

Prognose der Deponiegasbildung nach IPCC und unter Auswertung von Praxisdaten

Jan Liebetrau
Jörg Schleifer, Rainer Schäl
Rytec GmbH
Baden Baden

14. März 2024, Halle
Fachkolloquium "Deponiegasbildung: Messung und Prognose IPCC"
Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU)



Rytec GmbH - Übersicht

- Unabhängiges Ingenieurbüro - Beratung und Planung von Anlagen der Abfallwirtschaft (Fokus Deponiegas und Biogas)
- Standorte in Baden-Baden und Dreieich (bei FFM)
- Gegründet in Deutschland 1998 (enge Beziehung zur Schweizer Rytec AG)
- Schwerpunktgebiet Südwestdeutschland und Ostfrankreich, Schweiz
- 23 Mitarbeiter – Ingenieure und Techniker

Technologieoffene Planung und Konstruktion mit dem Fokus auf wirtschaftliche Lösungen im Langzeitbetrieb



Prognose der Deponiegasbildung – und Einordnung

Warum?

- Emissionsbewertung (IPCC) – BQS 10-1 – Förderung NKI
- Bewertung der (Notwendigkeit Effizienz der Gasfassungsmaßnahmen und Ableiten von Optimierungsmaßnahmen
- Orientierungsgröße zu Menge und Verlauf der entstehenden Gasmengen („da kommt kein Gas“)
- **Basis für Dimensionierung von Gasbehandlungstechnologien (aktiv und passiv)**

Prognose der Deponiegasbildung – und Einordnung

Wie?

- IPCC Prognose (Theoretischer Wert)
- Bewertung der Gasfassung allgemein
(Anzahl der Brunnen, Zustand der Brunnen, Abgleich örtlichen Gegebenheiten
(Abfallarten und Einbauzeiten und –ort)
- Auswertung Betriebsdaten – Erfassungsgrad unter gegebenen Bedingungen
- Absaugversuch: Erfassungsgrad unter wählbaren Bedingungen

Modell zur Vorhersage der Deponiegasbildung

- Modell simuliert den Abbau des Gaspotentials
- Potential: maximale Gasmenge, die gebildet werden kann
- Zeitlicher Verlauf der Gasbildung wird mittels Abbaugeschwindigkeit einbezogen

Es gibt verschiedene Modelle – Achtung Faktoren und Annahmen sind (meist) nicht übertragbar!

Modellierung nach IPCC gefordert:

- Nationale Emissionsberichterstattung
- BQS 10-1 (jeder Betreiber (??))
- NKI Förderbedingungen

Modell zur Vorhersage der Deponiegasbildung

Faktoren in der Berechnung nach IPCC:

- Abfallmenge,
- Zusammensetzung (der Fraktionen) (Kohlenstoffgehalt (DOC) und anaerob abbaubarer Kohlenstoff (DOC_f)),
- MCF (Ablagerungspraxis),
- Abbaugeschwindigkeit (k bzw. Halbwertszeit),
- Anteil, der in Methan umgewandelt wird (F);

Zeitlicher Verlauf der Methanbildung wird durch eine Kinetik erster Ordnung abgebildet

https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5_Volume5/19R_V5_3_Ch03_SWDS.pdf

Oder in deutsch ab Seite 699 in Nationalen Inventarbericht:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-15-climate-change_22-2020_nir_2020_de.pdf

Grundlage der verwendeten Modelle: Kinetik erster Ordnung

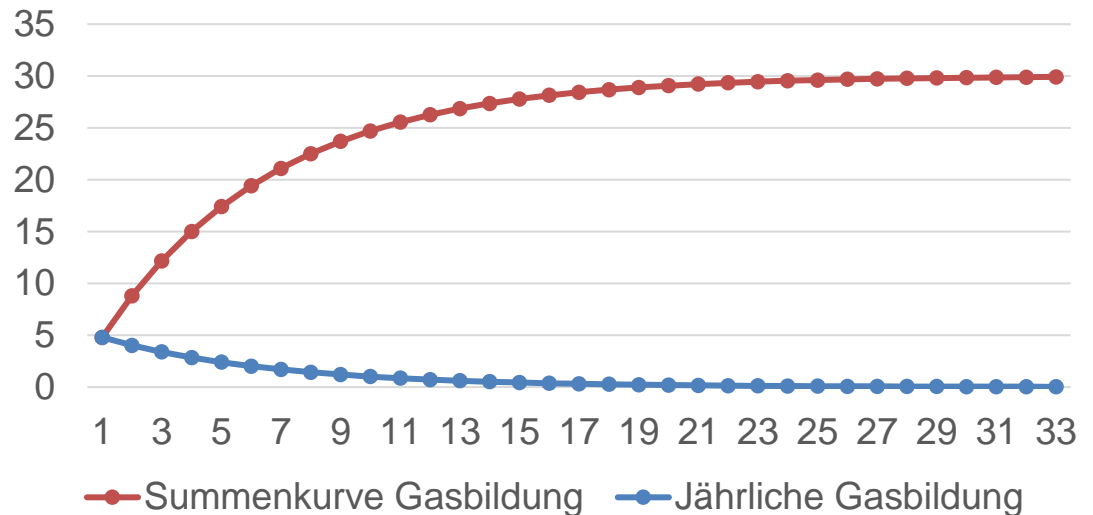
Produktbildung nach Kinetik 1. Ordnung: $G_t = G_0 \cdot ((1 - e^{-kt}))$

Beispiel:

$G_0 = 30$

$k = 0,1733$

(Halbwertszeit 4 Jahre)



G_t : bis zur Zeit t gebildetes Gas

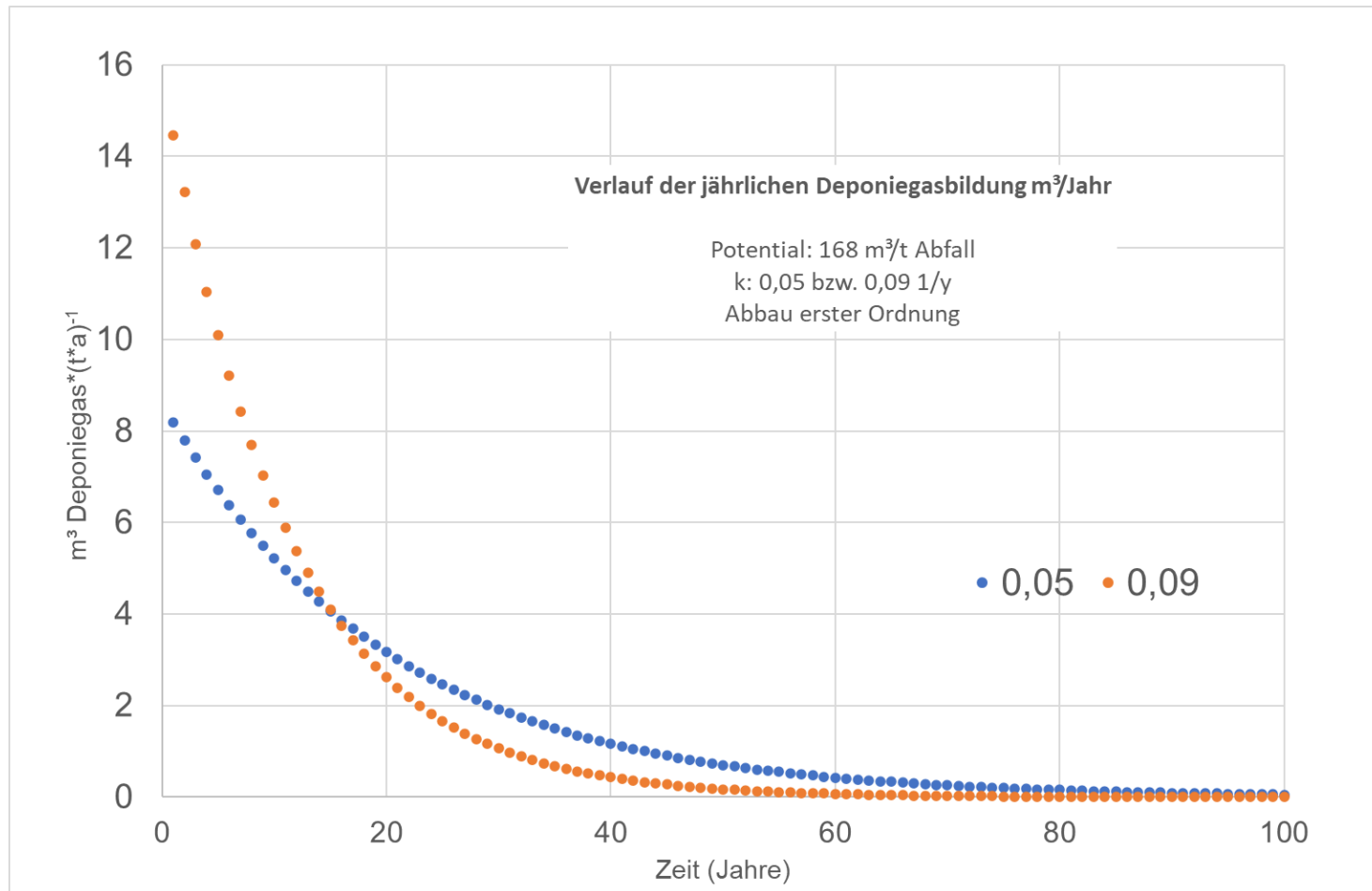
S_0 : Gaspotential, Gasmenge, die in unendlichen Zeiträumen gebildet werden kann

k: Abbaukonstante in z.B. $1/a$

t: Zeit nach Ablagerung in a

Halbwertszeit kann aus k berechnet werden: $H = \ln(2)/k$

Grundlage der verwendeten Modelle: Kinetik erster Ordnung



IPCC - Modell zur Vorhersage der Deponiegasbildung und der resultierenden Emissionen

EQUATION 3.2
DECOMPOSABLE DOC FROM WASTE DISPOSAL DATA
$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

Where:

DDOC _m	= mass of decomposable DOC deposited, Gg
W	= mass of waste deposited, Gg
DOC	= degradable organic carbon in the year of deposition, fraction, Gg C/Gg waste
DOC _f	= fraction of DOC that can decompose (fraction)
MCF	= CH ₄ correction factor for aerobic decomposition in the year of deposition (fraction)

Quelle: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5_Volume5/19R_V5_3_Ch03_SWDS.pdf

DOC und DOC_f bestimmen im Wesentlichen das Gaspotential.

MCF Wert sollte für Altablagerungen angepasst werden

(UBA Texte 139/2023 – Umweltbundesamt Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien)

Herausforderung bei der Anwendung

Mengen und Zusammensetzung

Dokumentation gar nicht vorhanden, keine Basisabdichtung; Kubatur in der Basis weitgehend unbestimmt

Kubatur und Zusammensetzung anhand von Bohrungen bestimmt

Schätzungen der Gesamtmenge werden über Einbauzeiten verteilt

Alle Angaben in m^3 - welche Dichte wird angenommen?

Herausforderung bei der Anwendung

	Default Value	Range
Food waste	0,15	0.08-0.20
Garden	0,2	0.18-0.22
Paper	0,4	0.36-0.45
Wood and straw	0,43	0.39-0.46
Textiles	0,24	0.20-0.40
Disposable nappies	0,24	0.18-0.32
Sewage sludge	0,05	0.04-0.05
Rubber	0,39	0.39
Bulk MSW waste	0,18	0.12-0.28
Industrial waste	0,15	0-0.54

Tabelle 4: Abbaubarkeit organischer Abfälle unter Deponiebedingungen [1]

Abfallfraktion	DOC in -	DOC _r in -	Halbwertszeit in Jahre	K in 1/Jahr
Leicht abbaubar				
Organik, Klärschlamm	0,15	0,5	4	0,1733
Garten-/ Parkabfälle	0,2	0,5	7	0,0990
Papier / Pappe	0,4	0,5	7	0,0990
Mittel abbaubar				
Textilien, Windeln	0,24	0,5	12	0,0578
Verbundmaterialien, Leichtverpackungen	0,1	0,5	12	0,0578
MBA Abfälle	0,023	0,5	12	0,0578
Schwer abbaubar				
Holz und Stroh	0,43	0.1	50	0,0139

Quelle: BQS 10-1

Aber übliche Bezeichnungen in der (wenn vorhanden) Dokumentation:

Hausmüll, Restmüll, Sperrmüll, Sortierreste, Gewerbeabfall, Schlämme aus der Wasseraufbereitung, Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle; prod.-spezifische Gewerbeabfälle (Gesamt), Straßenkehricht, gemischte Baustellenabfälle

Was ist wenn Biotonne vorhanden war?

Herausforderung bei der Anwendung Zuordnung der Abfallarten

Ganz einfach (überschätzt aber sicherlich):

Bulk Waste – alles, was nicht zu den anderen Kategorien passt

Sewage sludge - Klärschlamm

Industrial waste - Gewerbeabfälle

Inerts - Bauschutt

Oder:

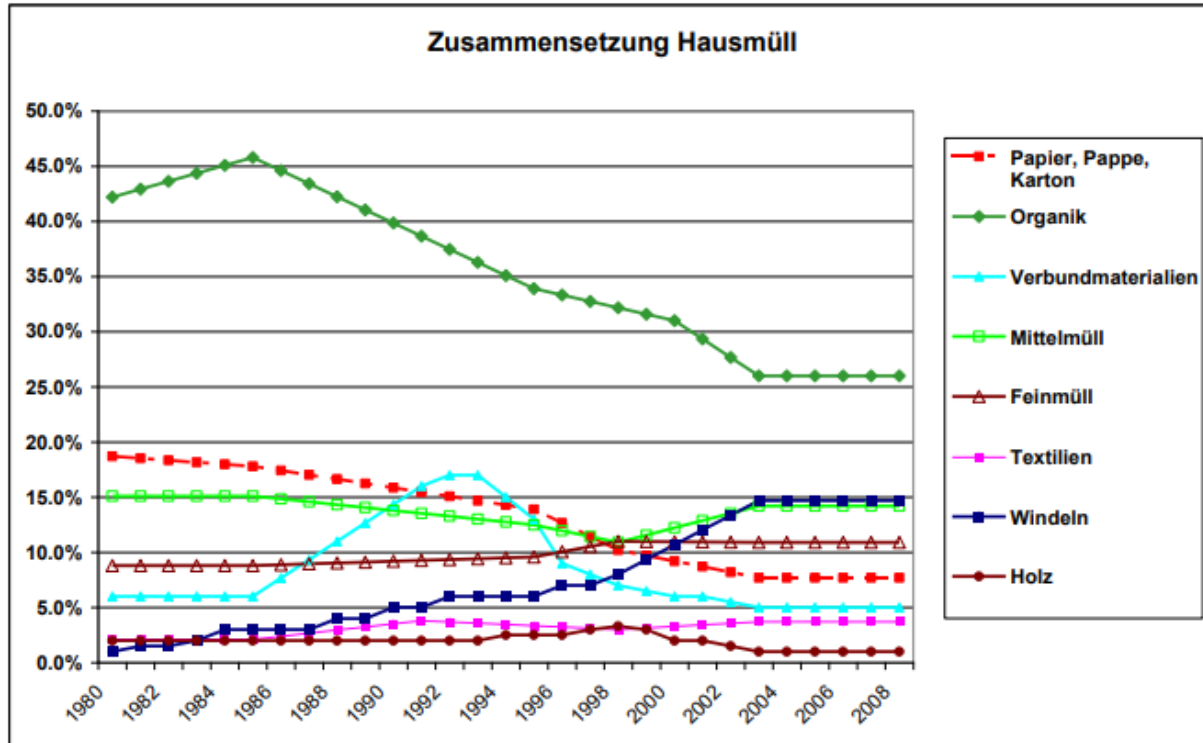
Einzel zuordnen - Zusammensetzung berücksichtigen

Ggf. Sensitivität der Annahmen untersuchen

In jedem Fall: nachvollziehbar darstellen!

	Default Value	Range
Food waste	0,15	0.08-0.20
Garden	0,2	0.18-0.22
Paper	0,4	0.36-0.45
Wood and straw	0,43	0.39-0.46
Textiles	0,24	0.20-0.40
Disposable nappies	0,24	0.18-0.32
Sewage sludge	0,05	0.04-0.05
Rubber	0,39	0.39
Bulk MSW waste	0,18	0.12-0.28
Industrial waste	0,15	0-0.54

Herausforderung bei der Anwendung

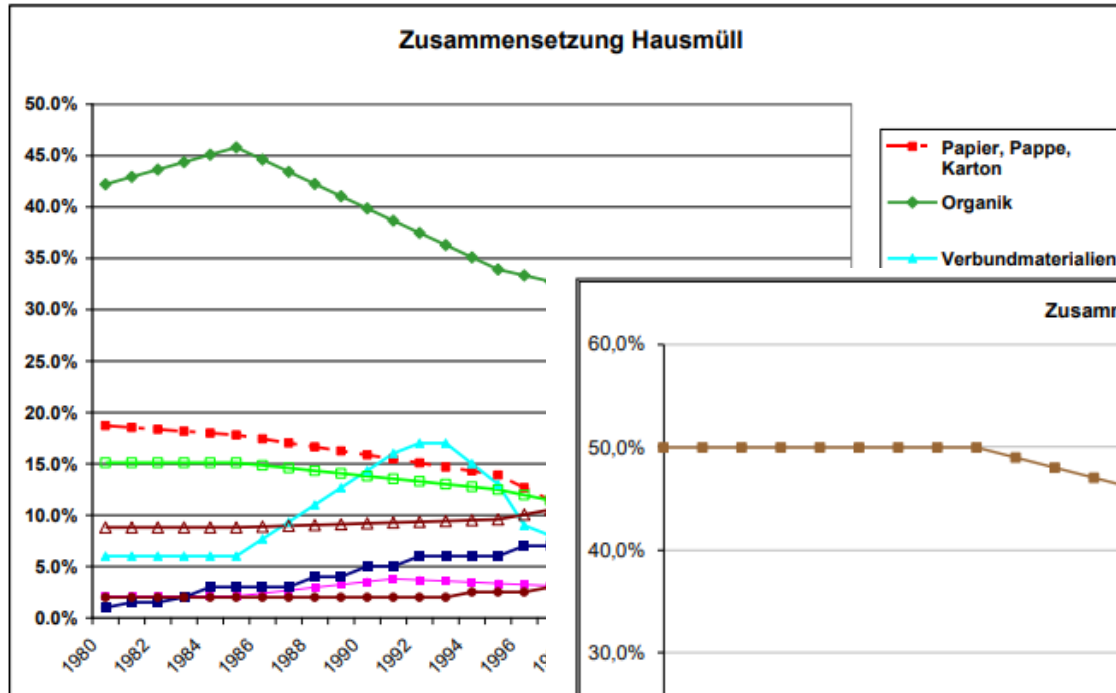


Inventarisierungsbericht Umweltbundesamt 2013

Zusammensetzung für Hausmüll und Sperrmüll über längere Zeiträume

Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien

Herausforderung bei der Anwendung



Zusammensetzung für Hausmüll und Sperrmüll über längere Zeiträume

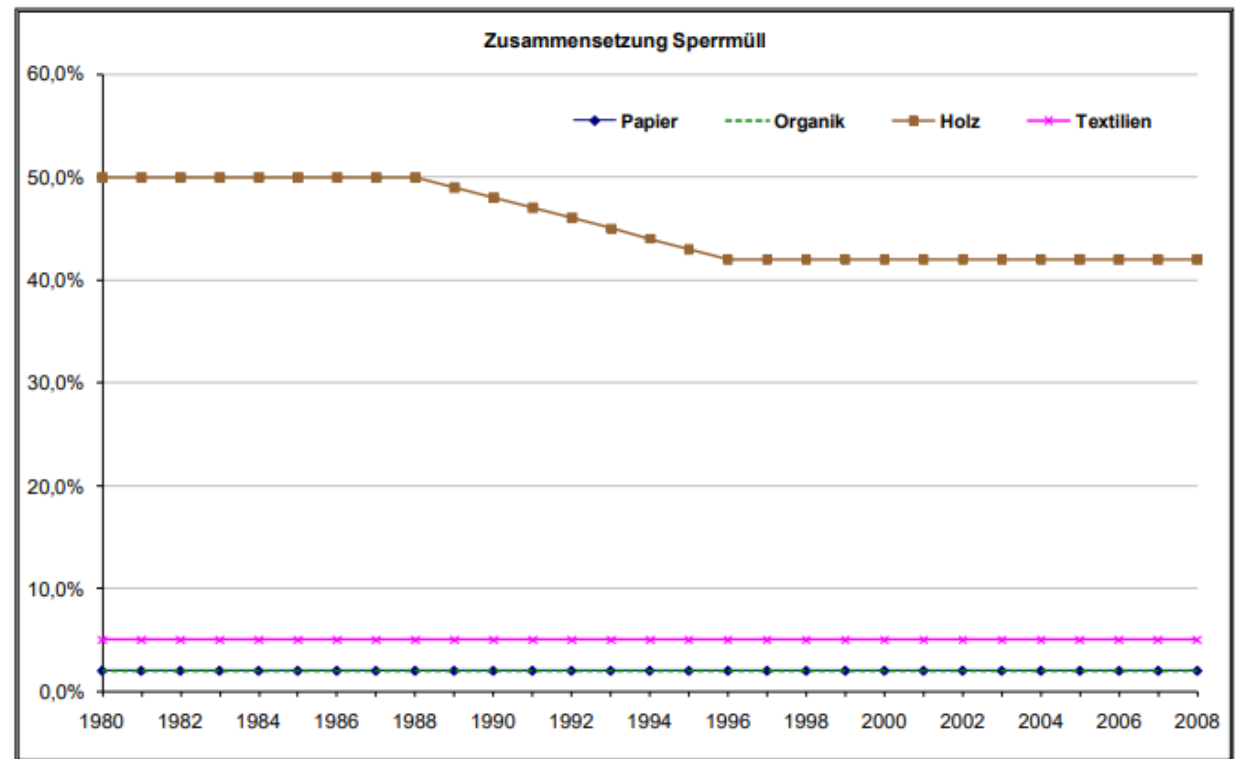


Abbildung 72: Trend in der Zusammensetzung des Sperrmülls (ABL) zwischen 1980 und 2008

Herausforderung bei der Anwendung

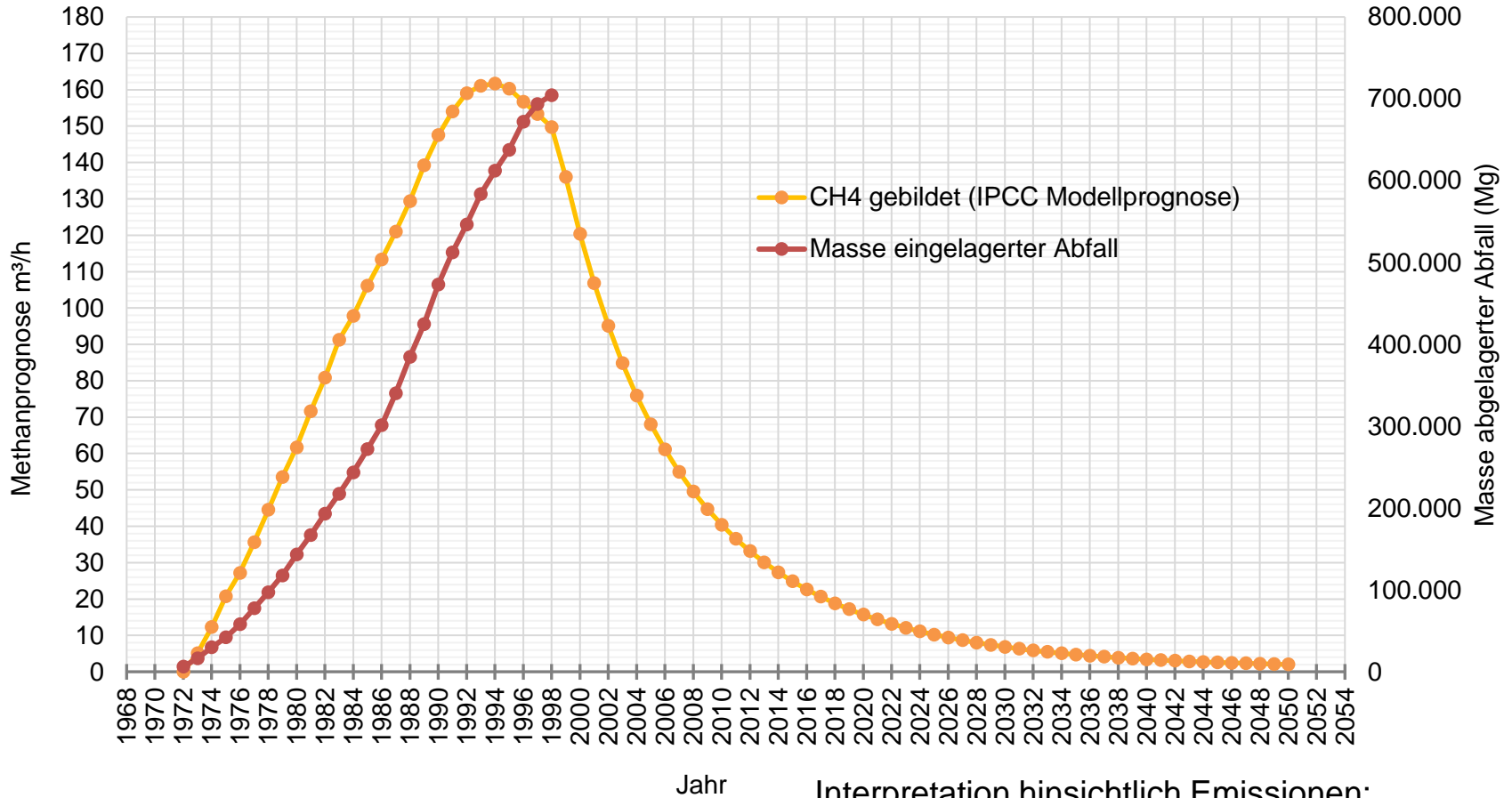
- „Hausmüll“:
Unterteilung in die Abfalltypen „Organik (Food waste)“, „Papier und Pappe (Paper)“, „Holz und Stroh (Wood and straw)“, Textilien (Textiles)“, „Windeln (Disposable nappies)“ und „Verbundmaterialien“ entsprechend der Anteile, die im deutschen NIR von 2013 spezifisch für die Jahre ab 1980 angegebenen sind.
Für die Jahre vor 1980 wurden die Anteile des Jahres 1980 angesetzt.
- „Sperrmüll“:
Unterteilung in die Abfalltypen „Organik (Food waste)“, „Papier und Pappe (Paper)“, „Holz und Stroh (Wood and straw)“ und Textilien (Textiles)“ (Rest zu 100 % wird als inert angesetzt) entsprechend der Anteile, die im deutschen NIR von 2013 spezifisch für die Jahre ab 1980 angegebenen sind.
Für die Jahre vor 1980 wurden die Anteile des Jahres 1980 angesetzt.
- „Gewerbeabfall“:
Es handelt sich um hausmüllähnlichen Gewerbeabfall. Aufgrund der Kenntnis des Abfalls am Standort kann angesetzt werden, dass davon 75 % Hausmüll und 25 % inert sind.
- „Kehricht“:
Es wird angesetzt, dass Kehricht im Jahresmittel zu etwa 24 % aus Bestandteilen analog Hausmüll, zu etwa 10 % aus Garten und Parkabfällen (insbesondere Laub des Herbstkehrgutes) und der Rest aus mineralischem und damit inertem Material besteht [abgeleitet aus den bayerischen Abfallsteckbriefen (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2008), (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2010)].

Herausforderung bei der Anwendung

- „Schlamm“:
Ansatz der Werte für Klärschlamm (Sewage sludge)
- „Pflanzlicher Abfall“:
Ansatz der Werte für Garten- und Parkabfälle (Garden)
- „Baustellenabfall“:
Es wird ein Anteil von 17 % Holz und 2 % Papier, Pappe, Karton (PPK) angesetzt. Der Rest besteht insbesondere aus mineralischen Abfällen und zu einem geringeren Anteil aus anderen anaerob nicht abbaubaren Materialien (z. B. Metalle, Kunststoffe)
- „sonstiger Müll“:
Es wird eine Zusammensetzung wie bei dem hausmüllähnlichen Gewerbeabfall angesetzt.
- „Sortierreste“:
Für den Inertanteil und den Organikanteil werden die gleichen Werte wie für Sperrmüll angesetzt. Während bei Sperrmüll der Rest im Mittel zu knapp 87 % aus Holz, zu knapp 10 % aus Textilien und nur zu gut 3 % aus PPK besteht, wird für die Sortierreste angesetzt, dass die drei genannten Bestandteile jeweils in gleichen Anteilen enthalten sind.

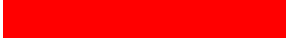
Überprüfung der Emissionsfaktoren für die Berechnung der Methanemissionen aus Deponien von
Gerhard Rettenberger Eckhard Haubrich Rolf Schneider Ingenieurgruppe RUK GmbH Stuttgart
Projektnummer 29180, Umweltbundesamtes
Januar 2014

Beispielrechnung



Interpretation hinsichtlich Emissionen:

- Modellgenauigkeit
- Lufteintrag und Oberflächenemissionen
- Gasfassung



Auswertung von Betriebsdaten - Praktische Aspekte der Deponieentgasung

Deponiegasabsaugung - Praxis

Anzahl und Art der Gasfassungselement auf die Deponiefläche bezogen (Brunnen 25 m Radius, Horizontaldränagen auch)

Zustand:

Tiefe

Verblockung/Abscherung

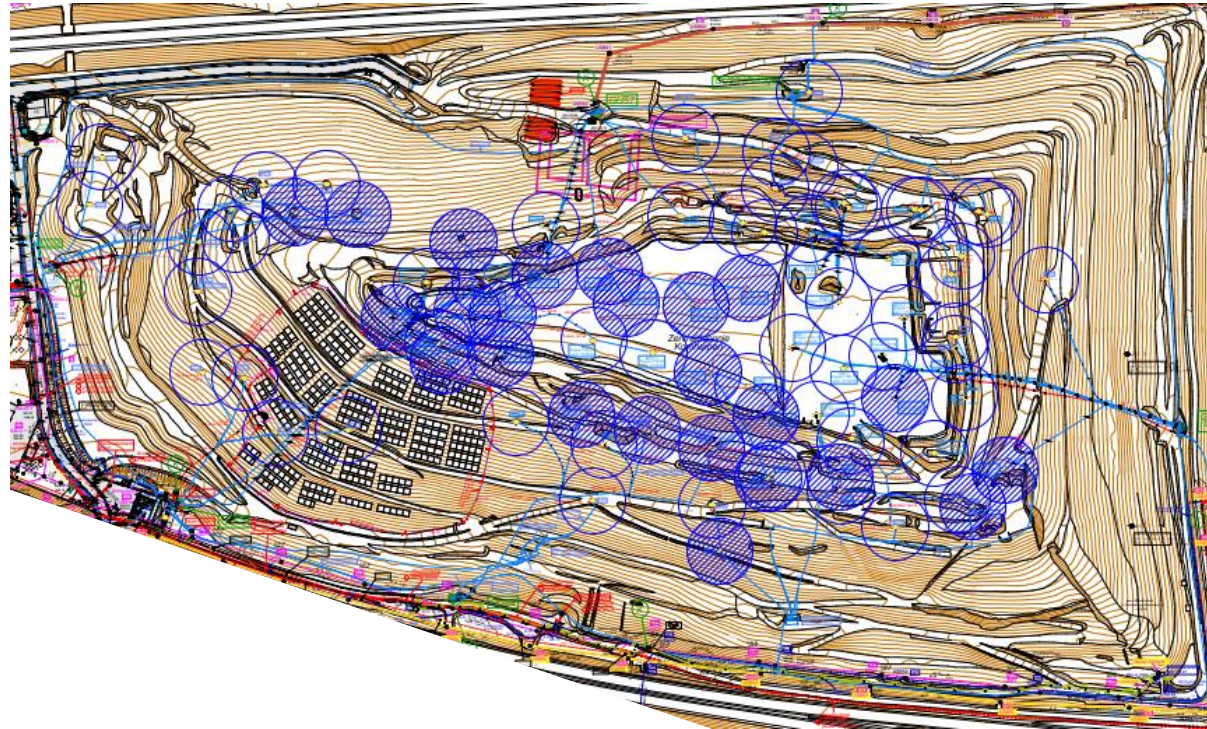
Wasser

Dicht oder viel Sauerstoff?

Gasableitung funktional?

Betrieb:

Werden die Elemente besaugt?



Deponiegasabsaugung - Praxis

- Absaugmenge und Einregulierung der Brunnen wird an die technischen Grenzen der Gasverwertung bzw. -behandlung angepasst
- Einzelne Brunnen bzw. Bereiche der Deponie werden wenig oder gar nicht abgesaugt, wenn der Methangehalt unter die Grenzkonzentration der Technologie fällt, abgesaugte Menge wird reduziert (bis zum intermittierenden Betrieb)
- Die Ergebnisse der Datenerfassung des Betriebes sind nur 1:1 übertragbar, wenn die Verbrennungstechnologie gleich bleibt und nur in der Kapazität reduziert wird.
- Andernfalls ist ein Absaugversuch zu empfehlen (auch bei Dimensionierung passiver Systeme)

Faktoren, die den Erfassungsgrad der Deponiegasmengen in der Praxis beeinflussen

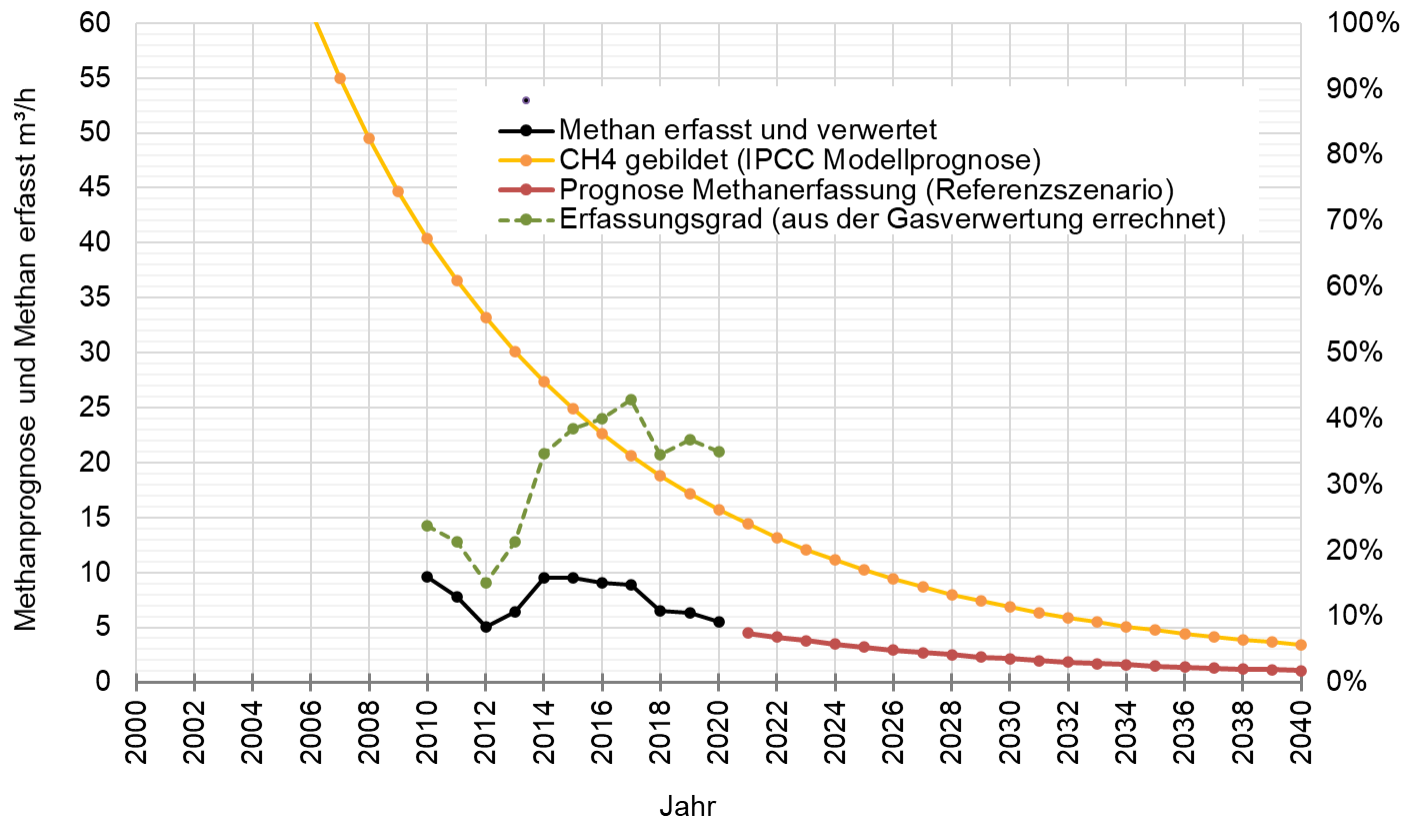
Erfassungsgrad:

Verhältnis von erfasster Gasmenge und berechnetem Potenzial

- Modellgenauigkeit
- Abfallmenge und Zusammensetzung (Kenntnisstand?)
- Art des Einbaus
- Zeitpunkt der Oberflächenabdichtung und Ausführung (Emissionen und Wasserhaushalt)
- Abdeckung, System und Zustand der Gasfassung
- Langfristig realisierte Absaugmengen
- Art und Zustand der Verwertungs- bzw. Behandlungstechnologie
- Ggf. Aerobisierungsmaßnahmen
- Kurzfristig: Luftdruck

Zusammenführung Prognose und Daten der Gasfassung

Gasprognose, Gasfassung und Erfassungsgrad



Kritisches Hinterfragen des Erfassungsgrades bzw. Bestandsanalyse Gasfassung



Absaugversuch

Absaugversuch

- Notwendig, wenn aktuelles Absaugregime nicht zu Gasmengen und Gaszusammensetzung passt (meist passt die Gasbehandlung nicht mehr zur Gasbildung) und damit die erfassbare Methanmenge und Konzentration nicht definiert ist (Einige Brunnen sind dann meist abgeregelt, geringe und intermittierende Absaugmengen)
- Dient zur Bestimmung von erfassbarer Methanmenge und damit zur „Neu“-dimensionierung einer Gasverwertungs- bzw. -behandlungstechnologie
- Emissionssituation kann neu bewertet werden

Voraussetzung:

- **Gasfassung sollte in einem technischem Zustand sein, der belastbare Ergebnisse des Absaugversuch zulässt.**

Durchführung:

- Alle Gasfassungselemente anschließen und Erhöhung der abgesaugten Deponiegasmenge, ggf. Einregulierung der Gasfassung (dann konstant bis zum Einstellen eines stabilen Zustandes)

Absaugversuch

- Absaugung der gesamten Deponie
 - Absaugung von einzelnen Brunnen
 - Kurz oder langfristige Versuche
(u.a. VDI 3899 Blatt 2 und VDI 3790 Blatt 2)
-
- Absaugversuch sollte auch zur Prüfung der Funktionalität der Gasabsaugung verwendet werden

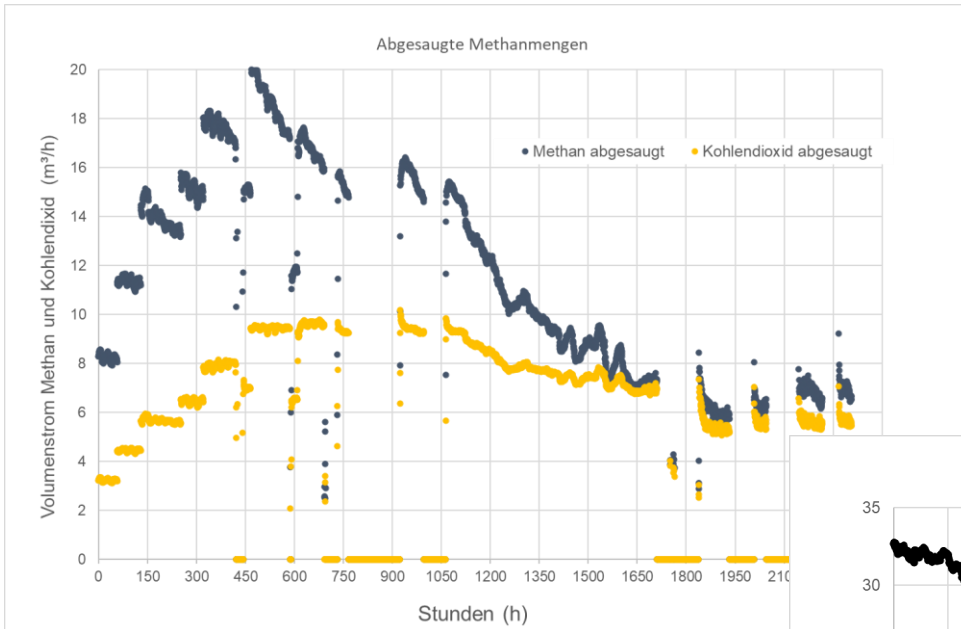
Was passiert?

- Porenvolumen ist (meist) mit Deponiegas gefüllt
- Erhöhung Absaugvolumenstrom leert dieses Porenvolumen bis Gasbildung und Absaugung im Gleichgewicht stehen und sich konstante Konzentrationen einstellen
- Aber: eindringender Sauerstoff hemmt Methanbildung und organische Substanz wird aerob abgebaut
– Abnahme der erfassten Methanmenge mit unbekannter Geschwindigkeit

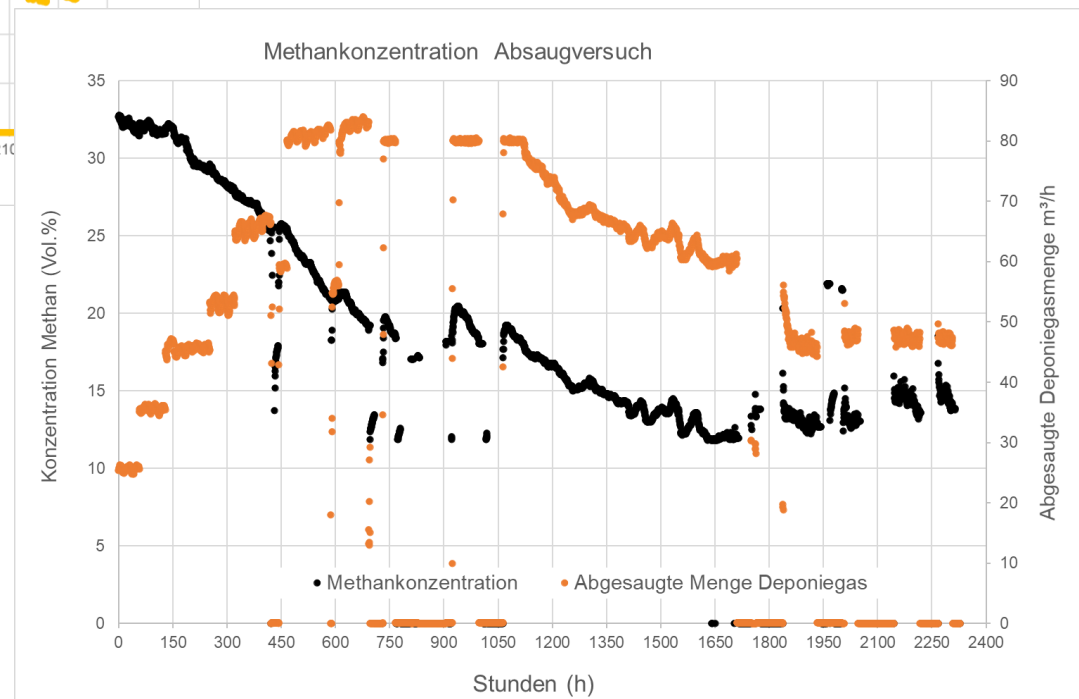
Eine bestimmte Absaugrate definiert den resultierenden Saugdruck im System und damit das „Einzugsgebiet“ der Absaugung

Bei Absaugung der gesamten Deponie: Werden einzelne Brunnen verändert, verändert sich das gesamte System – Einschwingen auf stabilen Zustand beginnt wieder von vorn

Absaugversuch Ergebnisse

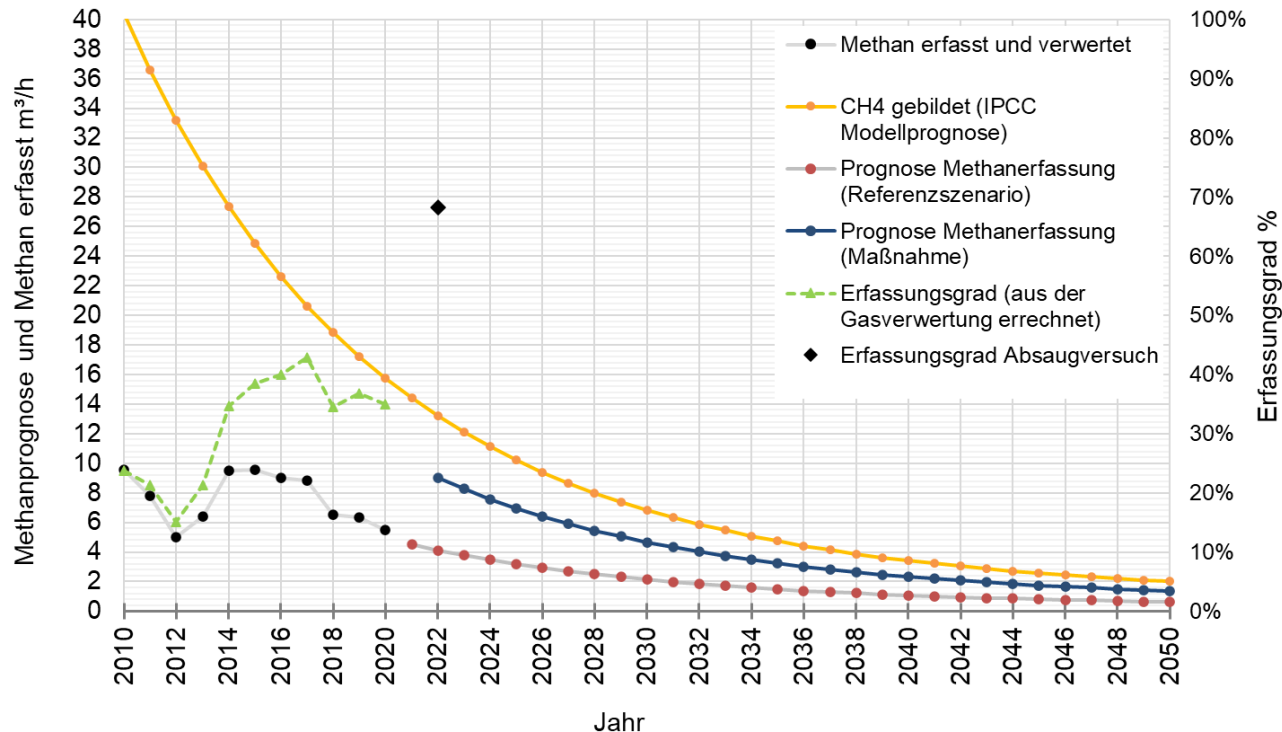


Ziel:
Dimensionierungsgrößen
Volumenstrom
Methankonzentration



Zusammenführung Prognose, Auswertung Gasfassung und Absaugversuch

Gasprognose, Gasfassung und Erfassungsgrad
Szenarien Referenz und Maßnahme



Volumenstrom Methan und Konzentration für jede Art von Anlagendimensionierung (insbesondere passive Systeme!)

Modell vs. Praxis

Modell dient als Referenz, damit kann der Erfassungsgrad gegenüber einem „Standardwert“ ausgewiesen werden

Prinzipieller Verlauf der Gasbildung kann als Grundlage zur Prognose verwendet werden, absolute Werte sollten mit erfassten Gasmengen bzw. Absaugversuch plausibilisiert werden

Für eine Bewertung oder Einordnung der Gasbildungsprognose muss zusätzlich betrachtet werden im Kontext:

- Bewertung der Emissionssituation (meist FID-Begehungen)
- Bewertung der erfassten Gasmengen (kritisches Hinterfragen der vorhandenen Technik, des aktuellen Absaugregimes, ggf. Absaugversuch notwendig)

Basis für eine effiziente Deponiegaserfassung ist eine gute Gasfassung

- Intakte Brunnen, Brunnenköpfe und Fassungsstellen
- Gasgängige Leitungen und Einregulierbarkeit
- Wenig Kurzschlussströmungen (wenig Sauerstoff im Gas)
- Ausreichende Anzahl von Fassungsstellen

Zusammenfassung

- Effektive und kosteneffiziente Ertüchtigung der Gasfassung und Gasverwertung bzw. -behandlung erfordert sorgfältige Untersuchungen und Dimensionierung um Fehlinvestitionen zu vermeiden
- Modellbasierte Gaspotentialsberechnungen geben ersten Anhaltspunkt zu Mengen an
- Daten aus der Absaugung nur dann sinnvoll für Weiterentwicklung zu nutzen, wenn Gasfassung intakt ist und Einregulierung und Absaugmenge zu neuer Technologie passen
- Absaugversuch präzisiert Erfassungsgrad
- Qualität der Daten bestimmen die Genauigkeit der Prognose




**Abfalltechnologie
und Energiekonzepte**

Rytec GmbH
Engineering für Abfalltechnologie
und Energiekonzepte
Pariser Ring 37
D-76532 Baden-Baden

Tel.: +49 - (0)72 21 - 3 77 60 0
Fax: +49 - (0)72 21 - 3 77 60 29
E-mail: engineering@rytec.com
Web: www.rytec.com