



LAND
BRANDENBURG

Ministerium für Ländliche
Entwicklung, Umwelt und
Landwirtschaft

Luft



Fachbeiträge des LUGV

Heft Nr. 148

**Empfehlungen
zur Limitierung klimarelevanter
Emission aus der offenen
Mietenkompostierung**

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

Empfehlungen zur Limitierung klimarelevanter Emission aus der offenen Mietenkompostierung



Herausgeber:

Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg

Seeburger Chaussee 2

OT Groß Glienicke

14476 Potsdam

Tel.: 033201 - 442 171

Fax: 033201 - 43678

infoline@lugv.brandenburg.de

Internet: **<http://www.lugv.brandenburg.de>**

Potsdam, April 2015

Die Veröffentlichung basiert auf dem vom LUGV beauftragten Thema an Dr. Reinhold & Kollegen Potsdam (Werkvertrag-Nr.: S3-VG13-034) über „Erarbeitung eines Leitfadens zur Vermeidung klimarelevanter Emissionen aus offenen Mietenkompostierung.“

Bearbeiter/innen,

Einrichtung Dr. Reinhold & Kollegen Potsdam, Abschlussbericht Dezember 2013

Endredaktion und fachlicher Ansprechpartner:

LUGV, Referat T 1

Dr. Thomas Schmiedel

thomas.schmiedel@lugv.brandenburg.de

Inhalt

	Seite
1. Einleitende Bemerkungen	3
2. Emissionsrelevante Forschungsergebnisse im Land Brandenburg	4
3. Einordnung der brandenburgischen Forschungsleistungen in die Gesamtbewertung von Bioabfallverwertungen	7
4. Empfehlungen für eine emissionsarme Rotteprozessgestaltung in Bioabfallkompostierungsanlagen mit offener Mietenkompostierung	11
4.1 Lagerung und Aufbereitung von Strukturmaterial	11
4.2 Herstellung der Rottegemische und Ansetzen des Rottekörpers	12
4.3 Überwachung und Steuerung der Rotteprozesse	14
4.4 Konfektionierung und Lagerung der Verkaufsprodukte	16
Anlage 1: Definition verwendeter Begriffe	18
Anlage 2: Art und Beschaffenheit von Ausgangsstoffen	20
Anlage 3: Messung der Feuchtrohdichte	23
Anlage 4: Aufbau und Betrieb des Porengasmessgerätes	24

1. Einleitende Bemerkungen

Diese Empfehlungen orientieren auf Emissionsminderungen bei der offenen Mietenkompostierung von organischen Ausgangsstoffen. Durch die hier enthaltenen Empfehlungen werden den Kompostierungsanlagenbetreibern keine Orientierungen gegeben, die das Abfallwirtschafts- und das Düngemittelrecht direkt betreffen.

Die Treibhausgasimmissionen nehmen in den europäischen und deutschen Regelwerken und Forschungen eine wachsende Bedeutung bei der Bewertung von gewerblich betriebenen Anlagen ein, so auch bei Bioabfallbehandlungsanlagen. Im Mittelpunkt gutachterlicher Tätigkeiten zum Betrieb von Bioabfallbehandlungsanlagen stand in den zurückliegenden Jahren (etwa seit 2006) die Bestandsaufnahme von Emissionssituationen verschiedener Bioabfallbehandlungsverfahren. Diese Bestandsaufnahmen bildeten die Grundlage für bundesweite Übersichten zu Treibhausgasemissionen und deren weiterführende Einbeziehung in Gesamt-Treibhausgasbilanzen verschiedener Verfahren der Bioabfallverwertung sowie in ganzheitliche Ökobilanzierungen bzw. Ökoeffizienzanalysen der Bioabfallverwertung. Hinweise zu den Ursachen und zu Limitierungsmöglichkeiten von Klimagasemissionen ließen sich in diesem Zusammenhang nur in beschränktem Maße ableiten – es ergaben sich jedoch wesentliche Aussagen zu Handlungsmöglichkeiten und zu Aufgabenstellungen für Reduzierungen von Treibhausgasemissionen.

Die Bioabfallbehandlung kann zu erheblichen Emissionen führen, insbesondere bei Gerüchen und Klimagasen. Die beim Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen zu berücksichtigenden allgemeinen Zusammenhänge und möglichen Vermeidungspotenziale klimarelevanter Gase wurden von der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. in einer Studie veröffentlicht. Diese Schrift ist eine wichtige Grundlage für diesen Leitfaden und wird zur weiterführenden Lektüre empfohlen.

Die Ausgangssituation und der Handlungsbedarf ergeben sich aus den Ergebnissen zum UBA-Vorhaben „Ermittlung der Emissionssituation bei der Vergärung von Bioabfällen und Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen in offenen Kompostierungsanlagen“. Folgende dort enthaltene Ergebnisse sind für die offene Mietenkompostierung von besonderer Bedeutung:

- Offene Kompostierungsanlagen (KOA) sind grundsätzlich nicht schlechter als geschlossene KOA. Der Anlagenbetrieb ist entscheidend.
- Schwankungen um Faktor 10 in den Emissions-Faktoren belegen die breite Streuung, die aus Unterschieden in Technik, Betrieb und Inputmaterial resultiert.
- Die aktuelle Praxis zeigt, dass der Anlagenbetrieb bisher nicht direkt auf die Reduktion von Klimagasemissionen ausgelegt ist (indirekt ist er es über Maßnahmen zur Vermeidung von Geruchsemissionen).
- Hohe Emissionen resultieren meistens aus mangelnder fachlicher Praxis: Mangelhafte Mietengeometrie, zu wenig Strukturmaterial und zu lange Umsetzintervalle führen zu schlechter Belüftung und ungenügender Sauerstoff-Versorgung.
- Wünschenswert: Verbindliche gute fachliche Praxis mit Blick auf Klimagas-Emissionen und gegebenenfalls verbindliche technische Standards sowie immissionsschutzrechtliche Anforderungen.

Die Methanemissionen erwiesen sich dabei stets als Hauptfaktor für die Bewertung der Gesamtemission klimarelevanter Gase aus der Bioabfallbehandlung. Lachgas und Ammoniak treten dagegen in den Hintergrund und werden daher hier nur am Rande betrachtet. Beide Gase werden vor allem bei der Kompostierung stickstoffreicher Ausgangsstoffe freigesetzt und können daher insbesondere durch ein weites C:N-Verhältnis im Rottegut (möglichst über 17) hinreichend reduziert werden.

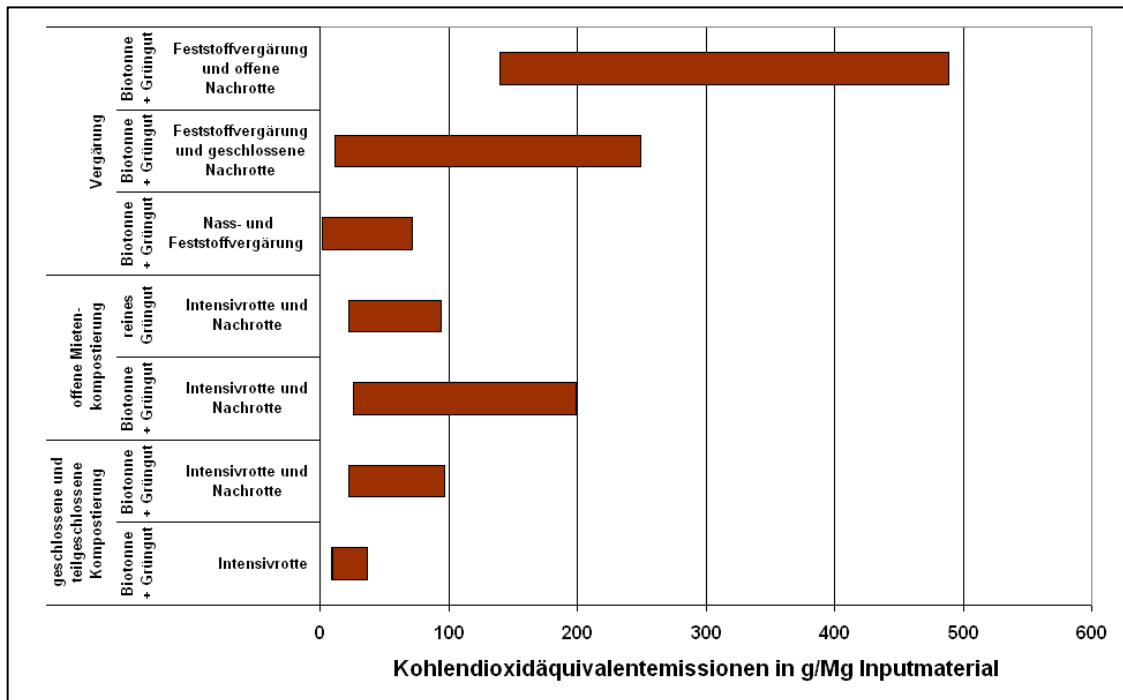


Abb. 1: **Kohlendioxidäquivalente-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von Verfahrenstypen** (vereinfacht nach Klima- contra Ressourcenschutz - Emissionen aus der Kompostierung - Quantifizierung und Reduktion 2011)

Die in diesem Leitfaden verwendeten Begriffe sind in der Anlage 1 definiert

2. Emissionsrelevante Forschungsergebnisse im Land Brandenburg

Bioabfallbehandlungsanlagen mit offener Mietenkompostierung stellen in Ostdeutschland den größten Anteil bei der hier stark vertretenen aeroben Grün- und Biogutrotte. Diese Anlagen weisen aktuell die größte Bandbreite in Emissionsgeschehen klimarelevanter Gase auf (siehe Abbildung 1). Daher werden diese Anlagen einerseits aus der Sicht des Klimaschutzes kritisch betrachtet - verfügen aber andererseits über ein besonders großes Potenzial zur Emissionsreduzierung. Ziel dieses Leitfadens ist es, eine weitgehende emissionstechnische Gleichwertigkeit der offenen Mietenkompostierung im Vergleich zu geschlossenen Anlagen anzustreben.

Das LUGV Brandenburg hat seit 2009 der Firma Dr. Reinhold & Kollegen zwei Gutachten mit dem Ziel in Auftrag gegeben, die Möglichkeiten der Minderung von Klimagasemissionen aus der offenen Mietenkompostierung aufzuzeigen (siehe Punkt 3.). Dazu wurden in Zusammenarbeit mit der Gütegemeinschaft Kompost und in Abstimmung mit den parallel

laufenden UBA-Projekten umfangreiche Untersuchungen in RAL-gütesicherten Kompostierungsanlagen durchgeführt. Auf der Grundlage des Gutachtens zum Thema: „Entwicklung und Prüfung von Feldmess- und Diagnosemethoden als Maßnahme zur Vermeidung klimarelevanter Emissionen aus der aeroben Mietenkompostierung“ (siehe Punkt 3), das im Jahr 2012 erstellt worden ist, wurde anhand von Überprüfungen der dort ermittelten Zusammenhänge in zwei Bioabfallkompostierungsanlagen dieser Leitfaden erstellt.

Um entsprechende Grundlagen für diesen Leitfaden zu schaffen, wurde in Zusammenarbeit mit Anlagenbetreibern der Gütegemeinschaft Komposte Berlin – Brandenburg - Sachsen-Anhalt e. V. ein umfangreiches Untersuchungsprogramm durchgeführt, das emissionsrelevante Untersuchungen und Bewertung sehr unterschiedlicher Rotteprozessgestaltungen erlaubt hat. Der Anlagenbetrieb und dessen emissionsrelevante Kontrolle und Bewertung durch leicht handhabbare Feldmessmethoden wurden in den Mittelpunkt dieses Vorhabens gerückt. Hier standen die Gasmessungen in der Mietenluft (O_2 , CO_2 , CH_4 , Restgas $\approx N_2$) und die Bestimmung der Feuchtrohdichte des Rottegutes im Mittelpunkt. Die Messmethode der Feuchtrohdichte sowie das Gasmessgerät und seine Handhabung sind im Rahmen der Empfehlungen für eine emissionsarme Rotteprozessgestaltung in Bioabfallbehandlungsanlagen mit offener Mietenkompostierung im LUGV-Bericht „Entwicklung und Prüfung von Feldmess- und Diagnosemethoden als Maßnahme zur Vermeidung klimarelevanter Emissionen aus der aeroben Mietenkompostierung“ zusammengestellt.

Die Methangehalte in den Kompostmieten zeigen einen sehr engen Zusammenhang mit den Restgasgehalten (Luftstickstoff), was auf deren Bedeutung für eine aerobe Rotteprozessführung hinweist (siehe Abbildung 2). Treten hohe Gehalte an Luftstickstoff im Mietengas auf, weist das auf einen entsprechend guten Zustrom von Außenluft hin. Geringe Gehalte treten dann auf, wenn die mikrobiologischen Stoffwechselprodukte CO_2 bzw. CH_4 den vorhandenen Luftstickstoff verdrängen.

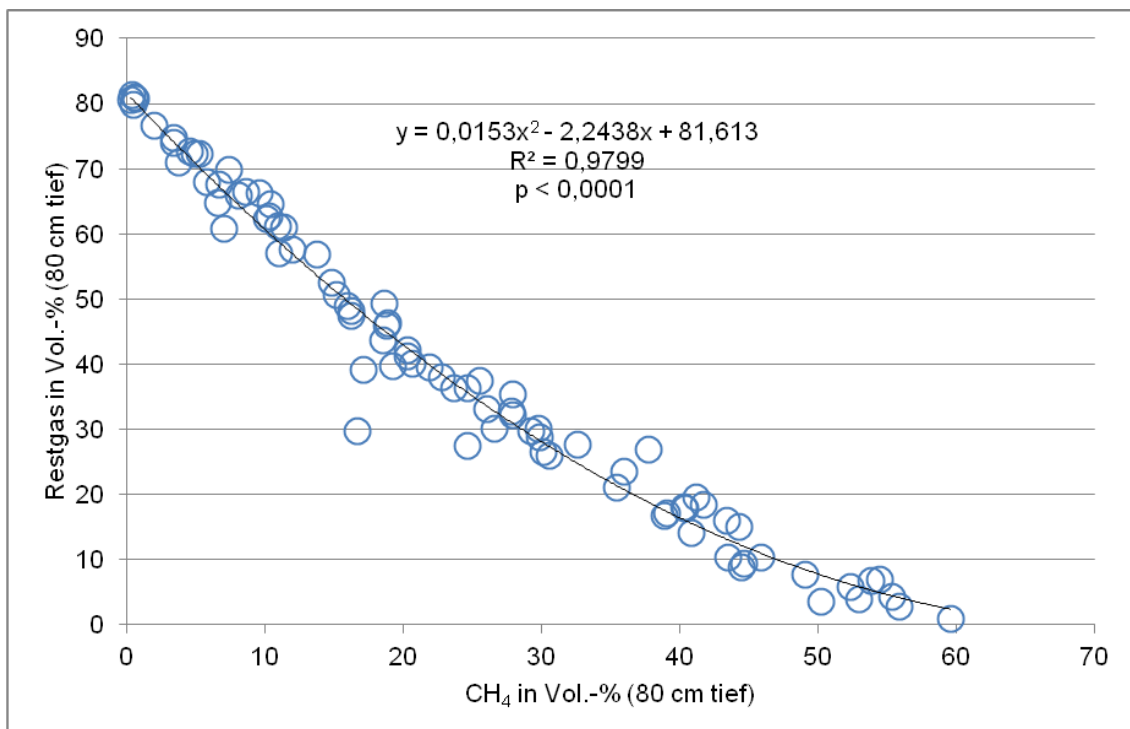


Abb. 2: Direkter Zusammenhang der Porengasmesswerte für Methan und Restgas (Stickstoff) in 80 cm Tiefe bei der offenen Mietenkompostierung

Die Auswertungen zu den Sauerstoffgehalten im Porengas haben gezeigt, dass auch bei sehr geringen bzw. nicht mehr nachweisbaren Sauerstoffmengen im Porengas noch vorwiegend aerobe Rotteverhältnisse (mit geringen Methangehalten) vorherrschen. Hier ist die Sauerstoffzufuhr über eintretende Außenluft gleich groß, wie dessen Verbrauch durch die Mikroorganismen im Rottegut. Die eintretende Außenluft bleibt jedoch selbst in diesem Fall über den Restgasgehalt (Stickstoff) messbar, da dieser durch die Mikroorganismen nicht verändert wird.

Der in den Rottegutporen durchlüftungsanzeigende Restgasgehalt steht in engem Zusammenhang mit der Feuchtrohdichte des Rottegutes (siehe Abbildung 3). Diese ist ein Feldmessparameter, der in frisch gemischtem Material leicht erfasst werden kann und durch mineralische Zusätze, hohe Feinanteile (geringe Struktur) und Wasseranteile erhöht wird. Eine geringe Feuchtrohdichte beschreibt also locker liegendes Material mit einer nicht zu hohen Feuchtigkeit. Die Ausgangsstoffgruppen (Biogut bzw. Grüngut) sowie die saisonalen Einflüsse der Bioabfallbereitstellung erwiesen sich für die Feuchtrohdichte als wenig wirksam und werden durch die Feuchtrohdichte der Rottegutmischung deutlich überlagert.

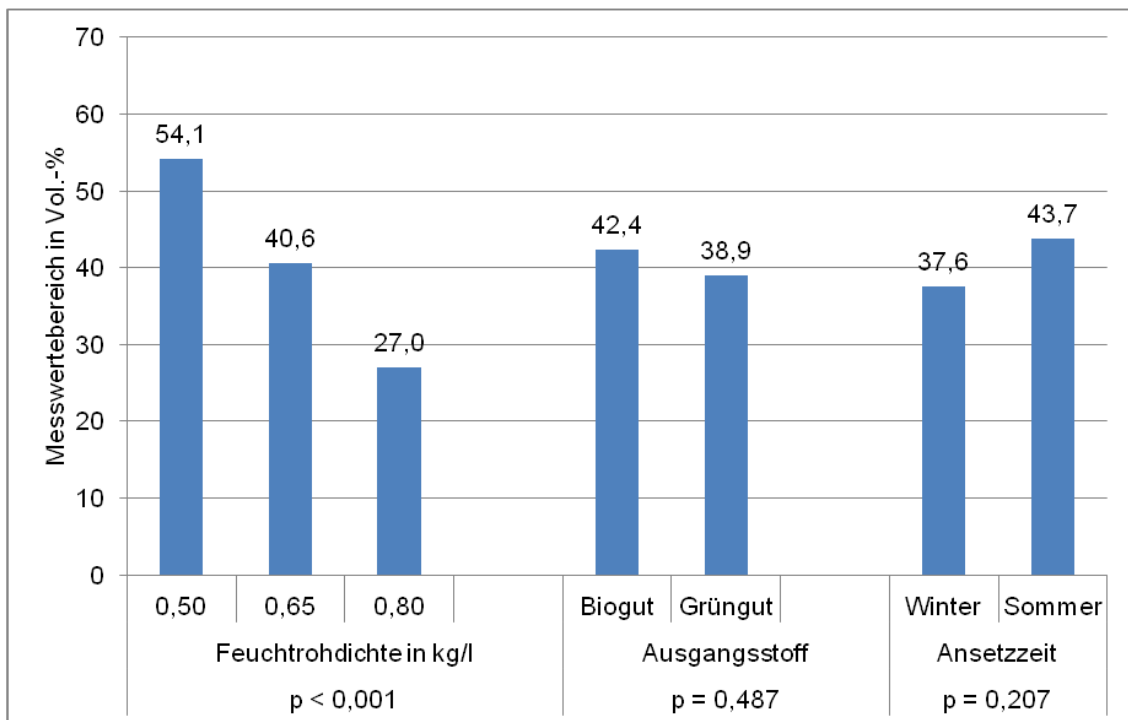


Abb. 3: Einfluss von Inputstoffen, Jahreszeit und Feuchtrohdichte auf das Restgas (Stickstoff) in den Rottegutporen bei 80 cm Messtiefe (p - Irrtumswahrscheinlichkeit nach Tuckey HSD-Test)

Es bleibt festzustellen, dass der als Feldmessmethode durchgeführte Nachweis der Feuchtrohdichte geeignet ist, frühzeitig die Beschaffenheit von Rottegut so zu gestalten, dass eine emissionsarme aerobe Mietenkompostierung nach guter fachlicher Praxis unterstützt wird. Dafür kann unter Berücksichtigung aktueller Messergebnisse folgender Vorschlag von Orientierungswerten für die Feuchtrohdichte beim Ansetzen von Ausgangsstoffen zu Kompostmieten unterbreitet werden (siehe Tabelle 1 unter 4.2).

Zusätzlich bietet die Einhaltung von hohen durchlüftungsrelevanten Restgasgehalten in den Rottegutporen eine Möglichkeit, ohne die aufwändigen Nachweise der Emissionen klimarelevanter Gase mit Hilfe der gewitra-Tunnelmethode vornehmen zu müssen, insbesondere die Methanemissionen gering halten zu können. Orientierend kann empfohlen werden, dass die Restgasgehalte in den Rottegutporen in 80 cm Messtiefe als Hinweise für die Rotteprozessgestaltung genutzt werden können. Dazu können erste Vorschläge für durchlüftungsbeschreibende Restgasgehalte (Stickstoff) wie folgt unterbreitet werden (siehe Tabelle 2). Diese könnten – beginnend nach 3 Wochen – im Abstand von etwa 2 Wochen durchgeführt werden.

Neben den Feldmessungen (Feuchtrohdichte und Porengaszusammensetzung) können einige Feldbeobachtungen in den Kompostierungsanlagen mit offener Mietenkompostierung helfen, die „gute fachliche Kompostierungspraxis“ einfach zu erkennen und Fehler zu vermeiden. Fehler sind vor allem:

- Kein arbeitstägliches Verarbeiten geruchsintensiver Ausgangsstoffe (z. B. Markt- und Küchenabfälle)
- Das Austreten von Sickerwasser am Mietenfuß
- Anhaltende Rottetemperaturen über 70 °C (in 80 cm Messtiefe)

Auf der Grundlage der umfangreichen Untersuchungen in den Bioabfallbehandlungsanlagen der Gütegemeinschaft Kompost Berlin - Brandenburg - Sachsen-Anhalt e. V. wurden die hier genannten Empfehlungen für eine emissionsarme Rotteprozessgestaltung in Bioabfallkompostierungsanlagen mit offener Mietenkompostierung erarbeitet.

Mit der beschriebenen Herangehensweise kann die Bioabfallbehandlung in offener Mietenkompostierung ausreichend bewertet und aerob gestaltet werden, so dass die in der Regel durch Fäulnisprozesse verursachten Klimagas- aber auch die Geruchsemissionen weitgehend am Ort der Entstehung (in den Rottegutkörpern) vermieden werden können. Bei konsequentem Prozessmanagement der Kompostierung kann eine geschlossene Prozessführung unnötig werden. Solch ein Überwachungssystem kann vor allem für Anlagen mit offener Mietenkompostierung und hier als Bestandteil der Eigenüberwachung empfohlen werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Feldmessungen der Feuchtrohdichte und der Porengaszusammensetzung im Rottegut als Bestandteil der Eigenüberwachung von Bioabfallbehandlungsanlagen einzusetzen.

3. Einordnung der brandenburgischen Forschungsleistungen in die Gesamtbewertung von Bioabfallverwertungen

Wie schon erwähnt, stehen die brandenburgischen Forschungsleistungen zu Fragen der Treibhausgasemissionslimitierung von Bioabfallanlagen mit offener Mietenkompostierung im Kontext einer Reihe von bundesweiten Veröffentlichungen zu ökologischen Bewertungen der Bioabfallverwertung. Dazu wurde durch die Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. Übersichten zusammengestellt. In diese Betrachtungen sind die in Abbildung 1 enthaltenen Ergebnisse zu Treibhausgasemissionen eingeflossen, was zu erheblichen Nachteilen für Verfahren mit offener Mietenkompostierung beigetragen hat. Hier wird die Umsetzung der neu vorgelegten Ergebnisse zur Limitierung von Treibhausgasemissionen zu einer Annäherung der ökologischen Bewertung von Bioabfallbehandlungsverfahren mit (auch anteiliger) offener

Mietenkompostierung an die Behandlungsverfahren in geschlossenen Anlagen führen. Das trägt dazu bei, dass diese sehr kostengünstigen Verfahrensbestandteile ökologisch gleichwertig werden können.

Verschiedene Fachbehörden- bzw. -organisationen, insbesondere die Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. haben in folgenden Gutachten und Dokumentationen Möglichkeiten der Limitierung von Treibhausgasemissionen und zum umweltgerechten Umgang mit der Ressource Bioabfall hervorgehoben (mit Jahr der Veröffentlichung):

2012 - **Entwicklung und Prüfung von Feldmess- und Diagnosemethoden als Maßnahme zur Vermeidung klimarelevanter Emissionen aus der aeroben Mietenkompostierung** (Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg)

Der Kenntnisstand zur guten fachlichen Praxis der Kompostierung wird durch Parameter zur Steuerung und Überwachung hinsichtlich der Limitierungen von Treibhausgasemissionen bei der stofflichen Bioabfallverwertung ergänzt (Lagerungsdichte und Porengaszusammensetzung). Damit verbunden kann die offene Mietenkompostierung auf ein vergleichbar niedriges Emissionspotenzial abgesenkt werden, wie es für eingehauste Anlagen besteht.

Quelle:

<http://www.guetegemeinschaftkompostbbs.de/wordpress/wp-content/uploads/2014/08/Dr.-Reinhold-Gutachten-2012.pdf>

http://www.kompost.de/uploads/media/Offene_Mietenkompostierung_mit_geringen_THG_Emissionen_HUK_03_2014.pdf

2012 - **Optimierung der Verwertung organischer Abfälle** (Umweltbundesamt, Dessau)

In dieser Dokumentation erfolgte eine umfassende Ökobilanzierung der Bioabfallverwertung. Dabei werden die bisherigen Aussagen zu Treibhausgasbilanzen bestätigt, die deutliche Vorteile für die Verfahren mit einer energetischen Bioabfallverwertung aufzeigen. Zugleich werden vor allem durch Erweiterungen der Ökobilanzierung im Hinblick auf stoffliche Vorteilswirkungen der Bioabfallverwertung (Phosphor, Humus) solche Bioabfallverwertungsstrategien stark aufgewertet. Dadurch entsteht ein völlig neuer Abwägungsbedarf für behördliche Entscheidungen.

Quelle: http://www.bvse.de/368/5682/Neue_Oekobilanz_zur_Bioabfallverwertung

2012 - **Klima contra Ressourcenschutz** (Bundesgütegemeinschaft Komposte e. V., Köln)

Am Beispiel eines Vergleichs der Wirkungen auf die Treibhausgasemission und auf das Phosphorrecycling bei der Bioabfallverwertung wird die Bedeutung beider Wirkungsfaktoren in Ökobilanzierungen verglichen und als gleichrangig bewertet.

Quelle: http://www.kompost.de/uploads/media/Klima-_contra_Ressourcenschutz_HUK_03_2012.pdf

2011 - **Klima contra Ressourcenschutz - Emissionen aus der Kompostierung - Quantifizierung und Reduktion** (Gewitra mbH Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer, Troisdorf)

Gasförmige Treibhausgasemissionen bei der Bioabfallkompostierung können durch Beschaffenheit des Rottematerials, durch Belüftung und Wasserzusatz sowie durch Umsetzen des Rottegutes vermieden werden. Geschlossene Anlagen verfügen über vielfältige emissionsreduzierende Steuerelemente. Offene Kompostierungsanlagen sind jedoch grundsätzlich nicht schlechter als geschlossene. Der Anlagenbetrieb ist entscheidend. Die aktuelle Praxis zeigt, dass der Betrieb nicht auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen ausgelegt ist. Hohe Emissionen resultieren meistens aus mangelnder fachlicher Praxis in den Bereichen Mietengeometrie, Strukturmaterial und

Umsetzintervalle. Lachgas entsteht vorwiegend in der Nachrotte. Biofilter reduzieren Methan nicht, wohl aber Ammoniak, was zu sekundärer Lachgasemission führt. NMVOC wird zu 90% im Biofilter abgebaut, sodass die TA Luft Emissionswerte eingehalten werden. Vergärungsanlagen emittieren aus flüssigem Gärprodukt und aus der Nachrotte erhebliche Mengen an Methan. Hier besteht erhebliches Optimierungspotential. Die Emissionswerte der TA Luft für Ammoniak und Ges.-C werden hier nicht eingehalten. Als Mittel der Bioabfallverwertung resultieren Emissionen bei Methan von 1.100 g/Mg, bei Lachgas von 99 g/Mg, bei Ammoniak von 450 g/Mg und bei NMVOC von 330 g/Mg. Die Treibhausgasemissionen belaufen sich auf Ø 100 kg CO₂-Äq/Mg Bioabfall. Die Anteile am natürlichen Emissionsinventar liegen zwischen 0,40 und 0,64 % (0,05% der Summe der CO₂-Äquivalente in Deutschland).

Quelle: http://www.hamburgtrend.info/fileadmin/user_upload/pdf/Langfassungen_Vortraege/Cuhs.pdf

2010 - **Hygiene Baumuster Prüfsystem, Kompostierungsanlagen - Vergärungsanlagen**, 4. ergänzte und überarbeitete Auflage (Bundesgütegemeinschaft Komposte e. V., Köln)
Das Hygiene-Baumusterprüfsystem basiert auf einem Konzept, nach dem verschiedene Kompostierungsverfahren als Baumuster definiert und beschrieben werden. Die hygienische Wirksamkeit von aeroben Verfahren wird durch direkte Prozessprüfungen festgestellt. Ob Produktionsanlagen nach einem dieser hygienisch geprüften Baumuster betrieben werden, kann durch eine Konformitätsprüfung festgestellt werden. Vergärungsverfahren, bei denen der Hygienenachweis für die zu verwertenden Gärrückstände über eine Nachkompostierung erfolgt, sind im Hygiene-Baumusterprüfsystem berücksichtigt.

Quelle: http://www.kompost.de/fileadmin/docs/shop/Grundlagen_GS/HBPS__Auflage_4_mit_Deckblatt.doc.pdf

2010 - **Energie und CO₂ – Bilanz der Kompostierung unter Einbeziehung des Substitutionspotenzials des Komposts** (Dissertation von Christian Springer an der Bauhaus-Universität, Weimar)
Durch Einbeziehung der Substitutionswirkungen von Produkten aus der stofflichen Bioabfallverwertung (Kompost) zur Reduzierung der Anwendung von industriellen Düngemittel zur Nährstoffversorgung von Nutzpflanzen, der Einsatzminderung von Torf bei der Herstellung von Kultursubstraten und der Freisetzung von organischen Wirtschaftsdüngern für die Biogasgewinnung werden die Energie- bzw. CO₂-Bilanzen der von Bioabfallbehandlungsanlagen neu bewertet und deren treibhausgasreduzierende Wirkung bestätigt.

Quelle: http://www.kompost.de/uploads/media/Energiebilanzen_und_Treibhausgasemissionen_10_11.pdf

2010 - **Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase** (Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., Köln)
Diese Schrift bestätigt den Zusammenhang von guter fachlicher Kompostierungspraxis und Minderung von Treibhausgasemissionen. Besonders hervorgehoben werden Fragen der anforderungsgerechten Gestaltung von Rotteausgangsgemischen, Rottekörpergestaltung, Art und Häufigkeit des Umsetzens, Förderung des Gasaustauschs und Regulation des Wassergehaltes. Damit bildet sie die wichtigste Grundlage für die Forschungsarbeiten zur Entwicklung einer emissionsreduzierten Rotteprozessgestaltung bei der offenen Mietenkompostierung

Quelle: http://www.kompost.de/uploads/media/6.4_1_Kompostierungsanlagen_geringe_Emission_internet.pdf

2010 - **Ökoeffiziente Verwertung von Bioabfällen** (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, München)
Im Rahmen einer Ökoeffizienzanalyse (Verbindung von Ökobilanzierung und Kostenanalyse) werden die bekannten Verfahren der Bioabfallverwertung verglichen.

Die Stoffstromlenkung ist auf die möglichst effiziente Ausschöpfung von stofflichen mit energetischen Nutzenspotenzialen zu orientieren. Die Betriebsführung der Anlagen ist auf Treibhausgasemissionsminderung auszurichten. Die Verwertungssicherheit ist durch verlässliche Randbedingungen und Nachhaltigkeit zu stärken.

Quelle: http://www.kompost.de/uploads/media/oekoeffizienteVerwertung_03_10_1-4.pdf

2010 - **Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen – Anregungen für kommunale Entscheidungsträger** (Umweltbundesamt, Dessau)

In diesem Leitfaden werden folgende Zielvorgaben hervorgehoben: Gewährleistung einer flächendeckenden Getrenntsammlung, Ausschöpfung der Nutzenpotenziale von Bioabfällen, stoffliche Verwertung von Bioabfallprodukten nach guter fachlicher Praxis, Aushaltung besonders energiereicher Materialien, Gewährleistung ausreichender Mengen an Strukturmaterial für die Bioabfallbehandlung.

Quelle: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3888.pdf>

2010 - **Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz** (Umweltbundesamt, Dessau)

Die getrennte Erfassung vom Bio- und Grünabfällen hat in Deutschland ein hohes Niveau erreicht. Allerdings ist der Anteil der daraus gewonnenen Energie noch vergleichsweise gering, die Biomasse wird überwiegend reinstofflich genutzt. Vor dem Hintergrund, dass gegenwärtig Energiepflanzen in Konkurrenz zu Nahrungs- und Futtermitteln großflächig angebaut werden, muss allerdings die Frage gestellt werden, ob die kombinierte stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse nicht Ziel führender ist.

Quelle: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aufwand-nutzen-einer-optimierten>

2009 - **Möglichkeiten zur Vermeidung klimarelevanter Emissionen aus Kompostierungsanlagen durch Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis bei der Rotteprozessführung** (Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg)

Es werden aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen zur Emission klimarelevanter Gase aus Bioabfallbehandlungsanlagen und deren Limitierungsmöglichkeiten mit früheren Forschungsergebnissen in Verbindung gebracht, deren Ziel in der verlustarmen Erschließung organischer Abfälle für die Versorgung von Böden mit hochwertigen organischen Düngern durch aerobe Rotteprozesse bestand. Als besonders vorteilhaft wird in beiden Fällen eine Rotteprozessführung nach „Guter fachlicher Praxis“ herausgestellt, wobei für die Kompostierung die durchgängige Gewährleistung aerober Rottebedingungen im Mittelpunkt steht. Als wesentlich werden die Herstellung von Inputmaterialmischungen und das Ansetzen der Rottekörper herausgestellt. Damit werden die Grundvoraussetzungen für eine angemessene Rotteintensität und für den erforderlichen Gasaustausch geschaffen. Das Umsetzen ist in Abhängigkeit von der Mietengeometrie, der Rottegutstruktur und der Rotteintensität differenziert zu gestalten. Entsprechend dem ausgewerteten Wissensstand werden erste Vorschläge zu Empfehlungen für eine emissionsarme Rotteprozessgestaltung in Bioabfallkompostierungsanlagen vorgelegt. Für weiterführende Entwicklungsarbeiten werden Hinweise gegeben.

Quelle: <http://www.guetegemeinschaftkompostbbs.de/wordpress/wp-content/uploads/2014/08/Dr.-Reinhold-Projekt-2009.pdf>

2009 - **Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen** (Bundesgütegemeinschaft Kompost)

Im Zusammenhang mit der Emissionsberichterstattung Deutschlands zur Klimarahmenkonvention und dem Kyoto-Protokoll hatte das Umweltbundesamt (UBA) eine Studie zur quantitativen Einschätzung klimarelevanter Emissionen aus der biologischen Abfallbehandlung in Auftrag gegeben. Die Emissionen der Kompostierung sind deutlich niedriger als bislang angenommen. Bezogen auf die Summe emittierter CO₂-Äquivalente in Deutschland beträgt der Beitrag aus der getrennten Sammlung und Verwertung von Bioabfällen nur 0,05 %. Die Höhe der Emissionen wird - entgegen der allgemeinen Annahme - nicht so sehr von bautechnischen Unterschieden bestimmt. Entscheidend sind vielmehr die Art und Zusammensetzung der Ausgangsstoffe sowie eine gute fachliche Praxis der Betriebsführung. Hohe Emissionen resultieren meist aus Defiziten im Betrieb.

Quelle: http://www.kompost.de/fileadmin/docs/HuK/Huk_05_09_internet.pdf

2008 - **Grünabfälle kompostieren oder energetisch verwerten?** (Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft, Köln)

In dieser Dokumentation wird die energetische Nutzung von heizwertreichen Fraktionen aus Grünabfällen mit der stofflichen Nutzung von Grüngutkomposten, insbesondere zur Torfsubstitution bei der Kultursubstratherstellung verglichen. Die Treibhausgasemissionsreduzierung durch Torfsubstitution überwiegt die energetischen Vorteile bei der Verbrennung heizwertreicher Grüngutfraktionen.

Quelle: http://www.kompost.de/uploads/media/Gruenabfaelle_kompostieren_und_energetisch_verwerten.pdf

Anhand der aufgeführten Zusammenstellungen zur Bioabfallverwertung wird ersichtlich, dass der Limitierung von Treibhausgasemissionen eine wesentliche Rolle bei der ökobilanziellen Bewertung verschiedener Verfahren zukommt. Die bisher häufig in Kritik stehende offene Mietenkompostierung kann nun durch die Umsetzung neuer Untersuchungen aus dem Land Brandenburg als gleichwertig zu den anderen Verfahren der Bioabfallbehandlung bewertet werden. Die praktische Umsetzung der dazu erforderliche Steuerungs- und Überwachungsprozesse sollte im Rahmen der Eigenüberwachung in Bioabfallbehandlungsanlagen erfolgen, die durch die zuständigen Überwachungsbehörden begleitet werden können. Die wesentliche Limitierung von Klimagas-, insbesondere Methanemissionen wird dabei durch die stärkere Gewährleistung aerober Rottebedingungen und durch eine Verkürzung der Intensivrottendauer erreicht.

4. Empfehlungen für eine emissionsarme Rotteprozessgestaltung in Bioabfallkompostierungsanlagen mit offener Mietenkompostierung

Für eine emissionsarme Gestaltung der Rotteprozesse von Bioabfällen sind nachfolgend Empfehlungen getrennt nach den vier Prozessstufen: Lagerung und Aufbereitung von Strukturmaterial, Herstellung der Rottegemische und Ansetzen des Rottekörpers, Überwachung und Steuerung der Rotteprozesse sowie Konfektionierung und Lagerung der Verkaufsprodukte zusammengestellt. Diese Empfehlungen können sowohl als Orientierung für den Anlagenbetrieb als auch als Maß für die Eigen- und Fremdüberwachung genutzt werden. Sie gelten sowohl für die Rotte in offenen und geschlossenen Kompostierungsanlagen. Dabei wird davon ausgegangen, dass vor allem die emissionsarme Prozessgestaltung eine Freisetzung von klimarelevanten Gasen vermeiden hilft.

4.1 Lagerung und Aufbereitung von Strukturmaterial

Strukturmaterial muss für die Herstellung anforderungsgerechter Rottegutmischungen jederzeit in ausreichender Menge und Qualität verfügbar sein. Das verlangt eine ausreichende Beschaffung, Vorhaltung und Aufbereitung des Strukturmaterials.

- Die erforderliche Menge an Strukturmaterialzusatz ist aus der Annahmemenge von nassen bzw. dicht lagernden Bioabfällen und aus Feuchtrohdichtemessungen von deren Mischungen mit zerkleinertem Strukturmaterial abzuleiten
- Für das ungeschredderte Strukturmaterial ist eine befestigte Lagerfläche vorzuhalten, die sich aus dem Jahresbedarf, der Vorhaltefrist und der mittleren Schütthöhe ableitet. Als Faustzahl kann hier ein Flächenbedarf von 0,2 m² Lagerfläche je m³ zerkleinertem Strukturmaterial ausgegangen werden.
- Das Rohstrukturmaterial wird möglichst zeitnah vor seiner Mischung mit nassen bzw. dicht lagernden Bioabfällen auf eine Kantenlänge bis zu 150 mm zerkleinert (Überkorn < 10 %). Das Strukturmaterial soll einen holzigen Anteil von über 50 % aufweisen (weites C:N-Verhältnis).
- Vor dem Zerkleinern ist das Rohstrukturmaterial auf Staubentwicklung zu prüfen. Ist eine Staubentwicklung beim Shreddern zu erwarten, so ist das Shreddern unter Sprühwasserzusatz durchzuführen.
- Die Annahme und Lagerung von Rohstrukturmaterial sowie die Herstellung von Shreddergut und dessen Eintrag in die Kompostierung müssen dokumentiert werden.

4.2 Herstellung der Rottegemische und Ansetzen des Rottekörpers

Herstellung von Rottegemischen ist erforderlich, wenn nasse bzw. dicht lagernde Bioabfälle mit einem C:N-Verhältnis unter 20 : 1 kompostiert werden sollen. Eine allgemeine Beschreibung verschiedener Bioabfälle (Ausgangsstoffe) nach Art und Beschaffenheit ist im Anlage 2 enthalten.

- Geruchsintensive Ausgangsstoffe (strukturschwache Materialien wie Rasenschnitt) werden arbeitstäglich verarbeitet.
- Das Rottegutgemisch ist so herzustellen, dass ein günstiges C:N-Verhältnis möglichst über 25 : 1 eingestellt wird.
- Die Berechnung von C:N-Verhältnissen im Rottegut erfolgt nach Formel 1 und 2 (nach BGK: Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase).

Formel 1: **Berechnung des resultierenden C/N-Verhältnisses (C/N_M) einer beliebigen Mischung bei gegebenen Mengen an Mischungspartnern (m_{1...n}) mit bekannten C_{org}- und N_{ges}-Gehalten (C_{1...n}; N_{1...n})**

$$C/N_M = \frac{\sum C_{1...n} \cdot m_{1...n}}{\sum N_{1...n} \cdot m_{1...n}}$$

C/N_M C/N-Verhältnis der resultierenden Mischung

$C_{1...n}$	C_{org} -Gehalt in TS-% der Einzelkomponenten (Mischungspartner) 1 bis n
$N_{1...n}$	N_{ges} -Gehalt in TS-% der Einzelkomponenten (Mischungspartner) 1 bis n
$m_{1...n}$	Masse der Einzelkomponenten (Mischungspartner) 1 bis n

Formel 2: **Berechnung der Masse der erforderlichen Zumischung (m_x) eines Mischungspartners mit bekannten C_{org} - und N_{ges} -Gehalten zur Einstellung eines gezielten C/N-Verhältnisses in der Endmischung (C/N_M)**

$$m_x = \frac{m_A \cdot (C/N_M \cdot N_A - C_A)}{C_x - C/N_M \cdot N_x}$$

m_x	Masse der erforderlichen Zumischung einer Einzelkomponente mit bekanntem C/N-Verhältnis
m_A	vorliegende Masse einer bestehenden Mischung bzw. einer auf ein gezieltes C/N-Verhältnis einzustellenden Einzelkomponente
C_A	C_{org} -Gehalt in einer bestehenden Mischung bzw. einer auf ein gezieltes C/N-Verhältnis einzustellenden Einzelkomponente
N_A	N_{ges} -Gehalt in einer bestehenden Mischung bzw. einer auf ein gezieltes C/N-Verhältnis einzustellenden Einzelkomponente
C_x	C_{org} -Gehalt der erforderlichen Zumischung einer Einzelkomponente mit bekanntem C/N-Verhältnis
N_x	N_{ges} -Gehalt der erforderlichen Zumischung einer Einzelkomponente mit bekanntem C/N-Verhältnis
C/N_M	angestrebtes C/N-Verhältnis der resultierenden Mischung

- Die für eine aerobe Prozessführung anzustrebende Feuchtrohdichte ist vom Mietenquerschnitt abhängig (siehe nachfolgende Tabelle 1) und wird am Ausgangsgemisch des Rottegutes (siehe auch Anlage 3) gemessen.
- Das Rottegutgemisch ist ausreichend homogen herzustellen und darf die Feuchtvorgaben des Hygienebaumusters nicht überschreiten.
- Bioabfälle, die einen Rottegrad von 1 bis 3 aufweisen sind als wassergefährdend einzustufen und dürfen nur auf versiegelten Flächen mit Wasserfassung behandelt und gelagert werden.
- Der Mietenquerschnitt muss die Vorgaben des Hygienebaumusters einhalten.
- Bei Stapelhöhen der Rottekörper über 2 m bei Tafel- und Trapezmieten bzw. über 3 m bei Dreiecksmieten ist der Einbau einer Strukturmatte aus grobem, möglichst holzigem Strukturmaterial von 0,3 bis 0,5 m Mächtigkeit zu empfehlen (oder äquivalente Belüftungsalternative).
- Der Austritt von geruchsintensivem Sickerwasser aus dem Mietenfuß bei frisch an- bzw. umgesetzter Rottekörper ist zu vermeiden.

Tab. 1: Anzustrebende Feuchtrohdichten im Rottegut beim Ansetzen von aeroben Kompostmieten

vorgesehene Mietenhöhe in m		Feuchtrohdichte von Rottegut in kg FM/l
Tafel- und Trapezmieten	Dreiecks- mieten	
-	1,5	0,60 – 0,65
1,5	2,0	0,55 - 0,60
2,0	2,7	0,50 - 0,55
2,5	3,3	0,45 - 0,50
3,0	4,0 ¹⁾	0,40 - 0,45

¹⁾ – das Hygiene Baumuster Prüfsystem nennt hier lediglich Höhen bis 3,5 m

- ✓ Verdichtungen des Rottekörpers durch Maschinenauflast sind zu vermeiden.
- ✓ Die Ausführung der Rottegemischherstellung und die Einhaltung der anlagenspezifischen Vorgaben müssen nach Chargen dokumentiert werden.

4.3 Überwachung und Steuerung der Rotteprozesse

Die Überwachung und Steuerung der Rotteprozesse ist das Kernstück einer guten fachlichen Praxis der Kompostierung.

- Die Behandlungs- und Lagerflächen für hygienisch bedenkliche und hygienisierte Bioabfälle bzw. Bioabfallprodukte sind deutlich zu trennen, so dass eine Verschleppung von hygienisch bedenklichem Material zu hygienisiertem Material ausgeschlossen wird.
- Die einzelnen Rottegutchargen sind deutlich zu trennen. Alle Chargen müssen während des gesamten Rotteprozesses deutlich rückverfolgbar gekennzeichnet und dokumentiert werden (z.B. Mietenlaufplan mit Nr. und Datum).
- Die Dauer der Intensivrotte und die Anzahl des Umsetzens der Mieten müssen die Mindestanforderungen des Hygienebaumusters einhalten (siehe Tabelle 2). Häufigeres strukturschonendes Umsetzen während der Intensivrotte kann emissionsmindernd sein.
- Die emissionsarme Rotteprozessgestaltung kann durch Porengasmessungen überwacht werden (früheste Messzeitpunkte: nach dem Ansetzen 2 Wochen, nach einem Umsetzen 1 Woche). In der Tabelle 3 sind Hinweise für eine entsprechende Gestaltung von Umsetzen und Mietengröße enthalten (siehe auch Anlage 3).
- Das Umsetzen von Rotteköpern hat strukturschonend zu erfolgen. Die Mietenzonen (Mantel, Kern, Fuß) sind möglichst homogen zu vermischen.
- Nach dem Ansetzen bzw. Umsetzen des Rottekörpers ist dessen Sackung zu verfolgen. Deutlicher Strukturrückgang und damit Prüfungsbedarf für ein

Umsetzen ist bei einer Abnahme der Mietenquerschnittsfläche auf unter 70% der Anfangshöhe eingetreten.

- Zu trockene bzw. zu locker lagernde Rottekörper sind durch geeignete Ausrüstungen zu Befeuchten (z.B. beim Umsetzen).
- Die Temperaturmessungen in den Rottegutkörpern sind nach den Vorgaben der Bioabfallverordnung durchzuführen und in Probenahmeprotokollen der Fremdüberwachung (Temperatur-/Zeitprotokollen) zu dokumentieren und prüffähig zu archivieren.

Tab. 2: Rottezeit bis zum Abschluss Hygienisierung (Intensivrotte) und dabei erforderliche Mindestanzahl des Umsetzens (nach BGK: Hygiene Baumuster Prüfsystem)

Baumusterkategorie	Intensivrottezeit in Wochen	Mindestanzahl des Umsetzens
Dreiecksmiete, belüftet	6	2
Dreiecksmiete, unbelüftet	6	1
Tafelmiete (I), unbelüftet	5	4
Tafelmiete (II), unbelüftet	16	2
Tafelmiete, belüftet	12	1

Tab. 3: Nutzung der Messwerte von Restgasgehalten (Stickstoff) in den Rottegutporen für eine emissionsarme Prozessgestaltung der aeroben Mietenkompostierung

Restgasgehalte in den Rottegutporen in 80 cm Messtiefe	Maßnahmen zur emissionsarmen Rotteprozessgestaltung
über 50 Vol.-%	Umsetzen zur Förderung der Durchlüftung nicht erforderlich (nur für eventuell notwendiges Vermischen des Rottegutes)
37 bis 50 Vol.-%	verstärktes Umsetzen zur Förderung der Durchlüftung des Rottegutes empfehlenswert
unter 37 Vol.-%	beim Umsetzen sollte eine Anpassung des Mietenquerschnitts nach den Feuchtrohdichtewerten der Tabelle 1 erfolgen

- Die Temperatur-/Zeitprotokolle (Hygienisierungsnachweis) abgegebenen Chargen müssen den Anforderungen der Bioabfallverordnung entsprechen (siehe Tabelle 4). Werden die Anforderungen nicht erfüllt, muss dies der zuständigen Behörde gemeldet werden.
- Rottetemperaturen über 70 °C sind wegen erhöhter Methanemissionen, unnötiger Kohlenstoffverluste und abnehmender Kompostqualität nur für wenige Tage zu überschreiten.

- Die Dauer der Nachrotte sollte auf den Anwendungszweck der Komposte angepasst werden (z.B. kurze oder keine Nachrotte, wenn bei Kompostanwendung in der Landwirtschaft v.a. Gehalte an organischer Substanz nachgefragt werden). Bei Temperaturen unter 40 °C sollte die Nachrotte beendet werden.
- Die bei der Anlagengenehmigung erteilten Auflagen zu Geruchs- und Staubemissionen sind nachweislich einzuhalten.
- Die Funktionstüchtigkeit von ggf. vorhandenen Biofiltern (auch mit vorgeschalteten sauren Wäschern) muss gewährleistet sein

Tab. 4: **Anforderungen an die Prüfung der Temperatur-Zeitprotokolle nach Bioabfallverordnung**

	Rottetemperatur im Mietenkern (Hauptrottezone)		
Anforderungen an die Prozessführung/-überwachung nach Bioabfallverordnung	≥65°C über 3 Tage	≥60°C über 6 Tage	≥55°C während 2 Wochen
Ergebnis der Prüfung der Temperatur-aufzeichnungen	Die Temperaturen lagen im Prüfungszeitraum (mind. 3 Tage) an Tagen von geprüften Tagen ≥65°C In diesem Zeitraum wurde umgesetzt	Die Temperaturen lagen im Prüfungszeitraum (mind. 6 Tage) an Tagen von geprüften Tagen ≥60°C In diesem Zeitraum wurde umgesetzt	Die Temperaturen lagen im Prüfungszeitraum (mind. 2 Wochen) an Tagen von geprüften Tagen ≥55°C In diesem Zeitraum wurde umgesetzt

4.4 Konfektionierung und Lagerung der Verkaufsprodukte

Die Konfektionierung von Rotteprodukten ist auf die Anforderungen der beabsichtigten Verwertungsbereiche auszurichten. Bei der Lagerung von verkaufsfähiger Ware ist auf die Stabilisierung der Qualität zu achten.

- Die Konfektionierungs- und Produktlagerflächen müssen von den Anliefer- und Rotteflächen räumlich getrennt sein.
- Fertigkomposte (Rottegrad 4 und 5) sind als nicht wassergefährdend einzustufen und können auf nicht versiegelten Flächen gelagert und weiter verarbeitet werden.

- Die zum Verkauf bereitstehenden Produkte müssen abgeseibt sein - auf die Verwertungsbereiche ausgerichtet.
- Hygienisch relevante Rekontaminationen von Produkten sind auszuschließen. (z. B. durch regelmäßige Reinigung der Fahrzeuge, Maschinen und Ausrüstungen, strikte Schwarz-Weiß-Trennung, unterschiedliche Radladerschaufeln, Schutz vor Vogelkot etc.)
- Bei der Lagerung von Produkten dürfen keine Vernässungen über die zulässigen Wassergehalte des RAL Gütezeichens 251 Kompost hinaus auftreten (siehe Tabelle 5).
- Die lagernden Produkte sind ausreichend gegen Samenanflug zu schützen.

Tab. 5: **Grenzwerte für zulässige Wassergehalte in Komposten (nach BGK: Kompost-RAL-Gütezeichen 251)**

Glühverlust in % TM	zulässige Wassergehalte in % FM	
	lose Ware	Sackware
bis 40	48	41
42	49	42
44	50	43
46	51	44
48	52	45
50	53	46
52	54	47
54	55	48
56	56	49
58	57	50
60	58	51
62	59	52
64	60	53
66	61	54
68	62	55
70	63	56

Anlage 1: Definition verwendeter Begriffe

Bioabfall:

Nach BioAbfV § 2 (1) werden Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder aus Pilzmaterialien zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können erfasst, einschließlich Abfälle zur Verwertung mit hohem organischen Anteil tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder an Pilzmaterialien; zu den Bioabfällen gehören insbesondere die in BioAbfV Anhang 1 Nummer 1 in Spalte 1 genannten, in Spalte 2 weiter konkretisierten und durch die ergänzenden Bestimmungen in Spalte 3 näher gekennzeichneten Abfälle; Bodenmaterial ohne wesentliche Anteile an Bioabfällen gehört nicht zu den Bioabfällen; Pflanzenreste, die auf forst- oder landwirtschaftlich genutzten Flächen anfallen und auf diesen Flächen verbleiben, sind keine Bioabfälle.

Biogut

Bioabfälle aus der getrennten Sammlung von Haushaltungen (Biotonne)

Grüngut

Garten- und Parkabfälle, die den Bioabfallbehandlungsanlagen separat angeliefert werden.

Strukturmaterial

Material (z. B. Astwerk, Häckselgut, Holzspäne, Rinden), das durch Beimischung zu strukturarmen Kompostrohstoffen, wie nassen und strukturschwachen Bioabfällen, zu einer nachhaltigen Erhöhung des Porenvolumens des Materialgemisches sowie zu einer Erhöhung des C/N-Verhältnisses führt. Wird auch als strukturkorrigierender Zuschlagstoff bezeichnet.

Ausgangsstoff

zur Kompostierung (aeroben Behandlung, Rotte) bestimmtes Kompostrohmaterial.

Rottegut, Rottegemisch

Gemisch von Ausgangsstoffen und/oder schon in Rotte befindlichen Materialien, das zur aeroben Behandlung (Rotte) zu einem Rottekörper aufgesetzt wird oder aufgesetzt wurde.

Rottekörper

Miete nach Abmaßen bestimmtes und gestaltetes Haufwerk von Rottegut.

Rottegrad

Maßzahl zur Kennzeichnung des Rottefortschritts bzw. einer Abbaustabilität des Rotteproduktes. Der Rottegrad dient der Bestimmung von Ausgangsstoffe sowie Frisch- und Fertigkompost.

Aufsetzen

Herstellen der Erstmischung von Kompostrohstoffen und Herstellung eines Rottekörpers

Umsetzen

Aufnehmen eines Rottekörpers, Mischung des Rottegutes und Herstellen eines neuen Rottekörpers.

Belüftung

Eintritt bzw. Zuführung von Außenluft in einen Rottekörper mit dem Ziel einer Versorgung des Rottegutes im gesamten Rottekörper mit gasförmigem Sauerstoff. Die Belüftung kann passiv (ohne technische Hilfsmittel) oder aktiv (mit technischen Hilfsmitteln) erfolgen.

Kompostierung

Aerobe Behandlung von Kompostrohstoffen mit dem Ziel der Hygienisierung und Stabilisierung von Kompostrohstoffen sowie der Erzeugung von hochwertigen Kompostprodukten (Frischkompost, Fertigungskompost, Substratkompost).

Aerob

gasförmigen Sauerstoff (Luft) benötigend.

Anaerob

unter Luftabschluss, keinen gasförmigen Sauerstoff (Luft) benötigend.

Rotte

im Rottekörper ablaufender mikrobieller Prozess der Kompostierung.

Hauptrotte, Intensivrotte

Hauptphase der Kompostierung mit dem Ziel des Ab- und Umbaus organischer Substanz. Rottephase mit hoher mikrobieller Aktivität, hohen Stoffumsätzen und hoher Selbsterhitzung des Rottegutes.

Nachrotte

an die Hauptrotte anschließende Phase der Kompostierung mit dem Ziel einer Erhöhung der Abbaustabilität des Rottegutes (Erzeugung von Fertigungskompost).

Hygienebaumuster

sind verschiedene Kompostierungsverfahren, die als Baumuster definiert und beschrieben werden. Die hygienische Wirksamkeit der Verfahren wird durch direkte Prozessprüfungen festgestellt. Ob Produktionsanlagen nach einem dieser hygienisch geprüften Baumuster betrieben werden, kann durch eine Konformitätsprüfung festgestellt werden.

Sickerwasser

ist ein bei der offenen Mietenrotte am Mietenfuß austretendes Überschusswasser mit hohem Gehalt an leicht abbaubaren organischen Bestandteilen.

Gütezeichen

Ergebnis der erfolgreichen Fremdüberwachung einer Anlage durch einen Träger einer regelmäßigen Güteüberwachung (Gütegemeinschaft), nach deren Bestimmungen eine verbindliche und kontinuierliche Gütesicherung nachgewiesen wird

Feuchtrohdichte

hier Schüttdichte von Rottegut, die in gestörter Lagerung bei definierter Nachverdichtung festgestellt wird (siehe Anlage 3).

Porengas

In den luftgefüllten Poren des Rottekörpers vorhandene Gase, die vor allem aus den Bestandteilen der Außenluft (hauptsächlich Sauerstoff und Stickstoff) sowie aus gasförmigen Stoffwechselprodukten der mikrobieller Prozesse der Kompostierung (hauptsächlich Kohlendioxid und Methan) bestehen.

Anlage 2: Art und Beschaffenheit von Ausgangsstoffen

(nach BGK: Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase)

Abfallart	Feuchtigkeit	C/N-Verhältnis	Vorbehandlung	Struktur	Mischungsanteil in Vol-% Ø bis Max.
Pflanzenabfälle					
Garten- und Parkabfälle	feucht	20 - 60	grobe Teile zerkleinern	gut - mittel	Ø 50 bis 100
Rasenmärgut	nass, nach anwelken feucht	15 - 35	-	schlecht	Ø 30 bis 50
Krautschnitt	feucht- trocken	15 - 45	zerkleinern vorteilhaft	mittel	Ø 40 bis 80
Gehölzschnitt	feucht- trocken	100 - 150	zerkleinern	gut	Ø 40 bis 90
Laub	feucht- trocken	25 - 60	zerkleinern vorteilhaft	mittel	Ø 40 bis 80
Friedhofsabfälle	feucht- trocken	40 - 120	Fremdstoffe auslesen, zerkleinern	gut	Ø 60 bis 80
Siedlungsabfälle					
Küchenabfälle	feucht- nass	12 - 20	-	mittel- schlecht	Ø 20 bis 50
getrennt gesammelte Siedlungsabfälle	feucht	30 - 50	-	mittel- schlecht	Ø 30 bis 60
Abfälle von Getreideprodukten	Feucht- trocken	15 - 50	-	mittel	Ø 30 bis 60
Abfälle von Ölpflanzenprodukten	feucht	10 - 30	-	mittel- schlecht	Ø 20 bis 50
Abfälle von Genussmitteln	trocken	10 - 30	-	mittel- schlecht	Ø 10 bis 40
Gartenabfälle, gemischt	feucht	20 - 60	grobe Teile zerkleinern	gut	Ø 70 bis 100

Abfallart	Feuchtigkeit	C/N-Verhältnis	Vorbehandlung	Struktur	Mischungsanteil in Vol-% Ø bis Max.
Forstabfälle					
Schlagabraum, Windbruch	trocken	100 - 230	zerkleinern	gut	Ø 30 bis 50
Landbauabfälle					
Festmist (Rind, Pferd)	feucht- nass	25 - 30	-	gut-mittel	Ø 50 bis 80
verdorbenes Heu/Stroh	feucht- trocken	40 - 100	zerkleinern	gut	Ø 30 bis 50
Obst- und Gemüseabfälle	nass	10 - 20	-	schlecht	Ø 20 bis 40
Futterabfälle	nass	10 - 35	-	mittel- schlecht	Ø 20 bis 30
Rindergülle	flüssig	5 - 13	-	schlecht	Ø 10 bis 20
Hühnerkot	nass	6 - 20	-	schlecht	Ø 10 bis 20
Güllefeststoff	nass	10 - 15	-	schlecht	Ø 30 bis 40
Graben- und Teichaushub	nass	10 - 30	-	schlecht	Ø 30 bis 50
Graben- und Teichaushub	nass	10 - 30	-	schlecht	Ø 30 bis 50

Abfallart	Feuchtigkeit	C/N-Verhältnis	Vorbehandlung	Struktur	Mischungsanteil in Vol-% Ø bis Max.
Produktionsabfälle					
Trester	nass	100	-	schlecht	Ø 20 bis 30
Rinden	feucht-trocken	40 - 180	zerkleinern	gut	Ø 40 bis 100
Sägemehl, Holzspäne	trocken	100 - 200	-	mittelschlecht	Ø 20 bis 30
Abfälle von Torfprodukten	feucht-trocken	30 - 70	-	schlecht	Ø 30 bis 80
Papier, Karton	trocken	200 - 400	zerkleinern	schlecht	Ø 20 bis 30

Anlage 3: Messung der Feuchtrohdichte

Für die Bestimmung der **Feuchtrohdichte (FRD)** vonrottendem Material (max. Kantenlänge 150 mm) wurde folgende Anleitung entwickelt:

Entnahme von 3 Mischproben aus frisch an- oder umzusetzendem Material (homogen vermischt). Dazu werden aus einer frisch angesetzten oder umgesetzten Miete je 20 Einzelproben a 1 Liter entnommen, gemischt und zu 20 Liter Mischprobe (MP) vereint

Notwendige Geräte

- 10 bis 12 Liter Eimer, der Oberkantendurchmesser sollte ca. der Eimerhöhe entsprechen
- Waage mit einer Genauigkeit von mind. 5g
- Messzylinder mit 5ml Skalierung

Durchführung

- Das Taragewicht (TG) des leeren Eimers auf 5g genau bestimmen
- Einen Eimer mit Wasser auf 5ml genau mit einem Messzylinder auslitern
- Anschließend das Probenmaterial locker bis zur Oberkante einfüllen
- Anmerkung: Die Kantenlängen der Probeteilstücke dürfen bis zu 1/3 des Oberkantendurchmessers des Eimers betragen. Größere Teilstücke sind auszusortieren.
- Eimer 4 x aus 20 cm Höhe senkrecht auf eine befestigte Unterlage fallen lassen, danach Probenmaterial bis zur Oberkante nachfüllen
- Eimer 3 x aus 20 cm Höhe senkrecht auf eine befestigte Unterlage fallen lassen, danach Probenmaterial bis zur Oberkante nachfüllen
- Eimer 3 x aus 20 cm Höhe senkrecht auf eine befestigte Unterlage fallen lassen, danach vorhandene Kontaktsperren des Probenmaterials zum Eimerrand durch leichtes Andrücken und/oder Feinmaterialnachfüllung (< 2 cm) schließen, sowie Probenmaterial bis zur Oberkante nachfüllen
- Probenüberstand über der Eimeroberkante mit einem Kantholz abstreichen
- Bruttogewicht des befüllten Eimers bestimmen (BG)

Auswertung

- $FRD \text{ MP in g/l} = \frac{(BG-TG) \text{ in g}}{V \text{ in l}}$
- Mittelwertbildung aus den 3 Mischproben (MP1-MP3)
 $FRD \text{ (g/l)} = \frac{FRD \text{ MP1}+MP2+MP3}{3}$

Anlage 4: Aufbau und Betrieb des Porengasmessgerätes

Das Porengasmessgerät wurde von Dr. Reinhold & Kollegen Stahnsdorf im Auftrag der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. Köln entwickelt. Die Umwelt-Geräte-Technik GmbH Müncheberg hat die Baupläne umgesetzt (bitte aktuelle Änderungen in der Bedienungsanleitung des Herstellers beachten) und eine Lanze zur tiefenabgestuften Feldmessung der Luftdurchlässigkeit und der Porengaszusammensetzung in Lockersubstraten gebaut. Mit Hilfe dieser Messeinrichtung können bis 4 m Substrattiefe in Abstufungen von 0,1 m Aussagen über das luftgefüllte Porenvolumen und dessen Gehalte an Sauerstoff, Kohlendioxid und Methan gewonnen werden. Diese Informationen ermöglichen eine Bewertung der Sauerstoffversorgung der im Substrat stattfindenden Lebensprozesse.

Die Messlanze besteht aus zusammenzuschraubenden 4 x 1-m-Rohrstücken mit 0,1-m-Markierungen, die eine abgestufte Länge der Lanze herstellen lassen. Das Kopfstück der Lanze ist so gestaltet, dass ein Eindrücken der Lanze in das zu messende Substrat sowohl durch Armdruck als auch durch Hammerschlag erfolgen kann. Die Lanzenspitze ist so gestaltet, dass beim Eindrücken in das Substrat in der gewünschten Tiefe ein Messraum mit einer Luftkontaktfläche zum Substrat von etwa 200 cm² entsteht. Der Messraum wird durch einen über dem Messraum befindlichen Konus gegen Eintritt von Fremdluft aus dem Bohrloch abgedichtet, sodass punktgenau die Porenluft aus dem Substrat abgesaugt wird. Die Lanzenspitze wird über einen etwa 8 m langen flexiblen Kunststoffschlauch, der im inneren der verschraubten Rohrstücke geführt wird, direkt mit der Unterdruckerzeugungseinrichtung verbunden. So werden Druckverluste und Fremdgaseintritt zwischen Lanzenspitze und Unterdruckeinrichtung ausgeschlossen.

Die Unterdruckerzeugungseinrichtung ist an einem 4-füßigen Ständer befestigt, der zur Erhöhung der Standfestigkeit auf lockerem Untergrund wahlweise mit Bodenstechern ausgestattet werden kann. Der Unterdruck zum Ansaugen von Porengas wird über Niveaugefäße mit Wasserfüllung erzeugt, deren mittlerer Höhenunterschied auf 0,3 m eingestellt ist. Als Ausdruck für die Luftdurchlässigkeit wird mit einer Stoppuhr die Zeit gemessen, in der 1 Liter Wasser vom oberen in das untere Wassergefäß abgelaufen ist. Diese Messung wird 2 x durchgeführt und die Messwerte gemittelt. Mit dem Absaugen von 2 Liter Porenluft aus dem zu untersuchenden Substrat steht an der Unterdruckerzeugungseinrichtung originäres Porengas an, sodass ein geeignetes digitales Gasmessgerät angeschlossen werden kann und sofort stabile Messwerte für die Gaszusammensetzung erzielt werden. Durch diese Messabfolge werden gegenüber alleiniger Gasmessungen für jede Einzelmessung bis zu 5 Minuten eingespart.

Die Messeinrichtung setzt sich zusammen aus:

- einer 4 m langen Messlanze,
- einer Unterdruckerzeugungseinrichtung und
- einem Gasmessgerät

Die gesamte Messeinrichtung ist demontierbar und kann so in einen Aluminiumkoffer mit den Abmaßen 1100 x 507 x 260 mm versandfähig verpackt werden.

Aufbau und Handhabung des Porengasmessgerätes sind nachfolgend beschrieben.

Aufbau des Gerätes

1. Entnahme des Ständerkreuzes (Abb. 1)
2. Einschrauben der 4 Einstechspitzen (Abb. 1 und 3)
3. Befestigen des unteren Vierkantständerteils mit Sechskantschraube (von unten einführen) (Abb. 1)
4. Befestigen des oberen Vierkantständerteils mit Verspanndrehknopf (Abb. 1 und 4)
5. Einführen der Befestigungsschraube für Ansaugteil mit Wasserbehältern (von hinten nach vorn) (Abb. 2 und 4)
6. Aufstecken des Distanzstücks zum Ansaugteil
7. Prüfen ob alle Entlüftungshähne an den Wasserbehältern und der Verbindungshahn zwischen den Wasserbehältern geschlossen sind (Abb. 6)
8. Aufstecken des Ansaugteils
9. Festschrauben des Ansaugteils mit Befestigungsmutter (Unterlegscheibe nicht vergessen)
10. Gefüllten Wasserbehälter nach oben drehen (rückseitigen Arretierhebel beachten) (Abb. 3 und 4)
11. Kontrolle des Wasserstandes im oberen Wasserbehälter (Wasseroberkante am oberen Bereich der oberen Kunststoffhalterung) (Abb. 6)
12. Bedarfsweises Auffüllen des oberen Wasserbehälters über oberen Entlüftungshahn (Abb. 2 und 6)
13. Zusammenschrauben der Lanzenrohre je nach Messtiefe (Abb. 2 und 3)
14. Aufschrauben des Kopfteils der Lanze als Querstabhalterung (Abb. 1 und 3)
15. Einführen des Kunststoffrohrs über die Öffnung am Kopfteil der Lanze bis 40 cm Austritt am anderen Lanzenende (Abb. 1, 2 und 5)
16. Aufstecken des hinteren Teils der Lanzenspitze auf das Kunststoffrohr (Abb. 2 und 5)
17. Festklicken des vorderen Teils der Lanzenspitze an Kunststoffrohr (Abb. 5)
18. Festschrauben des hinteren Teils der Lanzenspitze am vorderen Teil (Abb. 5)
19. Festschrauben der Lanzenspitze am Lanzenrohr, wobei kein Verdrehen des Kunststoffrohr im Lanzenrohr erfolgen darf (bedarfsweise Kunststoffrohr am anderen Ende mit drehen) (Abb. 5)
20. Festklicken des Kunststoffrohrs am Verteilerhahn des Drehteils (Abb. 6)
21. Lanzen so legen, dass die Lanzenspitze frei liegt
22. Verteilerhahn auf Verbindung mit der Lanze stellen (Abb. 4)
23. Obere Entlüftungshähne der beiden Wasserbehälter öffnen (Abb. 6)
24. Stoppuhr drücken und zeitgleich Verbindungshahn zwischen den Wasserbehältern öffnen (Abb. 6)
25. Stoppuhr anhalten, wenn Wasseroberkante die Oberkante der unteren Kunststoffbefestigung des oberen Wasserbehälters erreicht (Abb. 6)
26. Für den Wasserabfluss aus dem oberen in den unteren Wasserbehälter muss ein Messwert von 3,4 Sekunden erreicht sein
27. Obere Entlüftungshähne der beiden Wasserbehälter schließen (Abb. 6)
28. Gefüllten Wasserbehälter nach oben drehen (rückseitigen Arretierhebel beachten)
29. Wenn Eichwert (3,4 Sekunden) nicht erreicht Wasserdurchflussmessung wiederholen

Durchführung der Messung

30. Messteil und Lanze neben oder auf das Haufwerk stellen
31. Gasmessgerät an den Verteilerhahn anschließen (Abb. 1 und 6)
32. Obere Entlüftungshähne der beiden Wasserbehälter schließen (Abb. 6)
33. Gefüllten Wasserbehälter nach oben drehen (rückseitigen Arretierhebel beachten)
34. Lanze senkrecht in das Substrat bis in die gewünschte Messtiefe stecken (bis 60 cm Messtiefe durch 2. Person festhalten)
35. Obere Entlüftungshähne der beiden Wasserbehälter öffnen (Abb. 6)

36. Zeitgleich Stoppuhr drücken und Verbindungshahn zwischen den Wasserbehältern öffnen (Abb. 6)
37. Stoppuhr anhalten, wenn Wasseroberkante die Oberkante der unteren Kunststoffbefestigung des oberen Wasserbehälters erreicht (Abb. 6)
38. 1. Messwert notieren
39. Obere Entlüftungshähne der beiden Wasserbehälter schließen (Abb. 6)
40. Gefüllten Wasserbehälter nach oben drehen (rückseitigen Arretierhebel beachten)
41. Obere Entlüftungshähne der beiden Wasserbehälter öffnen (Abb. 6)
42. Zeitgleich Stoppuhr drücken und Verbindungshahn zwischen den Wasserbehältern öffnen (Abb. 6)
43. Stoppuhr anhalten, wenn Wasseroberkante die Oberkante der unteren Kunststoffbefestigung des oberen Wasserbehälters erreicht (Abb. 6)
44. 2. Messwert notieren
45. Verteilerhahn auf Verbindung mit dem Gasmessgerät stellen (Abb. 4)
46. Gasmessung durchführen
47. Gasmesswerte notieren
48. Lanze mittels Querstab am Kopfteil tiefer in das Substrat bis in die gewünschte Messtiefe stecken (dabei nicht rückwärts ziehen, da sonst Verstopfungsgefahr an der Lanzenspitze)
49. Neuer Messvorgang (wie 32. bis 47.)
50. Nach letzter Messtiefe Lanze herausziehen
51. Kunststoffschlauch vom Verteilerhahn lösen
52. Lanzenspitze reinigen (dabei nach Bedarf über Kunststoffrohr durchblasen)
53. Wechsel zum nächsten Messpunkt
54. Wiederholung wie 32. bis 53.
55. Nach Ende des Messprogramms Messgerät in umgekehrter Reihenfolge (wie 20. bis 1.) abbauen

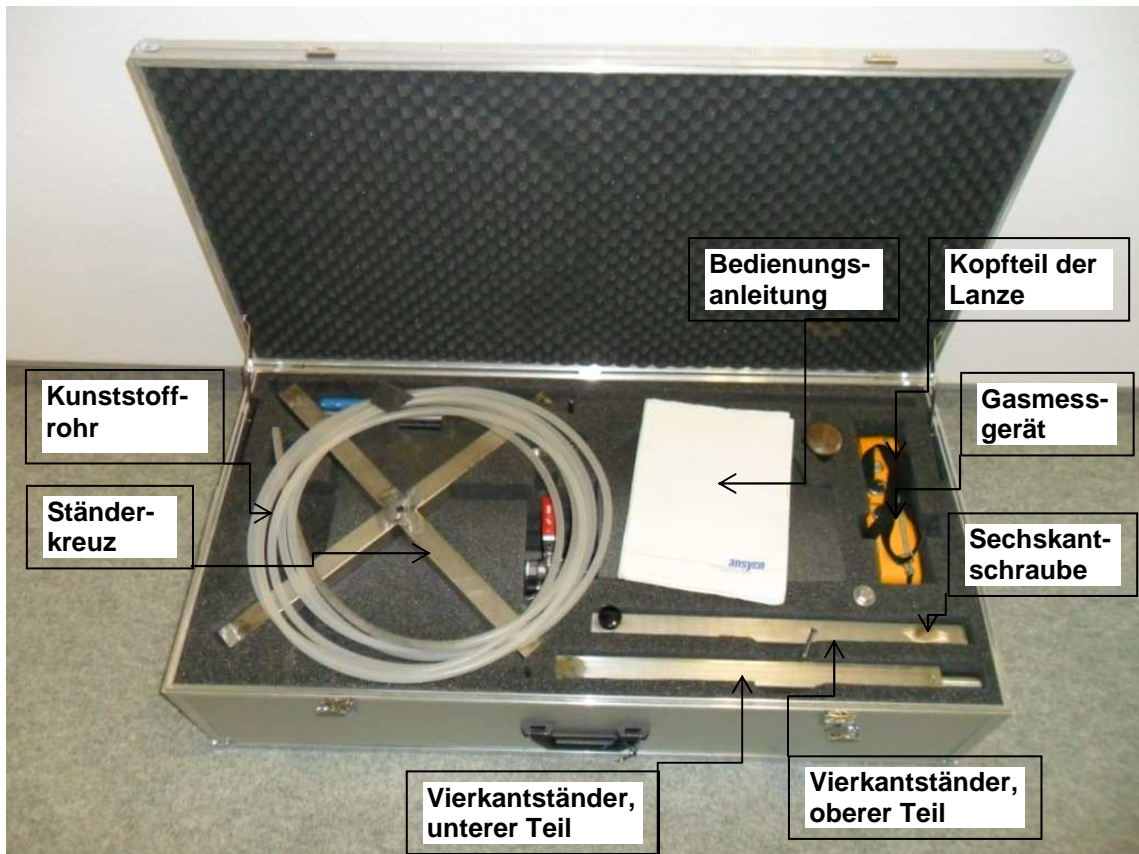


Abb. 1: Transportkoffer nach dem Öffnen

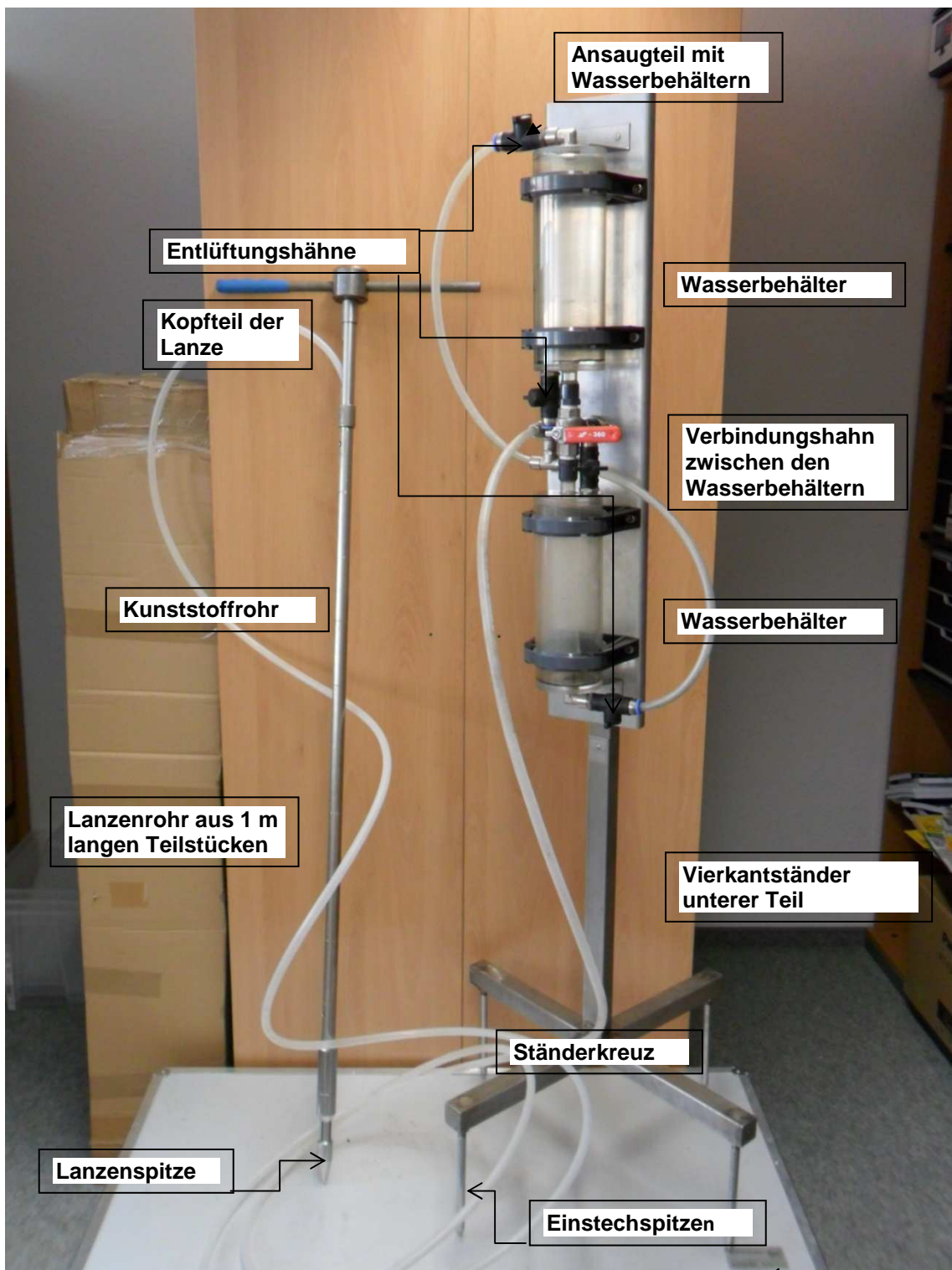


Abb. 3: Aufgebautes Messgerät „Substratlanze“

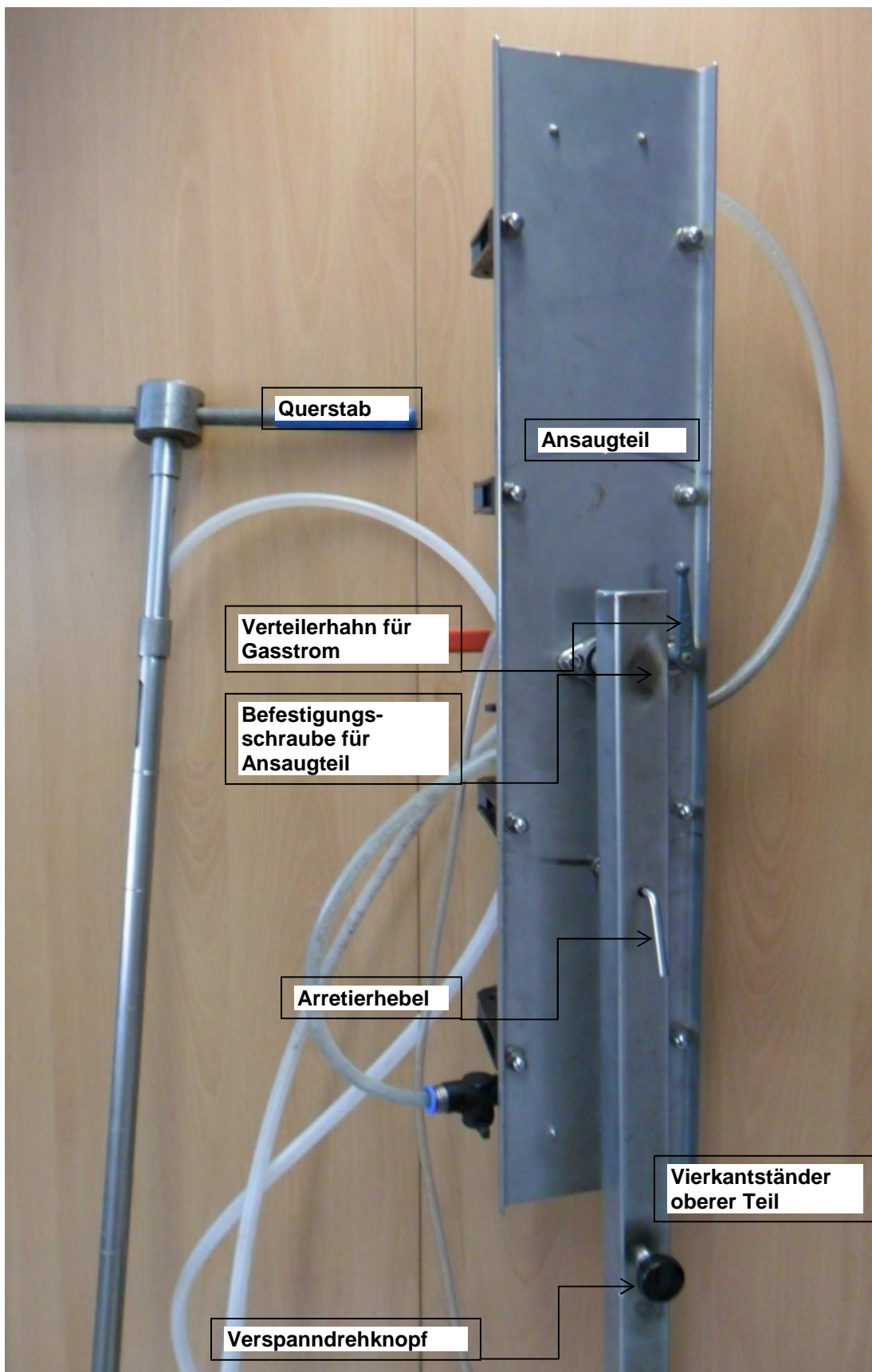


Abb. 4: Rückansicht des Messteils

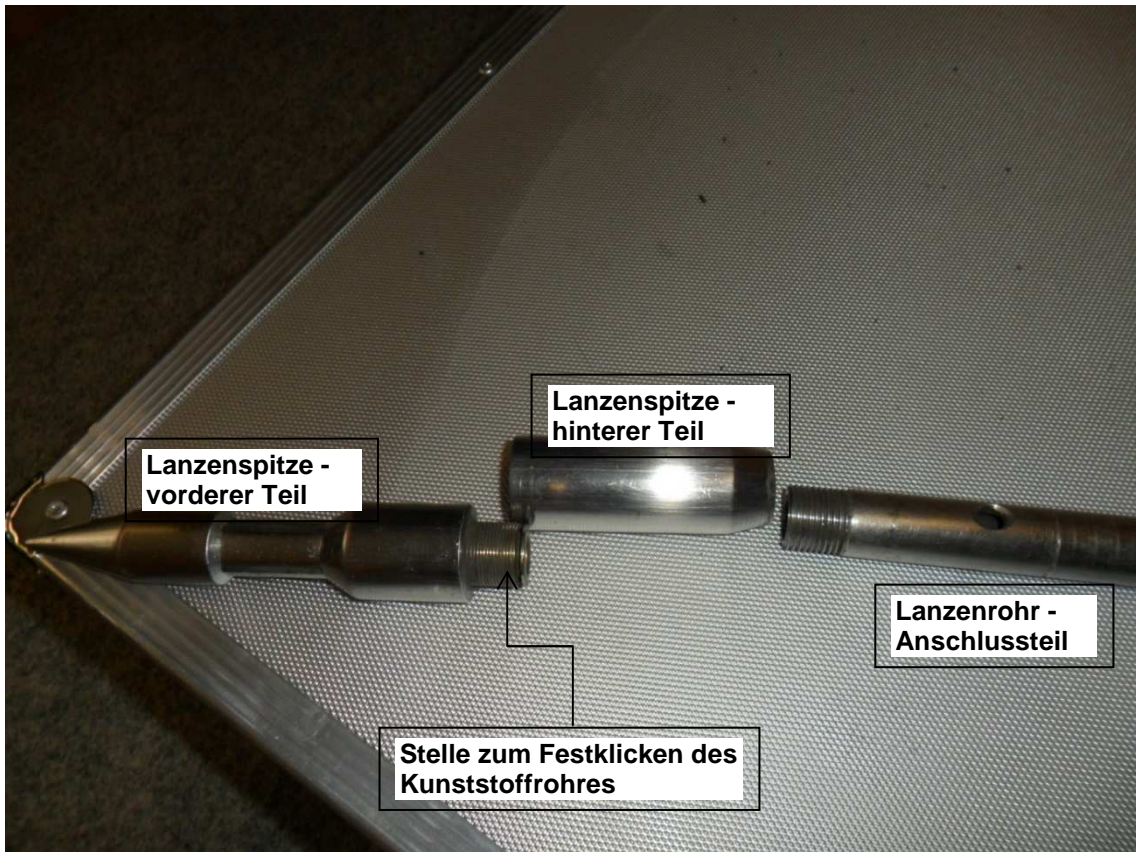


Abb.5: Detailansicht Lanzenspitze

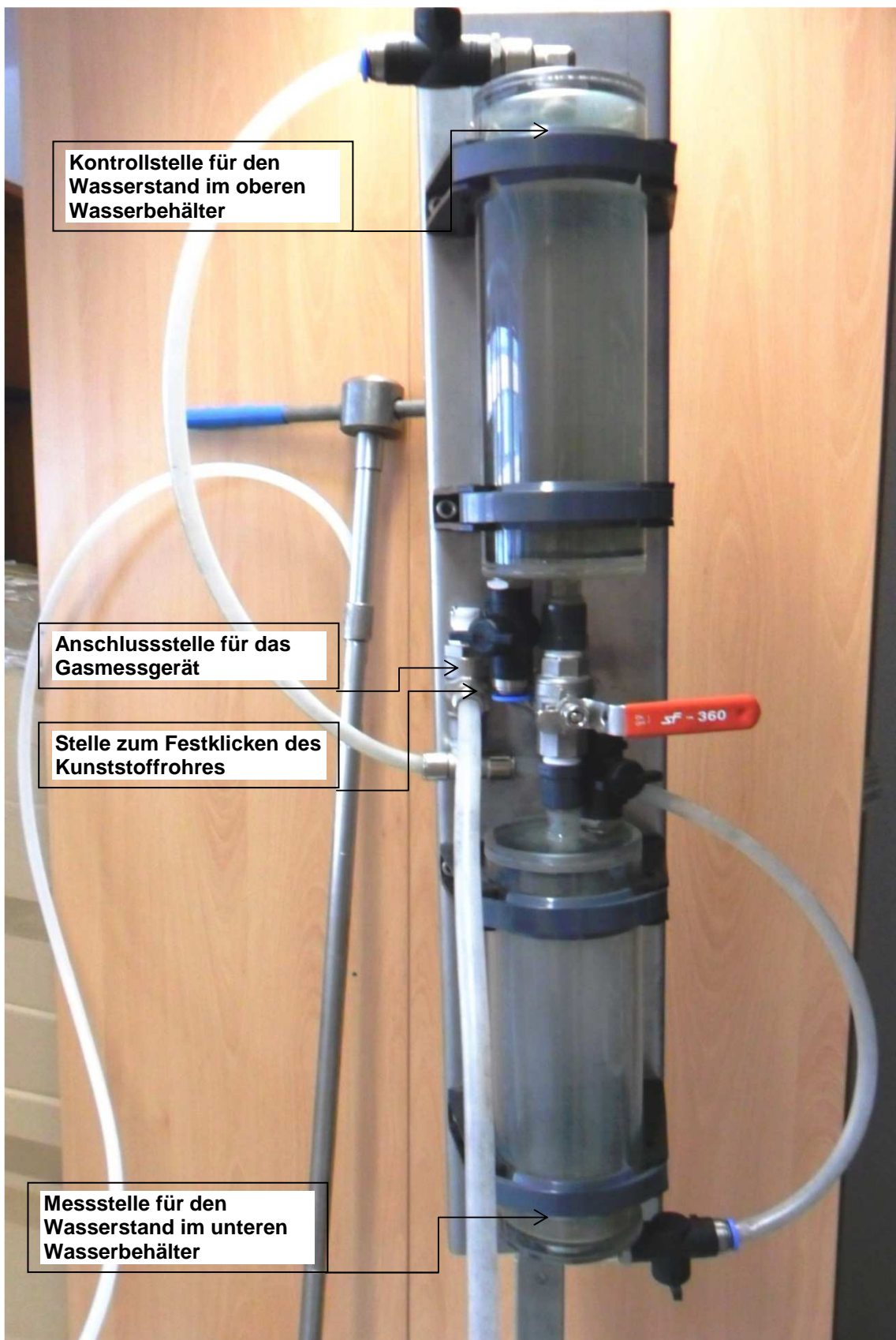


Abb. 6: Vorderansicht des Messteils