

Capturing and Utilisation of Landfill Gas

From municipal landfills, methane-containing landfill gas is produced during the conversion of biogenic organic matter, which has a very high greenhouse gas potential – more than 28 times stronger than carbon dioxide (CO₂) over 100 years. Based on decades of experience, it is extremely difficult to adequately capture this landfill gas in a heterogeneous heap (landfill body) – due, among other things, to the complex system, the physical structure/installation, different landfill gas-forming biological and biochemical degradation processes, different temperature and negative pressure levels, etc. Various studies – including various joint and research projects – deal in detail with the gas balance in landfills, the mathematical determination of the gas potential,

the quantification of methane oxidation as well as the determination of the theoretical methane emission in municipal solid waste landfills – also within the framework of the National Climate Protection Initiative, among others. The Technical Instructions on Municipal Solid Waste (TASi), which have been in force since June 2005, stipulate that the landfilling of untreated, organic, biodegradable municipal waste is no longer permitted. In particular, this ban applies to untreated household waste. The reason for this decision is the danger of emitting landfill gas from the landfill body, which pollutes the climate and contributes significantly to the greenhouse effect, as well as polluted leachate, which penetrates into the groundwater and pollutes it as well.

Erfassung und Nutzung von Deponiegas

Ausgehend von Siedlungsabfalldeponien entsteht bei der Umsetzung biogener Organik methanhaltiges Deponiegas, welches ein sehr großes Treibhausgaspotential – mehr als 28-mal stärker als Kohlenstoffdioxid (CO₂) bezogen auf 100 Jahre – aufweist. Dieses Deponiegas in ausreichender Form in einem heterogenen Haufwerk (Deponiekörper) adäquat zu erfassen, gestaltet sich, aus jahrzehntelangen Erfahrungen heraus, als äußerst schwierig – u. a. bedingt durch das komplexe System, dem physikalischen Aufbau/Einbau, unterschiedliche deponiegasbildende biologische und biochemische Abbauprozesse, unterschiedliche Temperatur- und Unterdruckniveaus, etc. Diverse Studien – u. a. verschiedene Verbund- und Forschungsvorhaben – gehen ausführlich auf den Gashaushalt in Deponien, die rechnerische

Bestimmung des Gaspotentials, die Quantifizierung der Methanoxidation sowie die Bestimmung der theoretischen Methanemission in Siedlungsabfalldeponien – u. a. auch im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative – ein. Die seit Juni 2005 geltende Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASi) schreibt vor, dass die Ablagerung unbehalteter, organischer, biologisch abbaubarer Siedlungsabfälle nicht mehr zulässig ist. Insbesondere gilt dieses Verbot für unbehalteten Hausmüll. Grund für diese Entscheidung sind die ausgehenden Gefahren von emittierendem Deponiegas aus dem Deponiekörper, wodurch das Klima belastet wird, was erheblich zum Treibhauseffekt beiträgt, sowie schadstoffbelastetes Sickerwasser, welches in das Grundwasser eindringt und dieses ebenfalls belastet.

Initial situation – gas capture rate – Germany

Landfills are, in general terms, biochemical reactors in which landfill gas is produced by biological degradation processes under anaerobic conditions. The landfill gas is a mixture of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂). Landfill gas, which contains methane, has 28 times the climate relevance of CO₂ alone and is thus significantly more harmful to the climate. Because of that, it has a high greenhouse gas potential and is therefore of great interest for the determination and recording of long-lasting methane emissions from municipal waste landfills (Figure 1).

Landfill gas (Methane from Landfills), even more important than mine gas (Methane from Coal Mining), is definitely an important component that can help minimize greenhouse gas emissions through optimal capture.

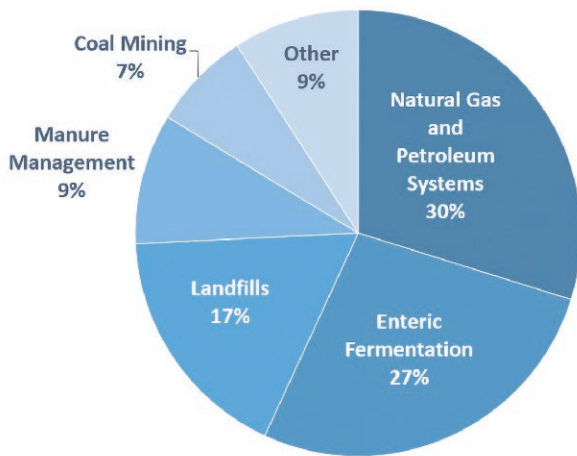
In 2012, the Federal Statistical Office documented the recorded landfill gas quantities in Germany for the first time. According

Ausgangssituation – Gaserfassungsgrad – Deutschland

Deponien sind allgemein betrachtet biochemische Reaktoren, bei denen durch biologische Abbauprozesse unter anaeroben Bedingungen Deponiegas gebildet wird. Das Deponiegas ist eine Mischung aus Methan (CH₄) und Kohlenstoffdioxid (CO₂). Das methanhaltige Deponiegas hat eine 28-fach höhere Klimarelevanz als CO₂ alleine und ist somit deutlich klimaschädlicher. Dadurch weist es ein hohes Treibhausgaspotential auf und ist somit für die Bestimmung und Erfassung von langanhaltenden Methanemissionen aus Siedlungsabfalldeponien von großem Interesse (Bild 1).

Deponiegas (Methane from Landfills), noch wichtiger als Grubengas (Methane from Coal Mining), ist auf jeden Fall eine wichtige Komponente, die durch optimales Erfassen zur Minimierung von Treibhausgasemissionen beitragen kann.

Im Jahr 2012 dokumentierte das Statistische Bundesamt erstmalig die erfassten Deponiegasmengen in Deutschland. Demnach



U.S. Environmental Protection Agency (2021), Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2019

Fig. 1. Relevance of methane outgassing from landfills also in relation to coal production in the US 2019. // Bild 1. Relevanz der Methanausgasungen von Deponien auch in Bezug zur Kohleproduktion in den USA 2019. Source/Quelle: U.S. Environmental Protection Agency

to this, the average capture rate was just under 20%. However, empirical values and individual observations by landfill operators show a realistically achievable collection rate of between 40 and 50% with good gas collection systems. The gas capture rate or the gas capture of each landfill must be determined individually on the basis of detailed investigations directly on the landfill body and its gas capture equipment. Especially deeper landfill sections and those that are not optimally covered in terms of gas technology still have considerable gas potential. However, when determining the gas formation potential and a resulting methane emission by means of the common gas prognosis models, these waste quantities not covered in terms of gas technology are also included. Consequently, the theoretical gas formation potential is clearly overestimated.

This paper describes not only the improved determination of the theoretical gas formation potential using various gas prognosis models and different input parameters, but also the practical determination of the gas capture rate through targeted investigation measures.

Classical approach for the computational determination of the gas capture rate

The landfill gas potential is calculated using common gas prognosis models, such as the 2006 IPCC Waste Model FOD method, adapted in 2020 by CDM Smith Consult GmbH (CDMS), Bochum/Germany, the multi-phase model according to Afvalzorg® 2022 or comparable other models. There are more than 35 applied models worldwide and thus many different approaches for determining the landfill gas residual potential.

Despite the adjustment of individual input values of waste fractions, it is often found on the basis of the calculated data of the methane formation potential that the capture rate (ratio of the theoretically formed landfill gas related to the measured quantity during extraction) is still between 40 and 50%. A possible reason for the low gas capture rate may be that too little information is available from the landfill for the selection of input parameters. In particular, the proportion of biodegradable materials, whose deg-

radation die Erfassungsraten im Durchschnitt bei nur knapp 20%. Erfahrungswerte sowie Einzelbetrachtungen von Deponiebetreibern zeigen jedoch einen realistisch erreichbaren Erfassungsgrad zwischen 40 und 50% bei guter Gaserfassungsanlage. Den Gaserfassungsgrad bzw. die Gaserfassung einer jeden Deponie gilt es anhand von detaillierten Untersuchungen direkt am Deponiekörper und dessen Gaserfassungseinrichtungen individuell zu bestimmen. Gerade tiefere und gastechnisch nicht optimal erfasste Deponieabschnitte weisen noch erhebliche Gaspotentiale auf. Bei der Bestimmung des Gasbildungspotentials und einer sich daraus ergebenden Methanemission mittels der gängigen Gasprognosemodelle fließen jedoch diese gastechnisch nicht erfassten Abfallmengen mit ein. Demzufolge wird das theoretische Gasbildungspotential deutlich zu hoch angesetzt.

Der vorliegende Beitrag beschreibt neben der verbesserten Bestimmung des theoretischen Gasbildungspotentials anhand verschiedener Gasprognosemodelle und unterschiedlicher Eingangsparameter auch die praktische Bestimmung des Gaserfassungsgrads durch gezielte Untersuchungsmaßnahmen.

Klassischer Ansatz zur rechnerischen Bestimmung des Gaserfassungsgrads

Die Berechnung des Deponiegaspotentials erfolgt über gängige Gasprognosemodelle, wie z. B. 2006 IPCC Waste Model FOD – Methode, angepasst 2020 durch die CDM Smith Consult GmbH (CDMS), Bochum, das Multiphasenmodell nach Afvalzorg® 2022 oder vergleichbare andere Modelle. Es existieren mehr als 35 angewendete Modelle weltweit und somit viele unterschiedliche Ansätze zur Bestimmung des Deponierestgaspotentials.

Trotz der Anpassung einzelner Eingangswerte von Abfallfraktionen wird häufig anhand der errechneten Daten des Methanbildungspotentials festgestellt, dass der Erfassungsgrad (Verhältnis des theoretisch gebildeten Deponiegases bezogen auf die gemessene Menge bei der Absaugung) immer noch zwischen 40 und 50% liegt. Ein möglicher Grund für die niedrige Gaserfassungsrate kann sein, dass für die Auswahl der Eingangsparameter zu wenige Informationen von der Deponie vorliegen. Insbesondere der Anteil an biologisch abbaubaren Materialien, deren Abbauraten und Abbaugeschwindigkeiten unter realen Bedingungen im Deponiekörper anders ablaufen als unter Laborbedingungen, können dafür verantwortlich sein.

Dem wird dann das unter regulären Bedingungen tatsächlich erfasste Deponiegas gegenübergestellt. Aus dem Verhältnis dieser beiden Ergebnisse wird dann der Gaserfassungsgrad ermittelt.

Bild 2 zeigt eindrucksvoll die Diskrepanz zwischen Prognose und Messergebnissen.

Im Vergleich der theoretischen Methanbildung mit der tatsächlich gefassten Gasmenge auf der Deponie x liegt die Kurve der anfänglich erfassten Gasmenge in der Zeit der stärksten Gasbildung noch deutlich unterhalb dem für den DOC und den k -Wert angesetzten geringsten Wert. Dies bedeutet, dass große Varianzen bei der theoretischen Berechnung der Gasbildung schon durch die ausgewählten Werte der Parameter vorgegeben sind.

Zudem wird nicht betrachtet, ob das über die Zeit erfasste Gas dem aus einer vollständigen biologischen Umsetzung entspricht oder ob ggf. ein Teil der abgelagerten Organik überhaupt nicht umgesetzt wurde. Standardmäßig wird davon ausgegangen, dass nahezu die gesamte Organik umgesetzt wird, das gebildete Gas dann aber nur unvollständig gefasst wird. Dabei können die mi-

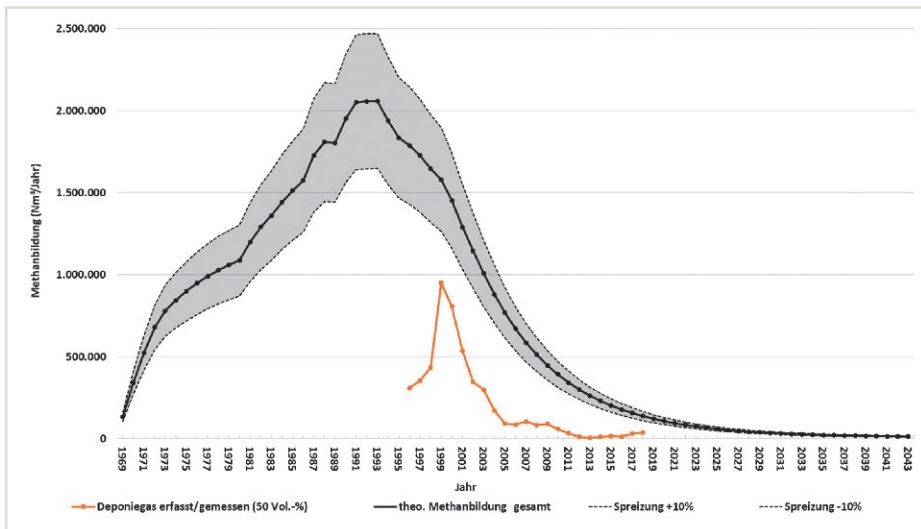


Fig. 2. Exemplary curve of a landfill gas prognosis (black line) with actually recorded landfill gas (orange line). Calculated landfill gas quantity with representation of the recorded landfill gas to 50 vol.-% CH₄ calculated according to the FOD method IPCC 2006 in Nm³/a. Example landfill x.

Bild 2. Exemplarischer Kurvenverlauf einer Deponiegasprognose (schwarze Linie) mit tatsächlich erfasstem Deponiegas (orange Linie). Errechnete Deponiegasmenge mit Darstellung des erfassten Deponiegases auf 50 Vol.-% CH₄ berechnet nach der FOD Methode IPCC 2006 in Nm³/a. Beispieldeponie x. Source/Quelle: CDMS, Forsting 2023

radation rates and rates of degradation under real conditions in the landfill body proceed differently than under laboratory conditions, may be responsible for this.

This is then compared with the landfill gas actually captured under regular conditions. The gas capture rate is then determined from the ratio of these two results.

Figure 2 impressively shows the discrepancy between prognosis and measurement results.

In the comparison of the theoretical methane formation with the actually captured gas quantity at landfill x, the curve of the initially captured gas quantity in the period of strongest gas formation is still clearly below the lowest value applied for the DOC and the k-value. This means that large variances in the theoretical calculation of gas formation are already given by the selected values of the parameters.

In addition, it is not considered whether the gas recorded over time corresponds to that from a complete biological conversion or whether part of the deposited organic matter was not converted at all. The standard assumption is that almost all of the organic matter is converted, but the gas formed is then only incompletely captured. The microbial processes may well be subject to inhibitions under certain landfill conditions. Due to the lack of an optimal environment, this slows down the activities of the microorganisms and therefore the conversion of the organic matter. As a result, no gas is produced from these wastes and therefore cannot be recorded as gas formation (Dongmo, U., 2021).

For municipal solid waste landfills, outdated calculation approaches were carried out in the past to determine the landfill gas potential using common gas prediction models. As already shown above, this very often led to the oversizing of the connected gas utilisation facilities. For this reason, it is all the more important to determine the landfill gas potential by means of targeted investigations at the landfill site.

In addition, the gas wells were usually filtered too close to the surface. The borderline between aero-

krobiellen Prozesse unter gewissen Deponiebedingungen durchaus Hemmungen unterliegen. Dies verlangsamt mangels optimaler Umgebung die Aktivitäten der Mikroorganismen und daher die Umsetzung der Organik. Infolgedessen wird aus diesen Abfällen kein Gas produziert und kann daher nicht als Gasbildung erfasst werden (Dongmo, U., 2021).

Für Hausmülldeponien wurden in der Vergangenheit veraltete Berechnungsansätze zur Bestimmung des Deponiegaspotentials über gängige Gasprognosemodelle durchgeführt. Dies führte, wie oben bereits gezeigt, sehr häufig zur Überdimensionierung der angeschlossenen Gasverwertungseinrichtungen. Aus diesem Grund ist es umso wichtiger, anhand von gezielten Untersuchungen am Deponiestandort das Deponiegasangebot zu bestimmen.

Hinzu kommt, dass die Gasbrunnen in der Regel zu nahe zur Oberfläche verfiltert wurden. Die Grenzlinie zwischen aerober Umsetzung von Organik (mit Sauerstoff) und anaerober Müllumsetzung (ohne Sauerstoff) ist dynamisch und führt mit der Zeit dazu, dass es im Umfeld der Gasbrunnen zu Umläufigkeiten kommt.

Im Resultat verschlechtert sich die Gasqualität, obwohl weite Teile des Deponiekörpers noch nicht umgesetzt wurden. Tiefenzonale Messungen ergeben dann eine Brunnencharakteristik. In der Regel kommt es zu Umluftzutritten unmittelbar am Kopf der Filterstrecke, wo auch der höchste Gasfluss gemessen wird. Zur Tiefe nimmt der Gasfluss infolge geringerer Permeabilität ab und die Methankonzentration zu (Bild 3).

An der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA), Bochum, wurde ein System entwickelt, wie bestehende Gasbrunnen

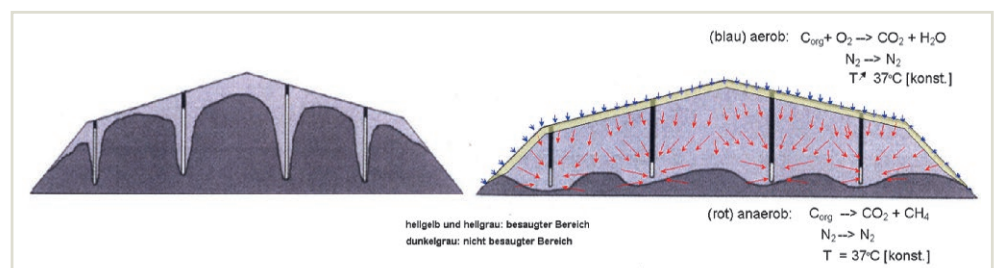


Fig. 3. Standard procedure for gas extraction: left, moderately to poorly gas-extracted landfill body, right, optimised landfill gas collection. Idealised representation. // Bild 3. Standardverfahren zur Gasgewinnung: links mäßig bis schlecht gastechnisch besaugter Deponiekörper, rechts optimierte Deponiegaserfassung. Idealierte Darstellung. Source/Quelle: Kanitz, Forsting, 2007

bic conversion of organic matter (with oxygen) and anaerobic waste conversion (without oxygen) is dynamic and leads to circulation in the vicinity of the gas wells over time.

As a result, the gas quality deteriorates even though large parts of the landfill body have not yet been converted. Depth-zonal measurements then reveal well characteristics. As a rule, recirculation occurs directly at the head of the filter section, where the highest gas flow is also measured. Towards the depth, the gas flow decreases due to lower permeability and the methane concentration increases (Figure 3).

At the Georg Agricola University of Applied Sciences (THGA), Bochum/Germany, a system has been developed for the cost-effective rehabilitation of existing gas wells to create a system of depth-filtered wells. This is the only way to extract higher quality gas and influence a larger landfill volume.

Targeted investigations in the landfill body to empirically determine the residual gas potential

This makes the practical determination of the site-specific gas capture rate all the more important, partly through the development of volumetric flow meters for use in vertical gas capture elements. Here, gas flow measurements are carried out in an actively aspirated (operated) gas well (Figure 4).

The research association of the THGA, course “Geo-Technology and Applied Geology, Civil and Environmental Geo-Engineering”, the Gas- und Geotechnik auf Deponien GbR (GGT) and the engineering company CDMS carried out investigations on gas wells of existing landfills as well as on so-called old landfills. Old landfills are landfills that were closed and covered in the 1970s and are not subject to any regulated aftercare.

In almost all vertical gas wells investigated, there is a very clear decrease in gas flow with increasing depth. In the upper well area, mostly directly at the beginning of the filtering, the gas flow in the well is very high and corresponds to that measured at the well head. Often after a few metres, the gas flow decreases massively. In many gas wells, the gas flow in the well pipe has almost come to a standstill at the end of the first third. In the following deeper areas of the gas wells, the gas flow decreases significantly, in many cases towards undetectable flows (Figure 5).

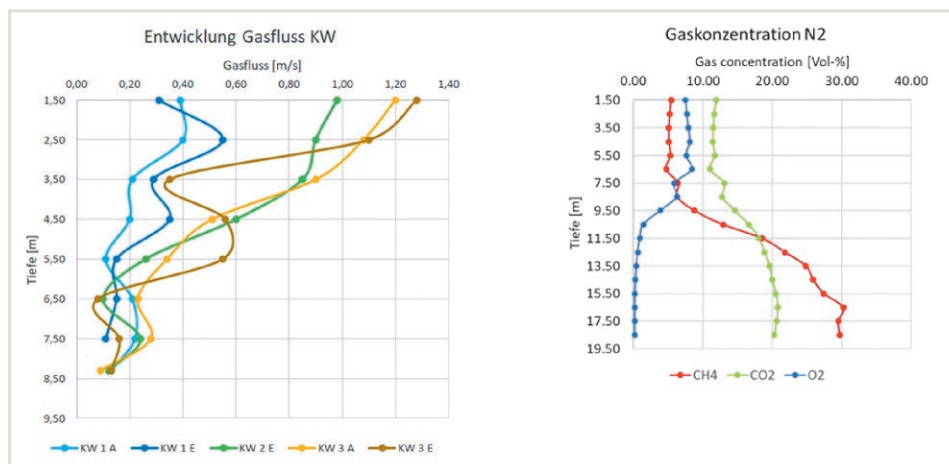


Fig. 5. Analyses of the investigations – determination of gas compositions and flux over the gas well depth. // Bild 5. Auswertungen zu den Untersuchungen – Bestimmung der Gaszusammensetzungen und des Flusses über die Gasbrunnentiefe. Source/Quelle: CDMS

kostengünstig saniert werden können, um zu einem System tiefenfilterter Brunnen zu kommen. Nur so lässt sich qualitativ höherwertiges Gas gewinnen und ein größeres Deponievolumen beeinflussen.

Gezielte Untersuchungen im Deponiekörper zur empirischen Bestimmung des Restgaspotentials

Umso wichtiger ist die praktische Bestimmung des jeweils standortspezifischen Gaserfassungsgrads u. a. auch durch die Entwicklung von Volumenstrommessgeräten für den Einsatz in vertikalen Gaserfassungselementen. Hierbei werden Gasflussmessungen in einem aktiv besaugten (betriebsamen) Gasbrunnen durchgeführt (Bild 4).



Fig. 4. Determination of gas velocities over the depth of a vertical gas well at different applied volume flow rates and a characteristic flow profile. Bild 4. Bestimmung der Gasgeschwindigkeiten über die Tiefe eines Vertikalgasbrunnens bei unterschiedlichen angesetzten Volumenströmen und ein charakteristisches Strömungsprofil. Source/Quelle: CDMS 2022

Seitens des Forschungsverbunds der THGA, Studiengang „Geotechnik und angewandte Geologie, Bau- und Umweltgeotechnik“, der Gas- und Geotechnik auf Deponien GbR (GGT) sowie dem Ingenieurbüro CDMS erfolgten Untersuchungen sowohl an Gasbrunnen bestehender Deponien als auch auf sogenannten Altdeponien. Altdeponien sind Deponien, die ungefähr in den 1970er Jahren geschlossen und abgedeckt wurden und keiner geregelten Nachsorge unterliegen.

In nahezu allen untersuchten vertikalen Gasbrunnen zeigt sich eine sehr deutliche Abnahme des Gasflusses mit zunehmender Tiefe. Im oberen Brunnenbereich, meist direkt zu Beginn der Verfilterung, ist der Gasfluss im Brunnen sehr hoch und entspricht dem am Brunnenkopf gemessenen. Häufig schon nach einigen Metern nimmt der Gasfluss massiv ab. Bei vielen Gasbrunnen ist der Gasfluss im Brunnenrohr am Ende des ersten Drittels nahezu zum Erliegen gekommen. In den darauffolgenden tieferen Bereichen der Gasbrunnen geht der Gasfluss deutlich, in vielen Fällen gegen nicht mehr nachweisbare Flüsse zurück (Bild 5).



Fig. 6. Research drilling at an old landfill site in Bochum.

Bild 6. Forschungsbohrung auf einer Altdeponie in Bochum. Photos/Fotos: THGA, Volker Wiciok

A technical possibility to improve gas collection in different landfill sections and depths is the installation of new vertical gas wells and gas collection facilities. For this purpose, research wells are being drilled at selected old landfills using newly developed drilling methods from Switzerland. This enables fast drilling with a diameter of 200 mm and sampling in the liner without oxygen contact of the drilling material (Figure 6).

These exploration wells are then developed into active gas wells or suction levels. With the construction of additional gas wells, areas that have not yet been sufficiently degassed are opened up. This allows the gas wells to be sucked in more effectively with higher suction volume flows. Both the construction of new gas wells and the optimised connection of already built wells serve to increase the gas capture rate and reduce fugitive gas emissions. The gas wells can also be used for subsequent in-situ stabilisation of the landfill.

For the new drilling of the gas wells, a special and, above all, due to the compact/mobile construction, land-conserving drilling method of the company Studersond from Switzerland is used. Based on many years of experience, boreholes with a small diameter (200 to 300 mm) are preferred to those with a larger diameter (> 800 mm) for the construction of new gas wells for the suction of landfills.

In addition, it is elementary for the detailed determination/description of drilled material by means of digestion wells to take undisturbed cores, i.e. cores taken under the exclusion of atmospheric oxygen. Otherwise, the contact of the drilling sample with atmospheric oxygen will immediately stop the anaerobic degradation processes. This is guaranteed by the encapsulated drilling method.

The special drilling method (rotary core drilling with double and triple core tubes) allows an undisturbed sampling to be carried out extremely quickly and successfully. In the drilling method, sampling is carried out in the landfill body by means of a double core barrel. A core catcher with a retaining spring is inserted into the first drill pipe (casing pipe). This drilling method has been used very successfully in landfill gas projects in Germany and Switzerland since the beginning of 2021.

Eine technische Möglichkeit der Verbesserung der Gaserfassung in unterschiedlichen Deponieabschnitten und Tiefen ist das Setzen neuer Vertikalgasbrunnen und Gaserfassungseinrichtungen. Auf ausgewählten Altdeponien erfolgen dazu u. a. Forschungsbohrungen mit neu entwickelten Bohrverfahren aus der Schweiz. Damit sind schnelle Bohrungen mit 200 mm Durchmesser möglich und Probenahmen im Liner ohne Sauerstoffkontakt des Bohrguts (Bild 6).

Diese Aufschlussbohrungen werden dann zu aktiven Gasbrunnen bzw. Saugpegeln ausgebaut. Mit der Herstellung zusätzlicher

Gasbrunnen werden bislang nicht ausreichend entgaste Bereiche erschlossen. Damit können die Gasbrunnen mit höheren Absaugvolumenströmen effektiver besaugt werden. Sowohl der Bau neuer Gasbrunnen als auch der optimierte Anschluss bereits gebauter Brunnen dienen dazu, den Gaserfassungsgrad zu erhöhen und die diffusen Gasemissionen zu reduzieren. Die Gasbrunnen können ergänzend für die spätere In-situ-Stabilisierung der Deponie genutzt werden.

Für das Neubohren der Gasbrunnen wird ein spezielles und vor allem durch die kompakte/mobile Bauweise flurschonendes Bohrverfahren der Firma Studersond aus der Schweiz eingesetzt. Anhand langjähriger Erfahrungen werden bei der Erstellung der neuen Gasbrunnen zur Besaugung von Deponien die Bohrungen mit einem geringen Durchmesser (200 bis 300 mm) gegenüber jenen mit einem größeren Durchmesser (> 800 mm) bevorzugt.

Zudem ist es zur detaillierten Bestimmung/Beschreibung von Bohrgut durch Aufschlussbohrungen elementar, ungestörte, also unter Luftsauerstoffabschluss genommene Bohrkerne, zu entnehmen. Anderweitig werden durch den Kontakt der Bohrprobe mit Luftsauerstoff die anaeroben Abbauprozesse sofort eingestellt. Durch das gekapselte Bohrverfahren ist dies gewährleistet.

Durch das spezielle Bohrverfahren (Rotationskernbohrungen mit Doppel- und Dreifachkernrohren) kann äußerst schnell und erfolgreich eine ungestörte Probenahme erfolgen. Bei dem Bohrverfahren erfolgt die Probenahme im Deponiekörper mittels eines Doppelkernrohrs. Dabei wird in das erste Bohrrohr (Mantelrohr) ein Kernfänger mit Rückhaltefeder eingesetzt. Dieses Bohrverfahren wird seit Beginn 2021 sehr erfolgreich bei Deponiegasprojekten in Deutschland und der Schweiz eingesetzt.

Alternativ zum Neusetzen/Bohren von Vertikalgasbrunnen kann auch die Sanierung von bestehenden Gasbrunnen auf Deponien in der Nachsorgephase erfolgen (Bild 7). Dabei wird der Filterkies im Ringraum um das Brunnenrohr (hier blau) bis zum Deponat (hier simuliert durch das gelbe Rohr) gasdicht verschlossen. Nach dem Freifräsen des Brunnenrohrs kann Gas von unterhalb der abgedichteten Filterstrecke gesaugt werden.

Mithilfe dieser Technik konnten nachweisbar Verbesserungen im Gasfluss und in der Gasqualität erzielt werden. Bei konsequenter Umsetzung kann auch in Betracht gezogen werden,

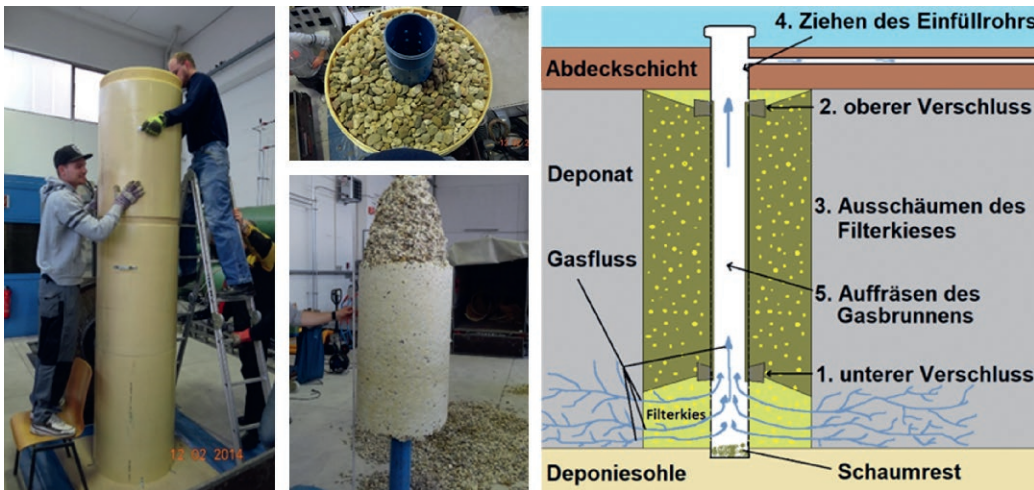


Fig. 7. Model test for the development of a foaming process.
 Bild 7. Modellversuch zur Entwicklung eines Ausschäumverfahrens.
 Source/Quelle: THGA, Otto 2014

As an alternative to re-setting/drilling vertical gas wells, existing gas wells on landfills can also be rehabilitated in the post-closure phase (Figure 7). In this case, the filter gravel in the annular space around the well pipe (here blue) is sealed gas-tight up to the landfill (here simulated by the yellow pipe). After the well pipe has been milled free, gas can be sucked in from below the sealed filter section.

With the help of this technique, demonstrable improvements in gas flow and gas quality could be achieved. If implemented consistently, it can also be considered to enable the energetic use of landfill gas on landfills that have already been abandoned due to poor gas quality.

Key processes in the remediation of vertical gas wells:

- Sealing of near-surface filter section;
- increased short-circuit resistance against outside air intake;
- increased suction possible without dilution effects;
- landfill gas volume and methane concentration enable energy recovery.

Practical determination of the range measurement

In theory, it is always assumed that the gas within the landfill body pushes towards the gas well. Accordingly, gas wells with a spacing of about 50 m have been constructed at domestic waste landfills. To confirm or refute this theory, range measurements were carried out by the research cooperation (Figure 8).



Fig. 8. Range determination: setting a grid to determine the negative pressure in the surrounding area.
 Bild 8. Reichweitenbestimmung: Setzen eines Rasters zur Bestimmung des Unterdrucks im Umfeld.
 Source/Quelle: THGA

eine energetische Nutzung von Deponiegas auf Deponien wieder zu ermöglichen, die aufgrund mangelhafter Gasqualität bereits aufgegeben wurden.

Wesentliche Abläufe bei der Sanierung von Vertikalgasbrunnen:

- Abdichtung oberflächennaher Filterstrecke,
- erhöhte Kurzschlussfestigkeit gegen Außenlufteintrag,
- erhöhte Besaugung ohne Verdünnungseffekte möglich,
- Deponiegasvolumen und Methankonzentration ermöglichen energetische Verwertung.

Praktische Bestimmung der Reichweitenmessung

In der Theorie wird immer davon ausgegangen, dass das Gas innerhalb des Deponiekörpers zum Gasbrunnen drückt. Dementsprechend wurden auf Hausmülldeponien Gasbrunnen mit einem Abstand von ca. 50 m errichtet. Zur Bestätigung oder Widerlegung dieser Theorie wurden von der Forschungskoopeation Reichweitenmessungen durchgeführt (Bild 8).

Um einen Saugbrunnen herum wurden in drei Richtungen jeweils drei Multilevelpegel errichtet mit Abständen von jeweils 2,5 m in der Horizontalen. In der Vertikalen wurden in unterschiedlichen Tiefen Filterkerzen in Filterkies mit einer Bentonitabdichtung nach oben und unten eingebaut (Bild 9).

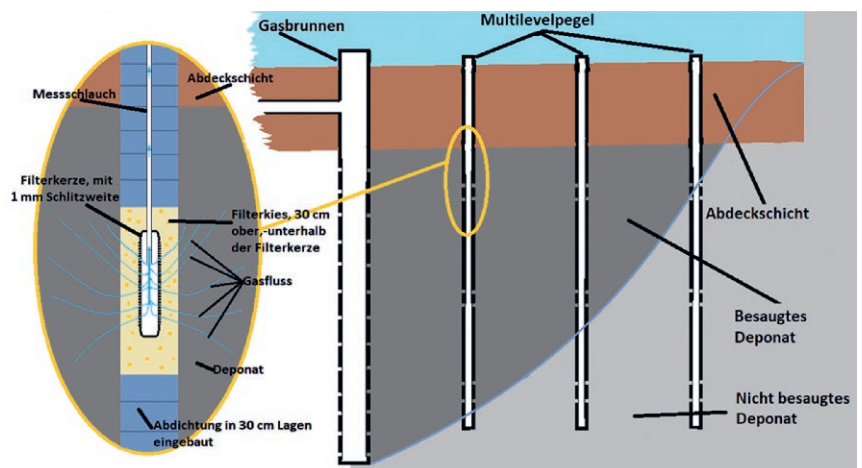


Fig. 9. Schematic representation of the installation of the multilevel gauges.
 Bild 9. Schematische Darstellung des Ausbaus der Multilevelpegel. Source/Quelle: THGA

Around a suction well, three multilevel gauges were set up in each of three directions, each with a distance of 2.5 m in the horizontal plane. Vertically, filter cartridges were installed at different depths in filter gravel with a bentonite seal at the top and bottom (Figure 9).

Analyses, visualisations and presentations of the data and results

From the empirically determined data sets, three-dimensional models are now displayed in a highly visual way using the modelling software Leapfrog Works®. These 3D models can also be used to show the landfill gas potential in municipal solid waste landfills at the third level. In addition, this data can also be used to determine the residual gas emission potential in order to enable targeted optimisation of gas capture in gas-uncovered and possibly also deeper landfill sections (Jeyadevan, B., 2021).

As already mentioned, an optimised approach was developed for the computational determination of the residual gas potential, as the landfill gas forecast models used do not necessarily reflect the real landfill gas quantities recorded. An essential criterion is the determination of the gas capture rate at the existing gas collection system.

When investigating the gas collection system, in addition to determining the gas compositions at different levels, all existing gas wells are sounded out and special features such as water impoundments, sheared gas wells, obstacles, etc. are noted. On the basis of the evaluation of the stored waste quantities of the individual years and investigations of the gas collection at different levels, a qualified mathematical determination of the gas collection level can then be made. Liners are also used temporarily to subject more gas-active areas to stronger suction and to prevent possible short circuits near the surface.

It is precisely the modelling that shows in which areas and levels increased gas potentials are still emerging. Depending on the representation of the results, both absolute gas compositions and volume flows as well as relative thermal energy contents can be evaluated three-dimensionally (Figure 10).

Red areas indicate sections where potentials can still be found. Water impoundments and gas impasses can be shown very well. This makes it possible to select the optimal drilling approach when

Auswertungen, Visualisierungen und Darstellungen der Daten und Ergebnisse

Aus den empirisch bestimmten Datensätzen werden nun dreidimensionale Modelle mithilfe der Modellierungssoftware Leapfrog Works® hochvisuell dargestellt. Anhand dieser 3D-Modelle kann auch das Deponiegaspotential in Siedlungsabfalldeponien in der dritten Ebene aufgezeigt werden. Zusätzlich kann mit diesen Daten auch das Restgasemissionspotential bestimmt werden, um zielgerichtet eine Optimierung der Gaserfassung in gastechnisch nicht erfassten und ggf. auch tieferen Deponieabschnitten zu ermöglichen (Jeyadevan, B., 2021).

Wie bereits erwähnt, wurde ein optimierter Ansatz zur rechnerischen Bestimmung des Restgaspotentials entwickelt, da die angesetzten Deponiegasprognosemodelle nicht zwingend die real erfassten Deponiegasmengen wiedergeben. Ein wesentliches Kriterium ist die Bestimmung des Gaserfassungsgrads am bestehenden Gaserfassungssystem.

Bei den untersuchenden Maßnahmen am Gaserfassungssystem werden neben der Bestimmung der Gaszusammensetzungen in unterschiedlichen Ebenen alle bestehenden Gasbrunnen ausgelotet und Besonderheiten wie Wassereinstauungen, gescherte Gasbrunnen, Hindernisse etc. festgehalten. Anhand der Auswertung der eingelagerten Abfallmengen der einzelnen Jahre und Untersuchungen an der Gaserfassung in unterschiedlichen Ebenen kann dann eine qualifizierte rechnerische Bestimmung des Gaserfassungsgrads erfolgen. Auch werden temporär Liner eingesetzt, um gezielt gasaktivere Bereiche einer stärkeren Besaugung zu unterziehen und mögliche oberflächennahe Kurzschlüsse zu unterbinden.

Gerade die Modellierung zeigt an, in welchen Bereichen und Ebenen sich noch erhöhte Gaspotentiale auftun. Je nach Darstellung der Ergebnisse lassen sich sowohl absolute Gaszusammensetzungen und Volumenströme als auch relative thermische Energieinhalte dreidimensional auswerten (Bild 10).

Rote Bereiche zeigen an, in welchen Abschnitten noch Potentiale anzutreffen sind. Wassereinstauungen und Gasunwegsamkeiten lassen sich sehr gut darstellen. Beim weiteren Abteufen neuer Vertikalgasbrunnen kann somit der optimale Bohransatz ausgewählt werden. Auch können die Gasbrunnen, je nach vorhandenem Gaspotential und anhand des angetroffenen Bohr-

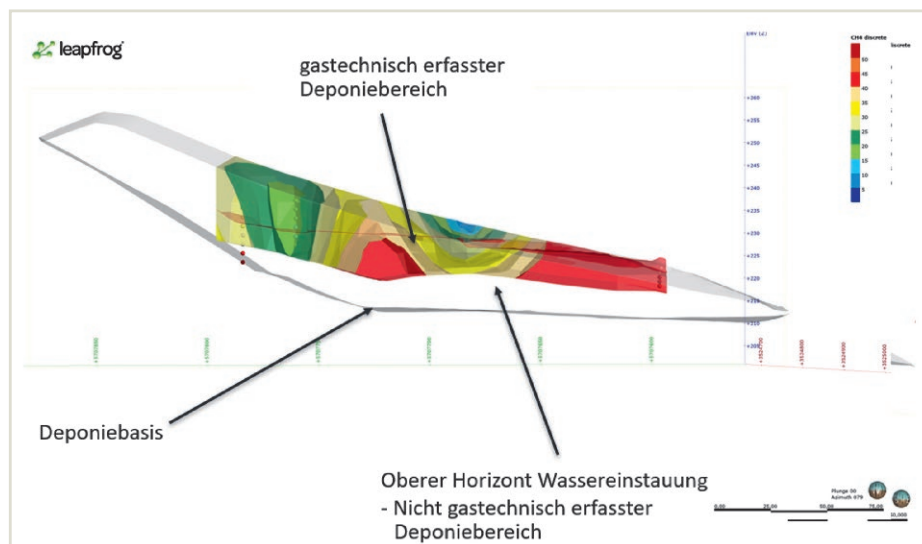


Fig. 10. Idealised representation of gas potentials (here: absolute methane concentration). Vertical section, example landfill x. Bild 10. Idealisierte Darstellung der Gaspotentiale (hier: absolute Methankonzentration). Vertikalschnitt, Beispieldeponie x. Source/Quelle: CDMS, Forsting

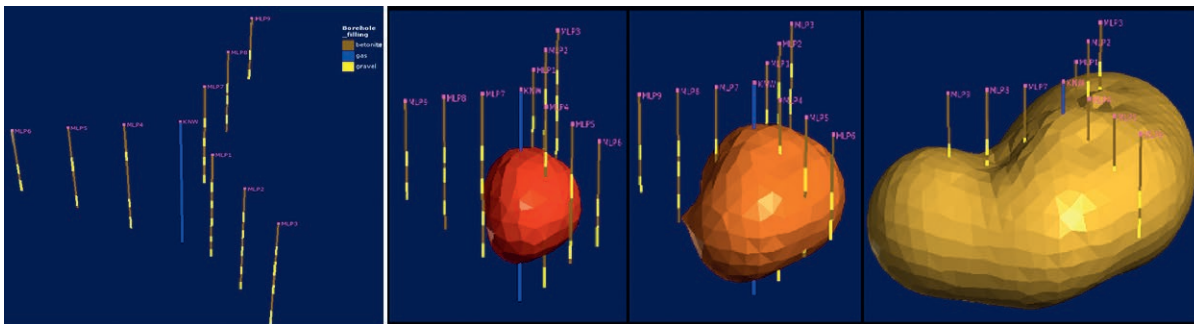


Fig. 11. Three-dimensional representation of the propagation of the negative pressure in the investigated landfill body, example landfill x. // Bild 11. Dreidimensionale Darstellung der Ausbreitung des Unterdrucks im untersuchten Deponiekörper, Beispieldeponie x. Source/Quelle: CDMs, Forsting

sinking new vertical gas wells. Depending on the existing gas potential and the drilling material encountered, the gas wells can also be developed according to the local conditions.

During a suction of the gas well, the negative pressure was measured at each suction plug. Finally, the result is shown in a three-dimensional model (Figure 11).

The representation shows the measurement at a negative pressure of 15 mbar. Within the red volume, at least 20% of the negative pressure generated in the KNW gas well was measured. The orange volume represents the space in which at least 10% of the negative pressure generated in the gas well KNW was measured, and within the yellow volume at least 5% of the negative pressure was measured. The result showed a very low range of gas extraction. The volume within the landfill body influenced by negative pressure during extraction is thus less than 10%.

Conclusion and outlook

After all, there are between 1,200 and 1,400 contaminated sites and typical landfill deposits in Germany alone, which have correspondingly high potentials as in the example projects. However, these will not be adequately extracted using gas technology.

In principle, the optimised collection of landfill gas is sustainable for several reasons. In addition to thermal (heat) and energy use (electricity generation), considerable amounts of greenhouse gas savings potential are also possible. This contributes to reducing dependence on fossil fuels.

Furthermore, the use of landfill gas can contribute to the reduction of methane emissions. By capturing and using landfill gas, it is prevented from entering the atmosphere. Overall, landfill gas can be considered as a not irrelevant energy source. By reducing the use of fossil primary energy sources and minimising methane emissions starting from the landfill body, a major contribution is made to climate protection.

Authors / Autoren

Prof. Dr. rer.nat. Frank Otto, Alexander Rudek M. Eng., Wissenschaftsbereich Georessourcen und Verfahrenstechnik, Technische Hochschule Georg Agricola (THGA), Bochum, Dipl.-Ing. Biotechn. Jürgen Forsting, Senior Consultant, CDM Smith Consult GmbH, Bochum, Dipl.-Chem. Jürgen Kanitz, GGT Kanitz & Partner GbR, Bochum

materials, den örtlichen Gegebenheiten nach gezielt ausgebaut werden.

Bei einer Besaugung des Gasbrunnens wurde der Unterdruck an jeder Saugkerze gemessen. Das Ergebnis wird abschließend in einem dreidimensionalen Modell dargestellt (Bild 11).

Die Darstellung zeigt die Messung bei einem Unterdruck von 15 mbar. Innerhalb des roten Volumens wurden mindestens 20% des im Gasbrunnen KNW erzeugten Unterdrucks gemessen. Das orangene Volumen bildet den Raum, in welchem mindestens 10% des im Gasbrunnen KNW erzeugten Unterdrucks gemessen wurden, und innerhalb des gelben Volumens wurden mindestens 5% des Unterdrucks gemessen. Im Ergebnis zeigte sich eine sehr geringe Reichweite der Gasabsaugung. Das durch Unterdruck im Rahmen der Besaugung beeinflusste Volumen innerhalb des Deponiekörpers liegt somit unter 10%.

Fazit und Ausblick

Immerhin gibt es allein in Deutschland zwischen 1.200 und 1.400 Altlasten und deponietypische Ablagerungen, welche entsprechend hohe Potentiale aufweisen wie in den Beispielprojekten. Diese werden jedoch nicht adäquat gastechnisch besaugt werden.

Grundsätzlich ist das optimierte Erfassen von anfallendem Deponiegas aus mehreren Gründen nachhaltig. Neben der thermischen (Wärme) und energetischen Nutzung (Stromerzeugung) sind auch erhebliche Mengen an Treibhausgaseinsparpotentialen möglich. Dies trägt zur Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen bei.

Darüber hinaus kann die Nutzung von Deponiegas zur Verringerung von Methanemissionen beitragen. Indem Deponiegas aufgefangen und genutzt wird, wird verhindert, dass dieses in die Atmosphäre gelangt. Insgesamt kann Deponiegas als nicht irrelevanter Energieträger betrachtet werden. Durch die Reduzierung der Nutzung fossiler Primärenergieträger sowie die Minimierung von Methanemissionen ausgehend vom Deponiekörper wird ein großer Beitrag zum Klimaschutz geleistet.