

Bestimmung von Atmungsaktivität und Gasbildungspotential

– Neueste Erkenntnisse betreffend Fehlinterpretationen

Erwin Binner

Institut für Abfallwirtschaft
Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien

1 Veranlassung

Die Deponieverordnung (DEPVO, BGBl. Nr. 164/96, Novelle 2004) sieht unter anderem vor, den Input in Deponien hinsichtlich des Gehaltes an organischer Substanz bzw. organischem Kohlenstoff zu beschränken. Für Massenabfalldeponien wird daher der Gehalt an organischer Substanz, gemessen als TOC (Total Organic Carbon), mit 5 % in der Trockenmasse (TM) begrenzt. Der TOC-Grenzwert gilt auch bei einem Glühverlust < 8 % TM als eingehalten.

Der österreichische Gesetzgeber hat jedoch bereits 1996 die Möglichkeit geschaffen, Abfälle aus einer mechanisch-biologischen Vorbehandlung in einem gesonderten Bereich einer Massenabfalldeponie abzulagern, wenn der Brennwert (H_o) nicht mehr als 6.000 kJ/kg TM beträgt und die übrigen Grenzwerte (Tabellen 7 und 8, Anlage 1 der Deponieverordnung) eingehalten werden, auch wenn der TOC Grenzwert überschritten wird (Ausnahmeregelung §5 Abs.7 lit. f). Durch die Begrenzung des Brennwertes soll die Ablagerung von thermisch verwertbaren Anteilen verhindert werden.

Neben der Erhöhung des Brennwertes von 6.000 auf 6.600 kJ/kg TM, wurden in der Novelle zur Deponieverordnung 2004 Grenzwerte für Reaktivitätsparameter definiert. Grundlage für die Auswahl geeigneter Parameter und deren Grenzwerte waren einerseits die Ergebnisse einer vom Ministerium beauftragten Studie (BINNER, et al., 1999), andererseits die Regelung in Deutschland. In beiden Ländern wurden Atmungsaktivität (AT_4) und Gasbildung (GS_{21} bzw. GB_{21}) als sinnvolle Parameter erkannt. Die Gasbildung wurde einheitlich mit 20 NI/kg TM begrenzt. Die Atmungsaktivität wurde in Österreich mit $AT_4 < 7$ mg O_2 /g TM, in Deutschland mit $AT_4 < 5$ mg O_2 /g TM begrenzt. Beide Werte korrelieren nicht mit dem Grenzwert für die Gasbildung (einer $AT_4 = 7$ mg O_2 /g TM entspricht ca. eine $GS_{21} = 12$ NI/kg TM). Zielvorstellung bei der Festlegung des österreichischen Grenzwertes war eine Verminderung des Gasbildungspotentials durch die MBA um 90 bis 95 %. Gravierendster Unterschied zwischen den beiden Regelungen ist, daß in Österreich Atmungsaktivität (AT_4) und Gasbildung (GS_{21} oder GB_{21}) parallel untersucht werden müssen, während in Deutschland die Analyse nur eines der

beiden Parameter zulässig ist. Wegen der kürzeren Analysendauer und geringerer Analysenkosten wird in Österreich häufig von Anlagenbetreiberseite gefordert, daß auch in Österreich die alleinige Bestimmung der Atmungsaktivität ausreichend sein sollte. Das dies jedoch in einigen Fällen zu Fehlinterpretationen führen würde, wird in diesem Beitrag gezeigt.

2 Reaktivitätsparameter

2.1 Inkubationsversuch (GS₂₁)

Als anaerobe Tests sind in Österreich Inkubationsversuch (GS₂₁) oder Gärtest (GB₂₁) erlaubt. Das beide Testmethoden gleichwertig sind, wurde unter anderem bei dem im Rahmen der Erarbeitung der entsprechenden Ö-NORMEN (Ö-NORM S2027-2 und Ö-NORM S2027-3) durchgeführten Ringversuch nachgewiesen (IGW, 2004). Wegen seiner Vorteile wird an unserem Institut der Inkubationsversuch bevorzugt. Abbildung 1 zeigt die dem Gärtest DEV S8 (1985) nachempfundene Versuchsanordnung. 2 bis 3 kg auf Wasserkapazität befeuchtetes Probenmaterial werden in das Reaktionsgefäß eingewogen. Dieses wird durch einen Deckel sowie ein ca. 1,2 l fassendes Eudiometerrohr gasdicht verschlossen und in ein Wasserbad (40°C) eingesetzt. Alle Bauteile sind aus Glas, wodurch Gasverluste vermieden werden können. Die gebildete Gasmenge kann in beliebigen Intervallen abgelesen (bei jeder Ablesung sind Raumtemperatur und aktueller Luftdruck zu erfassen), mittels PC-Auswerteprogramm auf Normalverhältnisse (0°C, 1013 mbar) umgerechnet und summiert werden. Die Versuchsergebnisse werden als Gasspendensummenlinie (NI/kg DM, siehe Abbildung 2) und Gasspendenganglinie (NI/kg DM.h) dargestellt. Obwohl die Gasbildung auch nach 240 Tagen noch nicht abgeschlossen ist, liegt bereits nach 21 Tagen Versuchsdauer ein repräsentativer Beurteilungswert vor. Eventuell auftretende zeitliche Verzögerungen (Adaptierungsphasen) sind durch entspr. Verlängerung der Versuchsdauer rechnerisch zu kompensieren.

Vorteile des Inkubationsversuches sind die große Probenmenge (dadurch ist ein Doppelansatz ausreichend), die Temperatur von 40 °C (es muß auch in warmen Klimazonen nicht gekühlt werden) und die Tatsache, daß nicht geimpft werden muß (damit werden bei der Untersuchung von Einzelproben gegenüber dem Gärtest 5 Ansätze eingespart). Durch die Anordnung des Ausgleichsgefäßes im oberen Eudiometerbereich herrscht in der Versuchseinheit stets ein Überdruck, wodurch Undichtheiten leichter erkannt werden können. Mit zunehmendem hydrostatischen Druck steigen nämlich die Gasverluste, was sich durch ein kontinuierliches Abfallen der Gasspenden (NI/kg TM.h) bemerkbar macht. Nach einer Verringerung des hydrostatischen Druckes – dies tritt ein wenn das Eudiometer wieder mit Sperrflüssigkeit aufgefüllt wird – steigt die Gasspende sprunghaft an, um danach neuerlich kontinuierlich abzusinken. Als Nachteil ist die Ge-

fahr des Versäuerns bei sehr reaktivem Probenmaterial (Frischmaterial) zu nennen (Abbildung 2).

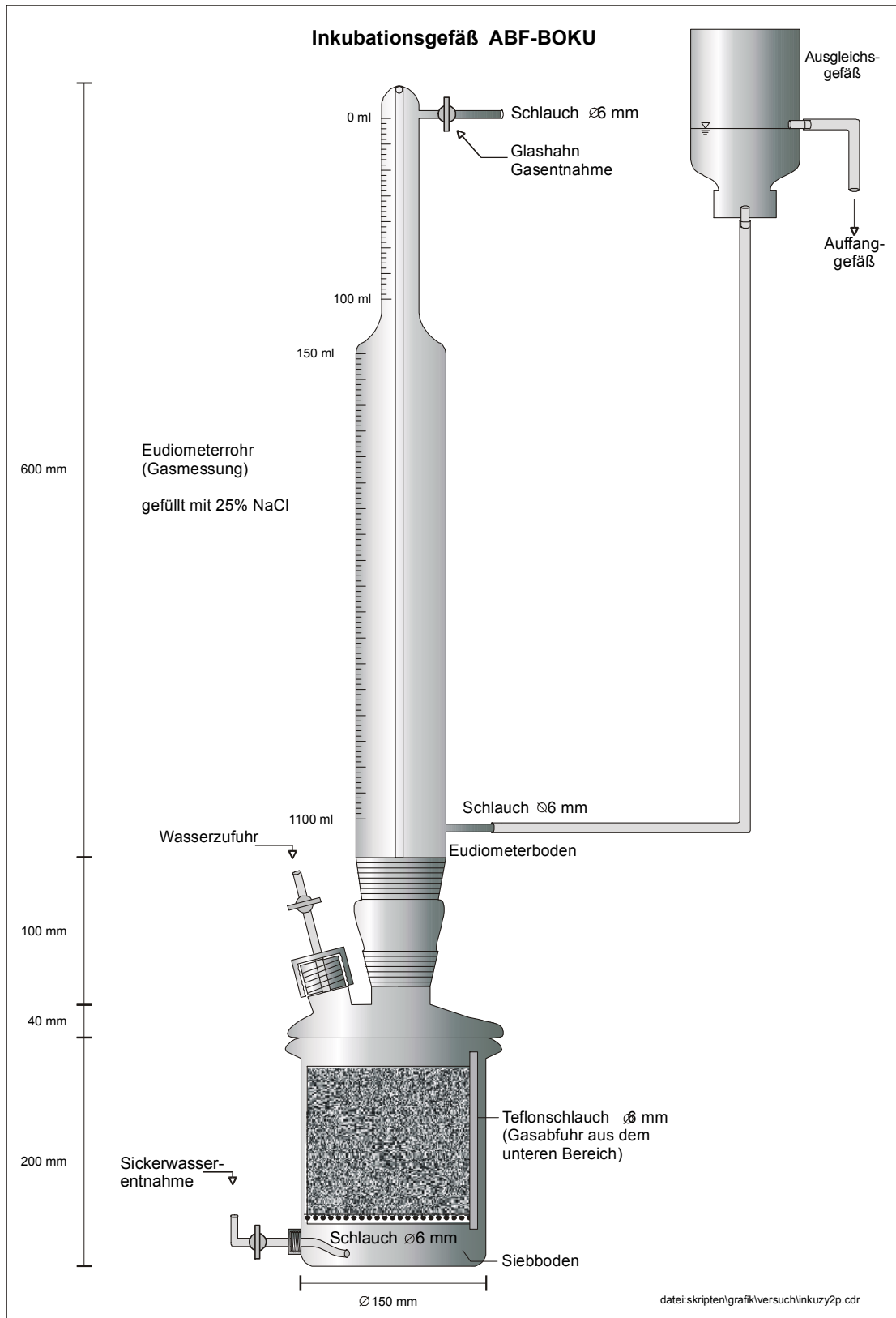


Abbildung 1 Versuchsanordnung (Inkubationsversuche) zur Bestimmung der Gasspendensumme

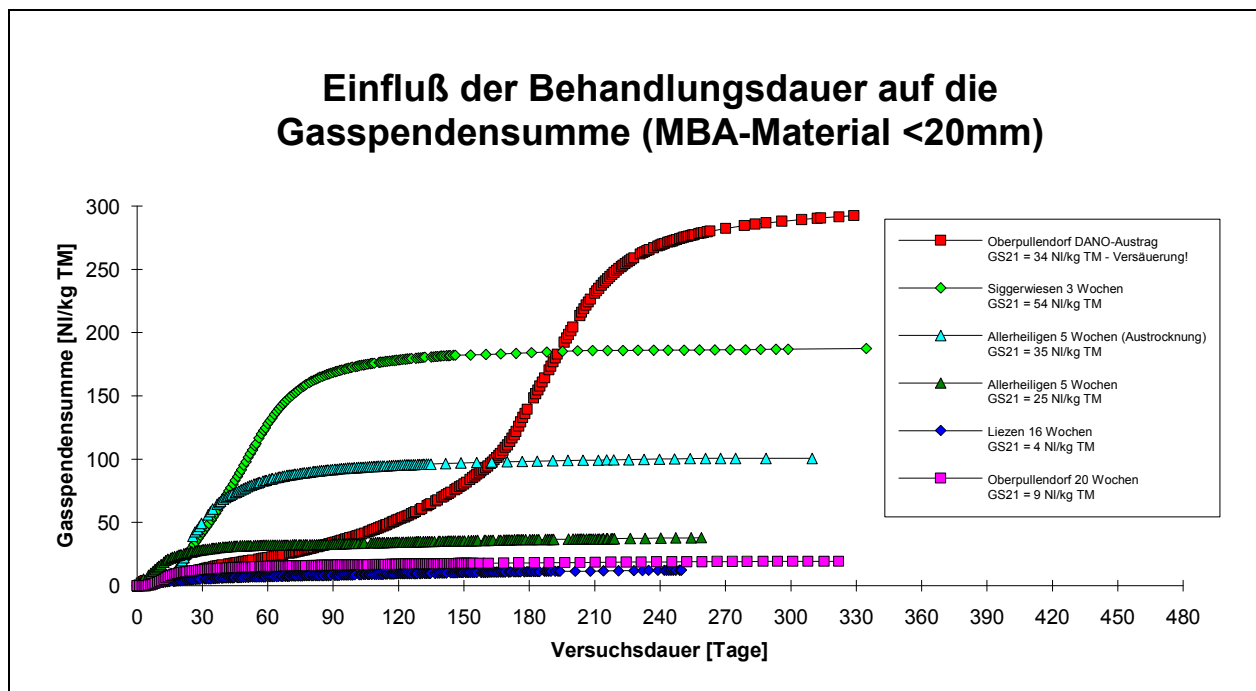


Abbildung 2 Gasspendensumme (Ni/kg TM) von MBA-Material nach unterschiedlicher Dauer der biologischen Behandlung

2.2 Atmungsaktivität (AT₄)

Die Atmungsaktivität (Ö-NORM S2027-1) wird am ABF-BOKU mittels Sapromat (Versuchsanordnung siehe Abbildung 3) bestimmt. Das beim Abbau organischer Substanz gebildete CO₂ wird von Natronlauge absorbiert, wodurch im System Unterdruck entsteht. Die für den Ausgleich des Unterdruckes benötigte Sauerstoffmenge wird kontinuierlich aufgezeichnet.

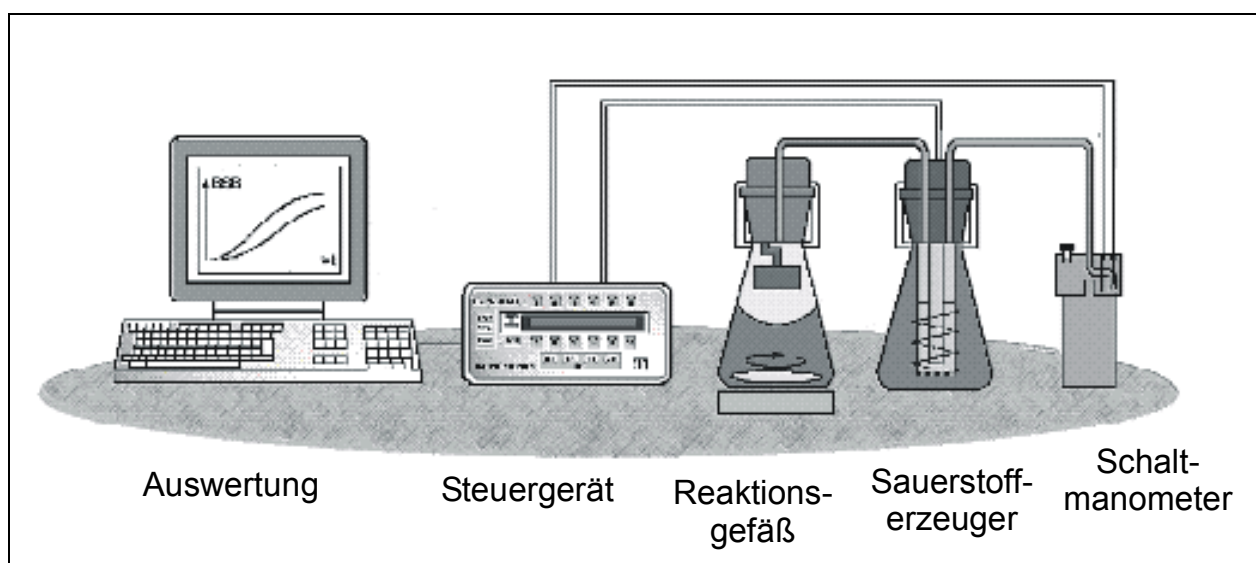


Abbildung 3 Versuchsanordnung (Sapromat) zur Bestimmung der Atmungsaktivität

Abbildung 4 zeigt den Einfluß der Dauer der biologischen Behandlung auf die Atmungsaktivität. Im Regelfall zeigt sich ein linearer Verlauf des Sauerstoffverbrauches über 7 bis 10 Tage. In einem Forschungsprojekt (BINNER et al., 1999) und vielen weiteren Untersuchungen wurden am ABF-BOKU bisher 86 MBA-Materialien hinsichtlich ihrer Reaktivität analysiert.

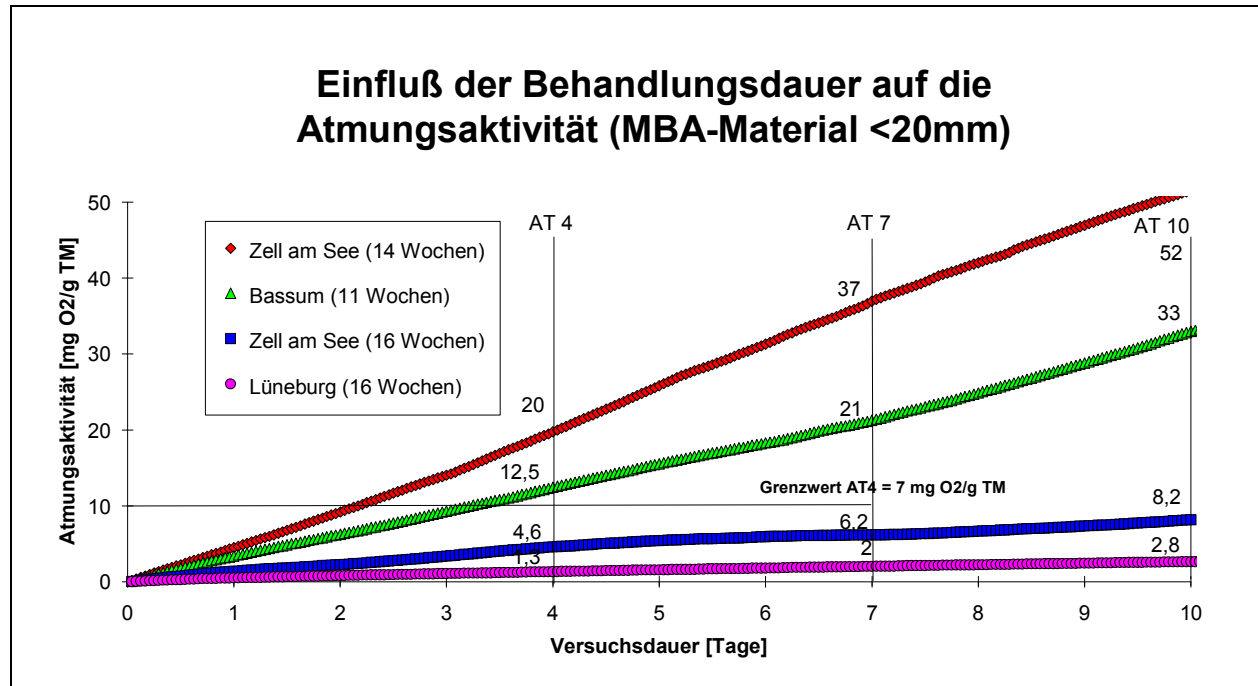


Abbildung 4 Atmungsaktivität ($\text{mg O}_2/\text{g TM}$) von MBA-Material nach unterschiedlicher Dauer der biologischen Behandlung

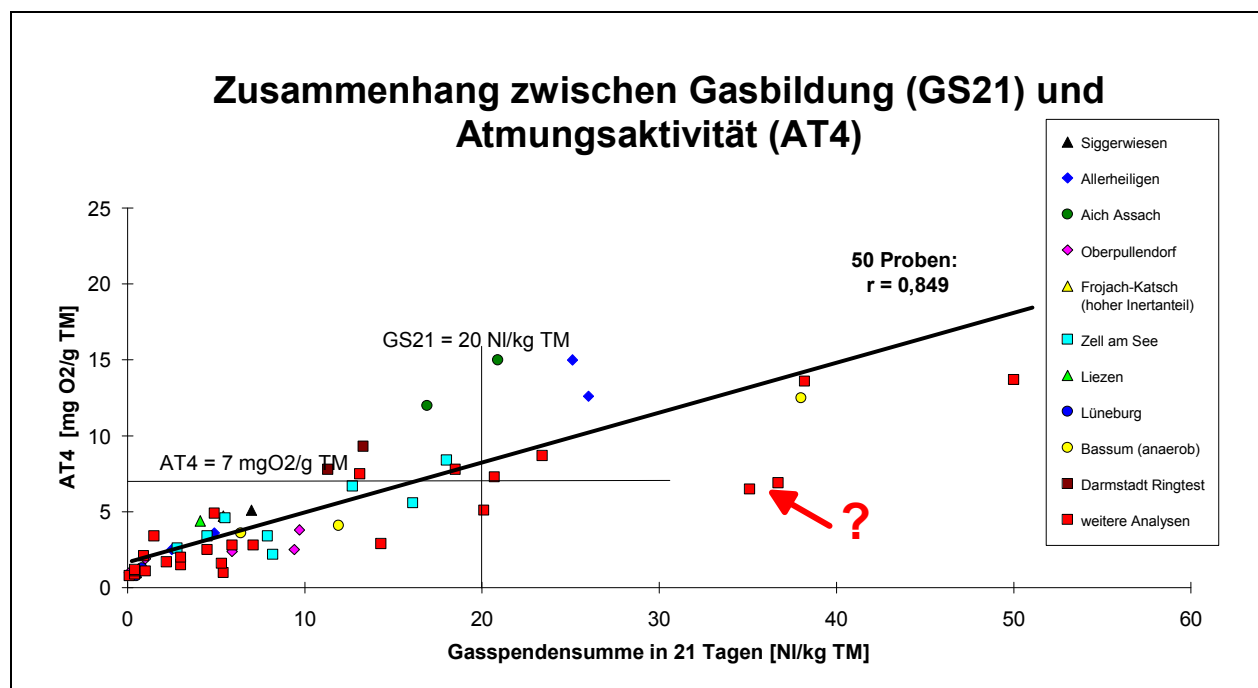


Abbildung 5 Korrelation zwischen Atmungsaktivität (AT_4) und Gasspendensumme (GS_{21}) von MBA-Material mit geringer bis mittlerer Reaktivität

Die statistische Auswertung zeigt eine ausgezeichnete Korrelation (Abbildung 5) zwischen GS_{21} und AT_4 . Für 50 Proben mit geringer bis mittlerer Reaktivität ($GS_{21} < 50$ NI/kg TM) ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,849$. Unter den zahlreichen Proben liegen jedoch einige Wertepaare weitab der Korrelationsgeraden (siehe Pfeil in Abbildung 5).

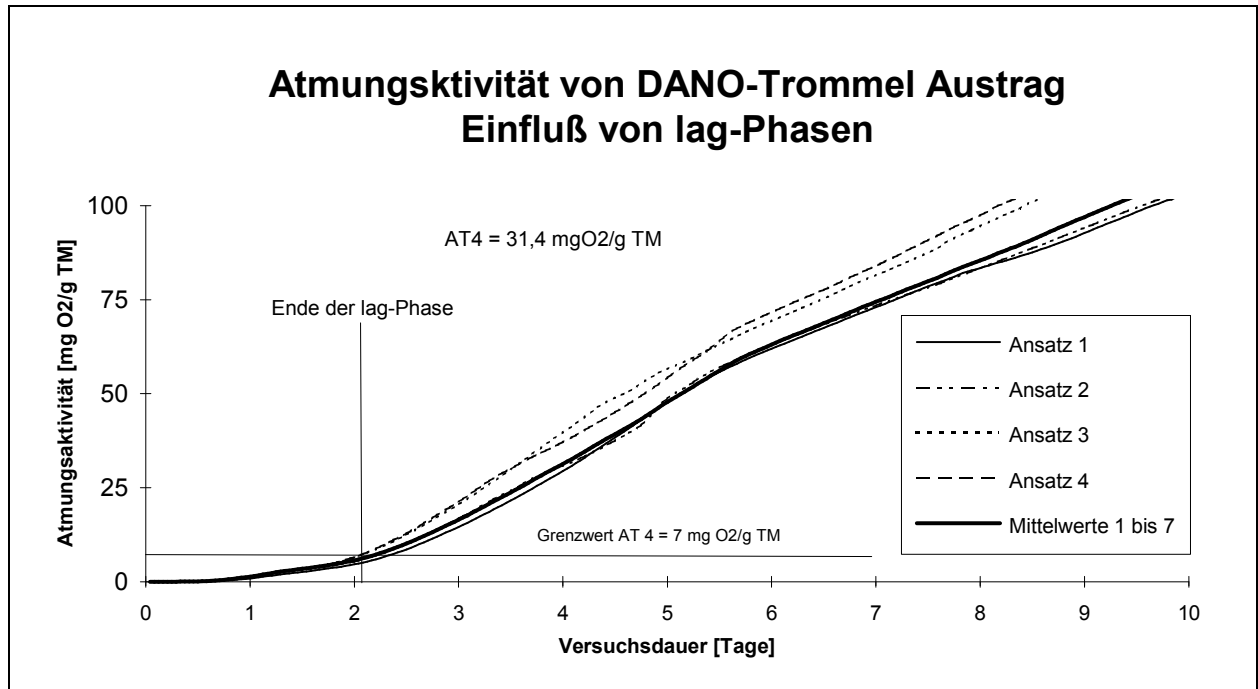


Abbildung 6 Einfluß einer lag-Phase auf das Meßergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung von reaktivem MBA-Material

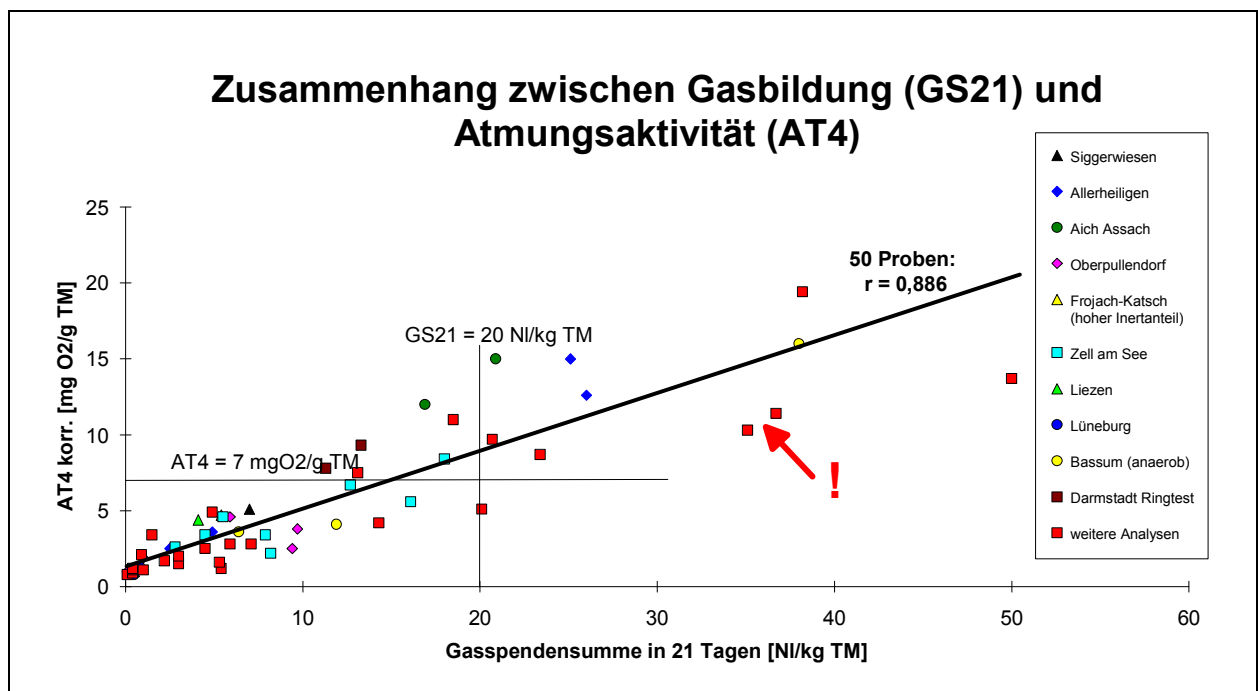


Abbildung 7 Korrelation zwischen Atmungsaktivität (AT_4) und Gasspendensumme (GS_{21}) von MBA-Material mit geringer bis mittlerer Reaktivität nach Korrektur der lag-Phasen

Von reaktiven Materialien ist bekannt, daß zu Versuchsbeginn lag-Phasen auftreten können (Abbildung 6). Daher wurden in einem 2. Auswerteschritt alle Atmungsaktivitätswerte einer "Korrektur der lag-Phasen" unterzogen. Abbildung 7 zeigt die Korrelation zwischen GS_{21} und AT_4 nach Korrektur von etwaigen lag-Phasen (der Korrelationskoeffizient steigt auf $r = 0,886$). Ein Vergleich mit Abbildung 5 zeigt deutlich, daß bei der Bestimmung der Atmungsaktivität - bedingt durch lag-Phasen - Minderbefunde auftreten können. Dies wurde in den Analysenvorschriften berücksichtigt, indem derartige Phasen rechnerisch zu kompensieren sind.

3 Ursachen für Fehlinterpretationen

3.1 Minderbefunde bei der Bestimmung der Atmungsaktivität

Daß trotz der sehr detaillierten Analysenvorschriften Minderbefunde nicht ausgeschlossen werden können zeigt Abbildung 8. Die gepunktete Kurve zeigt den Verlauf der Atmungsaktivität eines 15 Wochen auf einer drückend belüfteten Rotteplatte ("Wendelinanlage") behandelten Restmülls. Wie bei dieser Behandlungsdauer zu erwarten, wird der Grenzwert der Deponieverordnung eingehalten ($AT_4 = 5,4 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$). Eine lag-Phase ist bis zum 4. Versuchstag nicht ersichtlich; im Routinebetrieb wäre daher der Versuch nach 4 Tagen beendet worden. Im parallel durchgeführten Inkubationsversuch wird jedoch der Grenzwert für die Gasbildung deutlich überschritten; die Gasbildung beträgt $GS_{21} = 35 \text{ NI/kg TM}$.

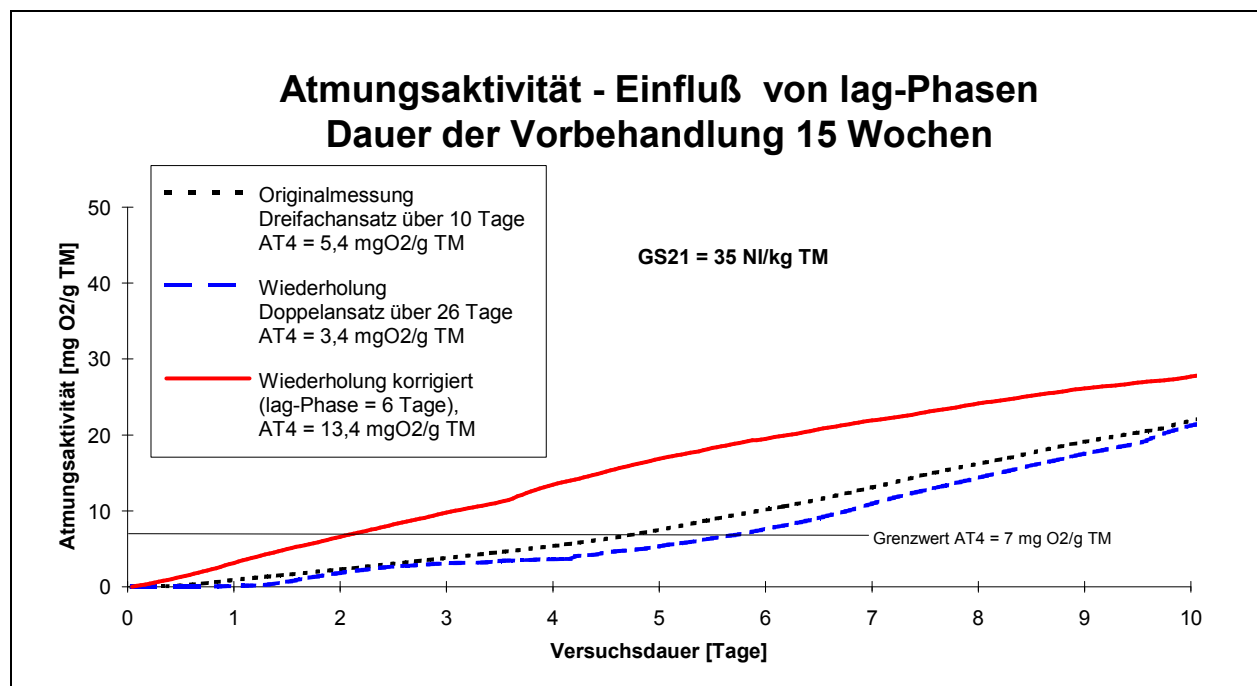


Abbildung 8 Einfluß einer lag-Phase auf das Meßergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung von MBA-Material (Behandlungsdauer 15 Wochen)

Die Darstellung des Atmungsaktivitätsverlaufes über 10 Tage läßt einen Anstieg der Reaktivität mit zunehmender Versuchsdauer vermuten (Abbildung 8). Aus diesem Grund wurde ein weiterer Doppelansatz (mit einer durch Tiefkühlen konservierten Probe) gestartet. Die strichlierte Kurve zeigt einen zur ersten Analyse ähnlichen Verlauf. Die Verlängerung der Versuchsdauer auf insgesamt 26 Tage zeigt, daß die Reaktivität ab dem 6. Versuchstag zunimmt. Bei rechnerischer Kompensation einer Adaptionsphase von 6 Tagen (siehe volle Kurve) ergibt sich ein wesentlich höherer AT_4 -Wert ($AT_4 = 13,4 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$).

Nachforschungen in der betreffenden MBA-Anlage ergaben, daß während der biologischen Behandlung des Restmülls längere Zeitabschnitte mit Sauerstoffunterversorgung aufgetreten waren. Diese Milieubedingungen haben neben einer Stagnation des Abbaues offenbar auch zu einer Schädigung (Hemmung) der Mikroorganismen geführt, wodurch eine sehr lange "lag-Phase" hervorgerufen wurde.

Aber nicht nur Adaptionsphasen können zu Minderbefunden führen. Auch bei der Untersuchung eines 20 Wochen vorbehandelten Restmülls wurde eine Abweichung der Atmungsaktivität vom erwarteten Ergebnis festgestellt (Abbildung 9). Die gepunktete Kurve zeigt den Verlauf der Atmungsaktivität der Originalprobe ($AT_4 = 5,8 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$). Über die Versuchsdauer von 11 Tagen ergab sich kein Hinweis auf Vorliegen einer lag-Phase.

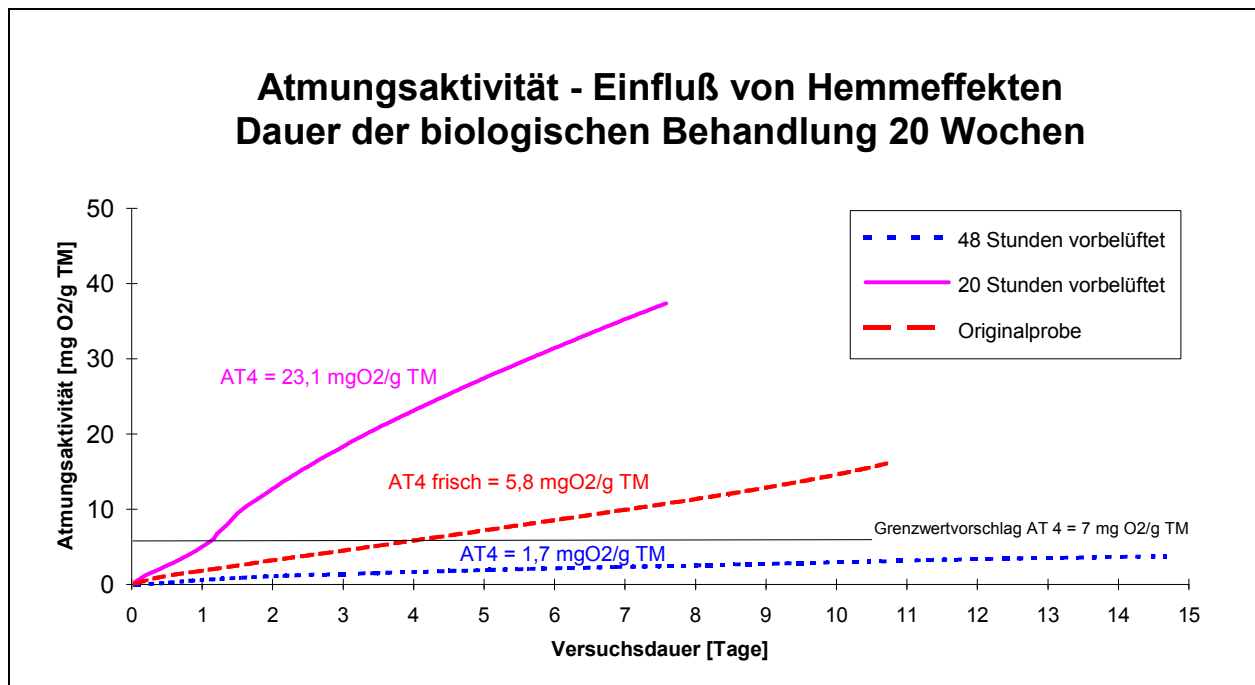


Abbildung 9 Einfluß einer Probenvorbelüftung auf das Meßergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung eines durch Hemmeffekte gestörten MBA-Materials (Behandlungsdauer 20 Wochen)

Aus den Untersuchungen von WIDERIN (1996) ist bekannt, daß ein im Zuge der Probenaufbereitung durchgeführtes Trocknen zu deutlichen Minderbefunden führt. Da das im Labor eingelangte Material relativ trocken war (WG = 26 %), wurde eine Trockenstabilisierung des Materials während der Behandlung vermutet. Um die Lebensbedingungen für aerobe Mikroorganismen zu verbessern, wurde das Material auf einen günstigen Wassergehalt befeuchtet, in eine Aluminiumtasse gefüllt und durch Stehenlassen an der Raumluft über einen Zeitraum von 20 Stunden "vorbelüftet" (bei Bedarf wurde das Material zwischendurch nachbefeuchtet). Die derart vorbelüftete Probe (volle Kurve) zeigt eine gegenüber der Originalprobe deutlich gesteigerte Atmungsaktivität ($AT_4 = 23,1 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$). Ein erneutes Austrocknen bei einer Vorbelüftungsdauer von 48 Stunden (punktierter Kurve) führt (trotz Wiederbefeuchtens vor dem Versuchsstart) erwartungsgemäß zu noch geringerer Atmungsaktivität ($AT_4 = 1,7 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$) als bei der Originalprobe.

Zur Abschätzung des Einflusses der Vorbelüftung auf die Sauerstoffverbrauchsrate im Sapromat wurden weitere Analysen durchgeführt. Vergleichend wurde kurz behandelte Restmüll (3 Wochen belüftete Rotteplatte) und ausreichend stabilisierter Restmüll (13 Wochen Behandlungsdauer in der selben Anlage) getestet. Als Dauer der Vorbelüftung wurden 2 bis 24 Stunden gewählt.

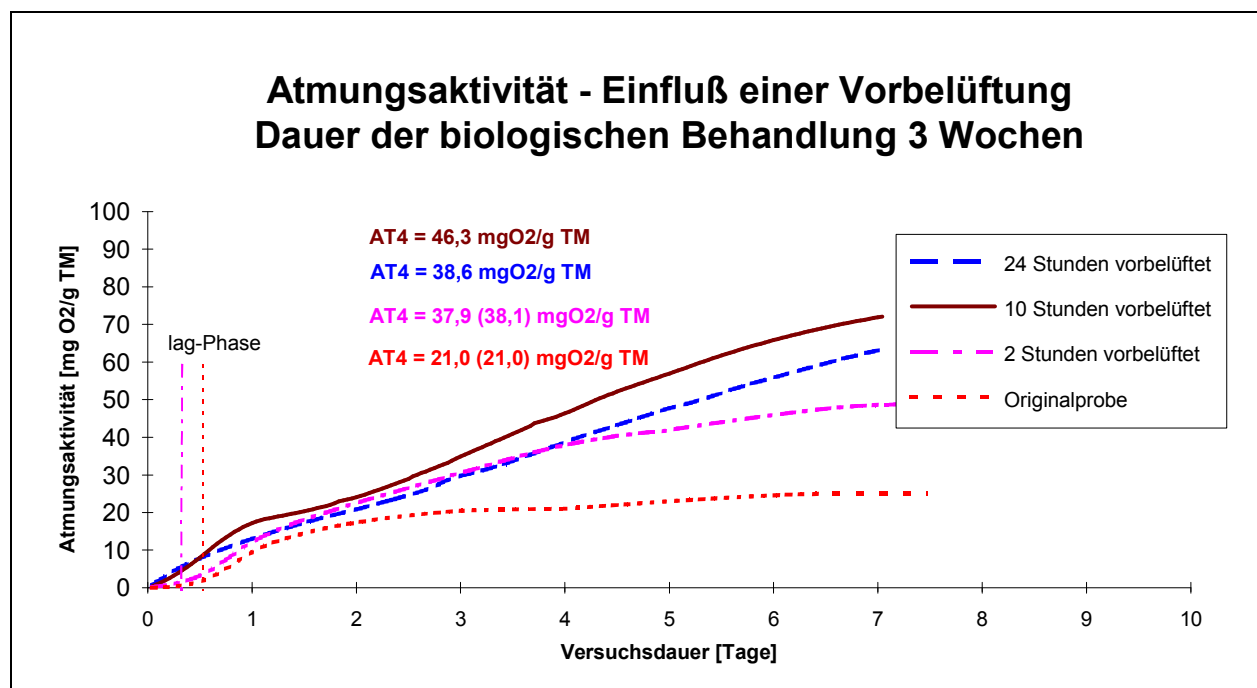


Abbildung 10 Einfluß einer Probenvorbelüftung auf das Meßergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung eines durch Hemmeffekte gestörten MBA-Materials (Behandlungsdauer 3 Wochen)

Während die Vorbelüftung beim kurz behandelten Material großen Einfluß auf die Atmungsaktivität hat (Abbildung 10), zeigt sich beim stabilen Material kein positiver, aber

auch kein negativer Einfluß (Abbildung 11). Beim kurz behandelten Material zeigen bereits 2 Stunden Vorbelüftungsdauer (strichpunktierte Kurve) einen Anstieg der Atmungsaktivität von $AT_4 = 21 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ (Originalprobe = punktierte Kurve) auf $AT_4 = 38 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$.

Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, daß ein rechnerisches Kompensieren der lag-Phasen bei beiden Ansätzen keine Veränderung des AT_4 -Wertes bewirkt (die Klammerwerte in Abbildung 10 sind jene ohne Kompensieren der lag-Phase). Grund dafür ist, daß die Aktivität bereits nach 4 Tagen stark abnimmt. Als Ursache für die Abnahme der Aktivität wird eine Hemmung der Mikroorganismen durch Stoffwechselprodukte vermutet (siehe dazu auch Ausführungen zu Abbildung 12). Durch Anheben der Vorbelüftungsdauer auf 10 Stunden (volle Kurve) werden lag-Phasen vermieden bzw. der Rückgang der Aktivität zumindest auf einen Zeitpunkt größer 7 Tage verschoben. Daß ein Vorbelüften über 10 Stunden keine Verfälschung der Analyseergebnisse (Minderbefunde) bewirkt, ist an dem 13 Wochen biologisch behandelten Material zu sehen (Abbildung 11). Die Originalprobe (punktierte Kurve) zeigt keinerlei Hemmeffekte. Die Vorbelüftung verringert die Atmungsaktivität nicht (bei 24 Stunden Vorbelüftung - siehe strichlierte Kurve - sind leichte Tendenzen zu einer Verringerung der Aktivität zu sehen). Eine Vorbelüftung sollte daher nicht länger als 8 bis 10 Stunden dauern. Ein Austrocknen des Materials während der Vorbelüftung ist unbedingt zu verhindern.

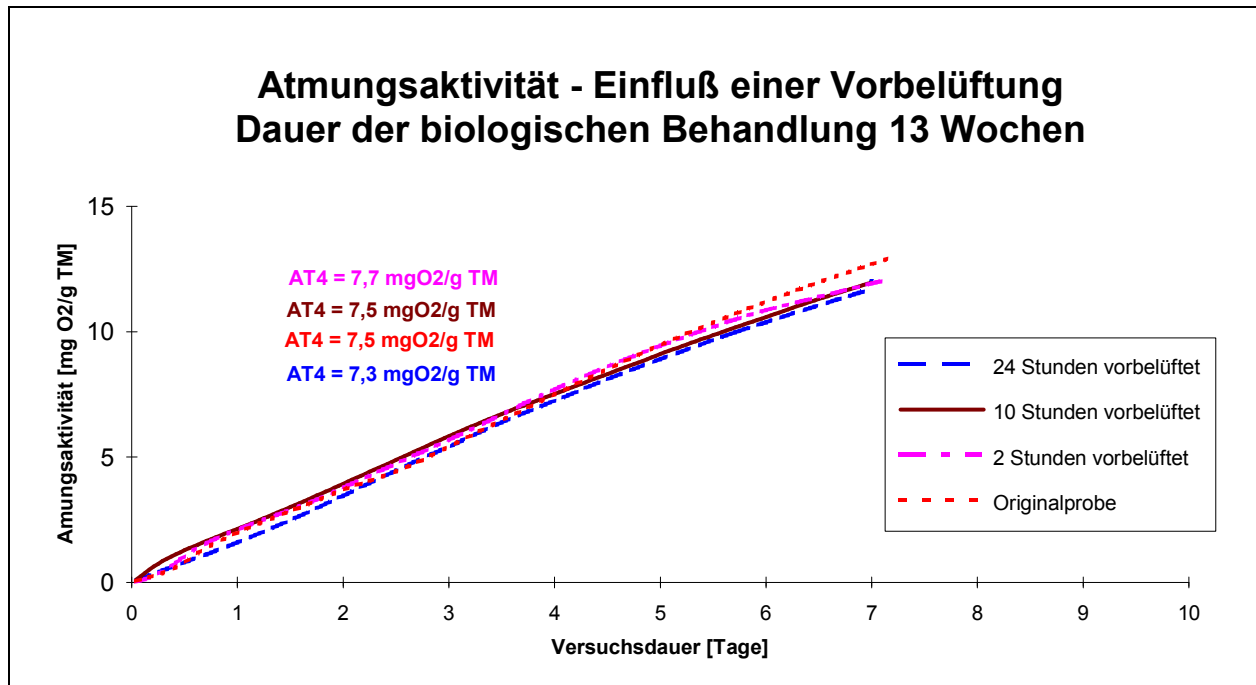


Abbildung 11 Einfluß einer Probenvorbelüftung auf das Meßergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung eines nicht durch Hemmeffekte gestörten MBA-Materials (Behandlungsdauer 13 Wochen)

Abbildung 12 zeigt den Verlauf der Atmungsaktivität eines Inputmaterials in eine Bioabfallkompostierungsanlage. Nach 2 Tagen Versuchsdauer kommt der aerobe Abbau im Probengefäß zum Erliegen. Da ein Sauerstoffbedarf über der maximalen Nachlieferungsrate des Sapromat ausgeschlossen werden konnte, wurde auf ungünstige Milieubedingungen im Untersuchungsmaterial geschlossen. Aus diesem Grund wurde das Reaktionsgefäß geöffnet und 10 Minuten mittels Druckbelüftung gespült. Mit dem Luftstrom wurden die als Ursache der Hemmung vermuteten Stoffwechselprodukte ausgetrieben. Nach dem Wiederverschließen stieg die Atmungsaktivität für ca. 14 Stunden stark an. Dann war offensichtlich wieder eine zu hohe Konzentration an Stoffwechselprodukten erreicht, die durch neuerliche Druckbelüftung beseitigt werden mußte.

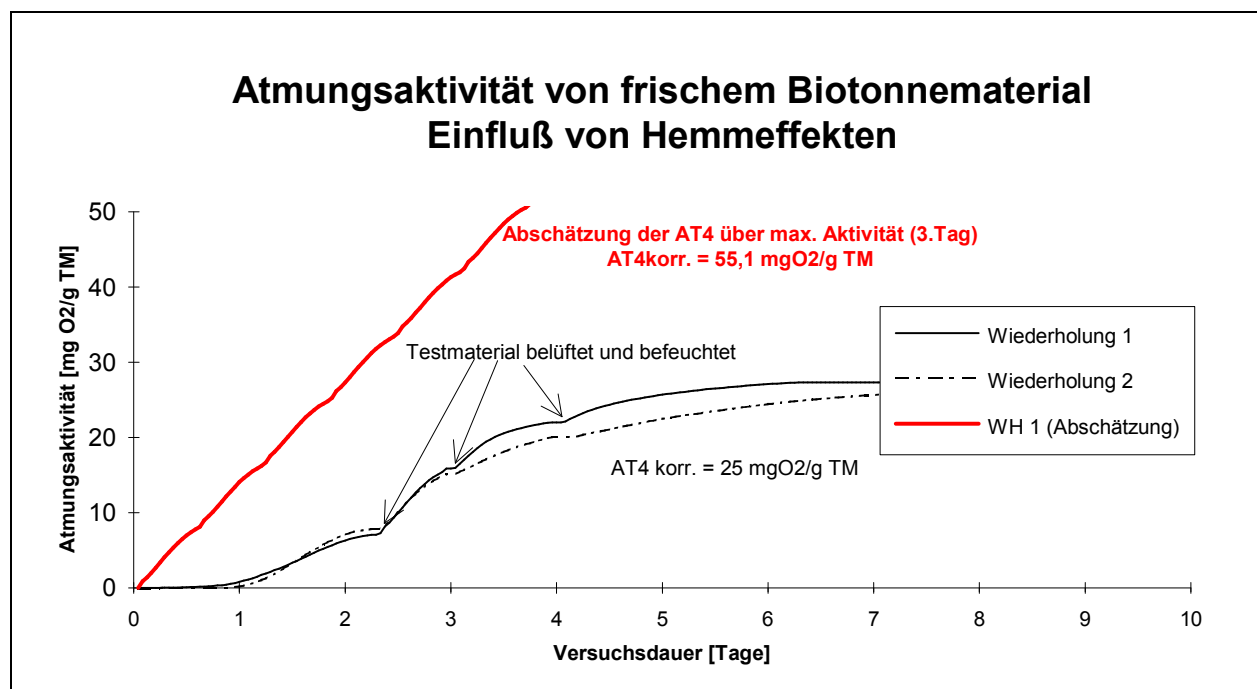


Abbildung 12 Einfluß ungünstiger Milieubedingungen auf das Meßergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung von frischem Bioabfall

Ungünstige Milieubedingungen bzw. toxische Effekte können durch Zugabe leicht verfügbarer organischer Substanz (z.B.: Glukose) nachgewiesen werden (Abbildung 13). Im Rahmen eines Projektes wurde der Effekt einer aerober Nachbehandlung auf die Reaktivität von Faulschlamm untersucht. Dazu wurde ausgefauter Klärschlamm im Labor 5 Tage aerob nachbehandelt. Unerwartet zeigt der aerob nachbehandelte Schlamm gesteigerte Reaktivität. Daher wurde bei beiden Varianten kurz vor Versuchsende Glukose zugesetzt. Während dies beim anaerob behandelten Schlamm (volle Kurve) keine Wirkung zeigt, steigt beim 5 Tage aerob nachbehandelten Schlamm (gestrichelte Kurve) die Aktivität an. Daraus ist zu schließen, daß durch die intensive Belüftung offensichtlich die Ursache der Hemmung beseitigt werden konnte.

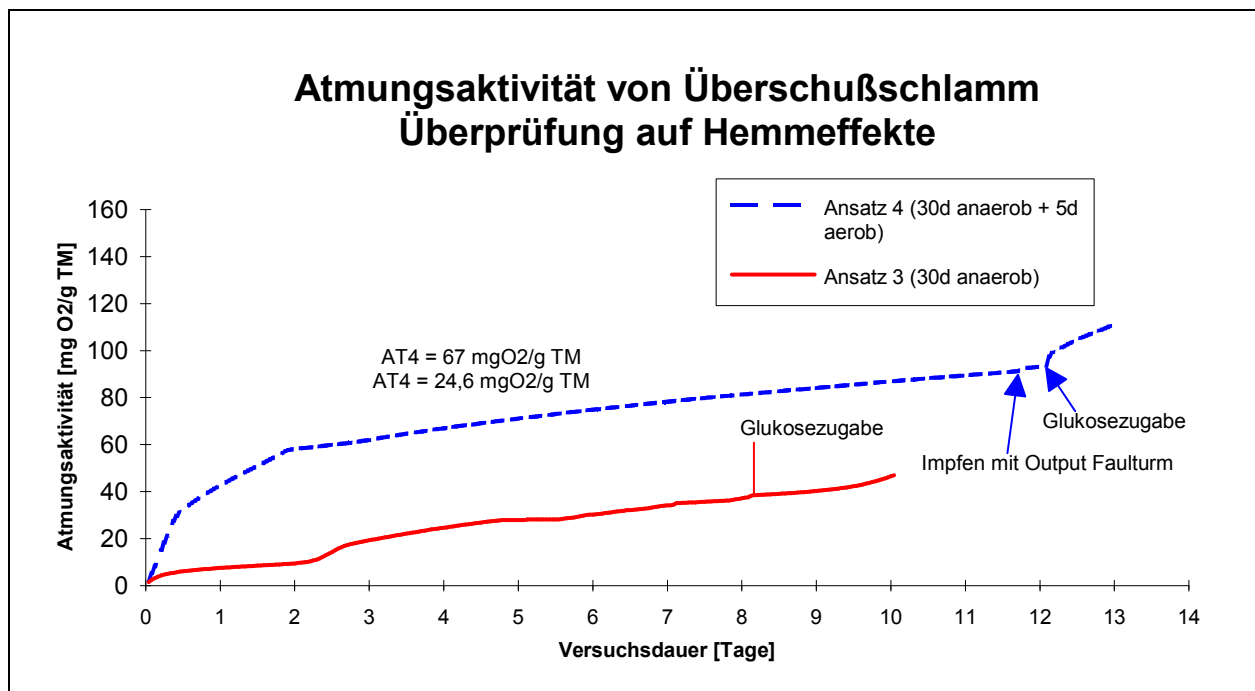


Abbildung 13 Einfluß hemmender bzw. toxischer Effekte auf das Meßergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung von anaerob bzw. anaerob/aerob behandeltem Überschußschlamm (Nachweis durch die Zugabe von Glukose)

3.2 Mehrbefunde bei der Bestimmung der Atmungsaktivität

Daß bei der Atmungsaktivitätsbestimmung mittels Sapromat auch Mehrbefunde möglich sind zeigt das folgende Beispiel. Alle biologischen bzw. chemischen Vorgänge die Unterdruck erzeugen (z.B.: Oxidation von Natriumsulfit) oder CO₂ freisetzen, werden vom beim Sapromat verwendeten Meßprinzip als Sauerstoffverbrauch interpretiert. Interessiert alleine der durch Abbau von Kohlenstoff verbrauchte Sauerstoff, müssen derartige Effekte erkannt bzw. ausgeschaltet werden.

Die strichpunktierte Kurve in Abbildung 14 zeigt den Verlauf der Atmungsaktivität eines kommunalen Überschußschlammes, der in Labortests alternierend aerob/anaerob behandelt wurde. Die Tests erfolgten im Flüssigmilieu unter ständigem Rühren. Die Atmungsaktivitätswerte ($AT_4 = 27,4 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$) überstiegen den an Hand der Gasspendensumme erwarteten Wert. In der Abwassertechnik ist es üblich, durch Zugabe von Alithioharnstoff (ATH) Nitrifikations- bzw. Denitirifikationsvorgänge auszuschalten. Diese Vorgangswiese führt bei der gegenständlichen Untersuchung zu einer deutlichen Verringerung der Atmungsaktivität (volle Kurve in Abbildung 14).

Eine Möglichkeit die durch chemische Reaktionen verursachte Unterdruckbildung zu erkennen, ist das "Vergiften" des Probenmaterials. Der nach dem Vergiften gemessene Sauerstoffverbrauch resultiert aus chemischen Prozessen und muß vom Gesamtverbrauch abgezogen werden. Am Beispiel einer Altlastenprobe (Schlamm einer Pa-

piefabrik nach 10 Jahren Ablagerung in einer Deponie) wird dies in Abbildung 15 verdeutlicht. Der durch chemische Vorgänge hervorgerufene Anteil ist zwar im gegenständlichen Fall nicht groß, darf aber bei unbekanntenen Proben als mögliche Ursache erhöhter Atmungsaktivität nicht außer acht gelassen werden.

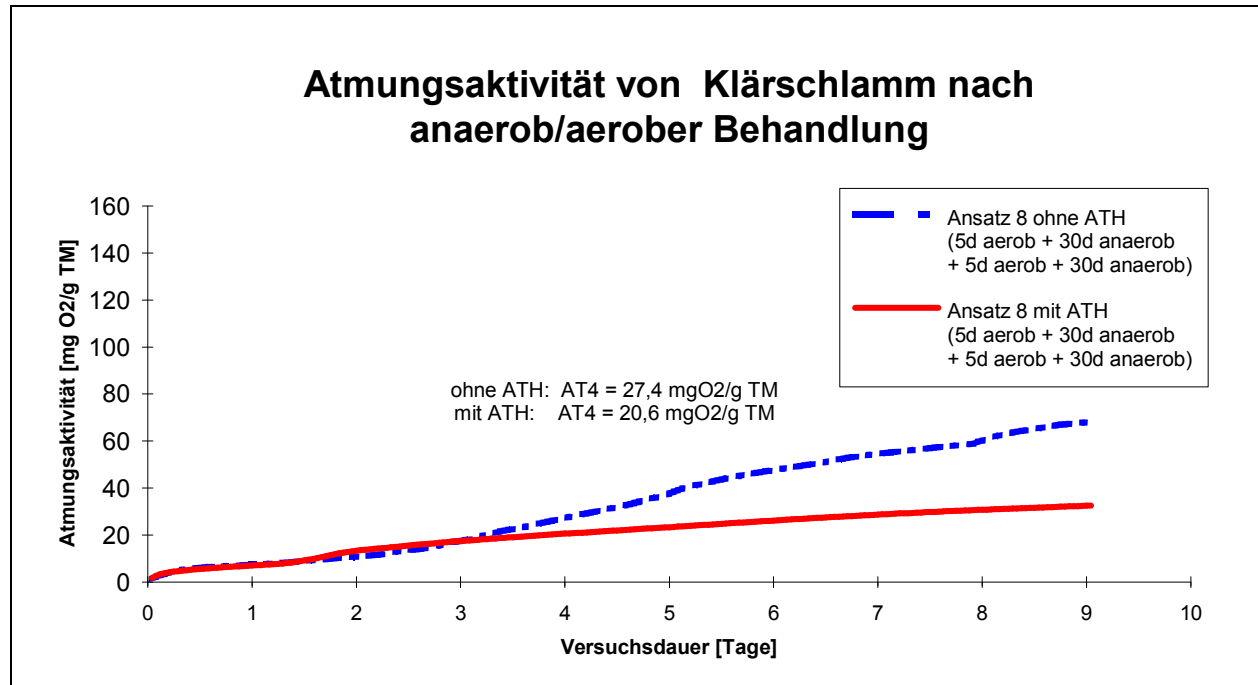


Abbildung 14 Einfluß von Vorgängen der Nitrifikation/Denitrifikation auf das Meßergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung von anaerob/aerob behandeltem Klärschlamm (Nachweis durch die Zugabe von ATH)

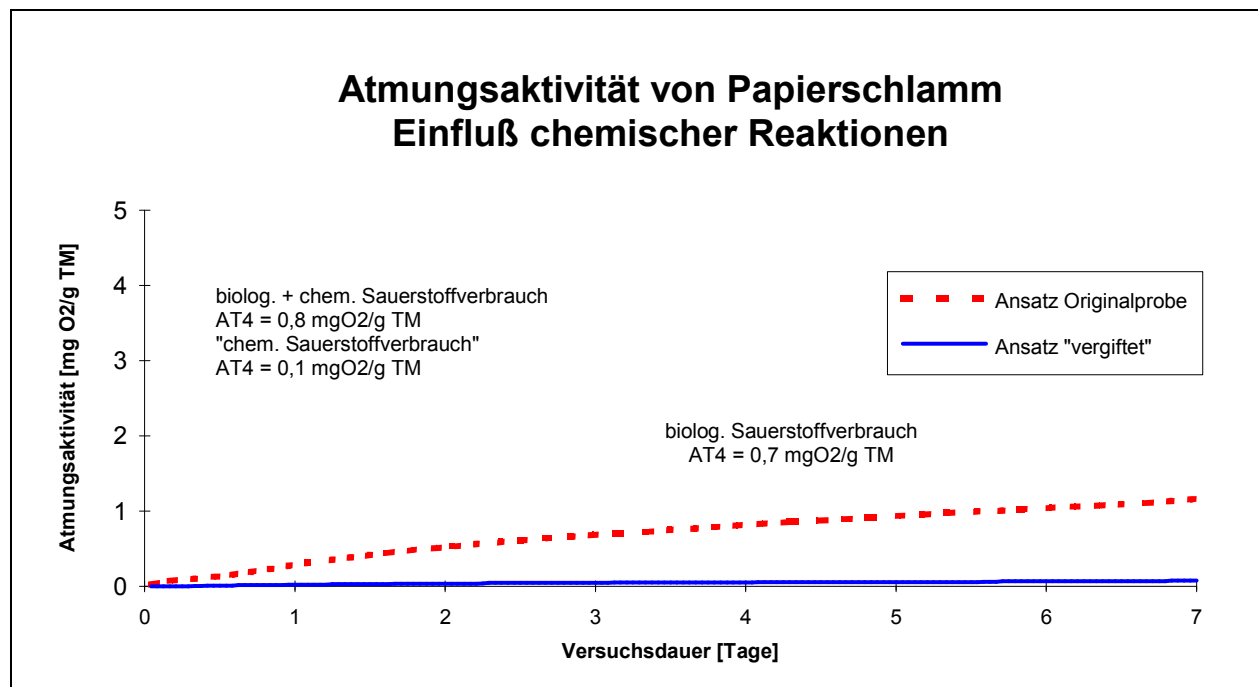


Abbildung 15 Einfluß einer durch chemische Reaktionen verursachten Unterdruckbildung auf das Meßergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung von 10 Jahre abgelagertem Papierschlamm (Nachweis durch "Vergiften")

4 Zusammenfassung

In Deutschland und Österreich ist die Deponierung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen ähnlich geregelt. Wesentlichster Unterschied ist, daß in Deutschland der Anlagenbetreiber zum Nachweis der biologischen Stabilität Atmungsaktivität oder Gasbildung untersuchen lassen darf, während in Österreich beide Parameter zu bestimmen sind. Das der nach österreichischer Gesetzeslage vorgeschriebene Mehraufwand durchaus sinnvoll ist, zeigen Untersuchungen bei denen die Atmungsaktivitätsbestimmung Minderbefunde lieferte.

Bei ausreichend stabilisiertem Restmüll treten in der Regel keine Minderbefunde auf. Bei Mängeln im Verlauf der biologischer Behandlung – z.B. Austrocknen des Materials durch zu intensive Belüftung, mangelhafte Sauerstoffversorgung – können lag-Phasen oder Hemmeffekte gravierende Minderbefunde hervorrufen. Da eventuell auftretende Mängel während der Behandlung dem Analytiker nicht bekannt sind, müssen bei "unbekannten" Materialien aerober und anaerober Test parallel durchgeführt werden. Durch geeignete Probenaufbereitung (Vorbelüften des Untersuchungsmaterials) können derartige Effekte zwar vermindert, aber nicht 100%ig ausgeschlossen werden.

Bei reaktiven Materialien verfälschen manchmal lag-Phasen oder "Selbsthemmung" das Meßergebnis. Durch Zugabe von leicht verfügbarem Kohlenstoff (z.B. Glukose) können Hemmeffekte erkannt, durch Intensivbelüftung des Probenmaterials sogar vermindert werden. Die sich nach Intensivbelüftung ergebenden Meßergebnisse erlauben jedoch nur eine grobe Abschätzung der Reaktivität.

In einigen Fällen – solche wurden allerdings bei MBA-Material bisher noch nicht nachgewiesen – wurden auch Mehrbefunde festgestellt. Das Meßprinzip des Sapromat interpretiert Unterdruck als Sauerstoffverbrauch. Auch ein durch chemische Reaktionen bzw. Nitrifikation/Denitrifikation verursachter Unterdruck wird daher als Sauerstoffverbrauch ausgewiesen. Durch Zugabe von Alithioharnstoff (ATH) bzw. Gift (Natriumacid) konnten derartige Effekte bei der Untersuchung von Klärschlämmen und Altlastenmaterialien erkannt bzw. rechnerisch kompensiert werden.

5 Literatur

- | | | |
|-----------------------------------|------|---|
| BGBl. Nr. 164/96
Novelle 2004 | 1996 | Verordnung des Bundesministeriums für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung) |
| Binner, E.; Zach, A.; Lechner, P. | 1999 | Stabilitätskriterien zur Charakterisierung der Endprodukte aus MBA-Anlagen, Forschungsprojekt am ABF-BOKU im Auftrag des BMLFUW |

- | | | |
|---|------|--|
| Ö-NORM S2027-2. | 2004 | Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Teil 2: Gas-spendensumme im Inkubationstest (GS ₂₁), Schuß-entwurf der VORNORM |
| Ö-NORM S2027-3. | 2004 | Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Teil 3: Gasbil-dung im Gärttest (GB ₂₁), Schußentw. der VORNORM |
| IGW Ingenieurgesellschaft
Witzenhausen | 2004 | Ringversuch für die Stabilitätsparameter zur Beur-teilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Endbericht an das Bundesminist. für Land-und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft |
| DIN 38414-8 | 1985 | Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser-und Schlammuntersuchung – Schlamm und Sedi-mente (Gruppe S) – Bestimmung des Faulverhaltens (S8), Beuth Verlag GmbH, Berlin |
| Ö-NORM S2027-1. | 2004 | Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Teil 1: Atmungs-aktivität (AT ₄), Schußentwurf der VORNORM |
| Widerin, M. | 1996 | Ergebnisse von Atmungsaktivitätsmessungen mittels Sapromat, in: Methoden zur Charakterisierung der biochemischen Stabilität von organischer Substanz, Waste Reports No4, S34-43, Hrsg. P. Lechner |
| Kühle-Weidemeier, M.;
Andere, V. | 2004 | Abfallforschungstage 2004. Auf dem Weg in eine nachhaltige Abfallwirtschaft. Cuvillier Verlag, Göt-tingen, ISBN ABC-123. |

Anschrift des Verfassers

Dipl.Ing. Erwin Binner
Universität für Bodenkultur Wien,
Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt,
Institut für Abfallwirtschaft
Muthgasse 107
A 1190 Wien
Telefon ++431 / 318 99 00 - 315
Email: erwin.binner@boku.ac.at
Website: www.boku.ac.at/abf