Entwässerungsschicht	Variante 5 - integriertes Verteilerflächensystem + Entwässerungsschicht
Durchschnittswerte aus allen Messungen!					
<b>Ergebnisse/Vergleichsgrößen aus den FID-Messungen</b>					
Durchschnitt - Summierter Gesamtaustritt [ppm]	2.698,00	10.628,57	22.708,45	7.675,29	4.439,25
Durchschnitt - Maximale Emission [ppm]	2.235,80	6.188,71	9.702,64	6.240,43	4.091,00
Durchschnitt - Mittlere Emission [ppm]	82,20	224,29	317,45	292,71	218,61
Normierter Vergleichswert - "Durchschnitt - Summierter Gesamtaustritt" geteilt durch die "Mengenbeaufschlagung (Methan)" [ppm*h/l(CH <sub>4</sub> ) (mit Flächen- und Einleitungsparameter)]	1.429,27	3.689,13	2.562,97	1.519,59	1.880,26
<b>Durchschnitt - Unkonvertierter Gasaustritt aus dem Deponiekörper</b>	Für die vergleichende Bewertung nur bedingt einbindbar				
Summierter Gesamtaustritt von Deponiegas [m <sup>3</sup> /h]	0,370	0,679	2,326	0,582	0,773
Gesamtaustritt (Methan) je m <sup>2</sup> Gesamtverteilerfläche [l(CH <sub>4</sub> )/m <sup>2</sup> xh]	0,003	0,011	0,017	0,008	0,009
Berechneter Konvertierungsgrad [%]	95,79	91,25	88,58	94,78	90,91

- Aus den durchschnittlichen Ergebnissen für alle FID-Messungen wurden spezifische Vergleichsgrößen für die eingesetzten Systeme abgeleitet – „Normierter Vergleichswert“ oder „Konvertierungsgrad“
- Unterschiede in der Wirksamkeit der einzelnen Varianten können grundsätzlich erst unter Berücksichtigung der spezifischen Flächenbelastung herausgearbeitet werden.



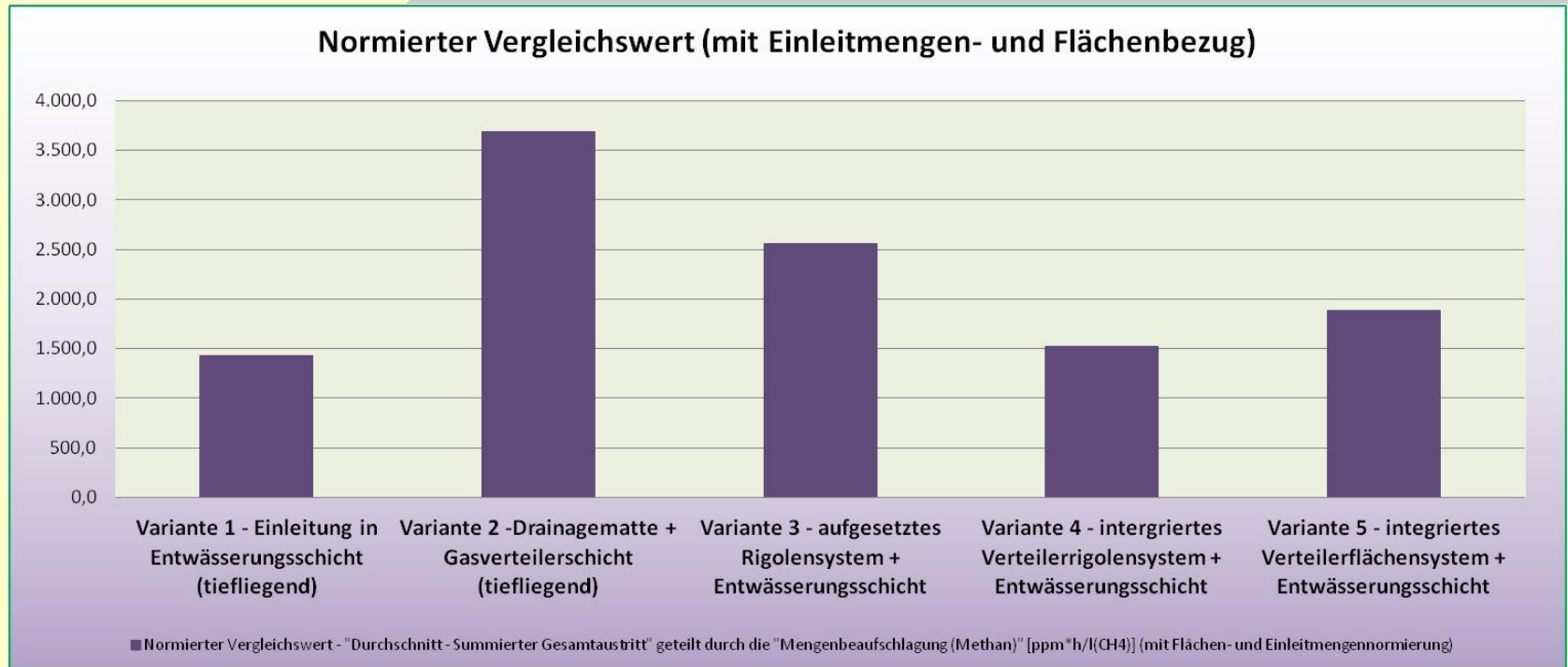
# Systemvergleich unter Verwendung von Durchschnittswerten aller Messungen

Variantenübersicht - Konvertierungsgrad



- ↪ Grundsätzlich wurden bei allen Systemen ausreichende Konvertierungsgrade berechnet. Variante 1 – große Fläche bei geringer Einleitung, Variante 3 – zu geringe Fläche
- ↪ Eine generelle Systembewertung ist jedoch durch diesen Parameter nicht möglich, da er keine Aussage bezüglich der Effizienz eines Systems (d.h. Berücksichtigung des Material- oder Flächenbedarfs) zulässt

# Systemvergleich unter Verwendung von Durchschnittswerten aller Messungen



Der „Normierte Vergleichswert“ stellt einen Bezug zwischen den FID-Summenmesswerten (als Emissionsgröße) zur eingeleiteten Gasmenge (als Beaufschlagungsgröße) und den für die Abbauleistung benötigten Flächenbedarf her. Er kann deshalb für ein Systemvergleich, d.h. zur Beurteilung der Effektivität, herangezogen werden. Hohe Werte sind dabei als negativ und geringe Werte als positiv zu betrachten. Die Systeme mit speziell angeordneter Gasverteilerschicht zeigen bisher ein einheitlicheres Bild. Variante 1 „profitiert“ dabei von den im Verhältnis zur Gasverteilerfläche sehr geringen Einleitmengen und verdeutlicht, dass bei sehr geringen Einleitmengen auch die Entwässerungsschicht nutzbar ist!

# **Thesen – Funktionsfähigkeit von Methanoxidationsschichten**

- 1.** Nicht die Art des eingesetzten Bodens oder der Humusgehalt entscheidet vordergründig über die Wirksamkeit einer Methanoxidationsschicht, sondern die Gasverteilung unter dieser Schicht, die durch ihre Lage sowie die Bodendurchgangsrage bestimmt wird – neuer technischer Ansatz für Gasverteilung
- 2.** Systeme mit oberflächennah angeordneten Gasverteilerschichten verkürzen auf Grund der zeitnahen Aerobisierung der betreffenden Deponiebereiche erheblich die Zeitdauer der Restgasemission und führen zu einer verbesserten Emissionsbilanz. Systeme mit tiefliegender Gasverteilerschicht zeigen langfristig meist ein unverändertes Konzentrationsniveau – indirekte Deponiebelüftung
- 3.** Die Methaneinleitung in die Methanoxidationsschicht ist ein instationärer Prozess, insbesondere bei Altablagerungen - eine stationäre Betrachtung des Wirkmechanismus oder Einzelmessungen können zu Fehlinterpretationen führen
- 4.** FID-Messergebnisse aus einer groben Rastermessung (als Nachweismessung für die Emissionsfreiheit gedichteter Oberflächen) können nicht sachgerecht für die Berechnung der unkonvertierten Deponiegas-Austrittsmenge herangezogen werden. Bessere Ergebnisse sind mit Messkästen oder ähnlichen Messmethoden zu erzielen
- 5.** Eine Begrenzung des FID-Emissionswertes auf einen zulässigen Maximalmissionswert ist bei Systemen mit Gasverteilerschicht und Methanoxidation im Oberboden nicht zielführend – trotz höherer Einzelwerte kann die Konvertierungsrate hoch sein
- 6.** Entwässerungsschichten sind nur für die Konvertierung sehr geringer Restgas-mengen einsetzbar, da eine Abstimmung durch die Doppelfunktion nicht möglich ist