


BE 692A	Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien		Anhang A1
01.05.2022	Übersicht Sanierungsvarianten und Szenarien		V3.1 - A4 - Rs BE692A_ÜbersichtVariantenSzenarien_v3.1.xls

Sanierungsvarianten		Szenario 1 $C_{bio} > 12\text{kg/t TM}$	Szenario 2 $12\text{kg/t TM} > C_{bio} > 6\text{kg/t TM}$	Szenario 3 $6\text{kg/t TM} > C_{bio} > 2.5\text{ kg/t TM}$
1	Status Quo: Die Deponie wird sich selbst überlassen und die Verrottungsprozesse klingen über die nächsten 50 Jahre allmählich ab.	Die Deponie wird sich selbst überlassen. Die produzierten Deponiegase entweichen direkt in die Atmosphäre.	Die Deponie wird sich selbst überlassen. Die produzierten Deponiegase entweichen direkt in die Atmosphäre.	Status Quo: Die Deponie wird sich selbst überlassen. Die produzierten Deponiegase entweichen direkt in die Atmosphäre
2	Totaldekontamination: Die Deponie wird ausgehoben, die Abfälle triagiert, transportiert, behandelt und extern entsorgt. Die brennbaren Anteile werden in einer KVA thermisch verwertet, was verwertbar ist und die restlichen Abfälle gelangen in Schweizer Oberflächen-deponien (Typ B und Typ E).	Die Deponie wird ausgehoben, allenfalls erhöhte Entsorgungskosten wegen hohen Belastungen	Die Deponie wird ausgehoben	Sanierungsvariante allenfalls nicht relevant: Da die CH_4 -Emissionen in diesem Bereich von C_{bio} knapp über bzw. bereits unter den klimatologisch begründeten Kriterien für den Übergang zur passiven Behandlung der Deponiegase liegen, ist ein Ausräumen der Deponie kaum mehr verhältnismässig.
3	Aerobisierung: Der Deponiekörper wird aktiv belüftet und die Deponiegase gefasst und behandelt (mittels Gasmotors oder Gasfackel, soweit brennbar und mittels katalytischer Oxidation, wenn nicht mehr selbst brennbar).	In einer ersten Phase erfolgt eine herkömmliche Erfassung der Deponiegase und Behandlung (mittels Gasmotors oder Gasfackel) und anschliessend eine Aerobisierung (Niederdruckbelüftung).	Hier wird direkt eine Aerobisierung (Niederdruckbelüftung) installiert.	Prüfen wie weit hier eine Aerobisierung noch technisch machbar ist und zu einer massgeblichen Reduktion der CH_4 -Emissionen führt und unter Berücksichtigung der Kosten aus Klimaschutzgründen sinnvoll oder notwendig ist.
4	Aktive Entgasung ohne Aerobisierung: Der Deponiekörper wird aktiv entgast und die Deponiegase gefasst und behandelt (mittels Gasmotors oder Gasfackel, soweit brennbar und mittels katalytischer Oxidation, wenn nicht mehr selbst brennbar).	Die Deponie wird aktiv entgast: Erfassung der Deponiegase und Behandlung (mittels Gasmotors oder Gasfackel, so weit brennbar und mittels katalytischer Oxidation, wenn nicht mehr selbst brennbar). Aerobisierungsmassnahmen sind nicht vorgesehen.	Die Deponie wird aktiv entgast: Erfassung der Deponiegase und Behandlung (mittels Gasmotors oder Gasfackel, soweit brennbar und mittels katalytischer Oxidation, wenn nicht mehr selbst brennbar). Aerobisierungsmassnahmen sind nicht vorgesehen.	Prüfen ob hier eine aktive Entgasung der Deponie und Behandlung mit katalytischer Oxidation technisch noch möglich ist und zu einer massgeblichen Reduktion der CH_4 -Emissionen führt und unter Berücksichtigung der Kosten aus Klimaschutzgründen sinnvoll oder notwendig ist.

Berechnungsannahmen zur Gasprognose

Für die Abschätzung der aus dem anaeroben Abbau der organischen Substanz im deponierten Abfall zu erwartenden Deponiegasproduktion werden in der Literatur verschiedene Berechnungsmodelle vorgeschlagen. Für die Deponiegasprognose wurde hier das IPCC Waste Model [2] verwendet.

Die Masse an Methan, welche durch den anaeroben biologischen Abbau der abbaubaren organischen Bestandteile im Abfall gebildet wird, wird nach dem nachstehend dargestellten Ansatz ermittelt.

Tabelle 1 - Berechnungsansatz der IPCC für die Ermittlung der jährlichen Methanproduktion aus dem Abbau des bioverfügbaren Anteils der deponierten Abfälle.

$$CH_{4,erz,T} = DDOC_{m,decomp,T} \cdot F \cdot \frac{16}{12}$$

Dabei ist

$CH_{4,erz,T}$ Masse an Methan, welche durch die biologisch abbaubaren Abfälle erzeugt wird, in Mg/a oder Gg/a

$DDOC_{m,decomp,T}$ Masse des im Jahr T abgebauten abbaubaren DOC , in Mg/a oder Gg/a

F Anteil des Methans am Deponiegas

T Jahr, für das die Emission ermittelt wird, häufig bezeichnet als Inventarjahr

Weiterhin gilt

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

Dabei ist

$DDOC_m$ Masse des abbaubaren und abgelagerten DOC , in Mg oder Gg

W Masse des abgelagerten Abfalls, in Mg oder Gg

DOC Anteil des theoretisch abbaubaren organischen Kohlenstoffs im Jahr der Ablagerung, in Gg/Gg Abfall

DOC_f Anteil des DOC , der unter realen Deponiebedingungen biologisch abbaubar ist

MCF Methankorrekturfaktor für den Kohlenstoffverlust durch aeroben Abbau für das Jahr der Ablagerung

Als Modelldeponie wurde eine Siedlungsabfalldeponie mit einem Gesamtvolumen von 500'000 m³ und einer Trockenmasse von 450'000 t vorgegeben. Bezüglich der Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle wurden die in der Abfallerhebung des Bundesamtes für Umweltschutz vom Juli 1984 ergänzt im März 1987 [1] gemachten Angaben zu Grunde gelegt. Für die Daten zum DOC-Gehalt und dem abbaubaren Anteil der organischen Substanz sowie den zu erwartenden Halbwertszeiten für den anaeroben Abbau haben wir uns auf Resultate zur Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien abgestützt (Verfasser: IFAS Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Hamburg und Ingenieurgruppe RUK GmbH, Stuttgart, im Auftrag des Umweltbundesamtes). Die Berechnungsannahmen zur Gasprognose sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Für die Umweltbilanz wurde mit dem IPCC-Modell sowohl der CH₄-Anteil als auch der CO₂ Anteil ermittelt, jedoch nur der CH₄ Anteil berücksichtigt, unter Annahme eines Volumenanteils von je 50% CH₄ bzw. CO₂ ermittelt.

Die aus den getroffenen Annahmen resultierende Deponiegasproduktion (CH₄ + CO₂) sowie die aus dem Abbau resultierende Abnahme des bioverfügbaren Kohlenstoffs C_{bio} sind in den Abbildungen 1, 3 und 5 dargestellt.

Tabelle 2 - Berechnungsannahmen zur Gasprognose (rote Werte sind Vorgaben, blaue übernommene Werte und schwarze sind aus den Vorgaben berechnete Werte).

	Textilien	Papier+Garten	Küche	Rest)*		
t _½	12	7	4	50	Jahre	Halbwertszeit
k	0.057762	0.099021	0.173287	0.013863	1/a	Abbaukonstante
j _f	1.2	1.2	1.2	1.2	t/m3	Feuchtraumgewicht
j _t	0.9	0.9	0.9	0.9	t/m3	Trockenraumgewicht
wg%	25%	25%	25%	25%	%	Wassergehalt in der Deponie
GW%	11.50%	53.50%	9%	26.00%	%	Gewichtsanteil
V	57'500	267'500	45'000	130'000	m3	Deponievolumen tot. 500'000
W	51'750	240'750	40'500	117'000	t	Trockenmasse total 450'000
T _D	20	20	20	20	a	Deponiedauer
w	2'588	12'038	2'025	5'850	t/a	jährliche Ablagerung
DOC	0.32	0.47	0.20	0.07	t C/t	Anteil DOC bei wg% = 25%
DOC _f	0.5	0.5	0.5	0.5)**	Anteil DOC abbaubar
MCF	0.8	0.8	0.8	0.8	Anteil aerob	in Ablagerungsphase
F _{CH4}	50%	50%	50%	50%	Vol%	Methankonzentration
F _{CO2}	50%	50%	50%	50%	Vol%	CO2 - Konzentration
j _{CH4}	0.72	0.72	0.72	0.72	kg/Nm3	Dichte CH4
j _{CO2}	1.98	1.98	1.98	1.98	kg/Nm3	Dichte CO2
m _{CH4}	16.04	16.04	16.04	16.04	g/mol	molare Masse CH4
m _{CO2}	44.01	44.01	44.01	44.01	g/mol	molare Masse CO2
m _H	1.008	1.008	1.008	1.008	g/mol	molare Masse H
m _O	15.999	15.999	15.999	15.999	g/mol	molare Masse O
h/a	8760	8760	8760	8760	h	Std pro Jahr

)* Holzanteil am Rest = 12%

)** DOC_f 0.5 statt wie Holz 0.1

Nachfolgende Berechnungen zu den Szenarien mit dem IPCC Modell mit unterschiedlichem Anteil an biologisch verfügbarem Kohlenstoff C_{bio} las-sen Rückschlüsse auf das Alter der Ablagerung zu. Der Anteil an C_{bio} wird jedoch nicht anhand des Alters der Ablagerung bestimmt, sondern ist im Einzelfall auch Abhängig u. A. von der Art der Abfälle, vom Wasserhaushalt, von der Luftzirkulation vom Deponiestandort und von den technischen Ein-richtungen. Ebenso können innerhalb derselben Ablagerung grosse Unter-schiede an biologisch verfügbarem Kohlenstoff auftreten. Im Einzelfall ist die Deponie deswegen anhand der Besandesaufnahme und nicht alleine durch das Alter der Ablagerung zu charakterisieren. Nachfolgende Berech-nungen des C_{bio} anhand des Deponiealters basieren auf den Rahmenbe-dingungen der IPCC und dienen der einheitlichen Modellbildung.

Gasproduktion und Wirkung der Massnahmen

1. Definition der Sanierungsvarianten und Szenarien

Gemäss den vom BAFU vorgegebenen Projektvorgaben [3] wurden 4 Sanierungsvarianten definiert, für welche die Effektivität von technischen Massnahmen untersucht werden soll (siehe Hauptbericht [5] Kap. 4.1, hier nur verkürzt beschrieben):

- Sanierungsvariante 1: Status Quo
- Sanierungsvariante 2: Totaldekontamination des Deponiestandortes
- Sanierungsvariante 3: Aerobisierung (Niederdruckbelüftung) mit Abfackelung
- Sanierungsvariante 4: Aktive Entgasung und Abfackelung ohne Aerobisierung

Für die zu untersuchenden Sanierungsvarianten wurden 3 Szenarien von Deponien mit unterschiedlichem Anteil von noch vorhandenem bioverfügbaren Kohlenstoff C_{bio} definiert (siehe Abbildungen 1, 3 und 5).

2. Ermittlung der Emissionen in die Atmosphäre

Bei Deponien gemäss Variante 1 (Status Quo) emittieren die anaerob produzierten Deponiegase, allenfalls abzüglich einer Methanoxidation (OX) in der oberflächennahen Bodenschicht, vollständig in die Atmosphäre. Da CH_4 im Vergleich zu CO_2 deutlich klimaschädlicher ist wird der Anteil CH_4 , bezogen auf dessen Treibhauswirkung auf 100 Jahre, um Faktor $GWP_{CH_4} = 28$ erhöht. Je nach der Wirkungsdauer, für welche der Einfluss von CH_4 in der Atmosphäre berücksichtigt wird, werden andere Faktoren eingesetzt.

Sobald technische Entgasungsmassnahmen getroffen werden, sind deren Wirkungsgrade zu berücksichtigen. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde mit folgenden Werten gerechnet:

- Pro t CH_4 entstehen bei der Verbrennung 2.75 t CO_2 . Das «global warming potential» wurde $GWP_{CH_4} = 28$ gesetzt.
- Der Erfassungsgrad des in der Deponie produzierten Deponiegases (EF%) wurde bei Sanierungsvariante 4 (Gaserfassung mit Abfackelung) zu 80% und bei Sanierungsvariante 3 (Aerobisierung) zu 100% angenommen.
- Die Abfackelungseffizienz (AE%) wurde bei beiden Sanierungsvarianten 3 und 4 zu 90% angenommen.
- Für die Methanoxidation (OX) wird ein Wert von 0% angenommen um bei der Umweltbilanzierung auf der ungünstigeren Seite zu liegen. Allfällig vorhandene Methanoxidation würde, wie bei der Verbrennung pro t CH_4 zu Emissionen von 2.75 t CO_2 führen. Ausgehend von der mit dem IPCC-Modell ermittelten jährlich produzierten Deponiegasmenge (t CH_4 +t CO_2)/a wurden die jährlichen Total-Emissionen von CO_2 -eq/a folgendermassen berechnet:

- Sanierungsvariante 1: $CO_2\text{-eq/a} = t\ CH_4/a * (GWP_{CH_4} - OX\% * (GWP_{CH_4} - 2.75)) + t\ CO_2/a$
- Sanierungsvariante 3+4: $CO_2\text{-eq/a} = t\ CH_4/a * (EF\% * AF\% * 2.75 + (1-EF\% * AF\%) * ((1-OX\%) * GWP_{CH_4} + OX\% * 2.75)) + t\ CO_2/a$

3. Resultate Szenario 1

Für das Szenario 1 mit einem C_{bio} grösser als 12 kg/t TM wurde von einem Ablagerungszeitraum für die Siedlungsabfälle von 1980 – 2000 und einer anschliessenden Nachsorgephase von 20 Jahren ausgegangen. Die mit den Sanierungsvarianten vorgesehenen Sanierungsmassnahmen beginnen demzufolge im Jahr 2020. Für die Ermittlung der Deponiegasproduktion gelten die in Tabelle 2 beschriebenen Berechnungsannahmen. Der bioverfügbare Anteil C_{bio} beträgt 2020 13.0 kg/t TM und nimmt bis 2070 auf einen Wert von ca. 2.4 kg C_{bio} /t TM ab.

Bei Variante 1 (Status Quo) wird das Sanierungsziel für die CH_4 -Emissionen der Deponie 2040 erreicht und ist kleiner als die vorgegebenen 10 m³ CH_4 /h. Der bioverfügbare Anteil C_{bio} in der Deponie beträgt zu diesem Zeitpunkt noch ca. 5.4 kg C_{bio} /t TM.

Bei Sanierungsvariante 3 wird die Aerobisierung ab 2020 während 15 Jahren betrieben. Die Wirkung auf den beschleunigten aeroben Abbau des bioverfügbaren Kohlenstoffs C_{bio} wurde mit einer geschätzten Halbwertszeit von $T/2 = 5$ Jahren berücksichtigt (Verlauf der rot gestrichelten Linie in nachstehender Abbildung 1). Das Sanierungsziel wird hier bereits nach ca. 11 Jahren, also 2031 erreicht. Der bioverfügbare Anteil C_{bio} in der Deponie beträgt zu diesem Zeitpunkt noch ca. 3.2 kg C_{bio} /t TM. Nach Abschluss der Aerobisierung beträgt C_{bio} noch 1.6 kg C_{bio} /t TM. Kumuliert über 50 Jahre nach Beginn der Massnahme emittieren gegenüber Szenario 1 (Status Quo) 71'326 t CO_2 -eq weniger in die Atmosphäre.

Bei Sanierungsvariante 4 wird die aktive Entgasung und Abfackelung ohne Aerobisierung 50 Jahre lang betrieben. Die Abfackelung führt zu keinen Veränderungen der Gasproduktion gegenüber Variante 1 (Status Quo). Wie bei Variante 1 würde das Sanierungsziel bereits ca. 2040 erreicht. Nach Abschluss der Abfackelung im Jahre 2070 beträgt der bioverfügbare Anteil C_{bio} nur noch 2.4 kg CH_4 /t TM. Kumuliert über 50 Jahre nach Beginn der Massnahme emittieren gegenüber Variante 1 (Status Quo) 62'352 t CO_2 -eq weniger in die Atmosphäre.

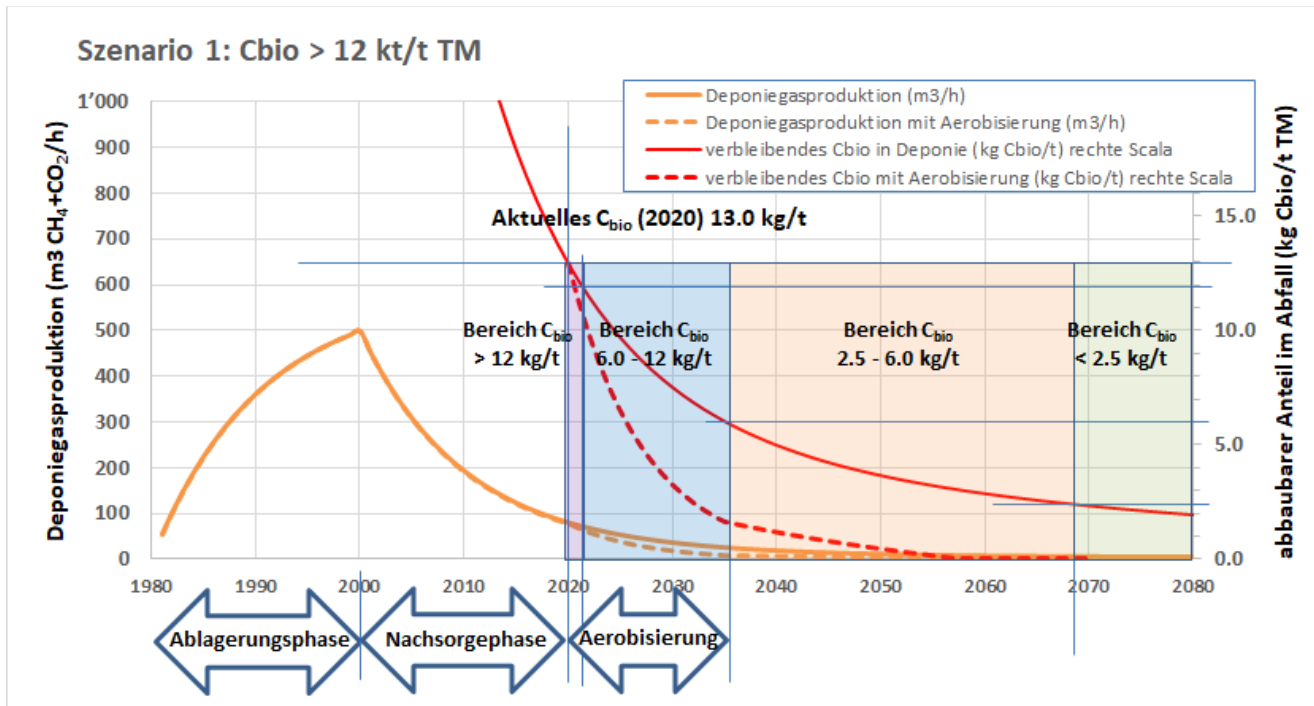


Abbildung 1 - Szenario 1: Per Ende der Ablagerungen im Jahre 2000 betrug C_{bio} = 57.7 kg/t TM. Beim Beginn der Massnahmen (20 Jahre nach Abschluss der Deponie) im Jahre 2020 beträgt C_{bio} noch 13 kg/t TM. Zu diesem Zeitpunkt beträgt die Deponiegasproduktion 79 Nm³/h bzw. 39.5 m³CH₄/h

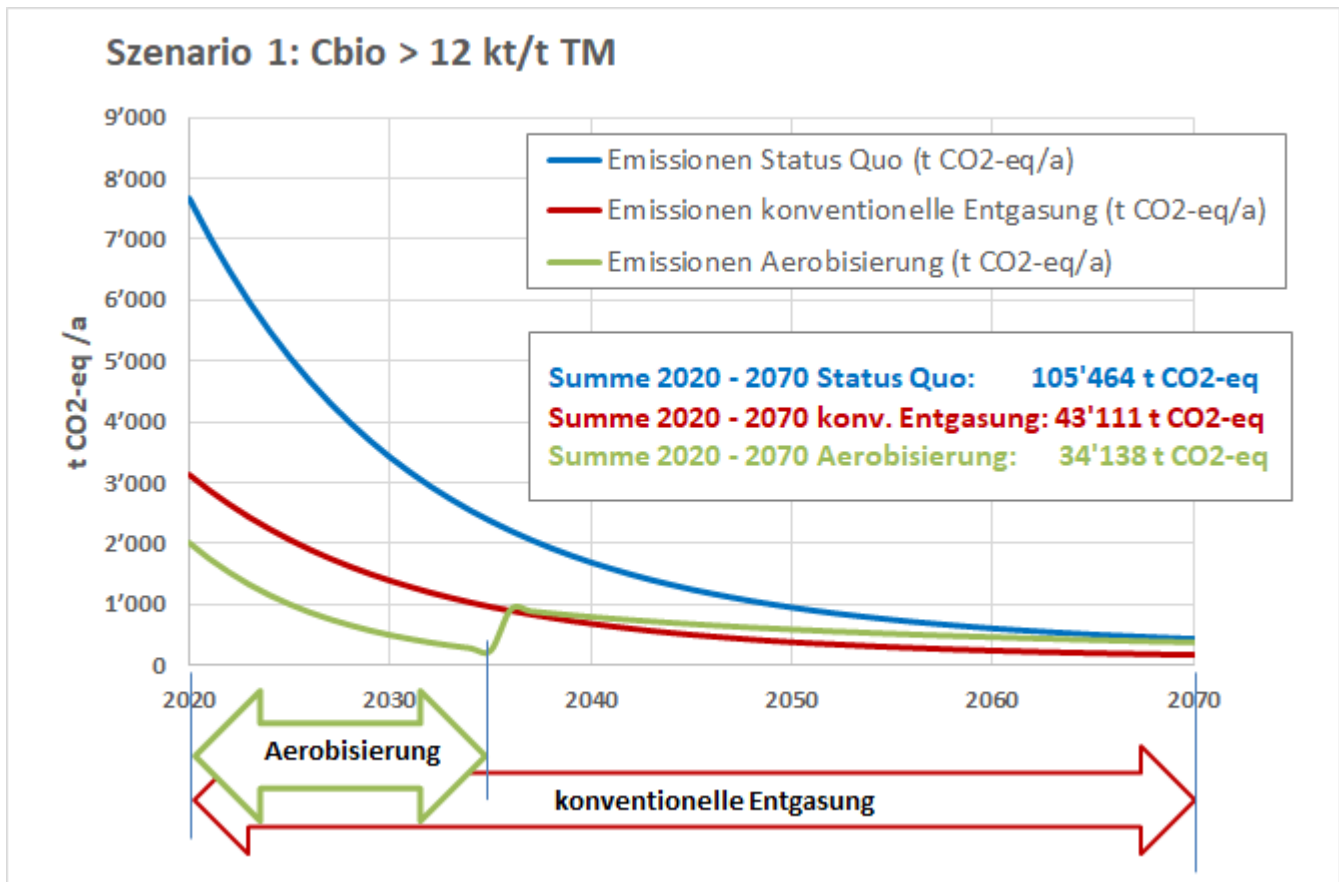


Abbildung 2 - Langfristige Wirkung der Massnahmen bezüglich der Freisetzung von CO₂-eq. Gegenüber dem Variante 1 emittieren bei Sanierungsvariante 3 (Aerobisierung) kumuliert über 50 Jahre nach Beginn der Massnahmen 71'326 t CO₂-eq weniger in die Atmosphäre. Bei Sanierungsvariante 4 (Aktive Entgasung und Abfackelung ohne Aerobisierung) beträgt die Emissionsverminderung 62'352 t CO₂-eq.

4. Resultate Szenario 2

Für Szenario 2 mit einem C_{bio} zwischen 12 kg/t TM und 6 kg/t TM sind wir von einem Ablagerungszeitraum für die Siedlungsabfälle von 1970 – 1990 und einer anschließenden Nachsorgephase von 30 Jahren ausgegangen. Die mit den Sanierungsvarianten vorgesehenen Sanierungsmassnahmen beginnen demzufolge wie bei Szenario 1 im Jahr 2020. Für die Ermittlung der Deponiegasproduktion gelten die in Tabelle 2 beschriebenen Berechnungsannahmen. Der bioverfügbare Anteil C_{bio} beträgt rechnerisch 2020 7.5 kg/t TM.

Bei Variante 1 (Status Quo) wird das Sanierungsziel für die CH_4 -Emissionen der Deponie 2029 erreicht und ist kleiner als die vorgegebenen 10 m³CH₄/h. Der bioverfügbare Anteil C_{bio} in der Deponie beträgt zu diesem Zeitpunkt noch ca. 5.4 kgCbio/t TM und nimmt bis 2070 auf einen Wert von ca. 2.0 kgCbio/t TM ab.

Bei Sanierungsvariante 3 wird die Aerobisierung ab 2020 während 12 Jahren betrieben. Die Wirkung auf den beschleunigten aeroben Abbau des bioverfügbaren Kohlenstoffs C_{bio} wurde mit einer geschätzten Halbwertszeit von $T/2 = 5$ Jahren berücksichtigt (Verlauf der rot gestrichelten Linie in nachstehender Abbildung 3). Das Sanierungsziel würde hier bereits nach ca. 5 Jahren, also 2025 erreicht werden. Der bioverfügbare Anteil C_{bio} in der Deponie beträgt zu diesem Zeitpunkt ca. 4.3 kgCbio/t TM. Nach Abschluss der Aerobisierung beträgt C_{bio} noch 1.4 kgCbio/t TM. Kumuliert über 50 Jahre nach Beginn der Massnahme emittieren gegenüber Variante 1 (Status Quo) 35'106 t CO₂-eq weniger in die Atmosphäre.

Bei Sanierungsvariante 4 wird die aktive Entgasung und Abfackelung ohne Aerobisierung 40 Jahre lang betrieben. Die Abfackelung führt zu keinen Veränderungen der Gasproduktion gegenüber Variante 1 (Status Quo). Wie bei Variante 1 würde das Sanierungsziel bereits ca. 2029 erreicht. Nach Abschluss der Abfackelung im Jahre 2060 beträgt der bioverfügbare Anteil C_{bio} nur noch 2.4 kgCH₄/t TM. Kumuliert über 50 Jahre nach Beginn der Massnahme emittieren gegenüber Variante 1 (Status Quo) 30'271 t CO₂-eq weniger in die Atmosphäre.

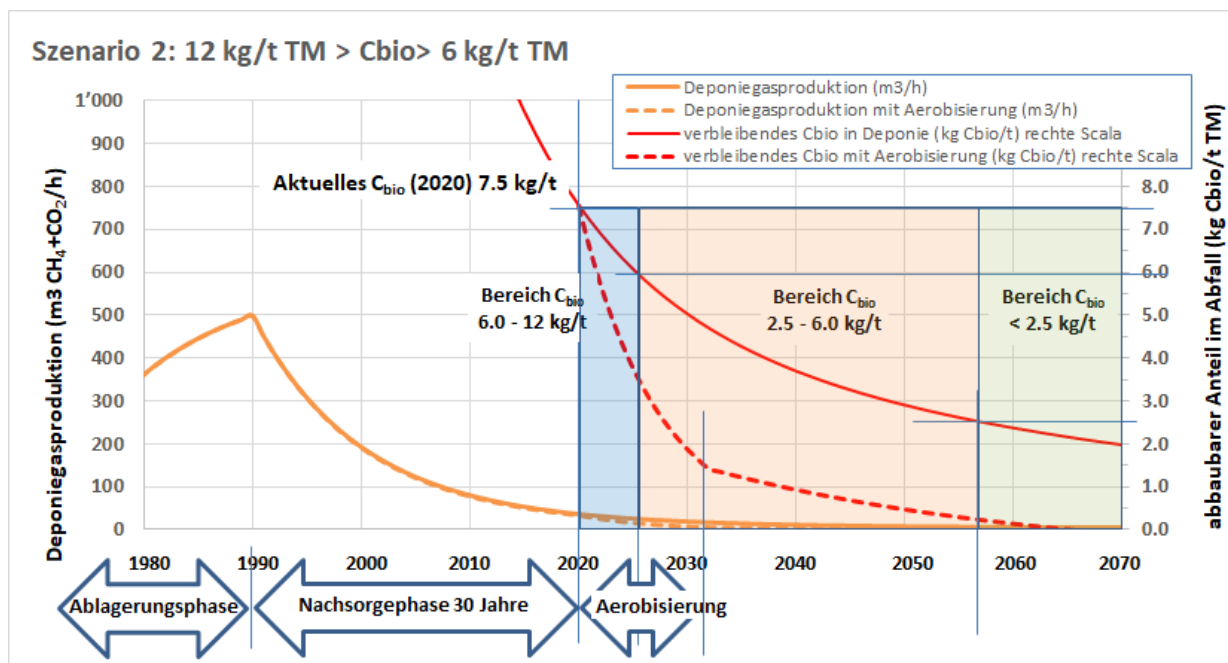


Abbildung 3 -Szenario 2: Per Ende der Ablagerungen im Jahre 1990 betrug C_{bio} = 57.7 kg/t TM. Beim Beginn der Massnahmen (30 Jahre nach Abschluss der Deponie) im Jahre 2020 beträgt C_{bio} noch 7.5 kg/t TM. Zu diesem Zeitpunkt beträgt die Deponiegasproduktion 35.2 Nm³/h bzw. 17.6 m³CH₄/h

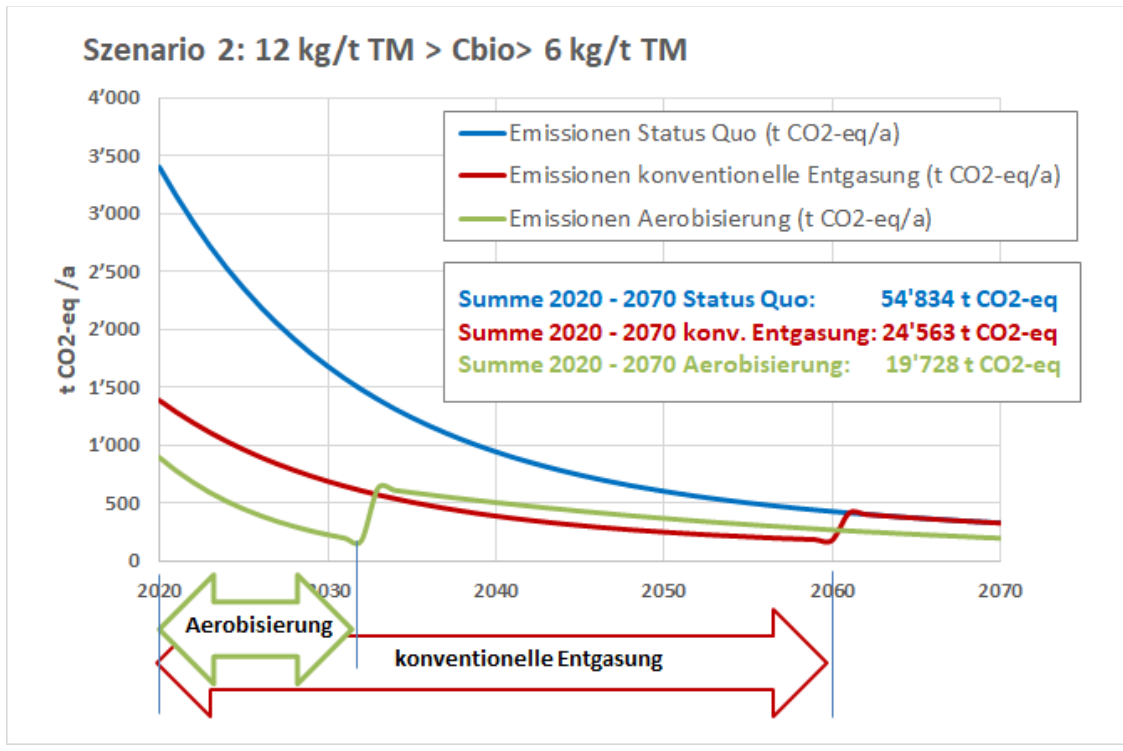


Abbildung 4 - Langfristige Wirkung der Massnahmen bezüglich der Freisetzung von CO₂-eq. Gegenüber dem Szenario 1 emittieren bei Szenario 3 (Aerobisierung) kumuliert über 50 Jahre nach Beginn der Massnahmen 35'106 t CO₂-eq weniger in die Atmosphäre. Bei Szenario 4 (Aktive Entgasung und Abfackelung ohne Aerobisierung) beträgt die Emissions-verminderung 30'271 t CO₂-eq.

5. Resultate Szenario 3

Für Szenario 3 mit einem C_{bio} zwischen 6 kg/t TM und 2.5 kg/t TM wurde von einem Ablagerungszeitraum für die Siedlungsabfälle von 1950 – 1970 und einer anschließenden Nachsorgephase von 50 Jahren ausgegangen. Die mit den für die Sanierungsvarianten vorgesehenen Sanierungsmassnahmen beginnen demzufolge wie bei Szenario 1 und 2 im Jahr 2020. Für die Ermittlung der Deponiegasproduktion gelten die in Tabelle 2 beschriebenen Berechnungsannahmen. Der bioverfügbare Anteil C_{bio} beträgt 2020 3.7 kg/t TM.

Bei Variante 1 (Status Quo) wurde das Sanierungsziel für die CH_4 -Emissionen der Deponie bereits 13 Jahre vor Beginn von Massnahmen, also 2007 erreicht und ist kleiner als die vorgegebenen 10 m³CH₄/h. Der bioverfügbare Anteil C_{bio} in der Deponie beträgt zu diesem Zeitpunkt ca. 5.4 kgC_{bio}/t TM und nimmt bis 2070 auf einen Wert von ca. 1.4 kgC_{bio}/t TM ab.

Bei Sanierungsvariante 3 wird die Aerobisierung ab 2020 während 10 Jahren betrieben. Die Wirkung auf den beschleunigten aeroben Abbau des bioverfügbaren Kohlenstoffs C_{bio} wurde mit einer geschätzten Halbwertszeit von $T/2 = 5$ Jahren berücksichtigt (Verlauf der rot gestrichelten Linie in nachstehender Abbildung 5). Das Sanierungsziel wurde auch hier bereits 13 Jahre vor Beginn der Aerobisierung, also 2007 erreicht. Der bioverfügbare Anteil C_{bio} in der Deponie betrug zu diesem Zeitpunkt ca. 5.4 kgC_{bio}/t TM. Bei Inbetriebnahme der Aerobisierung betrug C_{bio} 3.7 kgC_{bio}/t TM. Nach Abschluss der Aerobisierung beträgt C_{bio} noch 0.9 kgC_{bio}/t TM und nimmt bis 2070 auf 0.24 kgC_{bio}/t TM ab. Kumuliert über 50 Jahre nach Beginn der Massnahme emittieren gegenüber Szenario 1 (Status Quo) 14'265 t CO₂-eq weniger in die Atmosphäre.

Bei Sanierungsvariante 4 wird die aktive Entgasung und Abfackelung ohne Aerobisierung 30 Jahre lang betrieben. Die Abfackelung führt zu keinen Veränderungen der Gasproduktion gegenüber Variante 1 (Status Quo). Wie bei Variante 1 wäre das Sanierungsziel bereits ca. 2007 erreicht worden. Nach Abschluss der Abfackelung im Jahre 2050 beträgt der bioverfügbare Anteil C_{bio} nur noch 2.0 kgCH₄/t TM und nimmt bis 2070 auf 1.4 kgC_{bio}/t TM ab. Kumuliert über 50 Jahre nach Beginn der Massnahme emittieren gegenüber der Variante 1 (Status Quo) 11'032 t CO₂-eq weniger in die Atmosphäre.

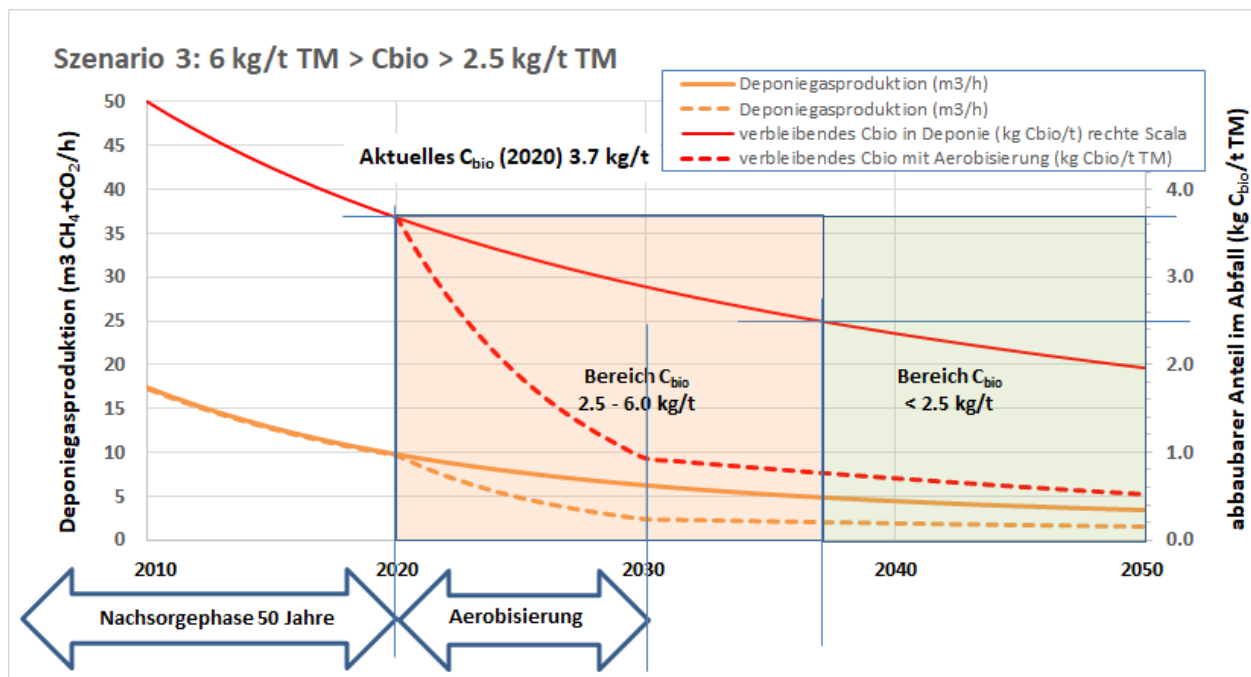


Abbildung 5 - Szenario 3: Per Ende der Ablagerungen im Jahre 1970 betrug $C_{bio} = 57.7$ kg/t TM. Beim Beginn der Massnahmen (50 Jahre nach Abschluss der Deponie) im Jahre 2020 beträgt C_{bio} noch 3.7 kg/t TM. Zu diesem Zeitpunkt beträgt die Deponiegasproduktion 9.6 Nm³/h bzw. 4.8 m³CH₄/h

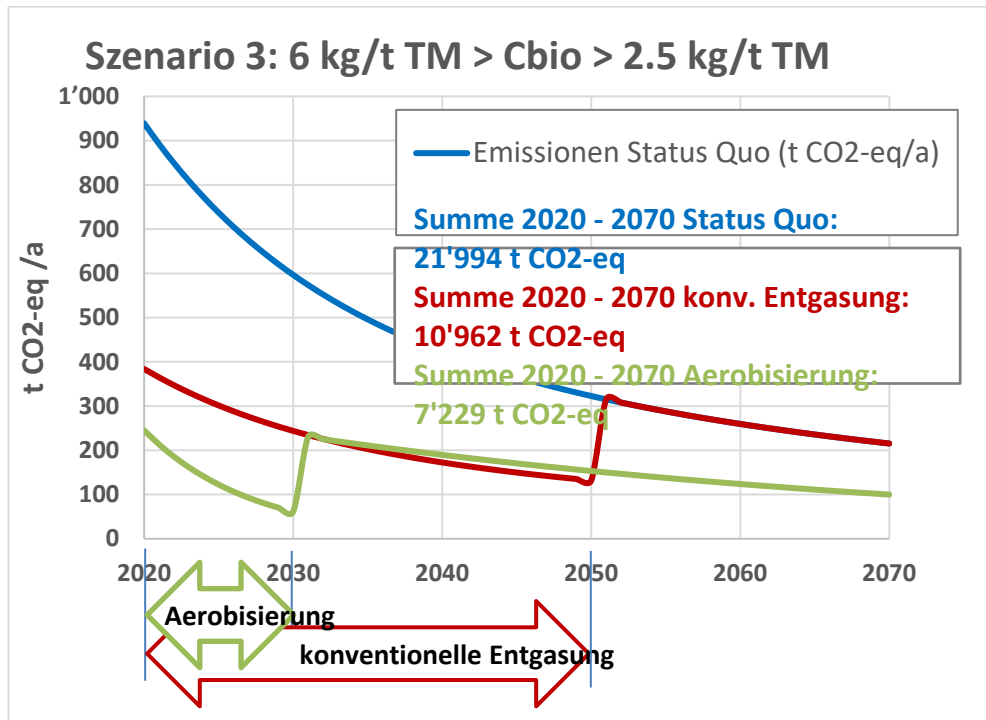



Abbildung 6 - Langfristige Wirkung der Massnahmen bezüglich der Freisetzung von CO₂-eq. Gegenüber dem Szenario 1 emittieren bei Szenario 3 (Aerobisierung) kumuliert über 50 Jahre nach Beginn der Massnahmen 14'265 t CO₂-eq weniger in die Atmosphäre. Bei Szenario 4 (Aktive Entg

Grundlagen

- [1] Abfallerhebung, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 27, Herausgegeben vom Bundesamt für Umweltschutz, Bern Juli 1984, ergänzt März 1987
- [2] IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- [3] Pflichtenheft für einen Expertenbericht zum Thema: «Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien», BAFU Ittingen, 12. März 2021
- [4] Standardmethode für den Nachweis von Emissionsminderungen bei Deponieprojekten, Bafu, April 2015 (Version 2)
- [5] Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien, Sieber Cassina + Partner AG, Bern; HiiCCe, Hamburg; IFAS Hamburg; Carbotech, Zürich; 2022.


BE 692A	Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien		Anhang A3.1
01.05.2022	Kostenschätzung Variante 1 - Status Quo	V3.1 - A4 - Rs	BE692A_Kostenschätzung_v3.1.xlsx

Annahmen zur fiktiven Deponie	
Volumen [m ³] =	500'000
Fläche [ha] =	6.5

Fiktive Deponie Variante 1 - Status Quo

Nr.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis [CHF/Einheit]	Summe [CHF]	Bemerkungen und Annahmen
1	Unterhaltskosten	CHF 2'765'000.00				
1.1	Technischer Unterhalt der Deponie (mähen, Reparaturen, Schneeräumungen, geodätische Überwachung) und Inspektionen (Kontrolle Oberflächenentwässerung, Boden, Tierbauten, Vegetation)	50	Jahre*	40'000	2'000'000	Betrachtungszeitraum 50 Jahre
1.2	Installation von zusätzlichen GwMesstellen - Tiefe 10 m, Durchmesser 110 mm	3	Stück	5'000	15'000	
1.3	Überwachung von Grundwasser oder Fließgewässer	50	Jahre	15'000	750'000	
2	Baustellenebenkosten	CHF 138'250.00				
2.1	Gebühren, Kosten für Planung und Experten	1	pauschal		138'250.00	ca. 5% der Unterhaltskosten
	Zwischensumme fiktive Deponie	CHF 2'903'250.00				
	Unvorhergesehenes		10%		CHF 290'325.00	
	Gesamtsumme (netto)	CHF 3'193'575.00				
	MWSt.		7.70%		CHF 245'905.28	
	Gesamtsumme	CHF 3'439'480.28				
	Gesamtsumme gerundet	CHF 3'500'000.00	Fiktive Deponie Variante 1 - Status Quo			
		gilt für Szenarien 1, 2 und 3				


*Beim Status Quo gilt zu beachten, dass die Unterhaltskosten nach dem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren noch weiter andauern.
Diese länger Unterhaltsdauer ist in der Kostenberechnung nicht berücksichtigt

BE 692A	Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien		Anhang A3.2
01.05.2022	Kostenschätzung Variante 2 - Totaldekontamination	V3.1 - A4 - Rs	BE692A_Kostenschätzung_v3.1.xlsx

<i>gilt für Szenarien 1, 2 und 3 (keine Unterscheidung der Abfallströme)</i>	
<i>Annahmen zur fiktiven Deponie</i>	
Volumen [m ³] =	500'000
Fläche [ha] =	6.5
Sanierung Untergrundsicht [m] =	0.2
Dichte Deponat [t/m ³] =	1.2
Entsorgung nach KVA =	20%
Thermische Desorption =	15%
Entsorgung in eine Deponie Typ B =	15%
Entsorgung in eine Deponie Typ E =	40%
Verwertung / Recycling vor Ort (Deponiewiederaufbau) =	10%

Fiktive Deponie Variante 2 - Totaldekontamination


Nr.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis [CHF/Einheit]	Summe [CHF]	Bemerkungen und Annahmen
1 Unterhaltskosten					CHF 75'000.00	
1.1	Technischer Unterhalt der Deponie (mähen, Reparaturen, Schneeräumungen, geodätische Überwachung) und Inspektionen (Kontrolle Oberflächenentwässerung, Boden, Tierbauten, Vegetation)	0	Jahre	40'000	0	entfällt
1.2	Überwachung von Deponieoberfläche, Grundwasser oder Fließgewässer	5	Jahre	15'000	75'000	Betrachtungszeitraum weitere 5 Jahre
2 Baustelleneinrichtung, vorbereitende Massnahmen					CHF 865'000.00	
2.1	Installationen Grundpauschale	1	Stk.	200'000	200'000	
2.2	Installationsplätze eingekiest (500 m2) ca. 0.6 m	2	Stk.	30'000	60'000	
2.3	Container	2	pauschal	50'000	100'000	
2.4	Absetzbecken und Neutralisationsanlage, Pneumadwaschanlage	2	pauschal	80'000	160'000	
2.5	Signalisation, Abschränkungen, Werkleitungsanschlüsse, Sicherheitsdispo	2	pauschal	10'000	20'000	
2.6	Wasserhaltungsmassnahmen	2	pauschal	100'000	200'000	
2.7	Erstellung aller notwendigen Vermessungs- und Absteckarbeiten	1	pauschal	5'000	5'000	
2.8	Herstellung und Rückbau von befestigten Baustrassen	1'000	m	120	120'000	
3 Zwischenlager					CHF 1'501'250.00	
3.1	Erschliessungen Bodenabtrag (Pisten, Baggermatratzen)	150	m	100	15'000	Inkl. Rückbau
3.2	Oberbodenabtrag, Auflad, Transport und Ablad auf Zwischenlagerfläche, Boden	3'000	m3	12	36'000	Annahme Mächtigkeit Boden ca. 1 m. 5'000 m3 müssen umgelagert werden. Im Bereich des Humuslagers wird der anstehende Boden nicht abgetragen.
3.3	Bewirtschaftung Zwischenlager Oberboden	3'000	m3	6	18'000	
3.4	Befestigter Zwischenlagerplatz inkl. Kieskoffer und Bitumen 2 schichtig	3'000	m2	173	519'000	
3.5	Sickerwasserableitung inkl. Schlammfänger und Entwässerungsschächte	250	m	95	23'750	Anschluss zur Kanalisation 250 m
3.6	Einbau einer Geomembrane (SYTEC Carlisle) zur Abdichtung des Zwischenlagers, inkl. Lieferung Produkt	3'000	m2	22	66'000	
3.7	Behandlung Sickerwasser, Mengenangabe jährlich	3'600	m3/J	200	720'000	kumulierter Niederschlag 1200 mm/J
3.8	Rückbau Versiegelung	3'000	m2	10	30'000	Fläche Zwischenlager 1 ha
3.9	Rückbau Kieskoffer	900	m3	25	22'500	
3.10	Rückbau Ausgleichsschicht	0	m3	25	0	
3.11	Rückbau Entwässerung	250	m	30	7'500	Anschluss zur Kanalisation 250 m
3.12	Wiedereinbau des Oberbodens inkl. Auflad, Transport und Ablad	900	m3	15	13'500	
3.13	Wiederbepflanzung	3'000	m2	10	30'000	
4 Aushub, Zwischentransporte, Trockenaufbereitung					CHF 12'865'000.00	
4.1	Aushub von Deponiematerial, schichtweise, inkl. Auflad	513'000	m3	10.00	5'130'000	sämtliches Material wird ausgehoben, inkl. 1m Untergrund
4.2	Transporte auf Zwischenlager und Ablad	513'000	m3	6.00	3'078'000	
4.3	Installation und Vorhalten Anlage Trockenaufbereitung	1	pauschal		40'000	Annahme pauschal
4.4	Trockenaufbereitung Deponat	513'000	m3	5.00	2'565'000	
4.3	Triage / Beprobung / Analytik	513'000	m3	4.00	2'052'000	
5 Transport					CHF 22'469'400.00	
5.1	Transport Deponat nach KVA	123'120	t	25.00	3'078'000.00	Transportdistanz 50 km
5.2	Transport Deponat mit thermischer Desorption (EU)	92'340	t	130.00	12'004'200.00	Transport mit Zug nach ARE Deutzen (D) oder GRS Valtech (F)
5.3	Transport Deponat in eine Deponie Typ B	92'340	t	10.00	923'400.00	Transportdistanz 15 km
5.4	Transport Deponat in eine Deponie Typ E	246'240	t	25.00	6'156'000	Transportdistanz 50 km
5.5	Zwischentransport für Wiedereinbau	61'560	t	5.00	307'800	Transportdistanz 0.2 km
6 Entsorgung					CHF 67'869'900.00	
6.1	Entsorgung Deponat nach KVA	123'120	t	130.00	16'005'600.00	Marktpreis gemäss Angabe KEZO
6.2	Entsorgung Deponat mit thermischer Desorption (EU)	92'340	t	220.00	20'314'800.00	Marktpreis
6.3	Entsorgung Deponat in eine Deponie Typ B	92'340	t	45.00	4'155'300.00	Marktpreis
6.4	Entsorgung Deponat in eine Deponie Typ E	246'240	t	110.00	27'086'400	Marktpreis
6.5	Recycling vor Ort / Wiedereinbau Deponie	61'560	t	5.00	307'800	Wiedereinbau/Verichten Material
7 Wiederauffüllung der Deponie					-CHF 18'468'000.00	
7.1	Ablagerung von Material Typ A	615'600	t	-30.00	-18'468'000.00	Kostengutsprache für Annahme unverschütztes Aushubmaterial. Marktpreis, welcher Materialannahme, Einbau und Verdichtung abdeckt.
8 Rekultivierung					CHF 2'405'000.00	
8.1	Rekultivierungsschicht ausheben	65'000	m3	16.00	1'040'000.00	Mächtigkeit Rekultivierungsschicht 1m
8.2	Rekultivierungsschicht zwischenlagern, inkl. Bewirtschaftung Bodendepot	65'000	m3	6.00	390'000.00	
8.3	Boden nach Auffüllung der Deponie wieder anlegen	65'000	m3	5.00	325'000.00	keine Zufuhr von externem Boden
8.4	Oberfläche durch Ansaat begrünen	65'000	m2	10.00	650'000.00	landwirtschaftliche Nutzung
9 Nachsorge Überwachung Grundwasser oder Fließgewässer					CHF 26'000.00	
9.1	Installation von zusätzlichen GwMesstellen - Tiefe 10 m, Durchmesser 110 mm	4	Stück	3'500.00	14'000.00	
9.2	Berichterstattug (Interpretation Ergebnisse und Bericht)	1	pauschal	12'000.00	12'000.00	
10 Baustellenebenkosten					CHF 2'000'000.00	
10.1	Gebühren, Kosten für Planung und Experten	1	pauschal		2'000'000.00	
Zwischensumme fiktive Deponie					CHF 91'608'550.00	
Unvorhergesehenes					CHF 9'160'855.00	
Gesamtsumme (netto)					CHF 100'769'405.00	
MWSt.					CHF 7'759'244.19	
Gesamtsumme					CHF 108'528'649.19	
Gesamtsumme gerundet					CHF 108'600'000.00	
Fiktive Deponie Variante 2 - Totaldekontamination						
					gilt für Szenarien 1, 2 und 3	

BE 692A	Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien		Anhang A3.3
01.05.2022	Kostenschätzung Variante 3 - Aerobsierung / Deponiebelüftung	V3.1 - A4 - Rs	BE692A_Kostenschätzung_v3.1.xlsx

Annahmen zur fiktiven Deponie	
Volumen [m ³] =	500'000
Fläche [ha] =	6.5
Gasbrunnen [Anzahl] =	26
Gassammelleitungen [m] =	3900
Temperaturmessstationen [Anzahl] =	13


Fiktive Deponie Variante 3 Aerobisierung

Nr.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis [CHF/Einheit]	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Bemerkungen und Annahmen
					Summe [CHF]			
1	Unterhaltskosten				3'110'000	3'038'000	2'990'000	
1.1	Technischer Unterhalt der Deponie (mähen, Reparaturen, Schneeräumungen, geodätische Überwachung) und Inspektionen (Kontrolle Oberflächenentwässerung, Boden, Tierbauten, Vegetation)	50	Jahre	40'000	2'000'000			Betrachtungszeitraum 50 Jahre
1.2	Überwachung von Grundwasser oder Fließgewässer	50	Jahre	15'000	750'000			
1.3	Aufwand Betriebsführung Aerobisierungsanlage Szenario 1	0.25 Personen	15	Jahre	24'000			0.25 Personen à 96'000Fr/a 15 Jahre während Aerobisierung
	Aufwand Betriebsführung Aerobisierungsanlage Szenario 2	0.25 Personen	12	Jahre	24'000	288'000		0.25 Personen à 96'000Fr/a 12 Jahre während Aerobisierung
	Aufwand Betriebsführung Aerobisierungsanlage Szenario 3	0.25 Personen	10	Jahre	24'000		240'000	0.25 Personen à 96'000Fr/a 10 Jahre während Aerobisierung
2	Baustelleneinrichtung, vorbereitende Massnahmen				CHF 785'000.00			bei allen Szenarien gleich
2.1	Installationen Grundpauschale	1	Stk.	72'000.00	72'000			Umrechnung von Preise Deutschland ind Preise CH mit Faktor 1.2 (1.1 Umrechnungsfaktor und 10 % Zuschlag)
2.2	Infrastruktur Stromversorgung	1	Stk.	72'000.00	72'000			
2.3	Gassammelstation / Gasverteilerstation	2	pauschal	72'000.00	144'000			
2.4	Gasverdichterstation mit Mess- und Regeltechnik	1	pauschal	276'000.00	276'000			
2.5	Abluftreinigungsstufe	1	pauschal	216'000.00	216'000			
2.6	Erstellung aller notwendigen Vermessungs- und Absteckarbeiten	1	pauschal	5'000.00	5'000.00			
3	Gasbrunnen				CHF 374'760.00			bei allen Szenarien gleich
3.1	Gasbrunnen	26	St	9'600.00	249'600			ca. 26 Stück à 10 bis 15 m
3.2	Gassammelleitungen	390	m	60.00	23'400			ca. 60 Fr/m'
3.3	Gastransportleitungen	2	St.	15'000.00	30'000			
3.4	Temperaturmessung im Deponiekörper	13	St	5'520.00	71'760			
4	Reparatur Wartung Erneuerungsinvestition				CHF 1'069'800.00	CHF 855'840.00	CHF 559'900.00	
4.1	Energiebedarf / Stromkosten Szenario 1; 20 kWh während 15 Jahren	2628000	kWh	0.35	919'800.00			
4.2	Energiebedarf / Stromkosten Szenario 2; 20 kWh während 12 Jahren	2102400	Fr./kWh	0.35		735'840.00		
4.3	Energiebedarf / Stromkosten Szenario 3; 15 kWh während 10 Jahren	1314000	Fr./kWh	0.35			459'900.00	
4.4	Reparatur Wartung Szenario 1	15	Jahre	10'000	150'000			
4.5	Reparatur Wartung Szenario 2	12	Jahre	10'000		120'000		
4.6	Reparatur Wartung Szenario 3	10	Jahre	10'000			100'000.00	
4.7	für Aerobisierung keine Erneuerungskosten eingerechnet							
5	Nachsorge Überwachung Grundwasser oder Fließgewässer				CHF 50'000.00			bei allen Szenarien gleich
5.1	Installation von zusätzlichen GwMesstellen - Tiefe 10 m, Durchmesser 110 mm	4	Stück	3'500.00	14'000.00			
5.2	Berichterstattug (Interpretation Ergebnisse und Bericht)	3	pauschal	12'000.00	36'000.00			
6	Baustellenebenkosten				CHF 500'000.00			bei allen Szenarien gleich
6.1	Gebühren, Kosten für Planung und Experten	1	pauschal		500'000.00			
	Zwischensumme fiktive Deponie				CHF 5'889'560.00	CHF 5'603'600.00	CHF 5'259'660.00	
	Unvorhergesehenes	10%			CHF 588'956.00	CHF 560'360.00	CHF 525'966.00	
	Gesamtsumme (netto)				CHF 6'478'516.00	CHF 6'163'960.00	CHF 5'785'626.00	
	MWSt.	7.70%			CHF 498'845.73	CHF 474'624.92	CHF 445'493.20	
	Gesamtsumme				CHF 6'977'361.73	CHF 6'638'584.92	CHF 6'231'119.20	
	Gesamtsumme gerundet			Fiktive Deponie Variante 4 - Aerobisierung	CHF 7'000'000.00	CHF 6'700'000.00	CHF 6'300'000.00	
					Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	

BE 692A	Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien		Anhang A3.4
01.05.2022	Kostenschätzung Variante 4 - herkömmliche Gasfassung & Behandlung	V3.1 - A4 - Rs	BE692A_Kostenschätzung_v3.1.xlsx

Annahmen zur fiktiven Deponie		
Volumen [m ³]	=	500'000
Fläche [ha]	=	6.5
Gasbrunnen [Anzahl]	=	26
Gassammelleitungen [m]	=	3900
Temperaturmesstationen [Anzahl]	=	0

Fiktive Deponie Variante 4 - herkömmliche Gasfassung					Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Bemerkungen und Annahmen
Nr.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis [CHF/Einheit]	Summe [CHF]			
1	Unterhaltskosten				3'850'000	3'630'000	3'410'000	
1.1	Technischer Unterhalt der Deponie (mähen, Reparaturen, Schneeräumungen, geodätische Überwachung) und Inspektionen (Kontrolle Oberflächenentwässerung, Boden, Tierbauten, Vegetation)	50	Jahre	40'000	2'000'000			Betrachtungszeitraum 50 Jahre
1.2	Überwachung von Grundwasser oder Fliessgewässer	50	Jahre	15'000	750'000			
1.3	Reparatur Wartung Unterhaltung Szenario 1	50	Jahre	10'000	500'000			50 Jahre während Gasfassung
	Reparatur Wartung Unterhaltung Szenario 2	40	Jahre	10'000		400'000		
	Reparatur Wartung Unterhaltung Szenario 3	30	Jahre	10'000			300'000	
1.4	Aufwand Betriebsführung Gasfassungsanlage Szenario 1	0.125 Personen	50	Jahre	12'000	600'000		0.125 Personen à 96'000Fr/a 50 Jahre während Aerobisierung
	Aufwand Betriebsführung Gasfassungsanlage Szenario 2	0.125 Personen	40	Jahre	12'000		480'000	0.125 Personen à 96'000Fr/a 12 Jahre während Aerobisierung
	Aufwand Betriebsführung Gasfassungsanlage Szenario 3	0.125 Personen	30	Jahre	12'000		360'000	0.125 Personen à 96'000Fr/a 10 Jahre während Aerobisierung
2	Baustelleneinrichtung, vorbereitende Massnahmen				CHF 629'000.00			bei allen Szenarien gleich
2.1	Installationen Grundpauschale	1	Stk.	60'000	60'000			Umrechnung von Preise Deutschland
2.2	Infrastruktur Stromversorgung	1	Stk.	48'000	48'000			in Preise Schweiz mit Faktor 1.2 (1.1
2.3	Gassammelstation / Gasverteilerstation	2	pauschal	60'000	120'000			Wechselkurs und 10 % Zuschlag)
2.4	Gasverdichterstation mit Mess- und Regeltechnik	1	pauschal	180'000	180'000			
2.5	Abluftreinigungsstufe	1	pauschal	216'000	216'000			
2.6	Erstellung aller notwendigen Vermessungs- und Absteckarbeiten	1	pauschal	5'000	5'000.00			
3	Gasbrunnen				CHF 288'000.00			bei allen Szenarien gleich
3.1	Gasbrunnen	26	St	9'600	249'600			ca. 26 Stück à 10 bis 15 m
3.2	Gassammelleitungen	390	m	60	23'400			
3.3	Gastransportleitungen	1	St.	15'000	15'000			
3.4	Temperaturmessung im Deponiekörper	-	St	5'520	0			
4	Reparatur / Wartung / Erneuerungsinvestition				CHF 2'260'000.00	CHF 1'873'400.00	CHF 1'210'860.00	
4.1	Energiebedarf / Stromkosten Szenario 1	4380000	kWh	0.35	1'533'000.00			10 kWh während 50 Jahren
4.2	Energiebedarf / Stromkosten Szenario 2	3504000	kWh	0.35		1'226'400.00		10 kWh während 40 Jahren
4.3	Energiebedarf / Stromkosten Szenario 3	1839600	kWh	0.35			643'860.00	7 kWh während 30 Jahren
4.4	Reparatur Wartung Szenario 1	50	Jahre	8'000	400'000			
4.5	Reparatur Wartung Szenario 2	40	Jahre	8'000		320'000		
4.6	Reparatur Wartung Szenario 3	30	Jahre	8'000			240'000.00	
4.7	Erneuerungsinvestitionen (bei allen Szenarien gleich)				327'000	327'000	327'000	50% Gasverdichter und Abluftreinigung und 25 % Installation, Gasbrunnen, Gas- sammelleitungen, Gas- sammelstation, Gastransport- leitung, Stromversorgung)
5	Nachsorge Überwachung Grundwasser oder Fliessgewässer				CHF 50'000.00			bei allen Szenarien gleich
5.1	Installation von zusätzlichen GwMesstellen - Tiefe 10 m, Durchmesser 110 mm	4	Stück	3'500.00	14'000.00			
5.2	Berichterstattug (Interpretation Ergebnisse und Bericht)	3	pauschal	12'000.00	36'000.00			
6	Baustellenebenkosten				CHF 500'000.00			bei allen Szenarien gleich
6.1	Gebühren, Kosten für Planung und Experten	1	pauschal		500'000.00			
Zwischensumme fiktive Deponie					CHF 7'577'000.00	CHF 6'970'400.00	CHF 6'087'860.00	
Unvorhergesehenes 10%					CHF 757'700.00	CHF 697'040.00	CHF 608'786.00	
Gesamtsumme (netto)					CHF 8'334'700.00	CHF 7'667'440.00	CHF 6'696'646.00	
MWSt. 7.70%					CHF 641'771.90	CHF 590'392.88	CHF 515'641.74	
Gesamtsumme					CHF 8'976'471.90	CHF 8'257'832.88	CHF 7'212'287.74	
Gesamtsumme gerundet					CHF 9'000'000.00	CHF 8'300'000.00	CHF 7'300'000.00	
					Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	


BE 692A	Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien		Anhang A4-1
01.05.2022	Grundlagen CO2-Bilanz Variante 1 - Status Quo	V4.1 - A4 - Cu, Rs	BE692A_CO2-Bilanz_v4.1.xlsx

Annahmen zur fiktiven Deponie	
Volumen [m ³] =	500'000
Fläche [ha] =	6.5
Dauer Unterhalt [Jahre] =	50

Annahme: Dienstleistungen haben einen vernachlässigbaren CO2-Ausstoss

Die Angaben beziehen sich auf dem gesamten Betrachtungszeitraum.

Positionen gemäss Kostenschätzung	CO2-relevante Prozesse	Annahmen	Einheit	Mengen	Transporttyp	Details (Art, Herkunft, wenn bekannt)
1 Unterhaltskosten						
1.1 Technischer Unterhalt der Deponie (mähen, Reparaturen, Schneeräumungen, geodätische	Mähen und Schneeräumung Reparaturen, z.B. Entwässerung Geodätische Überwachung	10 Tage Arbeit pro Jahr 1 Tag Arbeit pro Jahr nicht berücksichtigt	h h --	4'250 425 --	Traktor mit modularem Rodungsaufsatz Bagger oder Traktor	Auf Dauer Unterhaltsmassnahmen aufgerechnet Auf Dauer Unterhaltsmassnahmen aufgerechnet --
1.2 Inspektionen (Kontrolle Oberflächenentwässerung, Boden, Tierbauten, Vegetation)	verschiedene Kontrolle	nicht berücksichtigt	--	--	--	--
1.3 Installation von zusätzlichen Gw-Messstellen - Tiefe 10 m, Durchmesser 110 mm	Bohren der Gw-Messstellen Entsorgung Bohrgut in Deponie Typ A gelochtes HDPE-Rohr mit Deckel liefern und versetzen	3 Stück Distanz 15 km	m3 Fahrten m	0.285 1 30	kleines Drehbohrgerät kleines Fahrzeug	Lieferung Material und Entsorgung Bohrgut kann mit dem gleichen Fahrzeug erledigt werden.
1.4 Überwachung von Grundwasser oder Fließgewässer	Probenahme und Laboranalysen Berichterstattung	nicht berücksichtigt nicht berücksichtigt	-- --	-- --	-- --	-- --
2 Baustellenebenkosten						
2.1 Gebühren, Kosten für Planung und Experten	Planung, Sitzungen, Berichterstattung, usw.	nicht berücksichtigt	--	--	--	--
3 Gasausstoss der Deponie						
3.1 Szenario 1	Deponie mit Cbio > 12 kg/t TM		[t CO2-eq]	96'000		Totalemission CH4 aus Deponie in CO2 Äquivalenten, berechnet nach IPCC Methodik
3.2 Szenario 2	Deponie mit 12 kg/t TM > Cbio > 6 kg/t TM		[t CO2-eq]	50'000		Totalemission CH4 aus Deponie in CO2 Äquivalenten, berechnet nach IPCC Methodik
3.3 Szenario 2	Deponie mit Cbio < 6 kg/t TM		[t CO2-eq]	20'000		Totalemission CH4 aus Deponie in CO2 Äquivalenten, berechnet nach IPCC Methodik

BE 692A	Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien		Anhang A4-3
01.05.2022	Grundlagen CO2-Bilanz Variante 3 - Aerobisierung	V4.1 - A4 - Cu, Rs	BE692A_CO2-Bilanz_v4.1.xlsx


Annahmen zur fiktiven Deponie	
Volumen [m ³] =	500'000
Fläche [ha] =	6.5
Dichte Deponat [t/m ³] =	1.2
Dauer Unterhalt Deponie [Jahre] =	50
Dauer Unterhalt Gasanlage [Jahre] =	15
Dauer der Baustelle [Jahre] =	1

variiert zwischen 10 und 15 Jahren

Annahme: Dienstleistungen haben einen vernachlässigbaren CO2-Ausstoss
Die Angaben beziehen sich auf dem gesamten Betrachtungszeitraum.

Transporte m3 (Annahme pro Ladung)	10
Transporte t (Annahme pro Ladung)	20
Faktor Fahrten (2 bei Lehrfahrt, 1 bei Gegenfahren)	2

Positionen gemäss Kostenschätzung	CO2-relevanter Prozess	Annahmen	Einheit	Mengen	Transporttyp	Details (Art, Herkunft, wenn bekannt)
1 Unterhaltskosten						
1.1	Technischer Unterhalt der Deponie (mähen, Reparaturen, Schneeräumungen, geodätische	Mähen und Schneeräumung Reparaturen, z.B. Entwässerung Geodätische Überwachung	10 Tage Arbeit pro Jahr 10 Tage Arbeit pro Jahr nicht berücksichtigt	h h --	4'250 4'250 --	Traktor mit modularem Rodungsaufsatz Bagger oder Traktor --
1.2	Inspektionen (Kontrolle Oberflächenentwässerung, Boden, Tierbauten, Vegetation)	verschiedene Kontrolle	nicht berücksichtigt	--	--	--
1.3	Überwachung von Grundwasser oder Fließgewässer	Probenahme und Laboranalysen Berichterstattung	nicht berücksichtigt nicht berücksichtigt	-- --	-- --	-- --
2 Baustelleneinrichtung, Entgasungsanlage						
2.1	Installationen Gasanlage	Gerätschaften vor Ort bringen und danach wieder entfernen Wasser- und Elektroanschluss	40 Fahrten nicht berücksichtigt	km --	4'000 LKW / Sattelschlepper max. 20 t --	Distanz ein Weg = 50 km, hin und zurück --
2.2	Installationsplatz eingekiest (500 m2) ca. 0.6 m	Zuführen Kiesmaterial Einbringen und planieren Kiesmaterial Rückbau, Kiesmaterial wieder abführen	1 Installationsplatz 1 Installationsplatz 1 Installationsplatz	m3 m3 m3	300 LKW/Sattelschlepper 300 Einbringen mit Bagger 300 Auflad mit Bagger, danach Transport mit LKW/Sattelschlepper	aus lokalem Kieswerk, Distanz ein Weg = 20 km -- an lokalem Kieswerk, Distanz ein Weg = 20 km
2.3	Container	liefern und nach Bauende wieder entfernen	schon inbegriffen unter Pos. 2.1	--	--	--
2.4	Signalisation, Abschrankungen, Werkleitungsanschlüsse, Sicherheitsdispo	liefern und nach Bauende wieder entfernen	schon inbegriffen unter Pos. 2.1	--	--	--
2.5	Erstellung aller notwendigen Vermessungs- und Absteckarbeiten	im Büro: Pläne, Skizzen und Bericht vorbereiten, vor Ort: vermessen und abstecken	nicht berücksichtigt	--	--	--
2.6	Herstellung und Rückbau von Baustrassen	Koffering liefern Koffering einbringen und walzen Rückbau Koffering	200m x 4m, Höhe 0.4m 200m x 4m, Höhe 0.4m 200m x 4m, Höhe 0.4m	m3 m3 m3	320 LKW/Sattelschlepper 320 Einbau mit Bagger, Verdichten mit Walzen 320 Auflad mit Bagger, danach Transport mit LKW/Sattelschlepper	aus lokalem Kieswerk, Distanz ein Weg = 20 km -- an lokalem Kieswerk, Distanz ein Weg = 20 km
3 Entgasungsanlage						
3.1	Installationen Gasanlage	Gassammelstation, Gasverteilerstation, Gasverdichterstation vor Ort bringen und danach wieder entfernen Wasser- und Elektroanschluss	10 Fahrten nicht berücksichtigt	km --	400 LKW / Sattelschlepper max. 20 t --	Distanz ein Weg = 50 km --
3.2	Gassammelleitungen	Zuführen Material Koffering / Bohrmeter	100 Fahrten	km	4'000 LKW / Sattelschlepper max. 20 t	Distanz ein Weg = 50 km
3.3	Bohrungen Gasbrunnen	Bohrmeter	entspricht	m m3 fest	390 Bohrergerät 50 t 110 Aushub Bohrmaterial	Durchmesser 40 bis 60 cm mit Durchmesser 60 cm gerechnet
3.4	Transport Aushubmaterial Bohrung	Entsorgung Deponat nach KVA		km	1'103 Transport mit LKW	10 m3 pro Fahrt, Transportdistanz 50 km
3.5	Entsorgung Deponat nach KVA	Verbrennung des ausgehobenen Deponiematerials	100% des ausgehobenen Deponiematerials	t	1'323	
3.6		Ablagerung der Rückstände in eine Deponie Typ D oder E	Für jede Tonne, die in der KVA verbrannt wird, werden 330 kg als Schlacke deponiert	t	437 entspricht 13101 zusätzliche Transportkilometer LKW	Transportdistanz in KVA - Schlackedeponie Annahme 30 km
3.7	Installation Gasleitungen	Installationsarbeiten	100 interne Zwischentransporte	km	100	Annahme 0.5 km pro Transport
3.8	Installation Gasleitungen	Installationsarbeiten	Beihilfe Bagger / Kleingeräte	h	170 Baggerstunden	Annahme 20 Tage
3.9-1	Betrieb Aerobisierung Szenario 1	Stromverbrauch		kWh	2'628'000	20 kWh, 15 Jahre Betrieb
3.9-2	Betrieb Aerobisierung Szenario 2	Stromverbrauch		kWh	2'102'400	20 kWh, 12 Jahre Betrieb
3.9-3	Betrieb Aerobisierung Szenario 3	Stromverbrauch		kWh	1'314'000	15 kWh, 10 Jahre Betrieb
3.10	Rückbau Gassammelleitungen		Beihilfe Bagger / Kleingeräte	h	170 Baggerstunden	Annahme 20 Tage
3.11	Rückbau Anlage	Gassammelstation, Gasverteilerstation, Gasverdichterstation vor Ort bringen und danach wieder entfernen	10 Fahrten	km	400 LKW / Sattelschlepper max. 20 t	Distanz ein Weg = 50 km
3.12	Entsorgung Gassammelleitungen	Abführen Material	100 Fahrten	km	4'000 LKW / Sattelschlepper max. 20 t	Annahme, Leitung können recycelt werden
4 Nachsorge Überwachung Grundwasser oder Fließgewässer						
4.1	Installation von zusätzlichen GwMessstellen - Tiefe 10 m, Durchmesser 110 mm	Bohren der Gw-Messstellen Entsorgung Bohrgut in Deponie Typ A gelochtes HDPE-Rohr mit Deckel liefern und versetzen	4 Stück Distanz 15 km	m Fahrten	40 kleines Drehbohrgerät 1 kleines Fahrzeug	Lieferung Material und Entsorgung Bohrgut kann mit dem gleichen Fahrzeug erledigt werden. Lieferung Material und Entsorgung Bohrgut kann mit dem gleichen Fahrzeug erledigt werden.
4.2	Berichterstattung (Interpretation Ergebnisse und Bericht)	keine CO2-relevante Prozesse	nicht berücksichtigt	--	--	--
5 Baustellenebenkosten						
5.1	Gebühren, Kosten für Planung und Experten	Planung, Sitzungen, Berichterstattung, usw.	nicht berücksichtigt	--	--	--
6 Gasausstoss der Deponie						
6.1	Szenario 1	Deponie mit Cbio > 12 kg/t TM		[t CO2-eg]	28'000 Gasprognose (gerundeter Wert)	Berechnet mittels IPCC-Methodik
6.2	Szenario 2	Deponie mit 12 kg/t TM > Cbio > 6 kg/t TM		[t CO2-eg]	17'000 Gasprognose (gerundeter Wert)	Berechnet mittels IPCC-Methodik
6.3	Szenario 2	Deponie mit Cbio < 6 kg/t TM		[t CO2-eg]	7'000 Gasprognose (gerundeter Wert)	Berechnet mittels IPCC-Methodik

BE 692A	Aerobisierung von Siedlungsabfalldeponien		Anhang A4-4
01.05.2022	Grundlagen CO2-Bilanz Variante 4 - herkömmliche Gaserfassung	V4.1 - A4 - Cu, Rs	BE692A_CO2-Bilanz_v4.1.xlsx

Annahmen zur fiktiven Deponie	
Volumen [m ³] =	500'000
Fläche [ha] =	6.5
Dichte Deponat [t/m ³] =	1.2
Dauer Unterhalt Deponie [Jahre] =	50
Dauer Unterhalt Gasanlage [Jahre] =	50 variiert zwischen 30 und 50 Jahren
Dauer der Baustelle [Jahre] =	1

Annahme: Dienstleistungen haben einen vernachlässigbaren CO2-Ausstoss
Die Angaben beziehen sich auf dem gesamten Betrachtungszeitraum.
Transporte m3 (Annahme pro Ladung) 10
Transporte t (Annahme pro Ladung) 20
Faktor Fahrten (2 bei Leihfahrt, 1 bei Gegenfahren) 2

Positionen gemäss Kostenschätzung	CO2-relevanter Prozess	Annahmen	Einheit	Mengen	Transporttyp	Details (Art, Herkunft, wenn bekannt)
1 Unterhaltskosten						
1.1	Technischer Unterhalt der Deponie (mähen, Reparaturen, Schneeräumungen, geodätische Überwachung)	Mähen und Schneeräumung Reparaturen, z.B. Entwässerung Geodätische Überwachung	10 Tage Arbeit pro Jahr 10 Tage Arbeit pro Jahr nicht berücksichtigt	h h --	4'250 4'250 --	Traktor mit modularem Rodungsaufsatz Bagger oder Traktor --
1.2	Inspektionen (Kontrolle Oberflächenentwässerung, Boden, Tierbauten, Vegetation)	verschiedene Kontrolle	nicht berücksichtigt	--	--	--
1.3	Überwachung von Grundwasser oder Fließgewässer	Probenahme und Laboranalysen Berichterstattung	nicht berücksichtigt nicht berücksichtigt	-- --	-- --	-- --
2 Baustelleneinrichtung, Entgasungsanlage						
2.1	Installationen Gasanlage	Gerätschaften vor Ort bringen und danach wieder entfernen Wasser- und Elektroanschluss	40 Fahrten nicht berücksichtigt	km --	4'000 LKW / Sattelschlepper max. 20 t --	Distanz ein Weg = 50 km --
2.2	Installationsplatz eingekiest (500 m2) ca. 0.6 m	Zuführen Kiesmaterial Einbringen und planieren Kiesmaterial	1 Installationsplatz 1 Installationsplatz	m3 m3	300 300	LKW/Sattelschlepper Einbringen mit Bagger
		Rückbau, Kiesmaterial wieder abführen	1 Installationsplatz	m3	300	Auflad mit Bagger, danach Transport mit LKW/Sattelschlepper
2.3	Container	liefern und nach Bauende wieder entfernen	schon inbegriffen unter Pos. 2.1	--	--	--
2.4	Signalisation, Abschrankungen, Werkleitungsanschlüsse, Sicherheitsdispo	liefern und nach Bauende wieder entfernen	schon inbegriffen unter Pos. 2.1	--	--	--
2.5	Erstellung aller notwendigen Vermessungs- und Absteckarbeiten	im Büro: Pläne, Skizzen und Bericht vorbereiten, vor Ort: vermessen und abstecken	nicht berücksichtigt	--	--	--
2.6	Herstellung und Rückbau von Baustrassen	Kofferung liefern Kofferung einbringen und walzen Rückbau Kofferung	200m x 4m, Höhe 0.4m 200m x 4m, Höhe 0.4m 200m x 4m, Höhe 0.4m	m3 m3 m3	320 320 320	LKW/Sattelschlepper Einbau mit Bagger, Verdichten mit Walzen Auflad mit Bagger, danach Transport mit LKW/Sattelschlepper
3 Entgasungsanlage (es wird davon ausgegangen, dass die Anlage wegen der langen Betriebszeit 1 ml erneuert werden muss, deswegen Faktor 2 gegenüber Szenario 3 berücksichtigt)						
3.1	Installationen Gasanlage	Gassammelstation, Gasverteilerstation, Gasverdichterstation vor Ort bringen und danach wieder entfernen Wasser- und Elektroanschluss	10 Fahrten nicht berücksichtigt	km --	1'000 LKW / Sattelschlepper max. 20 t --	Distanz ein Weg = 50 km Verdoppelung wegen Erneuerung nach halber Betriebsdauer --
3.2	Gassammelleitungen	Zuführen Material Kofferung / Bohrmeter	100 Fahrten, 2 Mal	km	8'000 LKW / Sattelschlepper max. 20 t	Distanz ein Weg = 50 km
3.3	Bohrungen Gasbrunnen		entspricht	m3 fest	221 Aushub Bohrmaterial	mit Durchmesser 60 cm gerechnet
3.4	Transport Aushubmaterial Bohrung	Entsorgung Deponat nach KVA		km	2'205 Transport mit LKW	10 m3 pro Fahrt, Transportdistanz 50 km
3.5	Entsorgung Deponat nach KVA	Verbrennung des ausgehobenen Deponiematerials	100% des ausgehobenen Deponiematerial	t	2'646	
3.6		Ablagerung der Rückstände in eine Deponie Typ D oder E	Für jede Tonne, die in der KVA verbrannt wird, werden 330 kg als Schlacke deponiert	t	873 entspricht 26'199 zusätzliche Transportkilometer LKW	Transportdistanz in KVA - Schlackedeponie Annahme 30 km
3.7	Installation Gasleitungen	Installationsarbeiten	100 interne Zwischentransporte	km	200	Annahme 0.5 km pro Transport, Faktor 2 (Erneuerung)
3.8	Installation Gasleitungen	Installationsarbeiten	Beihilfe Bagger / Kleingeräte	h	340 Baggerstunden	Annahme 20 Tage, Faktor 2 (Erneuerung)
3.9-1	Betrieb Gassammelstation Szenario 1	Stromverbrauch		kWh	4'380'000	10 kWh, 50 Jahre Betrieb
3.9-2	Betrieb Gassammelstation Szenario 2	Stromverbrauch		kWh	3'504'000	10 kWh, 40 Jahre Betrieb
3.9-3	Betrieb Gassammelstation Szenario 3	Stromverbrauch		kWh	1'839'600	7 kWh, 30 Jahre Betrieb
3.10	Rückbau Gassammelleitungen		Beihilfe Bagger / Kleingeräte	h	170 Baggerstunden	Annahme 20 Tage
3.11	Rückbau Anlage	Gassammelstation, Gasverteilerstation, Gasverdichterstation vor Ort bringen und danach wieder entfernen	10 Fahrten	km	800 LKW / Sattelschlepper max. 20 t	Distanz ein Weg = 50 km, Faktor 2 (Erneuerung)
3.12	Entsorgung Gassammelleitungen	Abführen Material	100 Fahrten	km	8'000 LKW / Sattelschlepper max. 20 t	Annahme, Leitung können recycelt werden, Faktor 2 (Erneuerung)
4 Nachsorge Überwachung Grundwasser oder Fließgewässer						
4.1	Installation von zusätzlichen Gw-Messstellen - Tiefe 10 m, Durchmesser 110 mm	Bohren der Gw-Messstellen Entsorgung Bohrgut in Deponie Typ A gelochtes HDPE-Rohr mit Deckel liefern und versetzen	4 Stück Distanz 15 km	m Fahrten	40 kleines Drehbohrgerät 1 kleines Fahrzeug	Lieferung Material und Entsorgung Bohrgut kann mit dem gleichen Fahrzeug erledigt werden. Lieferung Material und Entsorgung Bohrgut kann mit dem gleichen Fahrzeug erledigt werden.
4.2	Berichterstattg (Interpretation Ergebnisse und Bericht)	keine CO2-relevante Prozesse	nicht berücksichtigt	--	--	--
5 Baustellenebenkosten						
5.1	Gebühren, Kosten für Planung und Experten	Planung, Sitzungen, Berichterstattg, usw.	nicht berücksichtigt	--	--	--
6 Gasausstoss der Deponie						
6.1	Szenario 1	Deponie mit Cbio > 12 kg/t TM		[t CO2-eq]	34'000 Gasprognose (gerundeter Wert)	Berechnet mittels IPCC-Methodik
6.2	Szenario 2	Deponie mit 12 kg/t TM > Cbio > 6 kg/t TM		[t CO2-eq]	20'000 Gasprognose (gerundeter Wert)	Berechnet mittels IPCC-Methodik
6.3	Szenario 2	Deponie mit Cbio < 6 kg/t TM		[t CO2-eq]	10'000 Gasprognose (gerundeter Wert)	Berechnet mittels IPCC-Methodik