



Technische Umsetzung und Auswirkungen der Deponiebelüftung

Fallbeispiel: Deponie Teuftal, Schweiz

Marco Ritzkowski

Technische Universität Hamburg – TUHH
Sustainable Resource and Waste Management
Blohmstraße 15, 21079 Hamburg



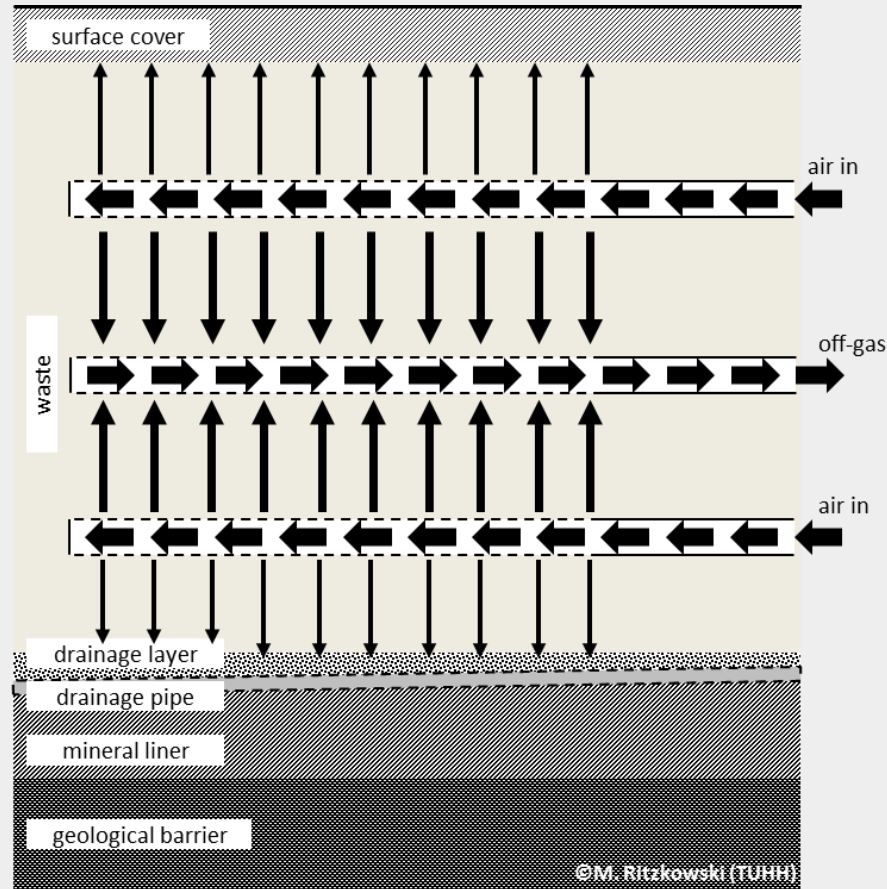
Fallbeispiel: Deponie Teuftal

- Die Deponie Teuftal ist die **größte Reststoffdeponie** der Schweiz.
- Geplant und gebaut von 1967 bis **1973**, Ablagerungsbetrieb läuft noch immer.
- Deponierung unbehandelter Siedlungsabfälle zwischen 1973 und **2000**.
- **Nach dem Jahr 2000** Ablagerung von Reststoffen mit geringen Organikgehalten auf den Siedlungsabfällen.



Belüftung mittels der Horizontaldrainagen

■ Aktive Belüftung und Abluftfassung





Deponiebelüftung: Motivation & Potenziale

Beschleunigte Bio-Stabilisierung der biologisch abbaubaren organischen Fraktion von deponierten Abfällen:

- Die Deponiebelüftung wurde als wichtiges Mittel zur **Verringerung der THG-Emissionen** anerkannt;
- Das **Kosteneinsparungspotential** (sowohl für den Deponiebetreiber als auch für den Steuerzahler) wurde nachgewiesen;
- Biologisch stabilisierte Deponien sind die Voraussetzung für eine (hochwertige) **Deponienachnutzung**;
- **Verbesserte Sickerwasserqualität** (organische Belastungen, Stickstoff) entlastet die Umwelt / reduziert den Reinigungsaufwand

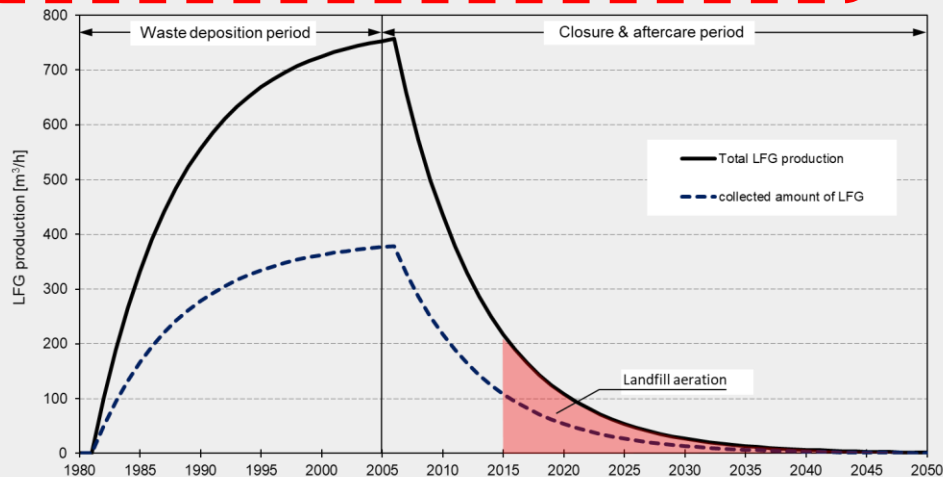
Potenziale: Verringerung von THG Emissionen (Teuftal LF)

Deponie Teuftal: langfristige Gasbildung

10,5 – 27,3 Mio. m³ LFG = 5,25 – 13,5 Mio. m³ CH₄

90 % Reduktion; Dichte CH₄ = 0,656 kg/m³

→ ~ 77.500 – 200.000 Mg CO_{2,e}



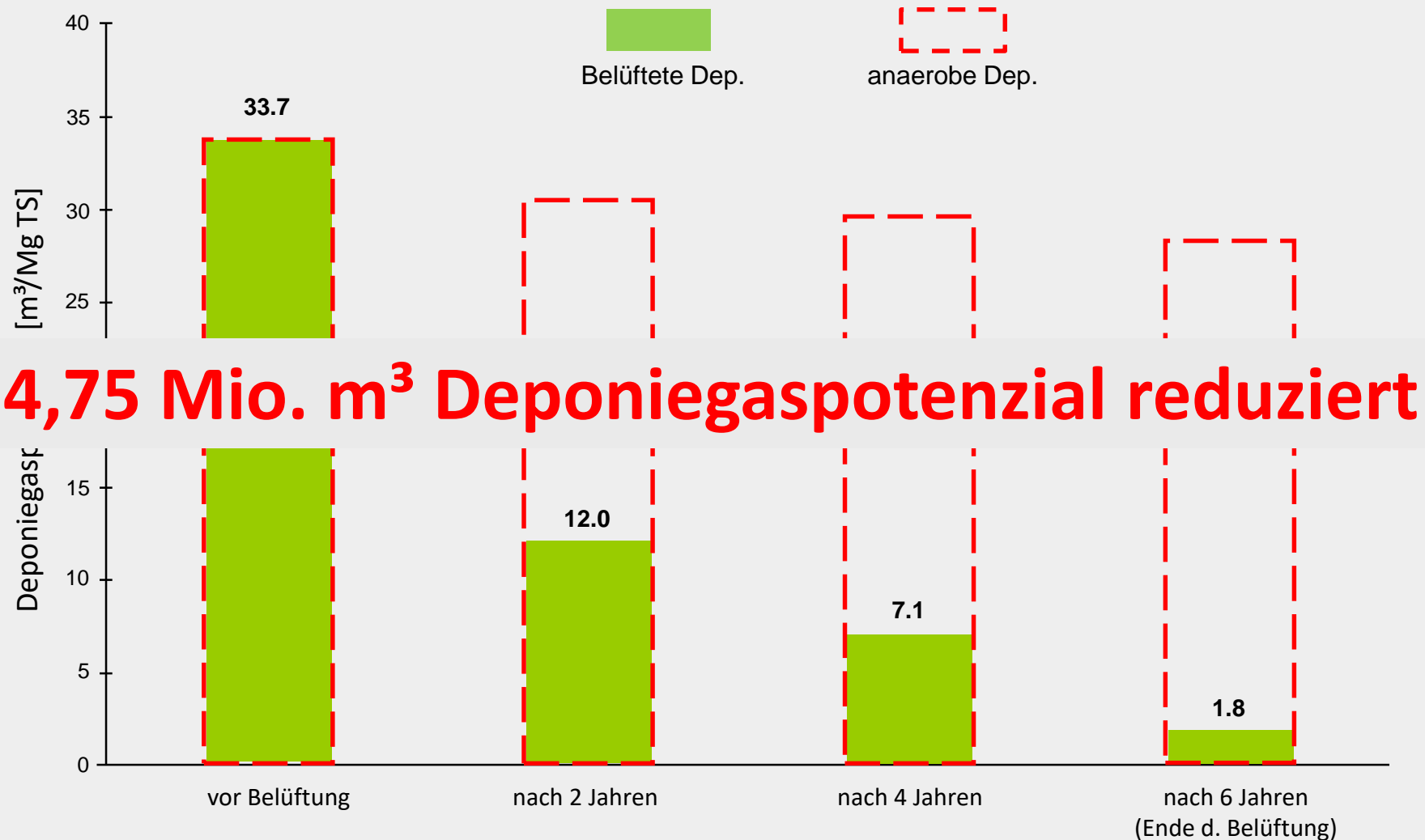
Situation:

TS: 2,100,000 Mg

Gasbildung: 5 - 13 m³/Mg TS



Beispiel: Verringerung des Gasbildungspotenzials



Data based on results obtained for the in situ aeration of the Kuhstedt landfill in Germany

Herausforderung: Reduzierung des Deponiegaspotenzials



18,9 Mio. m³ Deponiegaspotenzial (4x)





Deponiebelüftung: Herausforderungen

- Deponien enthalten **große Mengen an Abfall** (oft \gg 1 Mio. Tonnen TS);
- **Abfalldichte und Auflast** steigen mit zunehmender Tiefe;
- Deponien können **hohe Sickerwasserspiegel** aufweisen;
- Es gibt immer **bevorzugte Wege** für Gase und Flüssigkeiten;
- **Technische Infrastruktur** ist nicht immer geeignet;
- **(Behandlungs-)Zeit ist Geld**;
- **(noch) unvollständige Erkenntnisse** über relevante Umsetzungsprozesse (hauptsächlich bio-chemisch).

Herausforderung: Sauerstoffbedarf (Deponie Teuftal)

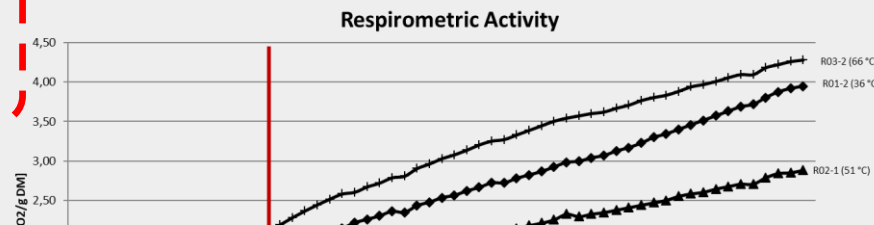
Deponie Teuftal: langfristiger Luftbedarf

Dichte $O_2 = 1,429 \text{ kg/m}^3$

29 – 84 Mio. $m^3 O_2 = 145 – 420 \text{ Mio. } m^3 \text{ Luft}$

60 % Umsatz; 2.000 m^3/h Luftzufuhr

→ ~ 13,5 - 40 Jahre



Situation:

TS: 2,100,000 Mg

AT_{max} : 14 - 40 $m^3 O_2/Mg \text{ TS}$

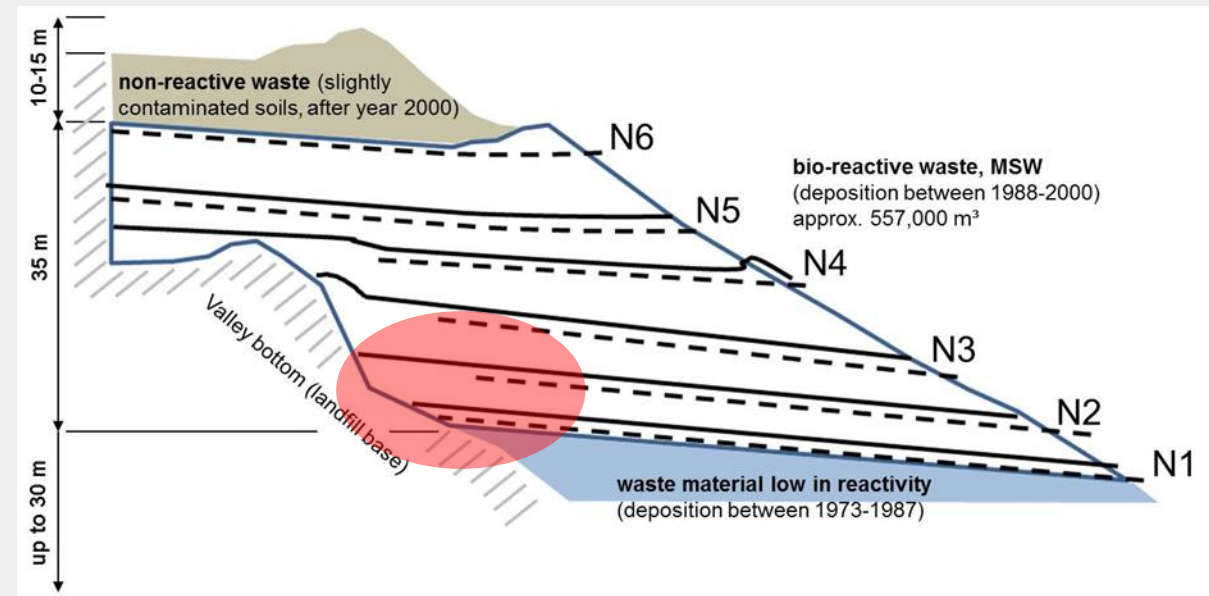


Wie I Notwendiger Belüftungskoeffizient*: 69 - 200 rden?

* $m^3 \text{ Luft} / \text{Mg TS}$

Effektive Belüftung tieferer Deponiebereiche

- **Signifikanter Druckverlust** an den unteren Horizontaldrainagen (bis zu 55m Abfall überlagern diese Bereiche)



- **Auflast auf die Drainageleitungen: 500 – 600 kN/m²**
- **Geringe (abgeschätzte) hydraulische Leitfähigkeit: 10⁻⁷ bis 10⁻⁹ m/s**



Monitoringdaten (nach 34 Monaten)

- **Belüftungsbeginn: 12/2014**
- **Anlagenverfügbarkeit (im Mittel): 95%**
- **Belüftungsvolumen (12/14-06/17): 28,2 Mio. m³ (1.240m³/h)**
- **Belüftungskoeffizient: 13 m³_{Luft} pro Mg TS** (2,4 m³_{Sauerstoff}/Mg TS)
- **C-Austrag (bis 06/17): 1.530 Mg**
- **Stabilisierungskoeffizient: 0,73 kg_C pro Mg TS**
- **Druckdifferenz Belüftung (im Mittel): 167 mbar (113 – 302 mbar)**
- **Druckdifferenz Ablufterfassung (im Mittel): -122 mbar (-28 – -293 mbar)**
- **Abfalltemperatur: 25 - 46 °C (mittlere Erwärmung: 4°C)**

Evaluation der Leistungsdaten

- **Der Belüftungskoeffizient nach 34 Monaten Belüftung ist (deutlich) zu gering**
 - Zielwert (auf Grundlage von Labortests) 13mal höher
- **Ungleichmäßige Luftverteilung im Deponiekörper (infolge der unterschiedlich hohen Druckverluste in den Horizontaldrainage)**
 - Unzureichende Belüftung der hinteren/unteren Deponiebereiche

- Nachweis der **Aerobisierung** ($\text{CH}_4 < 1\% \text{ v/v}$)
- **Anaerobe** Verhältnisse ($\text{CH}_4 > 60\% \text{ v/v}$)

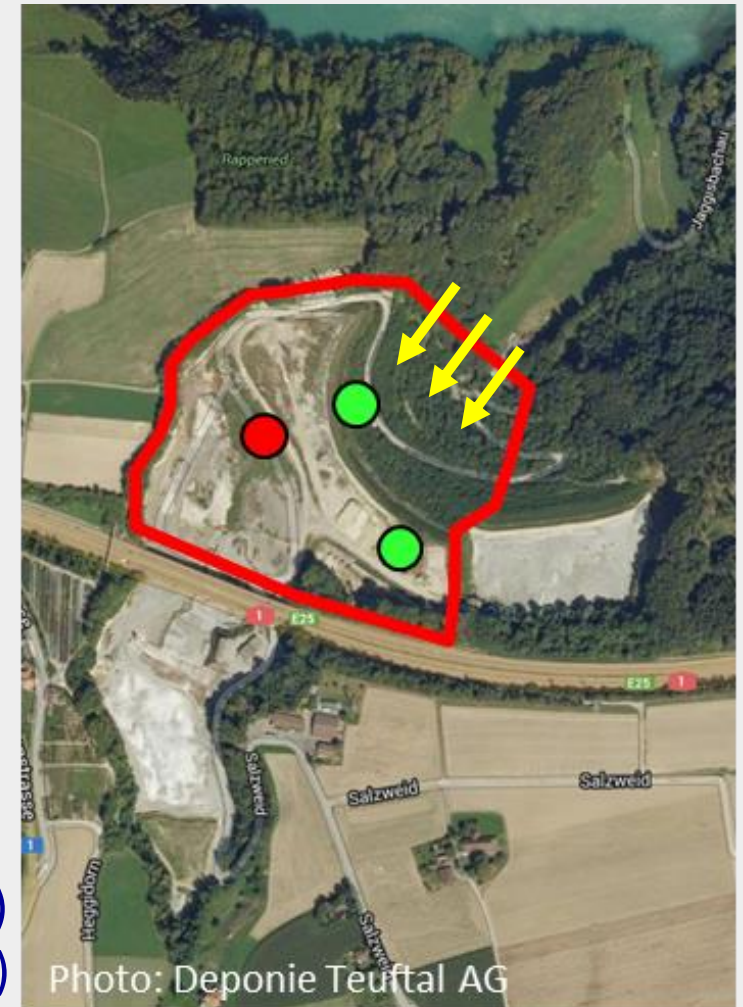


Photo: Deponie Teufal AG

Installation einer zusätzlichen Belüftungslinie

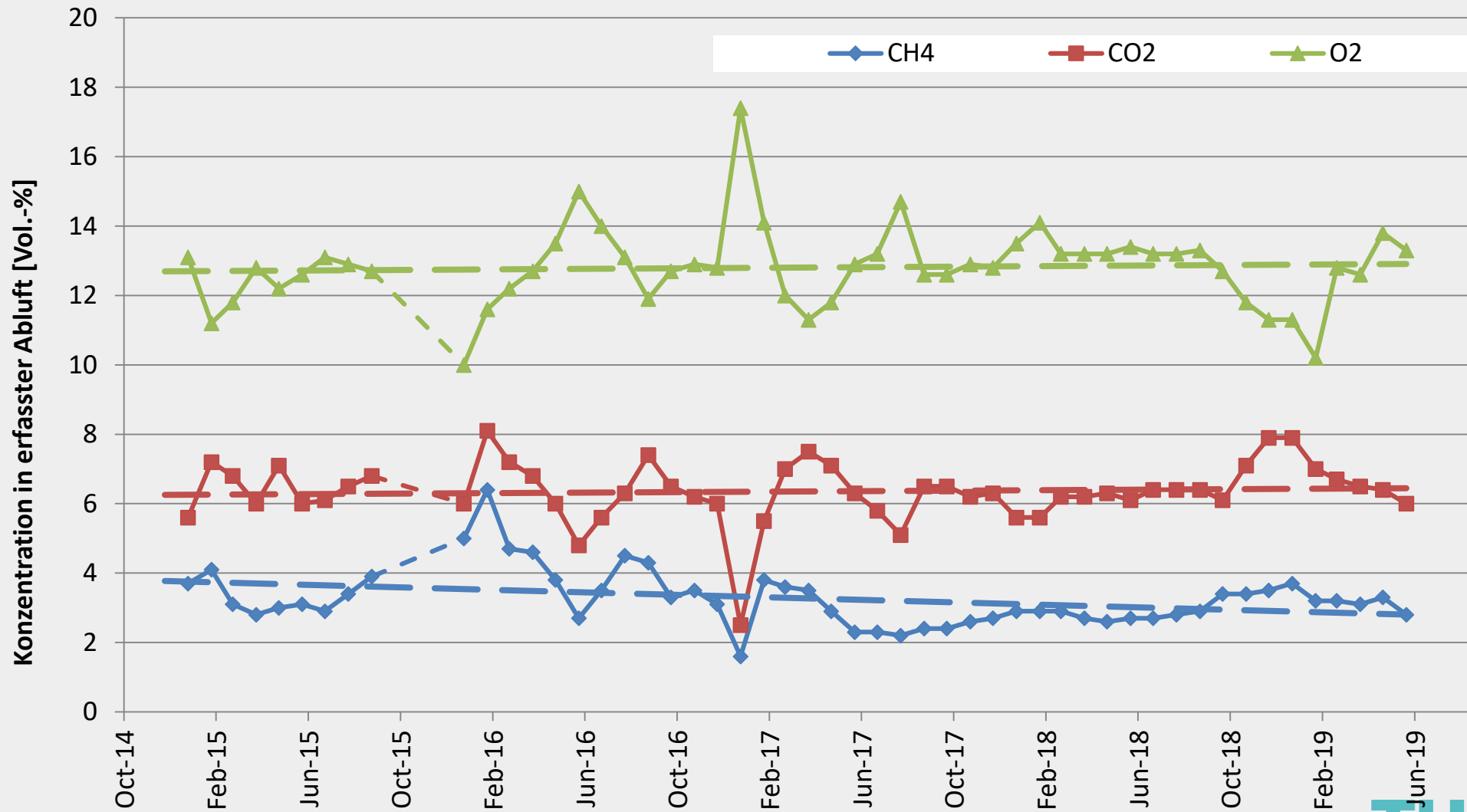
- Installation eines Zusatzgebläses (für die Belüftung) im Oktober 2018
- Betrieb über 2 Belüftungslinien:
 - **Linie 1** – höhere Horizontaldrainagen und solche mit geringen Auflasten
 - Betrieb mit 300 - 350 mbar; Luftvolumen 2.500 m³/h
 - **Linie 2** – untere Horizontaldrainagen mit hohen Auflasten
 - Betrieb mit 650 mbar; Luftvolumen 1.500 m³/h



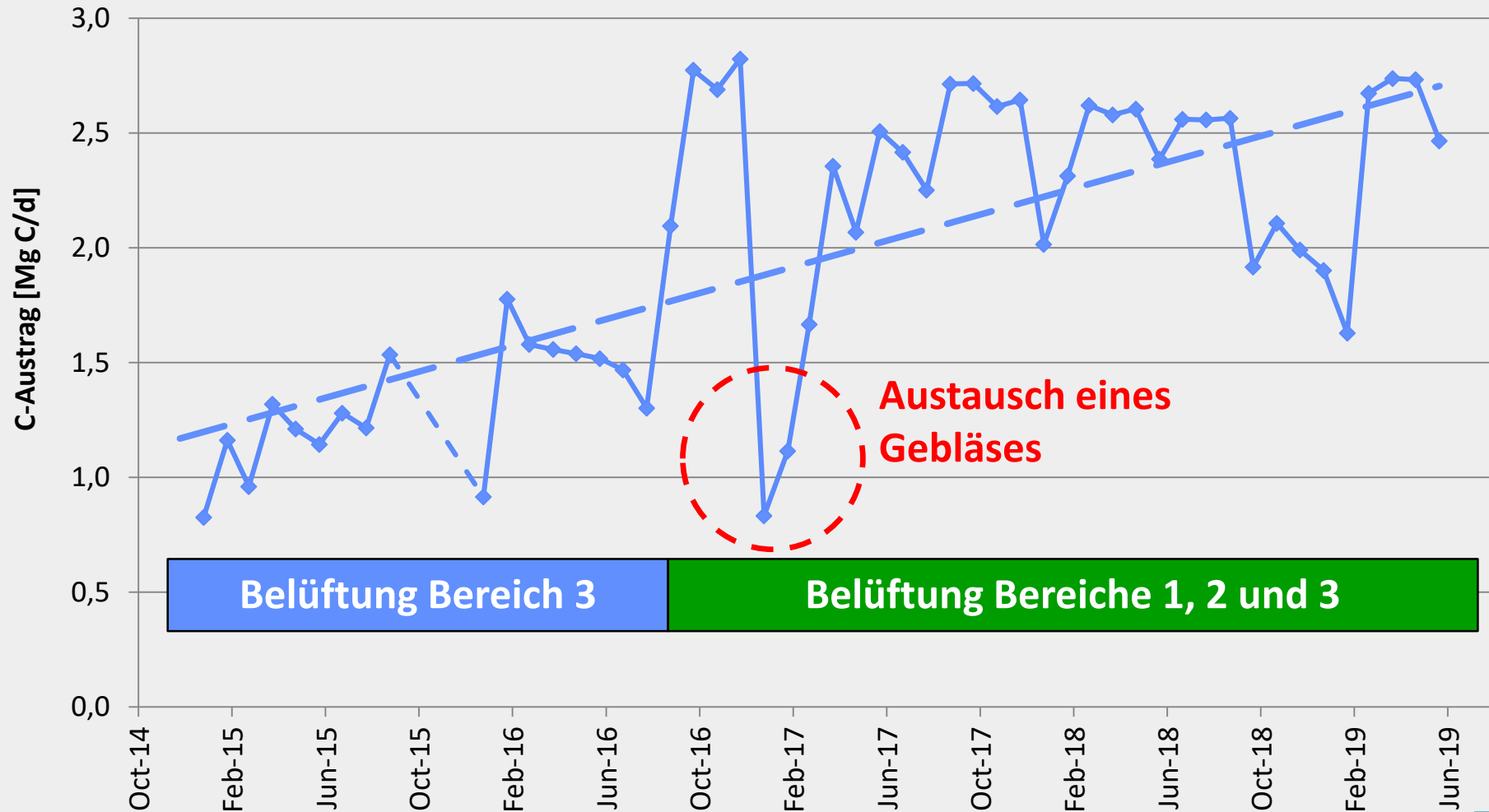
Monitoringdaten (nach 55 Monaten)

- **Belüftungsbeginn: 12/2014**
- **Anlagenverfügbarkeit (im Mittel): 98% (+ 3%)**
- **Belüftungsvolumen (12/14 - 06/19): 55,4 Mio. m³ (1.829m³/h; + 47,5%)**
- **Belüftungskoeffizient : 26 m³_{Luft} pro Mg TS (= 38% des Zielwertes)**
- **C-Austrag (bis 06/19): 2.723 Mg**
- **Stabilisierungskoeffizient: 1,3 kg_C pro Mg TS**

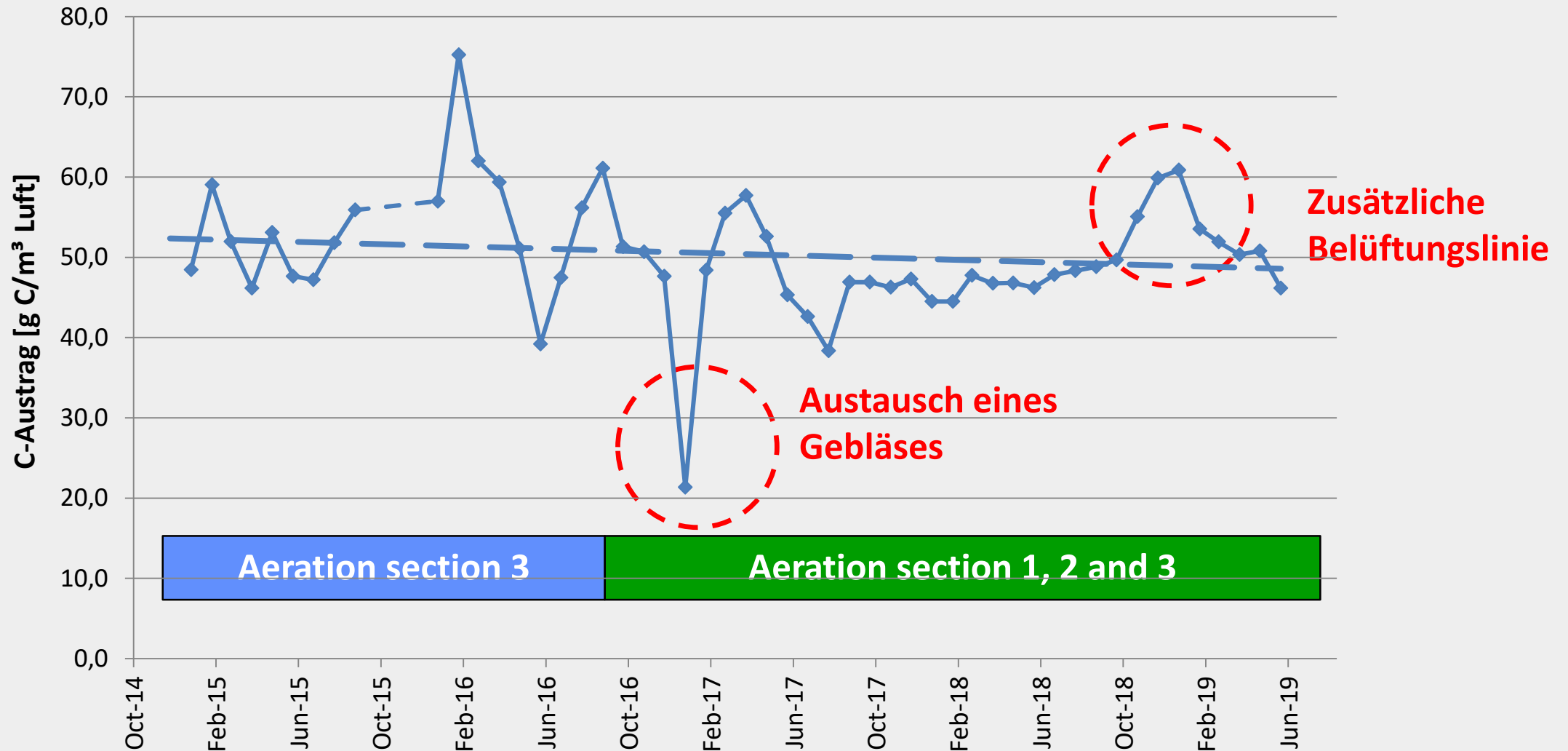
Deponiegaskomponenten



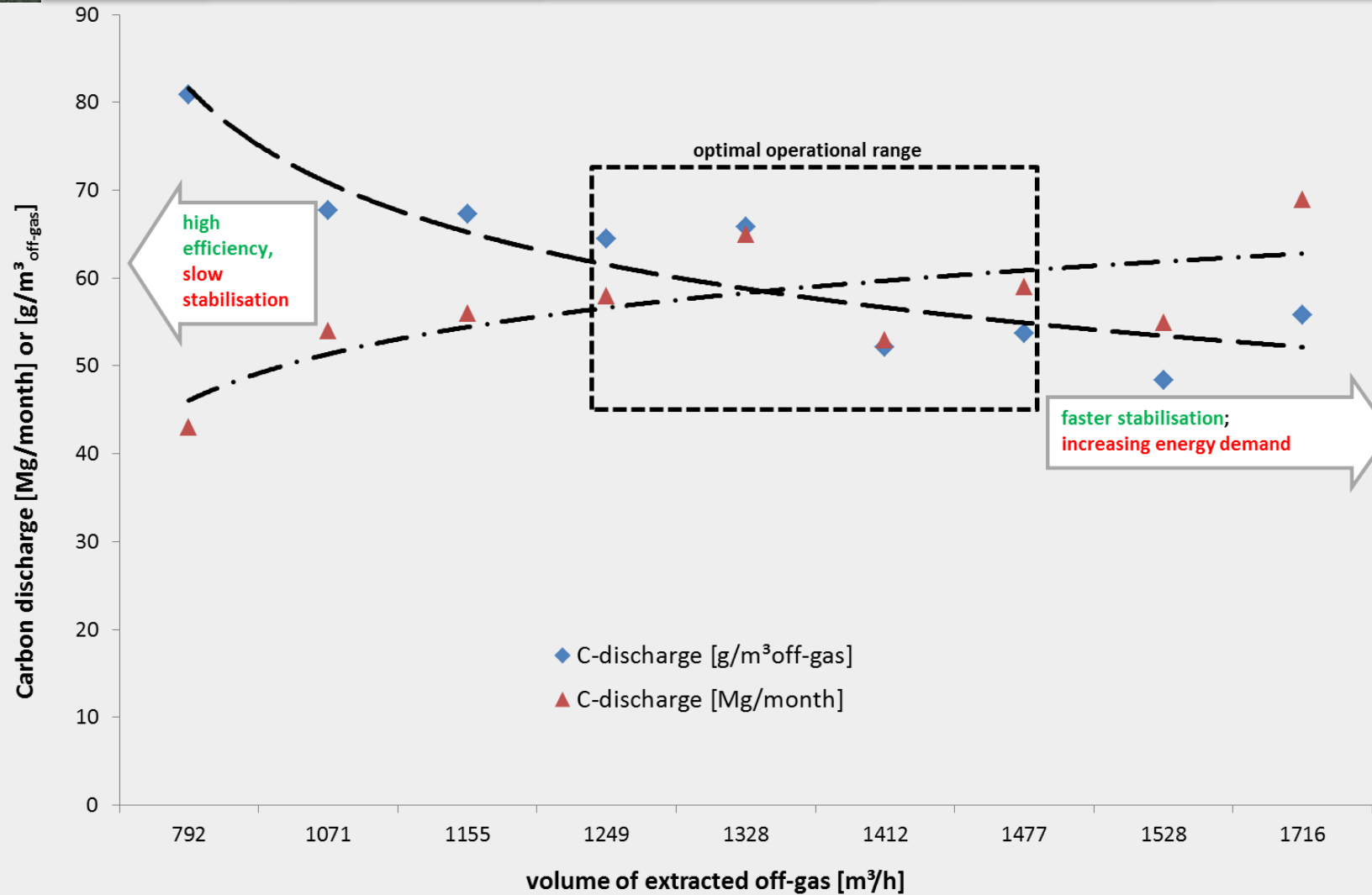
Kohlenstoffmobilisierung



Abluftbeladung



Luftvolumen vs. C-Austrag





Beurteilung der biologischen Stabilisierung

- Belüftungsprojekte werden (häufig) anhand des Kohlenstoffaustrags bewertet;
- Die Geschwindigkeit der Bio-Stabilisierung entspricht der Geschwindigkeit des Kohlenstoffaustrags;
- Einschränkungen durch physikalisch/chemische Gesetze: **max. 109 g C pro m³ Abluft** (wenn der gesamte eingeblasene Sauerstoff in CO₂ umgewandelt wird);
- In der Praxis ist dieser Wert signifikant niedriger.

Dilemma:

- Höhere Belüftungsraten → mehr Energie → höhere Kosten
- Höhere Belüftungsraten → höhere Biokonversionsraten → mehr Wärme
- geringere Belüftungsraten → weniger Wärme & Energie → längere Behandlungszeiten



Kohlenstoffmobilisierung - Beispiel

- Abfallmasse (zur Belüftung): 3 Mio. Mg FS ~ 2 Mio. Mg TS
- Mobilisierbarer $C_{org.}$: 10 – 15 kg C_{bio} /Mg TS → 20.000 – 30.000 Mg C_{bio}
- 100 g C / m³ Luft → 200.000.000 – 300.000.000 m³ Luft
- 2.000 m³/h → 100.000 – 150.000 h = 11,5 – 17 a
- 55 g C / m³ Luft → 360.000.000 – 545.000.000 m³ Luft
- 2.000 m³/h → 180.000 – 272.500 h = 20,5 – 31 a

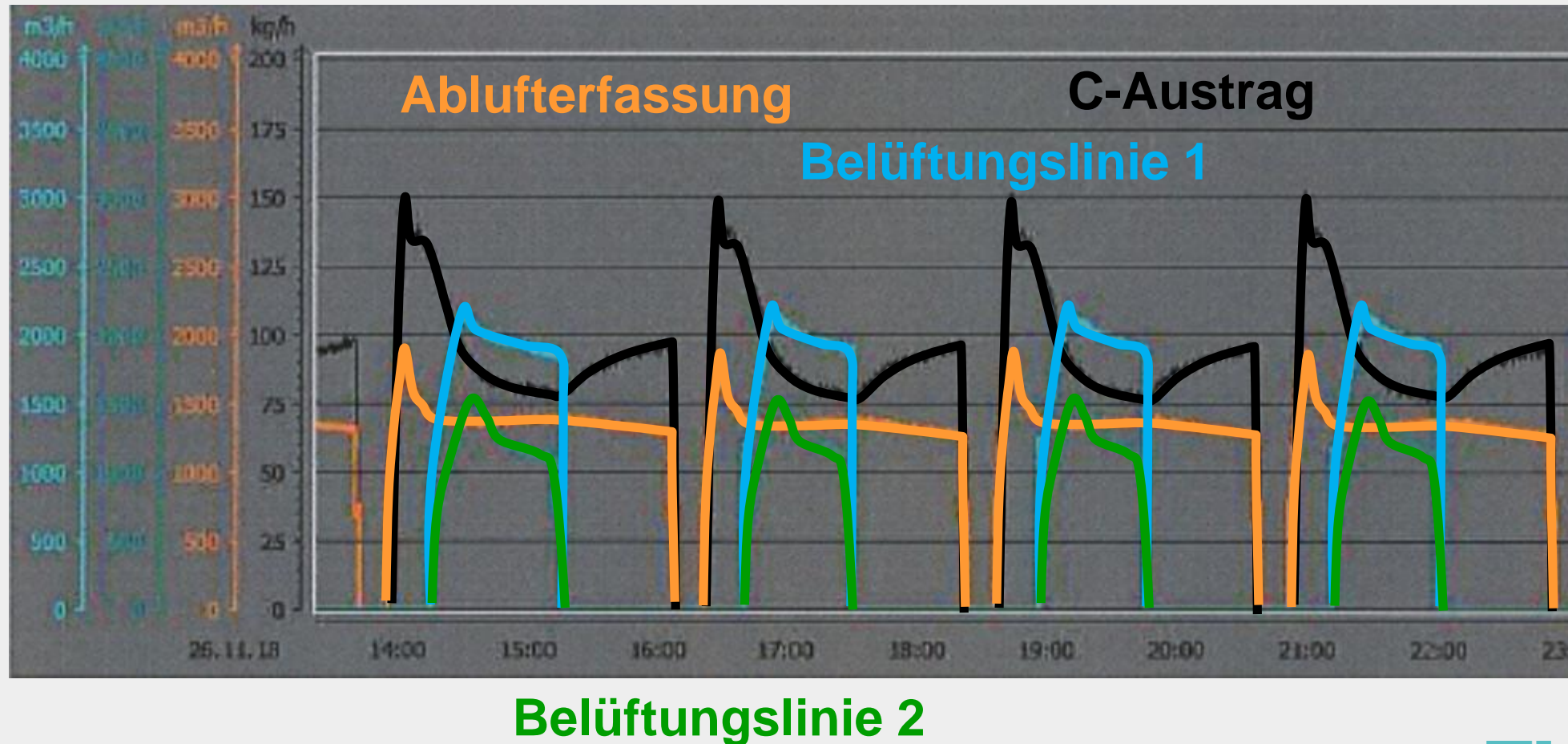


Herausforderung: Temperaturen (Deponie Teuftal)

- **Höhere Luftverdichtung führt zu höheren Lufttemperaturen;**
- **Nach Angaben des Herstellers kann die Druckluft im Sommer bis zu 89°C erreichen;**
- **Um den Temperaturanstieg zu begrenzen, wurde ein Gaskühler installiert;**
- **Die Höchsttemperaturen sind dadurch auf 59°C (im Sommer) begrenzt.**

Betriebsweise der Belüftungsaggregate

Belüftung und Ablufferfassung: **intermittierender Betrieb**



Auswirkungen des intermittierenden Betriebs

Belüftung für $t=50$ min.; Abluftfassung für $t=120$ min. (während eines 135 minütigen Zyklus')

- Ca. 63% Energieeinsparung bei der Belüftung
- Ca. 11% Energieeinsparung bei der Abluftfassung
- Reduzierung des **unverbrauchten Sauerstoffs'**;
- Drucklose Dränagen ermöglichen die **Ableitung von Sickerwasser**;
- Druckschwankungen tragen zu einer **besseren Luftverteilung** bei;
- Begrenzte **mikrobielle Wärmeentwicklung** durch Sauerstofflimitierung.

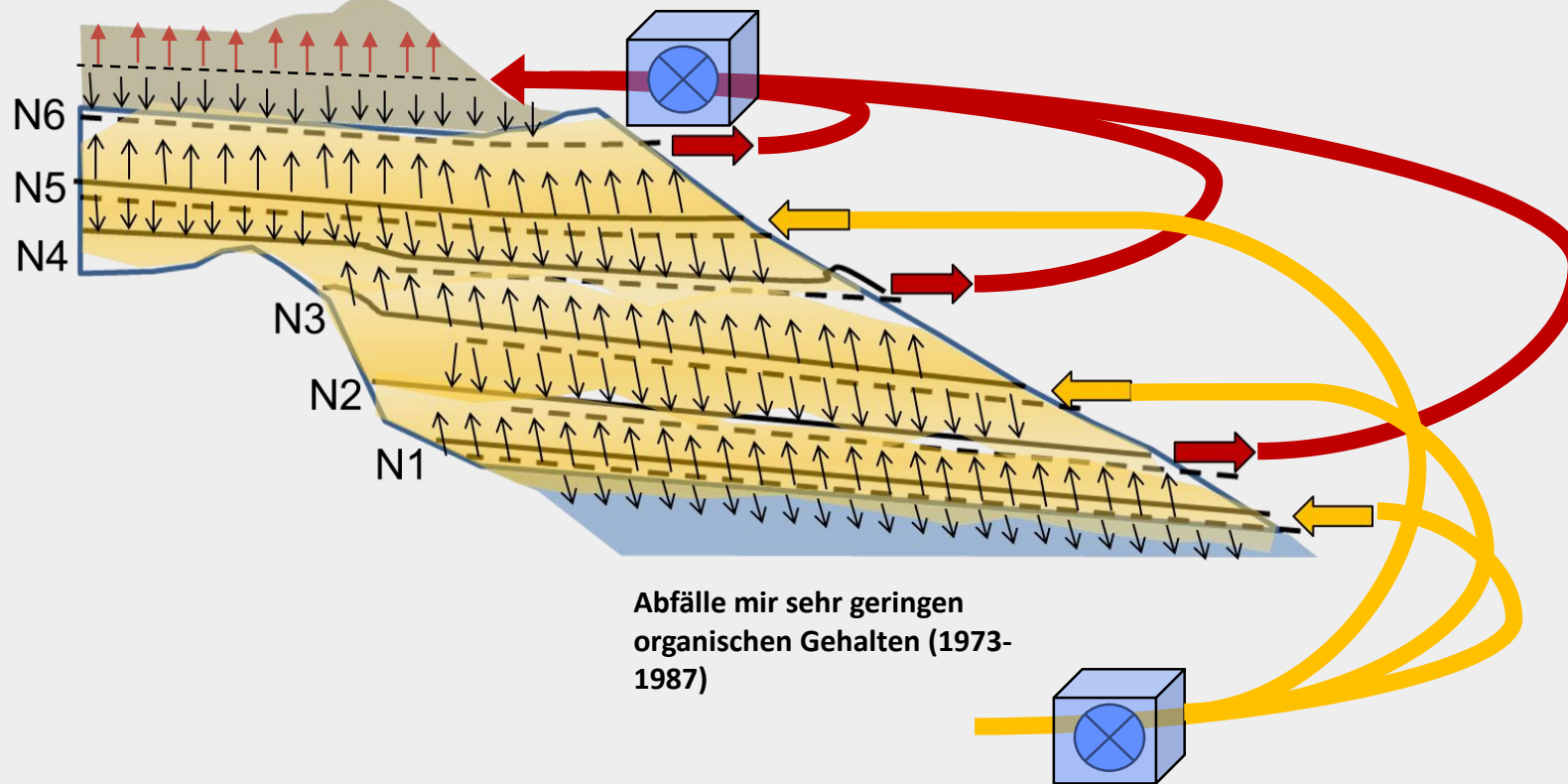


Ersatz des Gebläses zur Ablufterfassung

- Das Gebläse für die Ablufterfassung musste **nach zwei Jahren ausgetauscht** werden;
- Ursache: **Korrosion**, verursacht durch hohe Feuchtigkeit der Abgase;
- Neues Gebläse wird nun mit einer **angepassten Betriebsart** betrieben: Spülung mit Umgebungsluft für $t=3$ min. nach jedem Zyklus;
- Nebeneffekt: **zusätzliche Sauerstoffzufuhr** in die Methanoxidationsschicht (von der Unterseite);
- **Hoher Wirkungsgrad der Methanoxidationsschicht** mit einem Oxidationsprofil nahe der unteren Oberfläche.

Herausforderung: Abluftbehandlung

Überlagernde Abfälle (nach 2000, überwiegend Böden) als Flächenbiofilter



Effizienz der CH_4 -
Oxidation in
Säulenversuchen:
>90%

Schlussfolgerungen (I)

Potenziale von Deponiebelüftungsprojekten:

- **Einsparung / Reduzierung von THG Emissionen**
- **Schnellere Bio-Stabilisierung**
- **Zeitnahe und sichere Deponienachnutzung**
- **Kosteneinsparungen**
- **Existierende Infrastruktur kann in die Belüftung integriert werden**
 - *Diese betrifft z.B. auch Abfallschichten zur biologischen Methanoxidation*

Schlussfolgerungen (II)

Mögliche Herausforderungen bei Deponiebelüftungsprojekten:

- **Signifikanter Druckverlust in tiefen Deponiebereichen**
 - *Ggf. müssen spezielle Gebläse eingesetzt werden*
- **Steigende Temperaturen**
 - *Einsatz von Gaskühlern kann notwendig / empfehlenswert sein*
 - *Intermittierende Belüftung zur Limitierung der Erwärmung*
- **Grenzen des Kohlenstoffaustrags**
 - *Verlängerung der Behandlungszeiträume*



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!