

Biofilter als Komponenten für die passive Entgasung

Jörg Jahn

Inhaltsverzeichnis

1. Grundlagen, Glossar
2. Ausgangssituation
3. Messbarkeitsproblem, baulich nötige Veränderungen
4. Erfassung der Durchflußmenge
5. Erfassung der Methangehalte im laufenden Prozess
6. Beprobung und Nachbefeuchtung der Füllung
7. Dämpfung des Methanbildungsprozesses durch Aerobisierung
Niederdruck-Rückschlagventil, Auslass-Drosselung, FID-Begehung
8. Messtechnische Einzelheiten, Kurvenbilder
9. Aufbau des FRANK-Biofilters in mehreren Baugrößen

1. Grundlagen

Passive Entgasung:

Das Deponiegas wird ohne Zufuhr von Bewegungsenergie kontrolliert aus dem Müllkörper geleitet. Die Gasbewegung erfolgt durch den Entstehungsdruck bei der Vergärung und durch die Schwankungen des Außenluftdrucks, abhängig von der Wetterlage.

Filterung durch biologischen Abbau:

Das Gas kommt mit lebenden Organismen in Kontakt, die Methan zersetzen oder kalt oxidieren können. Da sich die Schadstoff-Moleküle meist an Stelle von Wasserstoff-Atomen an den Kohlenstoff anlagern, bleiben sie beim Zerfall des Methans im Filter. Im Falle der passiven Entgasung sind die Mengenströme gering, so dass sich in der Filterfüllung keine schädigende Konzentration anreichert.

Kalte Verbrennung:

Beim Einatmen nimmt der Organismus Sauerstoff aus der einströmenden Luft auf, dabei speichert, spaltet und verbraucht er ihn zum Teil. Stoffwechselreaktionen stellen Zerlegungsprodukte aus der festen und flüssigen Nahrung zur Oxidation bereit, die z. B. die Körperwärme erzeugt. Verbrennung ohne Flamme ist in biologisch lebender Substanz möglich, weil sie (wie rote Blutkörperchen) die reaktionsfähigen Sauerstoff-**Einzelatome** zur Verfügung stellt. In der Atmosphäre sind sie als O₂-Moleküle aneinander gebunden und reagieren daher nicht mit den CH₄-Molekülen des Methans. O₂-Moleküle zu spalten, gelingt sonst normalerweise nur durch offenes Feuer bzw. hohe Temperaturen an Festkörpern.

Biofilter für Deponiegas...

sind keine Adsorptionsfilter, sondern aktive Bauelemente mit lebenden Substanzen, die Sauerstoffnachschub benötigen und daher in beiden Richtungen abwechselnd beströmt werden müssen. Ist die anstehende Gasmenge (noch) zu hoch, so dass der Filter nicht einatmet, so stirbt die Biologie ab und das Gas tritt schließlich unbehandelt in die Atmosphäre aus.

Geeignete Substanz ...

ist Rindenmulch für Garten- und Landschaftsbau, wie er in der Holzwirtschaft laufend anfällt. Er muss vor Verwitterung geschützt gelagert bzw. relativ frisch angeliefert werden. Im Filtergehäuse kann er nicht mehr von Abbau-Organismen komplett zersetzt werden wie bei der Verwendung im Garten. Es überleben nur die Organismen, die zeitweiligen Sauerstoffmangel aushalten. Sie **ernähren sich** von dem Mulchmaterial, wobei die Feinfraktion anwächst. Die Körnung darf nicht beliebig fein werden, weil sonst bei den geringen Drücken der passiven Entgasung der Durchfluss zum Erliegen kommt. Vorzugsweise kommt Sackware in der Körnung 0-40 mm zum Einsatz.

Feinfraktion ...

ist beim Aussieben der Mulchpartikel der Prozentsatz der Gesamtmenge, deren Partikelgröße bei und unterhalb z. B. 10 % der Nenngröße (bei 0-40 mm wären es 0-4 mm) liegen. Unterteilt man die „Sieblinie“ in 10-Prozent-Schritte, so ist das Material in Ordnung, wenn die Feinfraktion 10 Vol-% umfasst und alle weiteren Fraktionen ebenfalls mit 10 Vol-% vertreten sind (die größte im Beispiel mit 36-40 mm). Liegt die Feinfraktion bei 50 Vol%, so verfilzt und verortet das Material, wird nicht mehr genügend durchströmt / mit Sauerstoff versorgt und stirbt ab.

2. Ausgangssituation

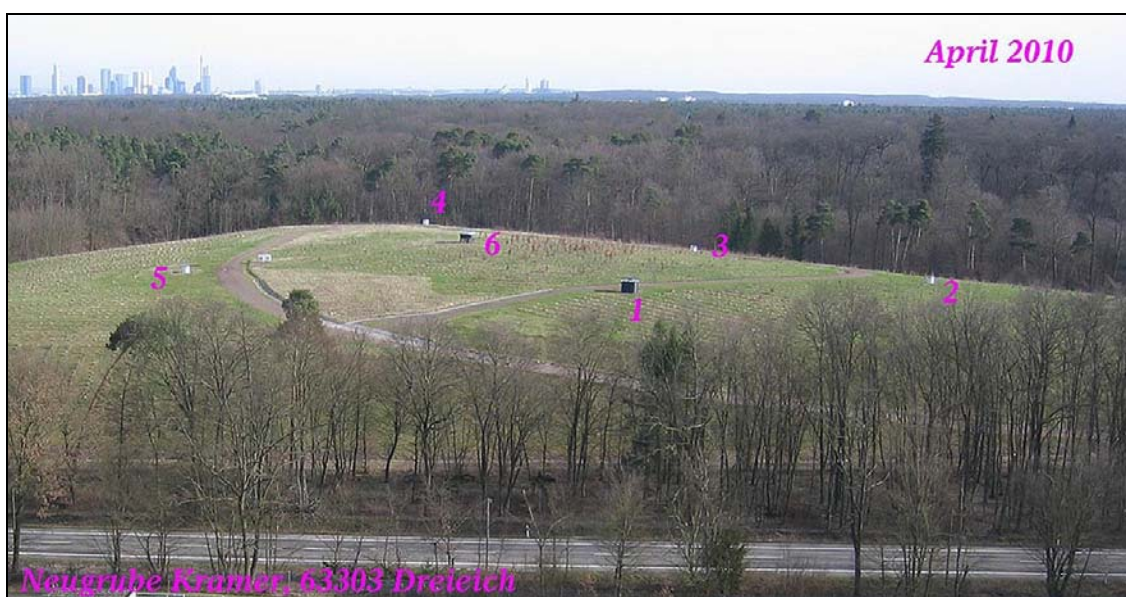


Bild 1: Grundstück Grube Kramer mit Lage der Gasbrunnen

Die Befassung mit den Biofiltern begann nach der Entscheidung des Frankfurter Umweltamtes 2005, auf dem Nachbargrundstück „Neugrube Kramer“ in Dreieich Biofilter aufzustellen, da die Gesamtmenge samt Methangehalt nicht für einen kontinuierlichen Verbrennungsbetrieb ausreichte. Als die damals erhältlichen Biofilter angeliefert wurden, in drei Größen für die im Vorversuch ermittelten Gasmengen der einzelnen Brunnen, ergab sich die Aufgabenstellung: Wie sollte man hier die austretende Methankonzentration feststellen und den Mengenstrom messen?



Bild 2: „Deponiegasfenster“ mit 300 Auslasslöchern

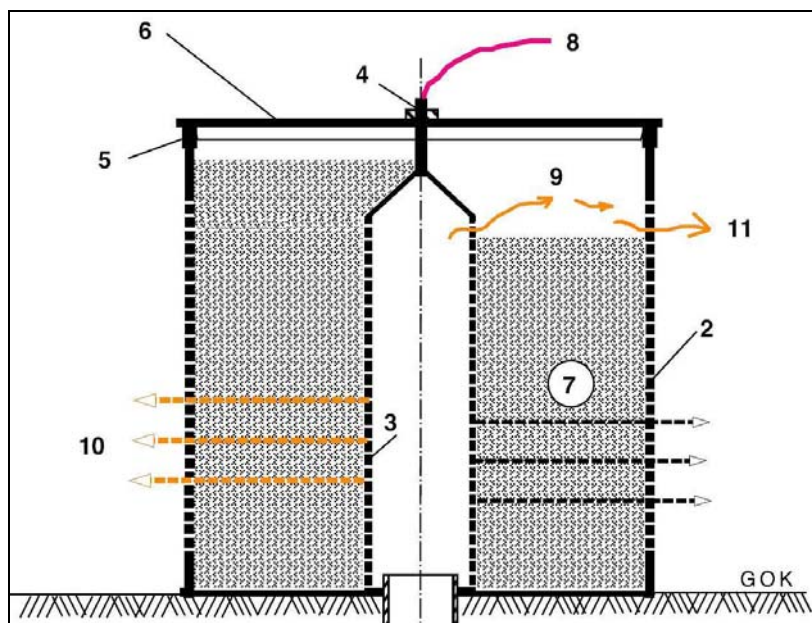


Bild 3: Kompaktfilter mit 1,8 m² offener Auslassfläche

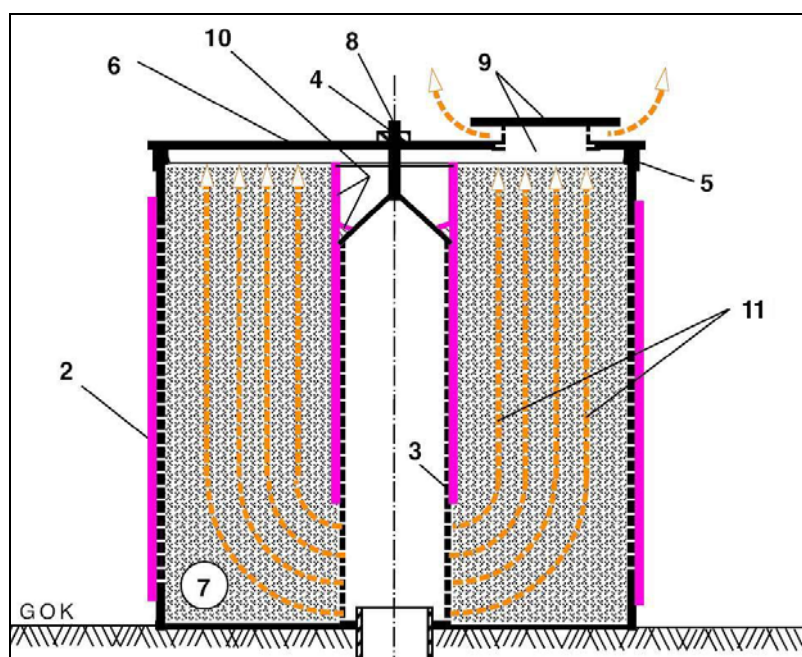
3. Messbarkeitsproblem, baulich nötige Veränderungen

Für einen reproduzierbaren Bericht an den Regierungspräsidenten mussten jedenfalls diese Werte mehrmals im Jahr aufgenommen werden, auch mit Beutelproben zur Begleitstoffanalyse im Labor. Außerdem mussten Materialproben entnommen werden, um pH-Wert und Wassergehalt nachprüfen zu lassen. Als erste Änderung wurden daher in verschiedenen Höhen Entnahmestutzen mit Schraubdeckeln angebohrt und eingeschweißt.

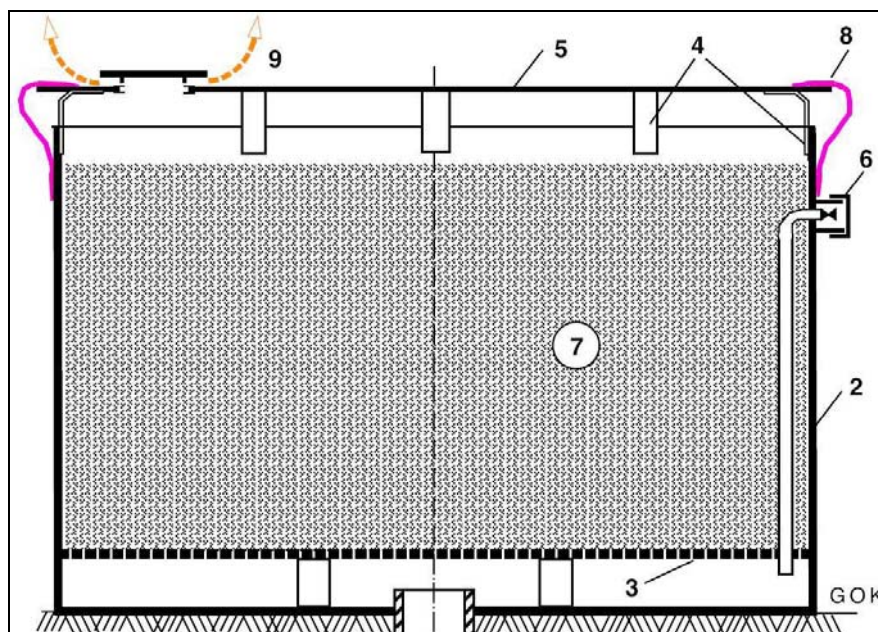
Beobachtungen über das baldige Zusammensinken der Mulchfüllung ließen den Verdacht aufkommen, dass das Gas unbehandelt über der Füllung von innen nach außen strömen könnte. Wir änderten die Filter konstruktiv und erzwangen einen längeren Gasweg im Mulch. Der Auslass wurde am waagerechten Deckel durchgebrochen.



Graphik 1: Deponiegasfenster im Vertikalschnitt; 10 = beabsichtigter Gasweg, 11 = Setzungs-Leckage



Graphik 2: Deponiegasfenster mit Vollwandrohr (3), Wickelfolie (2) und Loch im Deckel (9). 11= erzwungener verlängerter Gasweg ohne Leckage-Risiko



Graphik 3: Abdichtschürze am Kompakt-Filter

4. Erfassung der Durchflußmenge

Bereits im Vorversuch zeigte sich, dass mit einem strömungserregten Messgerät nichts zu erreichen war. Man musste mit Stoppuhr und festem Vergleichsvolumen arbeiten.



Bild 4: Foliensack-Volumeter 120 Liter, für Auslaßstutzen mit Durchmesser 315 mm, während die Stoppuhr läuft

Der Foliensack muss ein bekanntes Volumen haben und dicht auf dem Auslaßstutzen aufsitzen. In der Praxis hat sich herausgestellt, dass die Messung sehr seitenwindempfindlich ist, deshalb wurde ein Halteteller mit Drahtkorb angefertigt, an dem die eine Hälfte mit Folie abgeschirmt ist. Vor Beginn der Messung sollte die Windrichtung klar sein; dann wird der Foliensack zusammengerollt, am Filter der Regenschutz vom Auslass genommen und das Volumeter stattdessen aufgesetzt, die Stoppuhr gestartet und abgewartet, bis der Foliensack prall ist.

Das setzt voraus, dass eine Wetterlage mit fallendem Luftdruck vorherrscht. Nur dann wird sich aufgrund des etwas höheren Drucks im Berg überhaupt etwas bewegen. Je steiler der Luftdruck fällt, desto schneller wird der Sack voll.

Foliensack-Formel

Msec = gemessene Zeit in Sekunden

Vsack = Rauminhalt des Foliensackes in Litern

Divi = 3600sec/Msec [dimensionslos]

$$\frac{\text{Divi} * \text{Vsack}}{\text{h}} = \text{Volumenstrom [Liter/h]} \\ * 0,001 \Rightarrow [\text{m}^3/\text{h}]$$

5. Erfassung der Methangehalte im laufenden Prozess

An allen Filtern waren damals nur Stutzen zur Gasentnahme der bergseitigen (Rohgas)-Entnahme vorhanden. Bei den später ausgeschnittenen Auslässen mit 315 mm Durchmesser wurde eine angefertigte Rohrsonde verwendet, die mittig im Abstrom positioniert war.



Bild 5: Rohgasmessung unten am Biofilter

Dabei kommt es darauf an, einen Zeitraum mit fallendem Luftdruck zu wählen, damit ein Volumenstrom von innen nach außen vorliegt. Je schneller das Gas ausströmt, desto schneller ist das Filtervolumen ausgetauscht, so dass sich Ein- und Ausgang aneinander annähern. Hilfreich ist eine Luftdruckverlauf-Zeitganglinie, um zu ermitteln, wann der Luftdruckabfall beginnt. Danach können die ersten Volumenstrom-Messungen aufgenommen werden. Sobald ein klarer Durchfluss von innen nach außen feststellbar ist, wird ein Wertepaar per Mobilmessgerät aufgenommen. Bleibt der Luftdruck fallend, so wird sich zuerst der Rohgaswert erhöhen bis auf sein Maximum, mit entsprechender Verzögerung folgt der Reingaswert nach. Er sollte permanent niedriger als der Rohgaswert bleiben, der durchschnittliche Luftdruckabfall dauert ca. 6 Stunden (bei ruhiger Großwetterlage meist nachmittags). Liegt der Rohgaswert nach weniger als 2 Stunden am Ausgang an, so ist die Füllung zu trocken oder das Filtervolumen deutlich zu klein. — Als normaler Erfolg kann gelten, wenn der Biofilter zwei Drittel des Methangehaltes abbaut (z. B. Rohgas 45 %, Reingas 15 %). Diese Werte (oder bessere) lassen sich erreichen, wenn der Filter-Inhalt in

Kubikmetern ungefähr dem höchsten Gasdurchfluss im m³/h entspricht (oder deutlich darüber liegt).

Beobachtet wurden auch Unstetigkeiten im Gasabgabeverhalten der Deponie. GB-1, der beim Vorversuch eine minimale Menge abgab (und deshalb einen kleinen Filter bekam), stieg nach einem Jahr Regelbetrieb auf den höchsten Wert der ganzen Deponie. Gleichzeitig war am benachbarten GB-2 ein vorher durchschnittlicher Wert praktisch auf Null gesunken. Dem konnte nur mit Aufstellung eines neuen, großen Filters auf GB-1 abgeholfen werden, worauf der abgestorbene Brunnen GB-2 den kleinen Filter bekam.

6. Beprobung und Nachbefeuchtung der Füllung

Sleichende Austrocknung der Mulchfüllung führt zu baldiger Unwirksamkeit des Abbauprozesses. Als Richtwert kann gelten, dass ein Wassergehalt von weniger als 40 % nicht geduldet werden sollte. Die Biofilter sind infolgedessen nicht wartungsfrei. Da die Behälter oberirdisch aufgestellt und zudem schwarz sind, nehmen sie bei Sonneneinstrahlung Wärme auf, die zur Verdunstung beiträgt. Da es nicht hineinregnet, wird die verdunstete Feuchtigkeit nicht ersetzt (Blumentopf-Effekt). Die Wasser-Neubildung beim Methan-Oxidationsvorgang reicht dafür nicht aus. Es sollte in jedem Jahr vor Beginn der hochsommerlichen Temperaturen mindestens eine Nachbefeuchtungsaktion gemacht werden; vorher und hinterher ist eine Probenahme mit labortechnischer Untersuchung des Wassergehalts anzuraten.



Bild 6: Probenahmestutzen mit Entnahmestange



Bild 7: Als Einlieferungsgefäß sind Gefrierbeutel geeignet

Da Baumrinde ein wasserabstoßendes Material ist, muss dem Befeuchtungswasser etwas Netzmittel zugesetzt werden. Dazu eignen sich Spülmittel mit biologisch abbaubaren Tensiden. Pro Kubikmeter Mulch ist mit etwa 80 Litern Wasser zu rechnen, die nach Möglichkeit in Intervallen von drei bis vier Tagen à 25 Litern zugeführt werden sollten, damit nicht gleich das meiste bis unten durchläuft. Bei kleinen Filtergehäusen gelingt dies gut mit einer Gießkanne; größere Filter sollten mittels Sprühling bewässert werden, wobei die feinere Vernebelung der Feuchtigkeitsverteilung zuträglich ist. Hat man keine komplette Motorpumpeneinrichtung z. B. auf PKW-Anhänger, so kann man mittels Druckluft-Membranpumpe, Pressluftflasche und einem Vorratstank (oder aus 30-Liter-Kanistern) befeuchten. Große Vorratstanks müssen bei Frostgefahr mindestens halb leer sein.



Bild 8: Sprühung im Filterdeckel



Bild 9: nachgerüsteter Sprühung in Aktion



Bild 10: Sprühing-Schlauchanschluss



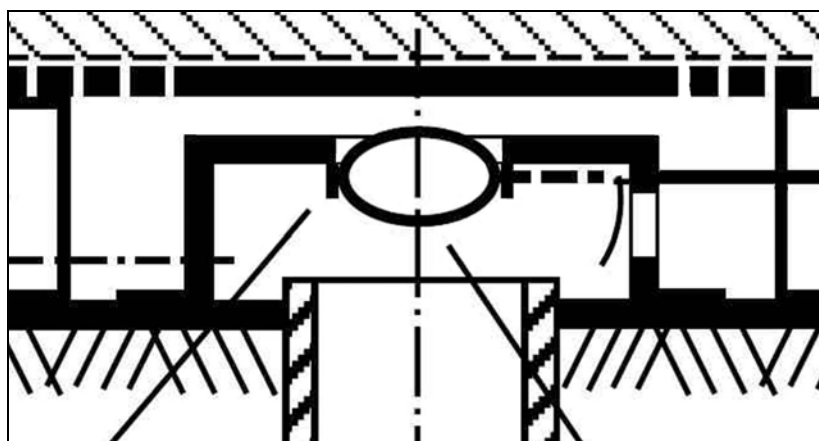
Bild 11: Druckluftpumpe an Wassertank



Bild 12: Druckluftpumpe an 30-Liter-Kanister

7. Dämpfung des Methanbildungsprozesses durch Aerobisierung

Außer Abbau des Methangehaltes steht beim passiven Entgasungsbetrieb noch die Absicht im Hintergrund, die Gasentstehung selbst beschleunigt zum Erliegen zu bringen. Dies gelingt am besten dadurch, dass der Filter mehr Luftmenge einatmet als er Gasmenge hinauslässt. Da die methanbildenden Bakterien bekanntlich nur anaerob arbeiten, vertragen sie es nicht, wenn ihr Lebensraum mit Sauerstoff angereichert wird, und stellen ihre Tätigkeit ein. Eventuelles Wiederanspringen des Prozesses ist kaum zu befürchten. Es wäre an eine erhöhte Anfangstemperatur gebunden, die im normalen Lebensablauf einer Deponie von den vorherigen Prozessen der alkoholischen Gärung und den daraus folgenden Zerlegungsprozessen — bis zur Essigsäurebildung — stammt.



Graphik 4: Vertikalschnitt der Rückschlagventil-Drosselkammer

Beim Biofilter kann man durch Einbau eines leichtgängigen Rückschlagventils erreichen, dass das Ausatmen nur durch einen verstellbaren Spalt möglich ist, mit dem man die Gasmenge drosselt. Das Einatmen hingegen erfolgt über einen großen Bypass, der sich richtungsabhängig öffnet. Der Boden im Einzugsbereich des Biofilters wird dadurch immer lufthaltiger, was sich auch beim Abblasen zeigt. Lange nach Einsetzen des Luftdruckabfalls kommt noch gar kein Methan und es dauert etliche Stunden, bis es seine maximale (Rohgas-)konzentration erreicht.

Die Atemvorgänge am Biofilter sind nur bei deutlicher Luftdruckänderung gut messbar. Im Sommer 2011 mussten wir die teure Beutelprobenmessung mehrmals verschieben, weil wochenlang nur schwache Luftdruckschwankungen von weniger als 2 hPa pro Tag stattfanden. Das Suchen nach dem geeigneten Messzeitpunkt gehört zur Wartungspraxis bei Biofiltern, ebenso wie die jährliche Begehungsmessung mit einem FID-Gerät, um auszuschließen, dass sich das Gas wegen der Drosselung einen anderen Weg sucht und irgendwo in der Nähe aus dem Boden entweicht. Diese Begehung muss zwingend bei Trockenheit, nicht feuchtem Boden und mehrstündigem Luftdruckabfall ohne Seitenwind erfolgen.

8. Messtechnische Einzelheiten, Kurvenbilder

Die Befassung mit den Messgrößen und ihrem zeitlichen Zusammenspiel zwang zu einigen Nebenversuchen und Anfertigung von Apparaturen, die dabei helfen sollten, die Messgrößen besser zu quantifizieren.



Bild 13: Richtungsmesskammer im Dauerbetrieb

Was hier wie ein strömungserregtes Teil aussieht, ist in Wirklichkeit ein drucksensibles System. Es besteht aus einer leichtgängig aufgehängten Segelschwinge aus dünnem Aluminiumblech, deren Stellung von einem Winkelsensor in ein Normsignal gewandelt wird. Das Gas bzw. die Luft drücken das Segel nur so weit aus der Mittenlage, dass der Spalt darunter ausreicht, um die ein-/austretende Menge nahe bei Nulldruck durchzulassen.



Bild 14: Richtungsmesskammer auf dem Niederdruck-Luftprüftisch (einatmend)

Der Prüftisch im Bild enthält nur einen kleinen 100-mm-Propeller (wie im Computernetzteil), den man um 180° kippen kann, im Zuführungsrohr ist ein verstellbares Bypassloch. Hier kann man auch das Foliensack-Volumeter oben aufsetzen und mittels zwischengelegter Dämpfungsilze die tatsächliche Menge einstellen und die Segelkammer bei konstantem Luftstrom „eichen“.

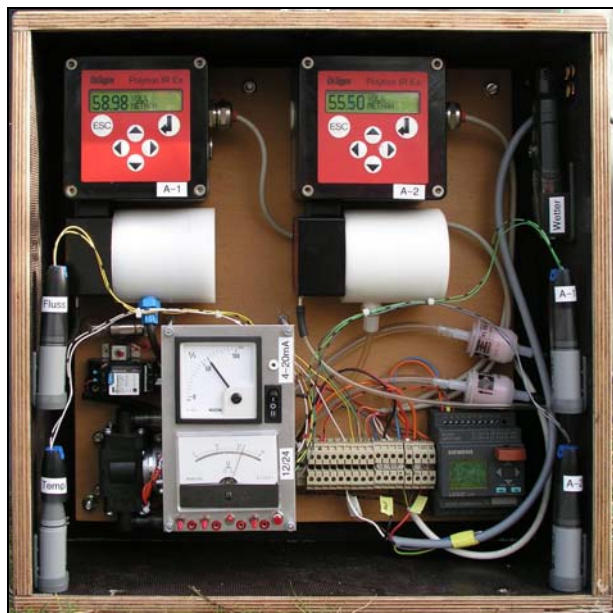
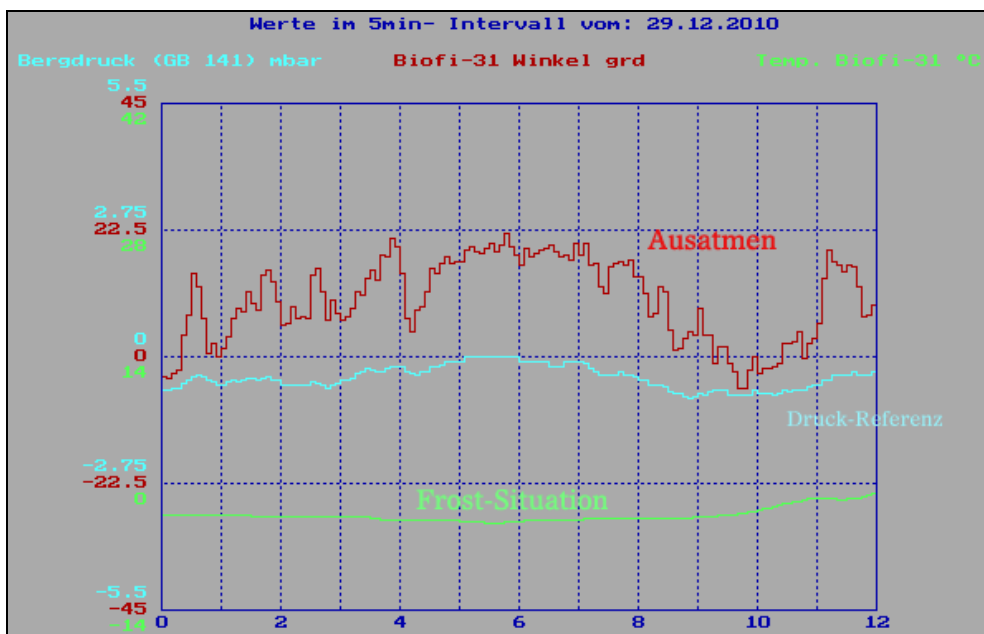
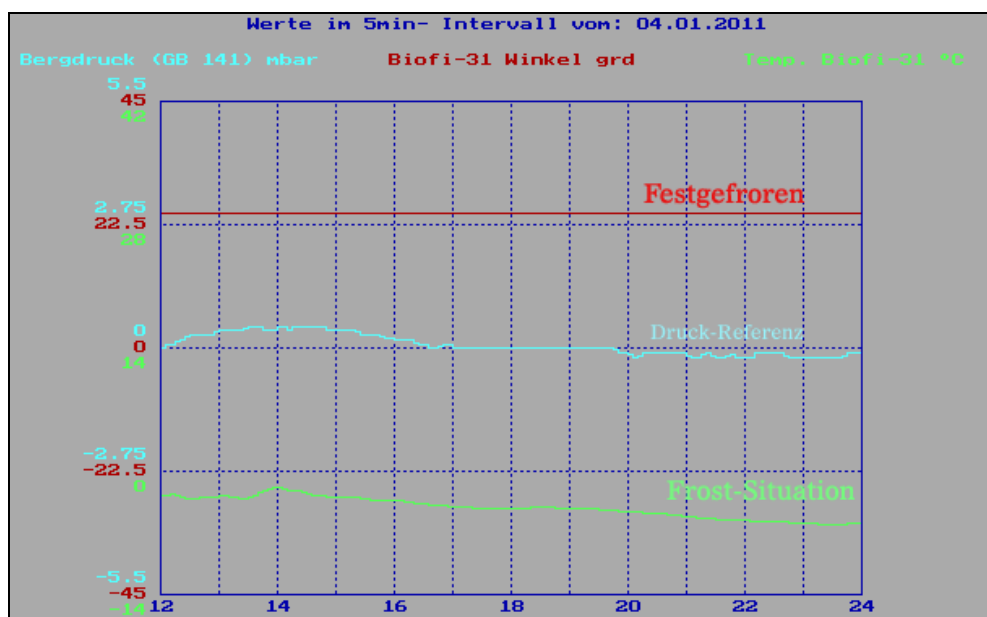


Bild 15: Synchron-Analysellogger

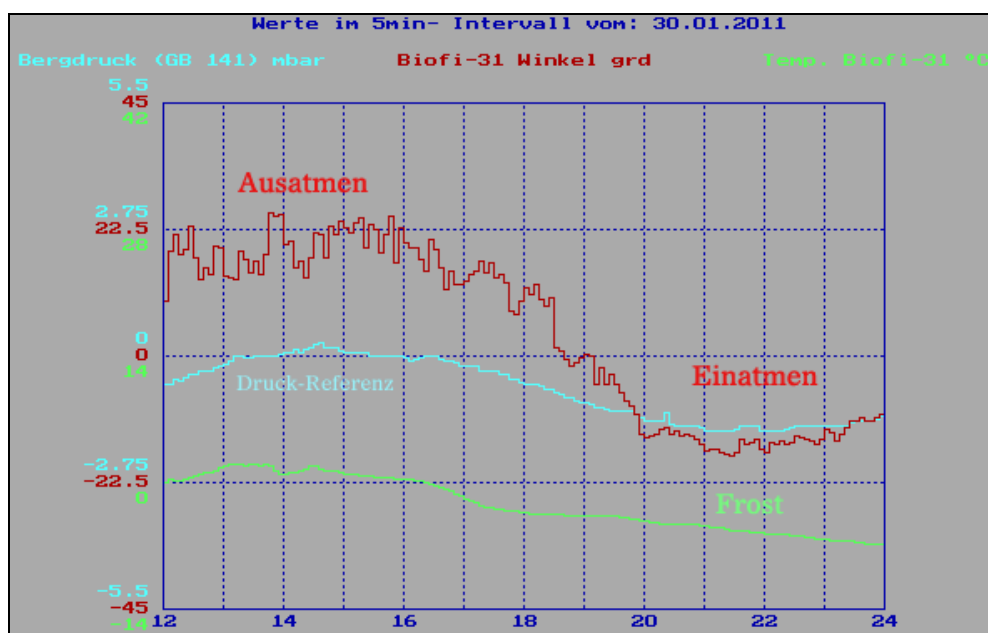
Diese Apparatur kann im Batteriebetrieb über mehrere Tage zwei Methangehalte, die Winkelstellung und die Temperatur erfassen und mittels USB-Datenloggern über der Zeitachse aufzeichnen. Der Luftdruck-Verlauf sowie Luftfeuchtigkeit und Außentemperatur werden von einem separaten USB-Sensorlogger mit eigener Batterie aufgezeichnet. Das synchrone Übereinanderlegen der Kurven muss derzeit noch von Hand am Laptop gemacht werden.



Graphik 5: Bergdruck, Segelstellung und Temperatur



Graphik 6: Bergdruck, Segelstellung und Temperatur



Graphik 7: Bergdruck, Segelstellung und Temperatur

Vorstufe der Datenlogger-Einheit. Man erkennt auf dem mittleren Bild, dass die Segelklappe bei Frost angefroren ist. Die Sichtbarkeit aller Kurven ist nur bei Farbausdruck möglich.

Weitere Kurvenbilder können erst im Laufe des Januars 2012 bei akzeptablem Wetter mit dem Synchron-Analysellogger aufgenommen werden und kommen evtl. auf dem Referat direkt zur Besprechung.

9. Aufbau des FRANK-Biofilters in mehreren Baugrößen



Bild 16: Bedienperson am kleinsten Modell, Gasmessung oben

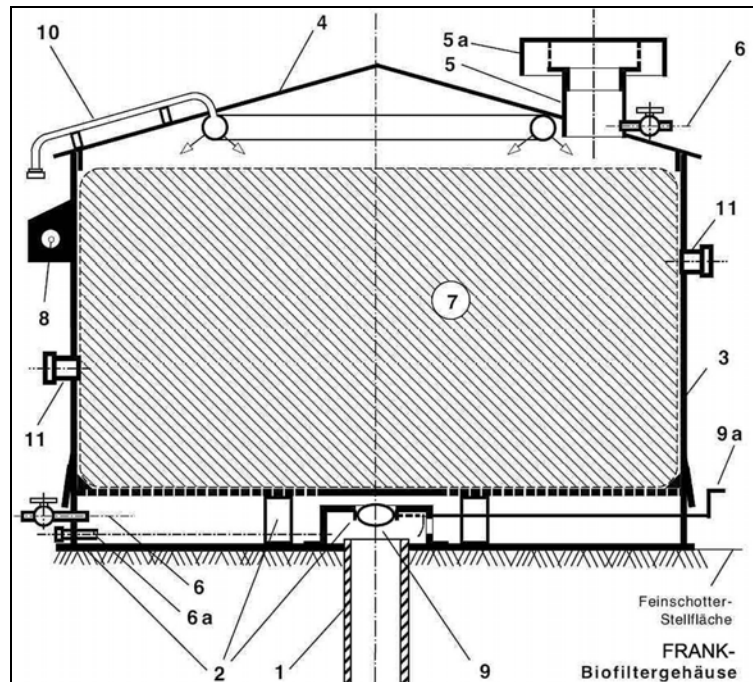


Bild 17: Neugrube Kramer GB-1 (Prototyp), drittgrößtes Modell

Ergebnis der vorangegangenen Überlegungen war das ideale Biofiltergehäuse, das nicht nur die Messung aller Gas- und Material-Parameter ermöglicht, sondern auch die Durchführbarkeit aller Wartungsarbeiten durch eine Person ohne gefährliche Hilfsmittel gewährleistet. Die Gehäuse-Oberkante ist 180 cm über dem Boden, unterschiedliche Füllvolumina werden durch entsprechende Durchmesser des Behälters verwirklicht. Derzeit werden vier verschiedene Baugrößen angeboten.

| Gasaufkommen | Bauhöhe Paket | Füllmenge Mulch | Durchmesser |
|--|----------------------|------------------------|--------------------|
| m ³ /h | Meter | m ³ | Meter, innen |
| 1...3 | 1,5 | 3 | 1,60 |
| >3...5 | 1,5 | 5 | 2,00 |
| >5...7 | 1,5 | 7 | 2,40 |
| >7...11 | 1,5 | 11 | 3,00 |
| <p>Gasaufkommen: wird vorab an offenem Rohr per Sack-Volumeter ermittelt nach der Erfahrungsformel: 1 m³ Mulch pro Gas-m³/h Peak. Voraussetzung: Der Gasstrom muss alternieren (aus- und einatmen). Wenn der Brunnen / Berg nicht einatmet, ist es zu früh für die Behandlung mit Biofiltern.</p> | | | |

Alle Modelle sind mit dem Befeuchtungs-Sprühling und dem einstellbaren Drossel-Rückschlagventil ausgestattet. Zum Zubehör gehört ein Foliensack-Volumeter mit 120 Liter (für Auslass-Rohrdurchmesser 315x12 mm) sowie eine Mulch-Entnahnehilfe-Stange.



Graphik 8: Aufbau des FRANK-Biofilters in dreiteiliger Bauweise
 1= Brunnenrohr im Boden; 2= Unterteil mit Abstützung und Ventilkammer; 3= Mittelteil mit Lochboden; 4= Deckel mit Bewässerungs-Sprühling; 5= Auslass-Stutzen mit mit Dunsthaube, 6= Messhahn für Gas-Probenahme; 6a= Meßstutzen für Vordruck; 7= Mulchfüllung; 8= Anhebeösen zum Entleeren; 9= Auslass-Drosselklappe, 9a= abnehmbarer Verstellhebel; 10= Wasseranschluss für Nachbefeuchtung; 11= Stutzen mit Schraubdeckel für Mulch-Probenahme.

Weiteres Zubehör muss beim Betreiber vorausgesetzt werden:

- a) ein Methan-/Kohlendioxid-/Sauerstoff-Analysator als Mobilgerät
- b) ein Luftdruck-Datenlogger (in USB-Stick-Bauweise ab 40 EUR)
- c) eine Membranpumpe mit Vorfilter zum Befüllen von 10-Liter-Probenahmebeuteln, vorzugsweise in 12-Volt-Ausführung mit entsprechendem Akku;
- d) eine Wasserpumpe mit Benzin- oder Pressluftantrieb (3 bar Förderdruck) zum Nachbefeuchten
- e) ein Vorratstank (z. B. 100 Liter auf PKW-Anhänger), evtl. 1 m³ stationär auf Palette
- f) entsprechende Mengen an 3/4-Zoll Gartenschlauch (druckseitig) mit GK-Verbindern und spiralverstärkter Schlauch für die Saugseite; bei Kanisterbetrieb mit Stechrohr am freien Ende
- g) einige Säcke Rindenmulch (0-40 mm) zum halbjährlichen Nachbefüllen (Bau-/Gartenmarkt)

Falls in der Nähe eine stationäre Analyseanlage betriebsbereit gehalten wird, die man alarmfrei schalten kann, so genügt die Befüllpumpe (c) in Verbindung mit zwei Probenahmebeuteln pro Biofilter, um die Werte zu ermitteln.