

VERA-PRÜFPROTOKOLL

für

**Abdeckungen und andere
emissionsmindernde Technologien zur
Reduzierung gasförmiger Emissionen
aus Wirtschaftsdüngerlagern**

Version 3:2018-07

Deutsche Fassung

Vorwort

Um den ökologischen Herausforderungen in der Nutztierhaltung gerecht zu werden, wurden in den EU-Mitgliedstaaten und anderswo neue Technologien entwickelt. Diese „Umwelttechnologien“ dienen einer möglichen Verbesserung der ökologischen Effizienz der Nutztierhaltung durch die Verringerung des Ressourcenbedarfs, der Schadstoffemissionen und des Energieverbrauchs. Zudem werden wertvolle Nebenerzeugnisse zurückgewonnen und Abfallentsorgungsprobleme minimiert. In der Landwirtschaft können Umwelttechnologien in verschiedenen Phasen der Produktionskette eingeführt werden, wie beispielweise durch Verfahren zur Anwendung in Ställen sowie bei der Lagerung, Verwertung oder Ausbringung von Wirtschaftsdünger.

Die maßgeblichen Interessenvertreter, etwa Landwirte und Behörden, haben jedoch nur begrenzte Informationen über die Leistungsfähigkeit dieser Technologien, was ihre Verbreitung im landwirtschaftlichen Sektor erschwert. Vor diesem Hintergrund haben das dänische Ministerium für Umwelt, das niederländische Ministerium für Infrastruktur und Umwelt, das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und das deutsche Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit internationalen Fachexperten mit der Entwicklung von gemeinsamen Prüfprotokollen zur Prüfung und Verifizierung solcher Umwelttechnologien für den Bereich der landwirtschaftlichen Erzeugung begonnen. Die VERA-Prüfprotokolle dienen der Untersuchung der Umwelleistung und Betriebssicherheit einer Technologie. So erhalten Landwirte, Behörden und anderen Interessenvertreter zuverlässige und vergleichbare Informationen über die Leistungsfähigkeit der betreffenden Technologie.

Diese Initiative wird von VERA – Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production – organisiert. Die VERA Kooperation wurde 2008 zur Förderung eines internationalen Marktes für Umwelttechnologien für die Landwirtschaft gegründet. Das übergeordnete Ziel von VERA ist eine unabhängige Verifizierung der Umwelleistung und Betriebssicherheit von Umwelttechnologien auf Basis der spezifischen VERA-Prüfprotokolle anzubieten, um die Informationslücke der Interessensgruppen zu schließen.

Die erste Version des Protokolls für Abdeckungen und andere emissionsmindernde Technologien zur Reduzierung gasförmiger Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlagern wurde 2009, die zweite Fassung im Jahr 2013 erstellt. Die aktuelle Version 3 wurde im Juli 2018 veröffentlicht. Erstmals wurde 2018 auch eine deutsche Fassung, die hier vorliegende Ausgabe, herausgegeben.

Fragen und Anmerkungen zu den VERA-Prüfprotokollen sind an folgende Stelle zu richten:

Internationales VERA Sekretariat
www.vera-verification.eu
info@vera-verification.eu

Änderungen

Diese Ausgabe des VERA Prüfprotokolls wurde zur Anpassung an den neuesten Stand des Wissens vollständig überarbeitet. Diese unterscheidet sich von Vorgängerversion 2:2013 in folgenden Punkten:

- a. Die Reihenfolge der Abschnitte wurde zur Vereinheitlichung von allen VERA Prüfprotokollen und in Übereinstimmung mit der Grundstruktur der VERA Prüfberichte geändert. Das grundsätzliche Format und die Gliederung der Dokumente wurden unter Einführung einer neuen **einheitlichen Grundstruktur** harmonisiert. Damit soll dem Benutzer das Navigieren durch die Dokumente erleichtert werden. Das Format lehnt sich enger an internationale Normen an.
- b. Anforderungen und Empfehlungen sind präziser dargestellt, insbesondere hinsichtlich der Beschreibung der Probenahme und Prüfung bestimmter Parameter, wie beispielsweise den Mindestabmessungen der Lager für flüssige und feste Wirtschaftsdünger, der Beschreibung bei der Verwendung dynamischer Kammern und mit entsprechenden Beispielen im Anhang.
- c. Um die Möglichkeit einer Verifizierung für Geruch in diesem Protokoll beizubehalten, können Messungen nach VDI 3880 durchgeführt werden. Diese würden jedoch vermutlich nur von einigen deutschen Behörden, aber nicht in den anderen Ländern akzeptiert werden. Sobald präzisere Messmethoden verfügbar sind, sollen diese verwendet werden.

Frühere Ausgaben

VERA Prüfprotokoll für Abdeckungen und andere emissionsmindernde Technologien zur Reduzierung gasförmiger Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlagern, Version 2:2013-06

VERA Prüfprotokoll für Abdeckungen und andere emissionsmindernde Technologien zur Reduzierung gasförmiger Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlagern, Version 1:2009-12

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
2. Anwendungsbereich	6
3. Normative Verweisungen	7
4. Abkürzungen	8
5. Begriffe und Definitionen	9
6. Systembeschreibung	11
7. Anforderungen	14
7.1 Vorprüfung oder Vorbereitung der vollständigen Prüfung einer Technologie.....	14
7.2 Verantwortlichkeiten im Prüfzeitraum.....	14
7.3 Prüfaufbau und Probenahme.....	15
7.3.1. Prüfaufbau.....	15
7.3.2. Probenahme	15
7.4 Messungen	17
7.4.1 Kalibrierung, Verifizierung und Validierung.....	17
7.4.2 Messparameter.....	17
7.4.3 Messmethoden.....	19
7.5 Generelle Aspekte.....	21
7.5.1 Zulässige Abweichung vom Protokoll	21
7.5.2 Vorschriften und Arbeitssicherheit.....	21
7.6 Datenbehandlung, Kalkulation und Evaluierung von Emissionen	21
8. Prüfberichterstattung und Bewertung	22
9. Literaturhinweise	24
Anhang	25
Anhang A (informativ) Vorlage für einen Prüfplan.....	25
Anhang B (informativ) Beispiele dynamischer Kammern.....	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systembeschreibung von Abdeckungssystemen	11
Tabelle 2: Beschreibung des Systems zur Behandlung von Wirtschaftsdünger	12
Tabelle 3: Strategie der Probenahme bei der Prüfung umweltrelevanter Lagertechnologie.....	15
Tabelle 4: Bedingungen der Probenahme bei nur teilweiser Abdeckung	16
Tabelle 5: Zusammensetzung des bei der Prüfung verwendeten Wirtschaftsdüngers.....	16
Tabelle 6: Umwelt- und Wetterbedingungen während der Probenahme.....	16
Tabelle 7: Probenahme-/Messmethoden für die Messgrößen Ammoniak, Geruch und GHG.....	18
Tabelle 8: Auswahl der Methode für die jeweilige Art der Lagerstätte.....	20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dynamische Kammer mit Platte	27
Abbildung 2: Dynamische Kammer mit enger Einlassöffnung	27
Abbildung 3: Dynamische Kammer mit erhöhtem Lufteinlass.....	28
Abbildung 4: Dynamische Kammer mit Luftstromgleichrichter	28

1. Einleitung

Ziel dieses Prüfprotokolls ist die Festlegung eines Verfahrens zur Prüfung der Auswirkungen, die Abdeckungen und andere emissionsmindernde Technologien zur Reduzierung gasförmiger Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlagern auf die Umwelt haben. Hierzu gehören Definitionen, spezifische Prüfanforderungen und Bedingungen, Messmethoden und Methoden zur Probenahme sowie Bedingungen der Verarbeitung und Auswertung der Messergebnisse und die Berichterstattung. Die generellen Anforderungen für die an der Prüfung beteiligten Parteien und die individuellen Phasen der Prüfung und Verifizierung sind in den „Allgemeinen VERA Richtlinien“ genannt, die vom Internationalen VERA Board genehmigt wurden.

Dieses Dokument wurde von nominierten internationalen Fachexperten des „Internationalen VERA Komitees (IVC) für Abdeckungen und andere emissionsmindernde Technologien“ erarbeitet.

Mit den VERA Verifizierungsurkunden soll eine optimale Verwendbarkeit der Informationen durch die verschiedenen Interessensgruppen in den Mitgliedstaaten erzielt werden. Das Prüfprotokoll muss also ein breites Spektrum an verlässlichen Daten bereitstellen, die bei der Verifizierung so analysiert und zusammengefasst werden können, dass sie von den einzelnen nationalen Nutzern direkt oder indirekt auf möglichst breiter Basis verwendet werden können.

Aus Kosten- und Zeitgründen wird in den Prüfprotokollen jedoch nur eine begrenzte Anzahl von Parametern bewertet. Zudem ist die Anzahl der anwendbaren wissenschaftlichen Verfahren und Normen begrenzt. Ausgangspunkt bei der Gestaltung dieses Prüfverfahrens war daher die Schaffung eines optimalen Gleichgewichts zwischen verlässlichen Informationen, die den Bedürfnissen der einzelnen Nutzer dienen, und dem Zeitaufwand sowie den Kosten des zur Durchführung der Prüfung.

2. Anwendungsbereich

Dieses Protokoll bestimmt die Informationen, die als Grundlage für eine Prüfung und Verifizierung von Abdeckungen und anderen emissionsmindernden Technologien zur Reduzierung gasförmiger Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlagern notwendig sind.

2.1. Definition „emissionsmindernde Technologien für Wirtschaftsdüngerlager“

Generell existieren zwei Arten von Außenlagern für Wirtschaftsdünger:

- Feste Behälter oder Lagunen zur Lagerung von Flüssigmist;
- Haufen oder Container für Festmist.

Aufgrund des unterschiedlichen Aufbaues dieser Lagerungsarten von Wirtschaftsdünger variieren auch die Abdeckungen oder die anderen emissionsmindernden Systeme. Dies muss beim Prüfaufbau berücksichtigt werden.

In diesem Protokoll wird eine emissionsmindernde Technologie als jede Form der Behandlung definiert, mit der sich Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlagern reduzieren lassen, wie zum Beispiel:

- Abdeckungssysteme, die den Kontaktbereich zwischen dem gelagerten Wirtschaftsdünger und der Außenluft reduzieren, z. B. eine feste Abdeckung oder Schwimmdecken
- Zusatzstoffe, z. B. Ansäuerung
- Verdichtung für Festmistlager
- Andere Behandlungsmethoden zur Reduzierung von Emissionen

2.2. Angestrebte Ergebnisse und Informationen

Zu den spezifischen Informationen gehören:

- Eine umfassende Beschreibung des Systems: Arbeitsprinzip, Systembeschreibung, wesentliche Betriebsparameter und Benutzerhandbuch
- Technische Leistung des Systems auf Basis der im Prüfzeitraum gesammelten Daten
- Messmethoden, einschließlich Anforderungen, Probenahmeverfahren, Datenerfassung und -behandlung, Kalkulationsmethoden und Berichterstattung
- Bewertungsparameter zur Beurteilung der Umwelleistung des geprüften Systems
- Evaluierung der Betriebssicherheit der Technologie

Im Mittelpunkt dieses Dokuments stehen primär folgende Umweltbelastungen:

- Ammoniak
- Geruch
- Treibhausgase (CH₄, N₂O).

Dieses Protokoll beschreibt die Anforderungen an die Prüfung von Abdeckungen und anderen emissionsmindernden Technologien in einem definierten Prüfzeitraum. Der Prüfzeitraum und die Anzahl der Probenahmetage werden dadurch bestimmt, dass sie die Anforderungen einer statistisch gesicherten Bewertung der Leistungsfähigkeit der Technologie erfüllen können.

Die Betriebssicherheit und Abweichungen vom Normalbetrieb werden im Prüfzeitraum überwacht, aufgezeichnet und im Prüfbericht dargestellt. Spezifische Prüfparameter für die Beurteilung der langfristigen Zuverlässigkeit und der Lebensdauer sind jedoch nicht in diesem Protokoll enthalten.

Jedoch sollten Abdeckungen und andere emissionsmindernde Technologien drei bis fünf Jahre nach ihrer Markteinführung erneut im Hinblick auf deren langfristige Wirkungen und Haltbarkeit bewertet werden, auch wenn eine erneute Bewertung nicht Bestandteil des vorliegenden Prüfprotokolls ist.

2.3. Verwendung der Ergebnisse zur Verifizierung

Nach dem Abschluss einer Prüfung kann die Verifizierung der Umwelteffizienz auf Basis der Prüfergebnisse gemäß dieses Protokolls und der Allgemeinen VERA Richtlinien vorgenommen werden.

Die VERA Verifizierung stellt keine Zulassung, Zertifizierung oder Abnahme einer Technologie dar.

VERA Verifizierungen beruhen auf der Bewertung der Leistungsfähigkeit einer Technologie entsprechend spezifischen, im Voraus festgelegten Kriterien und anhand geeigneter Qualitätssicherungsverfahren. VERA spricht weder explizit noch implizit eine Garantie für die Leistung einer Technologie aus und bescheinigt nicht, dass eine Technologie immer in der verifizierten Weise funktionieren wird. Der Endanwender trägt die alleinige Verantwortung für die Einhaltung aller geltenden Anforderungen des Bundes, der Bundesländer und der Kommunen. Der Endnutzer muss zudem berücksichtigen, dass die an VERA beteiligten Länder jeweils unterschiedliche rechtliche Anforderungen haben. Diese können sich in jedem Land entsprechend auf den Status und die Verwendung der Verifizierungsurkunde auswirken.

3. Normative Verweisungen

Die in dem folgenden Text genannten Normen und Standards sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die neueste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

4. Abkürzungen

a	Jahr (<i>lateinisch: annus</i>)
C	Kohlenstoff
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
d	Tag (<i>englisch: day</i>)
FTIR	Fourier-Transform-Infrarotspektrometer
GC-ECD	Gaschromatographie – Elektroneneinfangdetektor
GC-FID	Gaschromatographie – Flammenionisationsdetektor
GHG	Treibhausgase (<i>englisch: greenhouse gases</i>)
GLP	Gute Laborpraxis
GV	Großvieheinheit
h	Stunde (<i>englisch: hour</i>)
IVB	Internationales VERA Board
IVC	Internationales VERA Komitee
N	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
N ₂ O	Lachgas
NO _x	bezieht sich auf NO (Stickoxid) und NO ₂ (Stickstoffdioxid)
PM	Staub (<i>englisch: Particulate matter</i>)
ppm	Teile pro Million (<i>englisch: parts per million</i>)
TAN	Gesamter ammoniakalischer Stickstoff (TAN=NH ₃ +NH ₄ ⁺)
TM	Trockenmasse
VERA	Verifizierung von Umwelttechnologien für die landwirtschaftliche Produktion (<i>englisch: Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production</i>)

5. Begriffe und Definitionen

Abdeckungstechnologie

Abdeckungssysteme für Wirtschaftsdüngerlager lassen sich in Systeme einteilen, die auf der Oberfläche des Wirtschaftsdüngers schwimmen – **Schwimmdecken** – und in solche, die die Lagereinrichtung überdecken – **dachartige Abdeckungssysteme**. Wie im Folgenden:

Schwimmdecken

Gewebemembran:

- schwimmt direkt auf der Flüssigmistoberfläche.
- ist am Rand des Lagers angebracht und schwimmt auf der Flüssigmistoberfläche.
- Wasser, das sich auf der Membran ansammelt, muss abgepumpt werden.

Schwimmschicht:

- natürliche Kruste, die sich durch den Inhalt und die Rückstände auf der Flüssigmistoberfläche bildet.
- Strohhäckselschicht auf der Flüssigmistoberfläche.
- Festmist, der auf der Flüssigmistoberfläche verteilt wird.
- LECA-Blähton, der auf der Flüssigmistoberfläche verteilt wird.
- Granulat oder Strukturen aus abbaubaren oder nicht abbaubaren Schwimmkörpern, die auf der Flüssigmistoberfläche verteilt werden.

Dachartige Abdeckungssysteme

Zeltdach:

Zeltdächer besitzen einen zentralen Stützpfeiler, von dessen Spitze Speichen ausgehen. Über die Speichen ist eine Gewebemembran gespannt, die mit einer Randverankerung befestigt ist. Zur Vermeidung von Methan-Ansammlungen müssen Zeltdächer Belüftungsöffnungen besitzen.

Feste Abdeckungen:

Bei einer festen Abdeckung kann es sich um eine feste Behälterabdeckung, die direkt auf dem Lagerbehälter aufliegt, oder um ein Kegeldach handeln. Sie wird gewöhnlich zu Baubeginn konstruiert und zur gleichen Zeit wie das Lager errichtet. Ein Flachdach besteht oftmals aus Beton, während Kegeldächer aus Glasfaser gefertigt sein können. Flachdächer müssen normalerweise durch Streben gestützt werden.

Additiv (direkte Beimengung)

Künstlich hergestelltes oder natürlich vorkommendes Produkt oder Substanz, die Wirtschaftsdüngern beigemischt wird, um deren biologische, chemische oder physikalische Eigenschaften zu ändern.

Beispiele:

- Zubereitungen aus bakteriellen Enzymen
- Pflanzenextrakte
- Oxidierende Stoffe
- Desinfektionsmittel
- Urease-Inhibitoren
- Maskierungsmittel
- Säure, säurebildende Verbindungen
- Adsorptionsmittel.

Ammoniak (NH₃)

Gas, das aus den Exkrementen der Nutztiere bei der Umwandlung aus Harnstoff bzw. bei Geflügelkot aus Harnsäure entsteht, welches zur Versauerung und Stickstoffanreicherung von empfindlichen Ökosystemen sowie weiteren negativen Umweltwirkungen führt.

Ammoniak-Emissionen

Der Prozess, bei dem Ammoniakgas (NH₃) aus einer Lösung freigesetzt wird.

Ausfallzeit

Die Zeit, in der das geprüfte System nicht in Betrieb ist, etwa aufgrund einer Funktionsstörung.

Betriebszeit

Der Zeitraum, in dem das geprüfte System in Betrieb ist.

Festmist

Exkremate von im Stall gehaltenen Nutztieren, die mit an Einstreu versetzt werden. Festmist fließt nicht durch sein Eigengewicht und kann nicht gepumpt werden. Aus den unterschiedlichen Arten von Tierställen entstehen verschiedene Arten von Festmist.

Flüssige Phase

Flüssige oder dünnflüssige Phase aus der mechanischen Separation von Flüssigmist.

Flüssigmist („Gülle“)

Von im Stall gehaltenen Nutztieren produzierter Kot und Urin, der üblicherweise mit geringen Mengen an Einstreu und Wasser vermischt ist. Die Trockenmasse von Flüssigmist liegt gewöhnlich im Bereich von 1% bis 10%. Flüssigmist ist eine Mischung aus flüssigen und festen Stoffen, wobei die meisten Feststoffe in der Flüssigphase normalerweise nicht gelöst sind und sich daher nach längerer Lagerdauer aus der Flüssigkeit an der Flüssigmistoberfläche absetzen.

Geruch

Ein angenehmer oder unangenehmer Duft, der durch verschiedene Geruchsstoffe mit sehr unterschiedlichen chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften erzeugt wird. Die Geruchskonzentration wird gewöhnlich in Europäischen Geruchseinheiten pro Kubikmeter Luft (GE m⁻³) angegeben.

Standardfehler

Der Standardfehler (SE) des Mittelwerts wird wie folgt errechnet: $SE = SD/\sqrt{n}$, worin die Standardabweichung (SD) mit der

Gleichung $SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$ errechnet wird. Falls mehrere Messungen der Gasemissionen aus einem Misthaufen

im gleichen Zeitintervall erfolgt sind, kann der SE der durchschnittlichen Emission aus diesem Lager im angegebenen Zeitintervall errechnet werden. Falls im gleichen Zeitintervall Ammoniak-Emissionen aus mehreren Wirtschaftsdüngerlagern gemessen werden, die aus der gleichen Quelle stammenden und mit der gleichen Technologie gelagerten Wirtschaftsdünger enthalten, kann der SE der durchschnittlichen Emission aus dieser „Behandlung“ errechnet werden. Dieser kann dann zur Beurteilung signifikanter Unterschiede zwischen dieser Behandlung und anderen Behandlungen verwendet werden.

Treibhausgase (GHG)

Gase, die zum anthropogenen Treibhauseffekt und zur globalen Erwärmung beitragen. Die wesentlichen Treibhausgase sind Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O).

Wirtschaftsdünger

Ein Oberbegriff für organisches Material, das tierische Ausscheidungen aus der Nutztierhaltung enthält. Ein Oberbegriff für Festmist und Flüssigmist.

6. Systembeschreibung

Der Hersteller/Antragsteller muss vor dem Beginn einer VERA Prüfung eine genaue und vollständige Beschreibung des Systems oder der Technologie bereitstellen. Diese Informationen werden von dem Prüfinstitut, von den Benutzern des Systems, den Verifizierungsstellen und anderen benötigt. Im gewissen Umfang sind sie auch Bestandteil des abschließenden Prüfberichts. Die Systembeschreibung muss alle relevanten und wesentlichen Informationen enthalten, um:

- die Prüfung zu organisieren und zu gestalten.
- Den Landwirt in die Lage zu versetzen, das System ordnungsgemäß zu betreiben, zu warten und zu überwachen.
- das System online zu überwachen, einschließlich der wichtigen Parameter, die zur Bestimmung der Betriebs-/Ausfallzeit des Systems benötigt werden (sofern zutreffend).
- den Verifizierungsstellen die Kontrolle des Systems nach der Durchführung einer Prüfung zu ermöglichen.
- Einsichten in die Arbeitsmechanismen des Systems zu gewähren.

Für Abdeckungssysteme und Systeme zur Behandlung von Wirtschaftsdünger sind unterschiedliche Beschreibungen erforderlich (siehe Tabellen). Vor Prüfbeginn müssen die folgenden beiden Tabellen ausgefüllt werden.

Tabelle 1: Systembeschreibung von Abdeckungssystemen

Hersteller	Name der Firma
Modell	Name und Nummer des Modells
Leistungsbeschreibung	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung von Ammoniak • Geruchsreduzierung • Reduzierung von Treibhausgasen • Sonstige
Art des Wirtschaftsdüngers, für den die Technologie geeignet ist	<ul style="list-style-type: none"> • Fester oder flüssiger Wirtschaftsdünger • Rinder-, Schweine-, Geflügel- oder alle anderen Arten von Wirtschaftsdünger • Behandelte Wirtschaftsdünger, z. B. getrennte, vergorene oder angesäuerte Formen von Wirtschaftsdünger
Beschreibung der Technologie (Enthält eine kurze Beschreibung des Materials und der Leistungseigenschaften)	<ul style="list-style-type: none"> • Schwimmschicht oder schwimmendes Granulat aus nicht oder langsam zerstörendem Material, gasundurchlässige Flüssigkeit, die auf der Oberfläche schwimmt oder ähnliches (Material beschreiben) • Zeltabdeckung (Material beschreiben) • Feste Abdeckung (Material beschreiben)
Größe und Gewicht der Technologie	<ul style="list-style-type: none"> • Gewicht (kg pro Fläche) • Materialdicke (mm) • Min./max. Fläche (m²)
Öffnungen (nur luftdichte Materialien)	<ul style="list-style-type: none"> • Fläche (m²) • Im Verhältnis zur gesamten Abdeckungsfläche (%)
Aufrühren (für das Rühren des Wirtschaftsdüngers erforderlich) und Behandlung des Wirtschaftsdüngers (im Lager)	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanisch • Verwendung von Zusatzstoffen • Sonstige
Technische Zeichnungen	Auf einem separaten Blatt anzugeben

Tabelle 2: Beschreibung des Systems zur Behandlung von Wirtschaftsdünger

Hersteller	Name der Firma
Modell	Name und Nummer des Modells
Leistungsbeschreibung	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung von Ammoniak • Geruchsreduzierung • Reduzierung von Treibhausgasen • Sonstige
Art des Wirtschaftsdüngers, für den die Technologie geeignet ist	<ul style="list-style-type: none"> • Fester oder flüssiger Wirtschaftsdünger • Rinder-, Schweine-, Geflügel- oder alle Arten von Wirtschaftsdünger • Behandelte Wirtschaftsdünger, z. B. getrennte, vergorene oder angesäuerte Formen von Wirtschaftsdünger
Beschreibung der Technologie (Enthält eine kurze Beschreibung der Technologie und Leistungseigenschaften)	<ul style="list-style-type: none"> • Ozonisierung • Ansäuerung • Andere Zusatzstoffe (beschreiben) • Sonstige (beschreiben)
Arbeitsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Grundprinzip • Prozesse
Verwendung von Zusatzstoffen	<ul style="list-style-type: none"> • Art des Zusatzstoffes • Menge des Zusatzstoffes (kg/t oder m³ des Wirtschaftsdüngers) • Kosten des Zusatzstoffes zum Zeitpunkt der Prüfung (Kosten pro Volumen oder Gewicht)
Energiebedarf	kWh pro Lagerperiode und/oder Masse des Wirtschaftsdüngers
Technische Zeichnungen	Auf einem separaten Blatt anzugeben

Die **detaillierte Beschreibung des zu prüfenden Systems oder der Technologie** muss Folgendes umfassen:

- Liste mit (technischen) Komponenten, die für die Anwendung benötigt werden, einschließlich Typ (z. B. Material und Merkmale), technische Beschreibung, Funktionsbeschreibung und Konstruktion
- Beschreibung der angewandten Technik und Angabe der Genauigkeit der Anwendung. Zur Beschreibung muss die Verwendung von Zusatzstoffen, deren Zusammensetzung und Vorsorgemaßnahmen gegen Umweltrisiken gehören. Die Zusatzstoffe müssen gemäß der nationalen Gesetzgebung zugelassen sein.
- Die Funktion des Systems im Detail und die erwartete Leistung des Systems hinsichtlich seiner Wirkung auf Umweltschadstoffe.
- Abbildungen und/oder Skizzen des Systems (Draufsicht, Schnittansicht und Detailabbildungen, sofern erforderlich).
- Liste mit den wesentlichen Konstruktionsmerkmalen und Betriebsparametern (Wertebereiche), die für das zu prüfende System spezifisch und für eine ordnungsgemäße Funktion entscheidend sind und aus diesem Grund im Rahmen der Prüfung überwacht werden müssen (z. B. Mindestmenge an Zusatzstoffen pro m³).

Der Hersteller/Antragsteller muss folgende allgemeine Informationen liefern:

- Detaillierte Anweisungen für den Betrieb, Kundendienst, die Wartung und Überwachung;
- Umwelt- und Arbeitssicherheit der angewandten Produkte;
- Prognostizierte Lebensdauer des Systems und seiner Komponenten;
- Garantiebedingungen.

Benutzerhandbuch

Für die Technologie muss ein Benutzerhandbuch in der Landessprache verfügbar sein. Bei der Abfassung sind die Norm EN 82079 *Erstellen von Gebrauchsanleitungen – Gliederung, Inhalt und Darstellung* zu berücksichtigen. Dort sind allgemeine Prinzipien und detaillierte Anforderungen an die Gestaltung und die Formulierung aller Arten von Anleitungen zusammengestellt. Außerdem ist die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG zu erfüllen, welche die Rechtsgrundlage für die Harmonisierung wesentlicher Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen für Maschinenausstattungen bilden.

Das Benutzerhandbuch muss zusammen mit der Systembeschreibung bereitgestellt werden und die Informationen enthalten, wie sie in diesem Abschnitt aufgeführt sind. Sie muss insbesondere Anleitungen enthalten für:

- Den Betrieb des Systems und der technischen Anlagen.
- Die Verhütung und Umgang von Störfällen (Umweltsicherheit).
- Den Gesundheitsschutz und Sicherheitsmaßnahmen im Betrieb.
- Den Kundendienst und die Wartung.
- Die Überwachung der Anlagen.

7. Anforderungen

Dieses Kapitel beschreibt die Anforderungen an die Prüfung von Abdeckungen und anderen Technologien zur Minderung gasförmiger Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlagern.

Darüber hinaus sind in diesem Kapitel die bei der Prüfung zu berücksichtigenden Messparameter und die zu verwendenden Methoden angegeben. Außerdem enthält dieser Abschnitt die Anforderungen zur Sicherstellung repräsentativer Prüfbedingungen sowie die Anforderungen bezüglich der Auswirkungen der Technologie auf Gesundheitsschutz und Sicherheit am Arbeitsplatz.

Alle übrigen Anforderungen allgemeiner Art an den Prüf- und Verifizierungsprozess, einschließlich der Qualifikation der Prüfpartner, werden in den **Allgemeinen VERA-Richtlinien** (GVG) dargelegt.

7.1. Vorprüfung oder Vorbereitung der vollständigen Prüfung einer Technologie

Das Prüfprotokoll kann sowohl während der Entwicklung einer neuen Technologie (im Sinne einer Vorprüfung) verwendet werden als auch zur Prüfung einer verkaufsfertigen Technologie mit dem Ziel einer Verifizierung.

Bei einer neuen Technologie wird dringend empfohlen, die Vorabprüfung vor Beginn der umfassenden Prüfung durchzuführen. Eine vollständige Prüfung sollte erst dann gestartet werden, wenn die Vorversuche deren Betriebssicherheit und Funktionsfähigkeit gezeigt hat. Um die Leistung und Stabilität der neuen Technologie zu erläutern und zu optimieren, sind bei der Vorprüfung einer Technologie bereits Teile des Prüfprotokolls verwendbar. In einer solchen Vorprüfung kann der Hersteller die Prüfeinrichtung jederzeit besuchen.

Für eine umfassende Prüfung einer Technologie mit dem Ziel einer VERA Verifizierung müssen alle nachstehend genannten Anforderungen erfüllt sein. Hierzu gehören auch die in den GVG genannten allgemeinen Anforderungen, Anforderungen/Beschränkungen beim Besuch landwirtschaftlicher Betriebe und Modifizierungen der Technologie.

An der Prüfung wirken mehrere Akteure mit:

1. Der Antragsteller, der die Prüfung einer Technologie beabsichtigt.
2. Die Prüfstelle, die die gewünschten Prüfungen durchführt.
3. Der Landwirt (oder die Landwirte), der die Einrichtungen betreibt, an denen die Prüfungen erfolgen.

Ein detaillierter **Prüfplan** muss von der Prüfstelle gemäß der Vorlage in Anhang A erstellt werden, einschließlich aller relevanten Parameter. Zu den Prüfungen muss ein Protokollbuch gehören, worin der Prüfplan dargestellt werden kann.

Der Antragsteller/Hersteller hat vor Beginn einer VERA Prüfung eine vollständige Beschreibung des zu prüfenden Systems oder der Technologie zu liefern, vgl. Kapitel 6. Die Beschreibung muss detaillierte Anweisungen für den Betrieb, Kundendienst, die Wartung und Überwachung enthalten.

7.2. Verantwortlichkeiten im Prüfzeitraum

Während des Anlagenbetriebs ist der Antragsteller/Hersteller der emissionsmindernden Technologie für die elektronische oder manuelle Aufzeichnung einer Reihe von wichtigen Parametern zur Überprüfung des Anlagenbetriebes verantwortlich. Zu den protokollierten Parametern müssen alle Parameter gehören, die für die Berechnung der Betriebszeit/Ausfallzeit des Systems wichtig sind, vgl. Kapitel 6.

Betriebsprobleme sind zu datieren und vom Landwirt oder der Prüfstelle in einem Protokollbuch zu beschreiben. Zusätzlich muss ein Datum und eine Beschreibung dazu aufgenommen werden, wann und wie das Problem gelöst wurde. Das Protokollbuch wird vom Landwirt und dem Antragsteller/Hersteller unterschrieben, nachdem Reparaturen abgeschlossen wurden.

Falls der Antragsteller/Hersteller an Vorgängermodellen der Technologie Prüfungen vorgenommen hat, müssen alle früheren Prüfberichte und eine Beschreibung der Unterschiede zwischen den Modellen eingereicht werden.

Die Prüfstelle ist für die Koordinierung und Umsetzung des Prüfplans sowie für die Aufzeichnung aller erforderlichen Datentabellen zuständig. Ferner ist die Prüfstelle für die Errechnung der Betriebs-/Ausfallzeiten des geprüften Systems verantwortlich (sofern relevant). Im Prüfzeitraum muss dem Prüfinstitut das Protokollbuch jederzeit zur Verfügung stehen.

Der Landwirt ist für die Aufzeichnung der Produktionsbedingungen gemäß Prüfplan zuständig. Außerdem muss der Landwirt die für Betriebsprobleme und Instandhaltung der Technologie aufgewandten Zeiten aufzeichnen.

7.3. Prüfaufbau und Probenahme

7.3.1. Prüfaufbau

Die umweltrelevante Lagertechnik muss für beide Systeme, also sowohl für Flüssigmist als auch für Festmist, wie nachstehend beschrieben auf die ausgewählten Umweltparameter geprüft werden: Ammoniak, Geruch und/oder Treibhausgase. Alle Prüfungen sind als Fall-Kontroll, sog. „Case-Control“-Studien durchzuführen, bei denen das Fallsystem mit der zu prüfenden Anwendung vom Kontrollsystem nur durch die zu untersuchende Umwelttechnologie abweichen darf.

Damit die Effizienz der Emissionsminderung der Technologie errechnet werden kann, müssen die Emissionen von Ammoniak, Geruch und Treibhausgasen aus dem mit einer Umwelttechnologie versehenen Wirtschaftsdüngerlager einer Referenz-Lagermethode zugeordnet sein; zum Beispiel: keine Abdeckung, aber ähnlicher Wirtschaftsdünger und ähnliche Lagerung. Bei der Referenztechnologie, die beschrieben und spezifiziert werden muss, muss es sich um die in dem entsprechenden Land am häufigsten eingesetzte Methode handeln.

Prüfeinrichtung

Die emissionsmindernde Technologie muss unter Lagerbedingungen geprüft werden, die, insbesondere hinsichtlich Tiefe/Höhe, Volumen, Oberfläche etc., der üblichen Praxis einer Wirtschaftsdüngerlagerung entsprechen und damit so repräsentativ wie möglich sind. Eine Prüfeinrichtung muss folgende Mindestabmessungen haben:

- für Lager flüssiger Wirtschaftsdünger: Flüssigmistbehälter mit mindestens 4 m³ Volumen und 1,5 m Tiefe
- für Lager fester Wirtschaftsdünger: mindestens 2 m x 2 m x 1,5 m (Länge x Breite x Höhe).

Falls die Technologie bei Wahrung der oben genannten Mindestmaße im kleinen Maßstab geprüft werden soll, soll die Prüfung so gestaltet sein, dass die Vergleichbarkeit mit Lagereinrichtungen landwirtschaftlicher Betriebe im größeren Maßstab gegeben ist. Das bedeutet, dass Anforderungen definiert werden müssen, um sowohl den Aufbau der Prüfeinrichtung also auch die Managementbedingungen während des Prüfzeitraums sicherzustellen, die für den entsprechenden landwirtschaftlichen Betrieb repräsentativ sind.

7.3.2. Probenahme

Tabelle 3: Probenahme bei der Prüfung umweltrelevanter Lagertechnologien

Parameter	Anforderungen
Anzahl der Lagereinheiten zur Probenahme	≥ 2 (mindestens: 1 Fall und 1 Kontrolle)
Mindestgröße der Lagereinheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Es sind geeignete Abmessungen zu wählen. • Die Abmessungen müssen für die Lagerung repräsentativ sein und im Prüfbericht erklärt werden. • Abhängig von der verwendeten Messmethode (siehe Tabelle 4) müssen sich die Messungen auf das gesamte Lager oder auf Teile davon erstrecken.
Zeiträume der Probenahme	Eine im Zeitraum Frühjahr/Herbst (geringe Emissionen) Eine im Zeitraum Sommer (hohe Emissionen)
Zusammensetzung des Wirtschaftsdüngers	Festmist: Drei Proben pro Lagereinheit, wobei jede Probe aus zehn repräsentativen Teilproben bestehen muss. Flüssigmist: Drei Proben pro Lagereinheit, falls der Flüssigmist kurz zuvor gerührt und homogenisiert wird. Andernfalls drei Proben pro Lagereinheit, wobei jede Probe aus zehn repräsentativen Teilproben bestehen muss.

In Tabelle 4 sind die Bedingungen der Probenahme für den Fall aufgeführt, dass sich die Messungen nur auf Teile des Lagers erstrecken. Die Richtlinie VDI 3880:2011 Abschnitt 5.3.2 ff („Passive Flächenquellen“) kann als Leitfaden dienen.

Tabelle 4: Bedingungen der Probenahme bei nur teilweiser Abdeckung

Parameter der Probenahme	Für Messungen mit teilweiser Abdeckung
Anzahl der Probenahmestellen	100 m ² → mindestens 3 1000 m ² → mindestens 5
Größe der Probenahmefläche unter Haube/Messhaube	Mindestens 0,5 m ² Oberfläche, die dem Luftstrom ausgesetzt ist.
Dauer der Probenahme	Mindestens 30 Minuten pro Probenahmestelle.
Windgeschwindigkeit (im Mittelpunkt der Haube):	0,1 – 0,3 m/s
Messleitungen	Kondensation muss vermieden werden, z. B. durch beheizte Rohre oder höhere Luftraten
Material	Material, an das die zu untersuchenden Gase nicht adsorbieren
Für Ammoniak-Messungen	Bei Impingern ist zu lange Exposition zu vermeiden (Prüfung mit zwei in Reihe gesetzten Waschflaschen).

Zusammensetzung des verwendeten Wirtschaftsdüngers

Die mit diesem Protokoll erzielten Daten sind auf Wirtschaftsdünger mit einer spezifizierten Zusammensetzung beschränkt, die definiert werden müssen. Daher müssen die nachstehenden Parameter in Bezug auf die Zusammensetzung des Wirtschaftsdüngers (Tabelle 5) gemessen und im Prüfbericht aufgenommen werden.

Tabelle 5: Zusammensetzung des bei der Prüfung verwendeten Wirtschaftsdüngers

Parameter des Wirtschaftsdüngers	Einheit	Messmethoden
Trockenmasse (TM)	g pro kg (ww)	EØF 103°C
Gesamtstickstoff	g pro kg (ww)	Kjeldahl/Dumas
Ammoniakalischer Stickstoff (TAN)	g pro kg (ww)	71/393/EØF
Aschegehalt	g pro kg (Trockengewicht)	EØF 71/250
pH-Wert	pH-Einheiten	GLP, z. B. Metrohm, Protrode
Quelle des Wirtschaftsdüngers	Rinder, Schweine, Geflügel, Pelztiere etc.	
Art des Wirtschaftsdüngers	Fest, flüssig, getrennt, angesäuert, vergoren etc.	
Alter des Wirtschaftsdüngers	Tage der Lagerung vor der Messung.	

Wetterparameter

Die mit diesem Protokoll erhobenen Daten hängen in hohem Maße vom Wetter und den Umweltbedingungen während der Lagerung und der Probenahme ab.

Bei der Verwendung von Kammersystemen ist es zulässig, Daten der folgenden Parameter (Tabelle 6) von der nächstgelegenen Wetterstation (max. in 5 km Entfernung vom Prüfgelände) zu verwenden.

Wenn die mikrometeorologische Methode angewandt wird, müssen die Wetterparameter am Ort des Experiments gemessen und im Prüfbericht aufgenommen werden.

Tabelle 6: Umwelt- und Wetterbedingungen während der Probenahme

Klimatische Bedingungen	Einheit
Jahreszeit	Monat
Windgeschwindigkeit	m s ⁻¹
Relative Luftfeuchtigkeit	rF
Lufttemperatur	°C
Temperatur des Wirtschaftsdüngers in der flüssigen Oberflächenschicht (0-5 cm) und in der Mitte des Lagers	°C

7.4. Messungen

7.4.1. Kalibrierung, Verifizierung und Validierung

Für einige Messgrößen sind in diesem VERA Prüfprotokoll mehrere Messverfahren aufgeführt. Diese gelten damit als für eine VERA Verifizierung als zulässig. Einige Verfahren sind ausdrücklich als „**Referenzmethode**“ bezeichnet, die zur Verifizierung der Messdaten und Validierung anderer Methoden verwendet werden sollen. Jede Konfiguration eines Teils der Messgeräte muss gemäß der in diesem Protokoll vorgeschriebenen Referenzmethode validiert werden. Die Validierung ist zu berichten und sollte nach EN 14793 erfolgen.

Die Kalibrierung der Messinstrumente ist ein wesentlicher Bestandteil der Definition der Konfiguration. Dies betrifft sowohl Kalibrierverfahren, die nur mehrjährig oder jährlich vorgenommen werden müssen, als auch solche, die vor jedem Einsatz durchzuführen sind. Bei der Kalibrierung müssen auch mögliche Querempfindlichkeiten durch andere Gase sowie Temperaturen, relative Luftfeuchte etc. berücksichtigt werden.

Die Verifizierung der verwendeten Messverfahren/-ausrüstung im Sinne einer Vorort-Prüfung muss am Prüfstandort mithilfe eines Messverfahrens durchgeführt werden, welches präziser als das verwendete ist.

Sämtliche Kalibrierungs- und Verifizierungsverfahren sowie Messunsicherheitsbetrachtungen für die relevanten Parameter müssen die Anforderungen der ISO 17025 erfüllen und sind zu dokumentieren und zu berichten.

7.4.2. Messparameter

Zur Messung der verschiedenen umweltrelevanten Gase müssen unterschiedliche Bedingungen der Probenahme und Messsysteme angewandt werden. In Tabelle 7 sind die notwendigen Bedingungen und Messmethoden für das Messen von Ammoniak, Geruch und Treibhausgasen (GHG) aufgeführt.

Da es für dieses Anwendungsgebiet keine allgemein akzeptierten Methoden zur Geruchsmessung gibt, wird zwar eine Methode vorgeschlagen, die jedoch gegebenenfalls nicht in allen Teilnehmerländern akzeptiert wird.

Tabelle 7: Probenahme-/Messmethoden für Ammoniak, Geruch und Treibhausgase

Parameter	Sampling (minimum requirements)	Measuring method
Ammoniak	<p>Methoden der Probenahme: Kontinuierliche und gleichzeitige Messungen der Ammoniakkonzentrationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • aus Zuluft und Abluft (dynamische Kammer) • an der Begrenzungsfläche des Lagers ein- und austretende Luft (mikrometeorologische Methode) <p>Zeitraum der Probenahme: ≥ 60 Tage für Festmist Durchmischung des Lagers muss berücksichtigt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wenn es gemischt wird, wird 60 Tage lang kontinuierlich gemessen. • Wenn es nicht gemischt wird, wird solange gemessen, bis der Anstieg der kumulierten Emission über eine Woche weniger als 5% beträgt. <p>≥ 30 Tage für flüssige Wirtschaftsdünger. Längere Zeiträume sind gegebenenfalls in den Fällen nötig, bei denen die Messung durch Umwandlungsprozesse beeinflusst wird.</p>	<p>Offene dynamische Kammer, die die Fläche vollständig oder teilweise abdeckt (siehe Tabelle 4)</p> <p>Mikrometeorologische Methode (gesamte Fläche). Es ist auf die Vermeidung von Störungen zu achten!</p> <p>Referenzmethode: Waschflaschen „Impinger“ (ISO/DIS 21877, NEN 2826, VDI 3496).</p> <p>Nach entsprechender Validierung können auch andere Methoden verwendet werden, z. B. photoakustische Geräte, FTIR-Spektrometer.</p>
(Geruch) *	<p>Methoden der Probenahme: Gleichzeitige Beprobung des Gasraums der Kammer zur Bestimmung von Geruchskonzentrationen.</p> <p>Anzahl der Messtage Drei Messtage pro Prüfung.</p> <p>Anzahl der Proben: Drei Proben an der Abluft pro Behandlung und Messtag.</p> <p>Dauer der Probenahme: Zwischen 20 und 60 Minuten.</p> <p>Ausrüstung zur Probenahme: Nalophan-Gasprobenbeutel mit mindestens 30 l Inhalt.</p>	<p>* Hinweis: Diese Methode wird eventuell in den Niederlanden oder in Dänemark nicht akzeptiert.</p> <p>Wenn verbesserte Standards verfügbar und validiert sind, sollten diese verwendet werden.</p> <p>Durchfluss-Probenahmehaube gemäß VDI 3880.</p> <p>Methoden gemäß VDI 3880 (für die Probenahme) und gemäß EN 13725/AC – <i>Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie.</i></p>
Treibhausgase (GHG)	<p>Methoden der Probenahme:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zuluft und Abluft (für dynamische Kammern) • Luft des Gasraums (für statische Kammern) oder • an der Begrenzungsfläche des Lagers ein- und austretende Luft (für die mikrometeorologische Methode). <p>Zeitraum der Probenahme: ≥ 90 Tage bei Festmist ≥ 30 Tage für flüssige Wirtschaftsdünger.</p> <p>Häufigkeit der Probenahme: Drei Mal pro Woche in Zeiträumen, in denen hohe Emissionsraten zu erwarten sind bzw. zwei Mal pro Woche in Zeiträumen, in denen niedrige Emissionsraten zu erwarten sind.</p> <p>Zur Prüfung der Linearität bei statischen Kammern steht ein Online-Kalkulator zur Verfügung: https://cran.r-project.org/package=HMR (Pedersen et al., 2010).</p>	<p>Statische oder dynamische Kammersysteme, Mikrometeorologische Methode.</p> <p>Referenzmethode: Gaschromatographie GC-FID (CH₄), GC-ECD (N₂O).</p>

7.4.3. Messmethoden

Offenes, dynamisches Kammersystem

Bei dynamischen Kammern muss der Luftstrom vor Ort gemessen werden. Dynamische Kammern dürfen auch nur einen Teil der flüssigen Oberfläche abdecken. Dies ist insbesondere bei der Messung von Emissionen aus einem großen Lager mit flüssigem oder festem Wirtschaftsdünger regelmäßig der Fall. Wenn Emissionen aus Lagerstätten mit Wirtschaftsdüngern im Pilotmaßstab gemessen werden, können große Kammern verwendet werden, welche die gesamte Lagerstätte abdecken. Das Arbeitsprinzip ist bei beiden Methoden gleich. Daher folgt nachstehend eine generelle Beschreibung.

Das offene, dynamische Kammersystem besteht aus einer Messhaube, die einen Teilbereich oder den gesamten Bereich des gelagerten Wirtschaftsdüngers überdeckt (als Haubenabschnitt bezeichnet). Die Haube ist mit einem Kanal gekoppelt, der einen Ventilator mit variabler Geschwindigkeit oder einen Ventilator mit Öffnungsblende zur Regulierung des Luftstroms enthält. Der Luftstrom durch den Tunnel wird mit einem Anemometer aufgezeichnet. Die Luft tritt aus dem Tunnel an der Austrittsöffnung des Metallkanals aus. Vor die Haube soll ein Abschnitt oder eine Platte platziert werden, damit Windstöße in die Messhaube reduziert werden. Im Metallkanal der Tunnel kann vor dem Axialventilator ein Wabengleichrichter (Luftgleichrichter) installiert werden, um Luftverwirbelungen durch den Ventilator zu begrenzen. Zur Simulation der Geschwindigkeit des Außenwindes wird der Luftstrom im Metallkanal manuell oder automatisch durch Ändern der Ventilatorgeschwindigkeit oder Einstellen der Öffnungsblende geregelt. Die Probenahme erfolgt mit einem Mehrpunkt-Probennehmer in der Luft im Metallkanal. Beispiele für dynamische Kammern: siehe Anlage B.

Die NH_3 -Emission wird als F_{WT} (mit dynamischen Kammern gemessener Flux) in $[\text{kg N ha}^{-1} \text{h}^{-1}]$ ausgedrückt und mit folgender Gleichung errechnet:

$$F_{WT} = \frac{C_{\text{NH}_3, \text{out}} - C_{\text{NH}_3, \text{in}}}{A_B} A_i v_i$$

$C_{\text{NH}_3, \text{out}}$ und $C_{\text{NH}_3, \text{in}}$ sind zeitlich gemittelte gasförmige Emissionen von NH_3 $[\text{kg m}^{-3}]$ in Zuluft und Abluft; A_i ist die Querschnittsfläche des Einlasses (m^2); v_i ist die gemessene Windgeschwindigkeit am Tunneleinlass $[\text{m s}^{-1}]$ und A_B ist die Oberfläche der von der Tunnelhaube überdeckten Fläche $[\text{m}^2]$.

Statisches Kammersystem (nur für CH_4 und N_2O)

CH_4 und N_2O -Emissionen können mit einer geschlossenen Kammertechnik gemessen werden (Hutchinson und Mosier, 1981). Emissionen dieser Gase werden aus dem gelagerten Wirtschaftsdünger mit Kammern gemessen, die einen Teil der Oberfläche oder das gesamte Lager abdecken. Die Kammern müssen gasdicht sein. Bei großen Kammern, die höher als 10–20 cm sind, muss der Gasraum umgewälzt werden. Zur Probenahme mit Spritzen werden an der Kammer Septum-Gummiverschlüsse angebracht oder die Luft kann durch ein gasdichtes Rohr, das mit den Aus- und Einlassöffnungen der Kammer verbunden ist, durch ein kontinuierliches Gasmessgerät zirkuliert werden. Bei der Verwendung kleiner Kammern werden diese beim Messen der Gasemissionen auf dem Wirtschaftsdünger platziert oder schwimmend aufgelegt. Die Änderungen der CH_4 - und N_2O -Konzentration im Gasraum werden zur Berechnung der Gasflüsse verwendet. Die Kalkulation erfolgt mit der von Hutchinson und Mosier (1981) beschriebenen linearen oder logarithmischen Gleichung oder unter Verwendung des HMR-Programms (Pedersen et al., 2010). Dies bestimmt die beste Flux-Berechnungsmethode, d.h. lineare Regression oder nichtlineare Regression, auf Grundlage der Konzepte von Hutchinson und Mosier (1981).

Mikrometeorologische Methode

Mikrometeorologische Techniken haben den Vorteil, dass sich mit ihnen Emissionen messen lassen, ohne die Gegebenheiten des Wirtschaftsdüngerlagers zu stören. Sie lassen sich auch auf größere Bereiche anwenden als Durchflussskammern und messen die Emissionen aus dem gesamten Wirtschaftsdüngerlager, ohne dass die Messergebnisse extrapoliert werden müssen. Zum Messen von Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlagern eignen sich folgende mikrometeorologische Methoden.

- **Integrierte Horizontale Flux (IHF) Methode.** Bei dieser Methode wird an der Emissionsquelle eine Reihe von Messmasten gegen den Wind und in Windrichtung aufgestellt. An unterschiedlichen Höhen der Masten werden gleichzeitig die Konzentrationen des zu untersuchenden Gases (z. B. Ammoniak, Methan, Stickoxid) und die mikrometeorologischen Parameter (z. B. Windgeschwindigkeit, Windrichtung) gemessen. Die Differenz zwischen dem horizontalen Flux durch die dem Wind zugewandten und abgewandten vertikalen Ebenen der Quelle ergibt die Emission der Emissionsquelle. Messungen nahe der Quelle haben den Vorteil, dass Konzentrationen identifiziert werden, die im Vergleich zu Hintergrundkonzentrationen meistens hoch sind. Außerdem genügen kurze Messmasten, weil die Gasfahne nicht vertikal verteilt wird.
- **Tracergas-Ratio-Methode.** Bei dieser Methode wird ein Tracergas von der Quelle in einer bekannten Menge (E_{tracer}) so freigesetzt, dass es sich gut mit den emittierten Gasen (zum Beispiel Ammoniak oder Treibhausgasen) vermischt. Die Konzentrationen des Tracergases (C_{tracer}) und des zu messenden Gases (z. B. Ammoniak; C_{NH_3}) werden dann in Windrichtung von der Emissionsquelle gemessen. Unter der Annahme, dass das Tracergas und Ammoniak sich auf die gleiche Art und Weise verteilen, lassen sich die Ammoniak-Konzentrationen aus dem Verhältnis der gemessenen Konzentrationen und der Injektionsrate des Tracergases anhand folgender Gleichung errechnen:

$$E_{\text{NH}_3} = E_{\text{tracer}} \cdot \frac{C_{\text{NH}_3}}{C_{\text{tracer}}}$$

Tabelle 8 bietet ein Hilfsmittel zur Auswahl der richtigen Methode für die jeweilige Art der Lagerstätte.

Tabelle 8: Auswahl der Methode für die jeweilige Art der Lagerstätte

	Statische Kammer	Dynamische Kammer (z. B. schwimmende Systeme)	Mikrometeorologische Methode
Festmistlager	i.O. für GHG	Nicht geeignet	i.O.
Lagunen	i.O. für GHG	i.O.	i.O.
Flüssigmistlager	i.O. für GHG	i.O.	i.O.

7.5. Generelle Aspekte

7.5.1. Zulässige Abweichung vom Protokoll

Wenn bekannt ist, dass die Art der geprüften Umwelttechnologie einen bestimmten Parameter nicht oder nur marginal reduziert, kann der Hersteller/Antragsteller die Minderung für diesen spezifischen Parameter mit Null angeben und die für diesen Parameter vorgeschriebenen Messungen weglassen. Der Prüfbericht muss allerdings zeigen, dass die Umwelttechnologie aufgrund früherer Forschungen, Theorien oder Prüfergebnisse aller Wahrscheinlichkeit nach keinerlei negative Auswirkung auf den spezifischen Parameter hat.

7.5.2. Vorschriften und Arbeitssicherheit

Bei der Durchführung einer Prüfung gemäß diesem Prüfprotokoll, müssen bei allen Aktivitäten die relevanten, geltenden nationalen und EU-Gesetzgebungen sowie die entsprechenden Normen beachtet werden.

Abdeckungstechnologien bedingen im Wesentlichen keine manuelle Handhabung. Vorgaben hinsichtlich Gesundheitsschutz und Arbeitssicherheit oder die Chemiegeseztgebung sind eventuell nicht relevant, wohingegen diese Aspekte bei Technologien zur Behandlung von Wirtschaftsdünger geboten sein können, wie zum Beispiel bei der Ansäuerung. Auf folgende Aspekte sollte besondere Aufmerksamkeit gelegt werden:

- **Gesundheitsschutz und Sicherheit am Arbeitsplatz.** Generell müssen alle Industriemaschinen und Anlagen die Maschinenrichtlinie 2006/42/EC erfüllen. Sie müssen so konstruiert und gebaut sein, dass sie sich in allen Phasen ihrer Lebensdauer verwenden, einstellen und instand halten lassen, ohne Personen zu gefährden.
- **Chemiegeseztgebung.** Da keine manuelle Handhabung stattfindet, ist dieser Aspekt für Abdeckungstechnologien nicht relevant. Er könnte für Technologien zur Behandlung von Wirtschaftsdünger bedeutungsvoll sein, wie zum Beispiel bei der Ansäuerung.

Verzeichnisse der relevanten EU-Richtlinien und der internationalen Normen auf diesen Gebieten sind im Literaturverzeichnis dieses Prüfprotokolls und auf der VERA Webseite <http://www.vera-verification.eu/de/hersteller/pruefprogramme/> unter „Links zu EU Direktiven und internationalen Normen“ verfügbar. Die Liste erhebt jedoch keinen Wert auf Vollständigkeit. Nationale Gesetzesvorgaben und Normen darin nicht enthalten sind.

7.6. Datenbehandlung, Kalkulation und Evaluierung von Emissionen

Zur Angabe der Ergebnisse sind die erforderlichen Einheiten für jede Messgröße definiert. Damit soll eine bestmögliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse und eine ausreichende Datengrundlage zur Nachkalkulation, Reproduktion, Umwandlung und Zuordnung der Werte gewährleistet werden.

Die Ergebnisse der Emissionsparameter müssen relativ zum Volumen [m^3], Oberfläche und Zeit [$\text{m}^2 \text{d}^{-1}$] dargestellt werden. Zusammen mit den Charakteristika des Wirtschaftsdüngers müssen die Emissionsergebnisse entsprechend der Masse pro kg TAN oder kg N angegeben werden.

Für jeden individuellen Messpunkt wird die Minderungsrate zwischen dem untersuchten Technik und der Referenz errechnet und in Tabellen mit dem Median, Mittelwert und dem 95%-Perzentil sowie mit dem Standardfehler für die Zeiträume Sommer und Frühjahr/Herbst dargestellt.

8. Prüfberichterstattung und Bewertung

In diesem Abschnitt sind die Anforderungen an den Prüfbericht aufgeführt. Hierzu gehören auch die Form der System- und Prüfbeschreibung, Datenbehandlung, statistische Auswertung etc.

Der Prüfbericht muss in englischer Sprache und bei Bedarf in der Landessprache verfasst werden. Der Bericht muss die nachstehend aufgeführten Abschnitte und Zwischenüberschriften beinhalten. Der folgende Text umfasst eine Beschreibung dessen, was in den Abschnitten aufzunehmen ist, sowie Vorschläge zum Inhalt der einzelnen Abschnitte.

Vorwort

Zum Vorwort soll Folgendes gehören:

- Eine Beschreibung der in die Prüfung einbezogenen drei Parteien – Antragsteller, Prüfinstitut und Landwirt(e) – und deren jeweilige Rollen im Prüfzeitraum;
- Spezifikation des Prüfzeitraums, einschließlich Datumsangaben;
- Datum und Unterschriften der für die Prüfung verantwortlichen Person(en);
- Name und Anschrift der Prüfstelle.

Einführung

Die Einführung muss eine Beschreibung des an der Prüfung beteiligten Antragsstellers/Herstellers sowie eine allgemeine Beschreibung seiner Technologie zur Emissionsminderung enthalten. Wenn der Antragsteller/Hersteller bereits früher Prüfungen durchgeführt hat, sind diese zu beschreiben und Referenzen beizufügen.

Material und Methoden

Der Abschnitt „Material und Methoden“ muss folgende Beschreibung enthalten:

- Technologie mit Fotografien und Skizzen;
- Der in der Prüfung verwendete Wirtschaftsdünger;
- Prüfaufbau und Dimensionierung der Prüfung;
- Verwendete Messmethoden und deren Messunsicherheit, einschließlich einer Erläuterung, warum sie verwendet wurden, und den Validierungsbericht, falls es sich nicht um die Referenzmethode handelt.
- Spezifikation der verwendeten Messinstrumente, die Messpunkte, Häufigkeit der Messungen und Kalibrierungsverfahren.
- Beschreibung der rechnerischen und statistischen Methoden – einschließlich der zur Verarbeitung statistischer Daten verwendeten Methode, Modelle und Statistik-Softwareprogramme.

Ergebnisse und Diskussion

Die Beschreibung der Ergebnisse beginnt mit einer Präsentation der Effizienz der Technologie zur Emissionsminderung, welche das Hauptziel der Prüfung ist.

Die einzelnen Rohdaten sind zunächst in Grafiken und die ausgewerteten Daten danach in Tabellenform darzustellen.

Nach der Darstellung der Rohdaten sind die Ergebnisse zu diskutieren. Siehe Abschnitt 7.6 zu den Richtlinien für die Datenbehandlung.

Falls sich die emissionsmindernde Technik auf andere Parameter auswirkt, sind diese Parameter zu messen und zu berichten (z. B. Änderungen des pH-Wertes bei der Verwendung von Zusatzstoffen). Mittelwert und Standardfehler dieser Parameter muss in den Tabellen angegeben und im Text kommentiert werden.

Betriebssicherheit

Es ist eine Bewertung der Betriebssicherheit des Systems vorzunehmen. Diese Evaluierung muss auf den Beobachtungen beruhen, die im gesamten Prüfzeitraum gemacht wurden, sowie auf allen aufgezeichneten Daten zur Stabilität des Systems oder der Technologie.

Kalkuliert wird die Betriebszeit der Technologie im Prüfzeitraum sowie die, nach dem Laufzeitfaktor korrigierte Effizienz der Technologie. *(Beispiel: Wenn die Reinigungseffizienz einer Technologie 90% und die Betriebszeit 80% ist, beträgt die korrigierte Effizienz der Technologie 72%.)*

Zusätzliche Angaben

Darüber hinaus muss der Prüfbericht eine Bewertung potenzieller Risiken enthalten, die sich auf die Verwendung des Systems beziehen. Hierzu gehört auch eine mögliche Auswirkung auf:

- Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit
- sonstige Umweltaspekte;
- falls zutreffend, Chemiegesetzgebung.

Diese Bewertungen müssen den Normalbetrieb der Technologie sowie den nicht-bestimmungsgemäßen Gebrauch oder Probleme berücksichtigen.

Der Prüfbericht muss Hinweise für Verifizierungsstellen enthalten, wie das System zu inspizieren ist.

Schließlich muss der Prüfbericht eine Bewertung dahingehend abgeben, wie sich die Ergebnisse auf andere Arten von Wirtschaftsdüngern anwenden lassen.

Wenn es die Verifizierungsstelle für notwendig erachtet, müssen die Rohdaten vom Antragsteller oder dem Prüfinstitut zur Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen vorgelegt werden.

Schlussfolgerung

In der Schlussfolgerung werden die Ergebnisse (z. B. Minderungsraten der primären Messgrößen) für die verschiedenen Prüfzeiträume mit deren Mittelwerten, Minima und Maxima zusammengefasst sowie die Minderungstechnologie generell bewertet.

Zu diesem Abschnitt dürfen nur Schlussfolgerungen gehören, die sich anhand des Ergebnisteils im Prüfbericht begründen lassen.

Literaturhinweise

Relevante Verweisungen sind anzugeben.

Annexes

Falls relevant, können Anhänge beigefügt werden.

9. Literaturhinweise

Verwendete Normen:

- **Richtlinie 2006/42/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung).
- **ISO 4254-1** Landmaschinen – Sicherheit – Teil 1: Generelle Anforderungen.
- **ISO 12100** Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsgrundsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung.
- **EN 82079** Erstellen von Gebrauchsanleitungen – Gliederung, Inhalt und Darstellung.
- **ISO/IEC 17025** Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien.
- **VDI 3880** Olfaktometrie - Statische Probenahme.
- **EN 13725** Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie.
- **prEN ISO/DIS 21877** Emissionen aus stationären Quellen – Ermittlung der Massenkonzentration von Ammoniak – Manuelles Verfahren.

Quellenangaben:

- Amon, B., Amon, T., Boxberger, J. and Alt, C., 2001. Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60(1–3), Seite 103–113.
- Beauchamp, E.G., Kidd, G.E. and Thurtell, G.W., 1978. Ammonia volatilization from sewage sludge applied in the field. *Journal of Environmental Quality*, 7, Seite 141-146.
- Amon, B., Amon, T., Boxberger, J., Pöllinger, A. and Zaussinger, A., 1996. Entwicklung einer Messeinrichtung zur Erfassung umweltrelevanter Gasemissionen. *Die Bodenkultur*, 47(4), Seite 247-253.
- Braschkat, J., Mannheim, T., Horlacher, D. and Marschner, H., 1993. Measurements of ammonia emission liquid manure application: I. Construction of a windtunnel system for measurements under field conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 156 (5), Seite 393–396.
- Chadwick, D.R., 2005. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmospheric Environment*, 39, Seite 787–799.
- Fillingham, M. A., VanderZaag, A. C., Burt, S., Balde, H., Ngwabie, N. M., Smith, W., Hakami, A., Wagner-Riddle, C., Bittman, S. and MacDonald, D., 2017. Greenhouse gas and ammonia emissions from production of compost bedding on a dairy farm. *Waste Management*, 70, Seite 45-52. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.09.013
- Hutchinson, G.L. and Mosier, A. R. 1981. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Science Society of America Journal*, 45, Seite 311–316.
- Lockyer, D. R., 1984. A system for the measurement in the field of losses of ammonia through volatilisation. *Journal of Science, Food and Agriculture*, 35, Seite 837–848.
- Mosquera, J., van Dooren, H. J., Aarnink, A. A. and Ogink, N. W. M., 2010. Development of a fast measurement method for the determination of ammonia emission reduction from floor related measures. *XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), Quebec (Canada)*, June 13-17.
- Pardo, G., Moral, R., Aguilera, E. and Del Prado, A., 2015. Gaseous emissions from management of solid waste: a systematic review. *Global Change Biology*, 21, Seite 1313–1327.
- Sommer, S. G. and Misselbrook, T. H., 2016. A review of ammonia emission measured with wind tunnels compared to micro-meteorological techniques. *Soil Use and Management*, 32, Seite 101–108. DOI: 10.1111/sum.12209
- Sommer, S. G., Søgaard, H. T., Møller, H. B. and Morsing, S., 2001. Ammonia volatilization from sows on grassland. *Atmospheric Environment*, 35, Seite 2023-2032.
- Webb, J., Sommer, S. G., Kupper, T., Groenestein, K., Hutchings, N.J., Eurich-Menden, B., Rodhe, L., Misselbrook, T.H. and Amon, B., 2012. Emissions of Ammonia, Nitrous Oxide and Methane during the Management of Solid Manures. *Sustainable Agriculture Reviews*, 8, Seite 67-107, ISSN 2210-4410.
- Wood, J. D., VanderZaag, A. C., Wagner-Riddle, C., Smith, E. L. and Gordon, R. J., 2014. Gas emissions from liquid dairy manure: complete versus partial storage emptying. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 99, Seite 95-105. DOI: 10.1007/s10705-014-9620-2

Online-Kalkulator

Pedersen, A. R., Petersen, S. O. and Schelde, K., 2010. A comprehensive approach to soil-atmosphere trace-gas flux estimation with static chambers. *European Journal of Soil Science*, 61, Seite 888–902.

Anhang

Anhang A (informativ) Vorlage für einen Prüfplan

NAME DES PRÜFSTELLE

PRÜFPLAN FÜR [Technologie/System]

[geliefert von [Name des Herstellers/Antragstellers]]

KONTAKTDATEN

Art der Technologie	
Name und Anschrift des Herstellers/ Antragstellers	
Betreiber des Prüfstandorts	
Anschrift des Prüfstandorts	
Besuchsregelungen	
Beginn der Prüfung (TT.MM.JJ)	
Ende der Prüfung (TT.MM.JJ)	
Name und Anschrift des Prüfinstituts	
Zuständiger Techniker	
Techniker	
Berater der Prüfstelle	
Ansprechpartner der Firma, die die Prüfung finanziert	
Servicetechniker der Firma	
Datei	

HINTERGRUND UND ZIEL [maximal eine Seite]

Kurzbeschreibung der Technologie, in Ergänzung zur Beschreibung in Tabelle 1 oder Tabelle 2. Der Entwicklungsprozess des Systems und alle früheren Prüfungen sind anzugeben (alle Literaturhinweise müssen in der Liste der Literaturhinweise am Ende des Prüfplans angegeben sein).

Dieser Abschnitt muss eine genaue Beschreibung des Ziels der Prüfung und eine Spezifikation der primären Messgrößen enthalten.

PRÜFVERFAHREN

Zur Beschreibung des Prüfverfahrens gehören folgende Punkte [gemäß Abschnitt 7: Anforderungen]:

- Spezifikation der primären Messgrößen, z. B. Ammoniak.
- Spezifikation der Messgrößen zur Beschreibung der Prüfbedingungen.
- Beschreibung der Messpunkte, der Instrumente und der Art ihrer Kalibrierung.
- Beschreibung der Arbeitsverfahren.
- Zeitplan für den gesamten Prüfzeitraum.
- Standort des Protokollbuchs und Beschreibung der aufzuzeichnenden Messgrößen.

DATENAUFZEICHNUNG

Die zur Aufzeichnung der Daten verwendeten Tabellen müssen dargestellt werden.

ZUWEISUNG VON VERANTWORTLICHKEITEN

Die Zuweisung von Verantwortlichkeiten muss alle Arbeitsprozesse an dem System/ der Technologie umfassen. Für jeden Abschnitt und das System/die Technologie muss eine Liste erstellt werden.

Was zu tun ist	Wann	Von wem

VERARBEITUNG DER ERGEBNISSE

Rohdaten sind in Tabellen darzustellen, die dem abschließenden Prüfbericht als Anhang beizufügen sind. Die Rohdaten sind zudem in Grafiken darzustellen, die im Abschnitt „Ergebnisse“ des abschließenden Prüfberichts enthalten sein müssen.

Die primären Messgrößen müssen nach den im Prüfprotokoll vorgegebenen Spezifikationen analysiert werden. Für beide Technologien – die Referenz- und die Umwelttechnologie – sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der ermittelten Emissionen zu errechnen.

Die Messgrößen sind so zu analysieren, um bestimmen zu können, ob sich die Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngerlager mit der Umwelttechnologie statistisch von den Emissionen aus dem Referenzsystem unterscheiden.

ANHÄNGE

Die Anhänge müssen die Tabellen aller aufgezeichneten Daten enthalten, z. B. Tabellen für die Aufzeichnungen von Ammoniak und für die Referenztechnologie.

AKTUALISIERUNGEN DES PRÜFPLANS

Bei jeder Änderung muss der Prüfplan aktualisiert werden. Es genügt nicht, die Änderungen im Protokollbuch aufzuführen. Bei jeder Aktualisierung muss das Änderungsdatum angegeben und dem Prüfplan eine neue Versionsnummer zugeordnet werden.

Beispiele:

1. Version: TT/MM/JJ Initialen 1 / Initialen 2
2. Version: TT/MM/JJ Initialen 1 / Initialen 2

Anhang B (informativ) Beispiele dynamischer Kammern

In der VDI 3880:2011-10 wird eine „Durchfluss-Messhaube“ mit Einlass- und Auslass-Ventilator sowie Probenahmepunkten am Einlass und Auslass detailliert beschrieben.

Die in den meisten Studien verwendete dynamische Standardkammer (Abb. 1) besteht aus einer durchsichtigen Messhaube (2 m lang, 0,5 m breit und etwa 0,4 m hoch), welche die behandelte Grundfläche abdeckt (als „Haubenabschnitt“ bezeichnet), gekoppelt mit einem Kanal, der einen Ventilator mit variabler Geschwindigkeit und einem Anemometer zur Aufzeichnung des Luftvolumenstroms durch den Tunnel enthält.

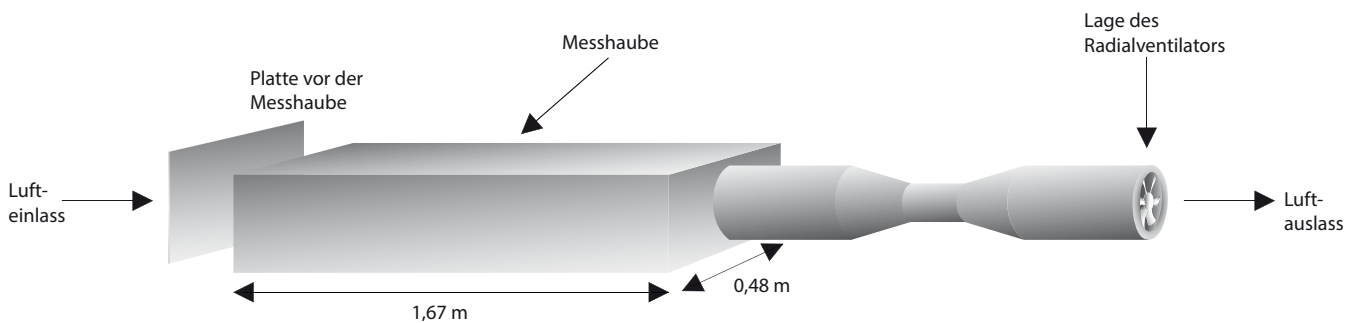


Abbildung 1: Dynamische Kammer mit Platte

Die Luft verlässt den Tunnel an der Austrittsöffnung des Kanals. In dem Kanal des von Lockyer konstruierten Tunnels (1984) ist vor dem Axialventilator ein Wabengleichrichter (Luftgleichrichter) installiert, damit die Verwirbelung des vom Ventilator erzeugten Luftstroms begrenzt wird. Der Luftstrom im Kanal wird manuell durch Änderung der Ventilatorgeschwindigkeit geregelt. Die Probenahme erfolgt mit einem Mehrpunkt-Probennehmer in der Luft im Kanal. An der Öffnung des Kanals wird eine Platte platziert, um die Einflüsse wechselnder Windgeschwindigkeiten der Umgebung auf den Luftstrom in den dynamischen Kammern zu reduzieren. Um die Wirkung der Ventilatorbewegung auf den Luftstrom in der Messhaube zu mindern, kann der Kanal verlängert werden.

Eine Alternative zu einer Platte hinter der dynamischen Kammer kann eine enge Einlassöffnung (Abbildung 2) oder ein erhöhter Lufteinlass (Abbildung 3) sein, der auch zur Reduzierung der Störung durch NH_3 aus benachbarten Flächen beiträgt.

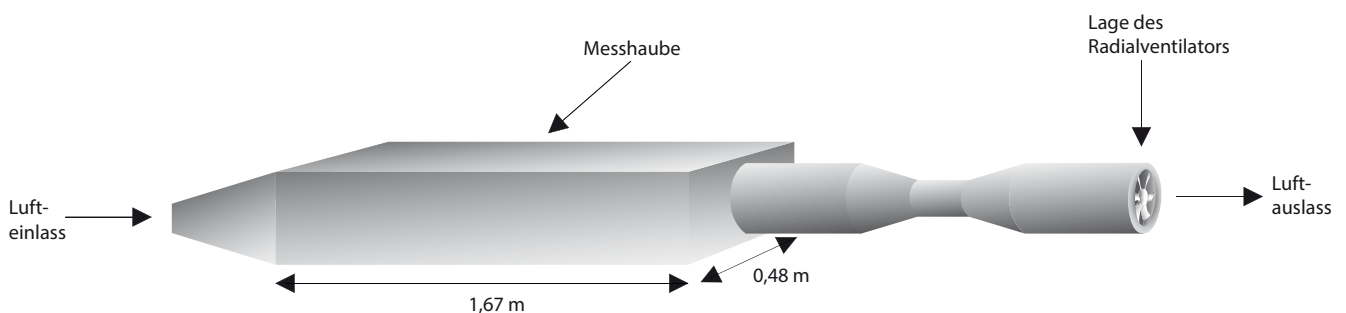


Abbildung 2: Dynamische Kammer mit enger Einlassöffnung

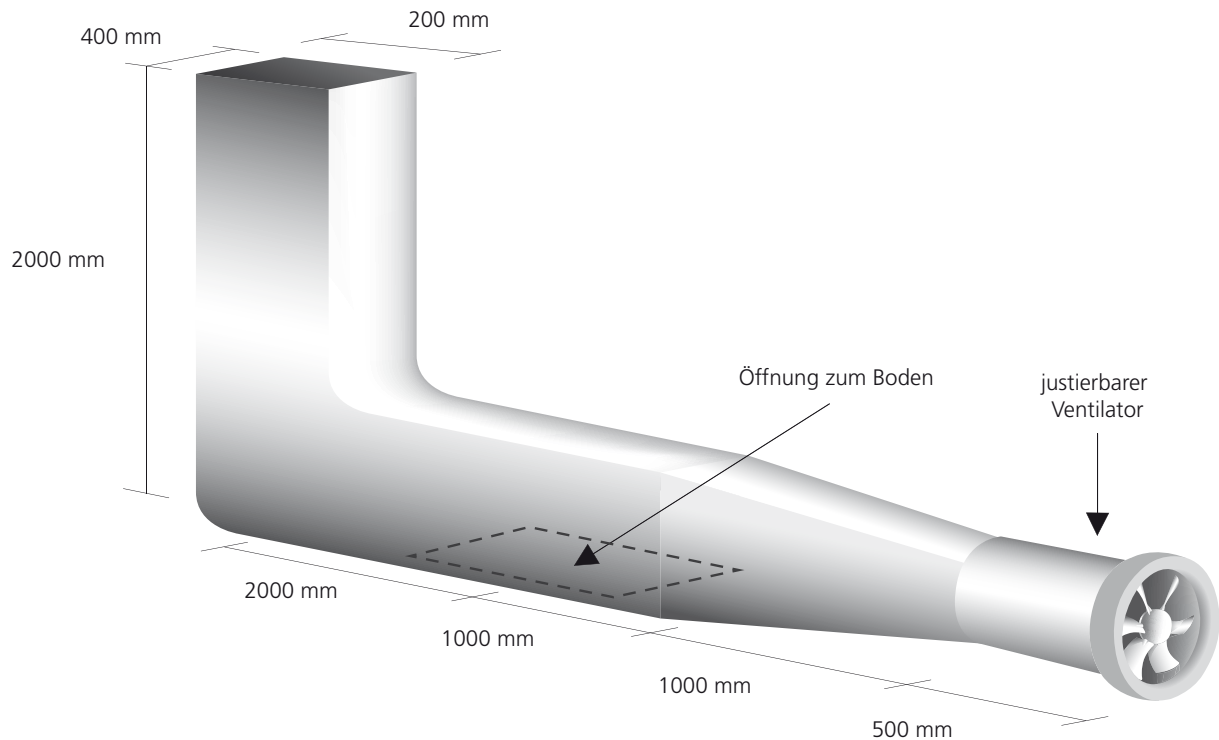


Abbildung 3: Dynamische Kammer mit erhöhtem Lufteinlass

Abbildung 4 stellt eine dynamische Kammer dar, die einen Abschnitt mit einem Luftstromgleichrichter vor der Messhaube und einen Luftgleichrichter zwischen dem Ventilator und der Messhaube enthält, um eine repräsentative Probenahme der Gase trotz der Durchmischung der Luft durch den Ventilator zu gewährleisten.

Der Luftstrom durch die dynamische Kammer kann mit dem Ventilator oder durch Einstellen einer Öffnungsblende zwischen der Messhaube und dem Ventilator geregelt werden.

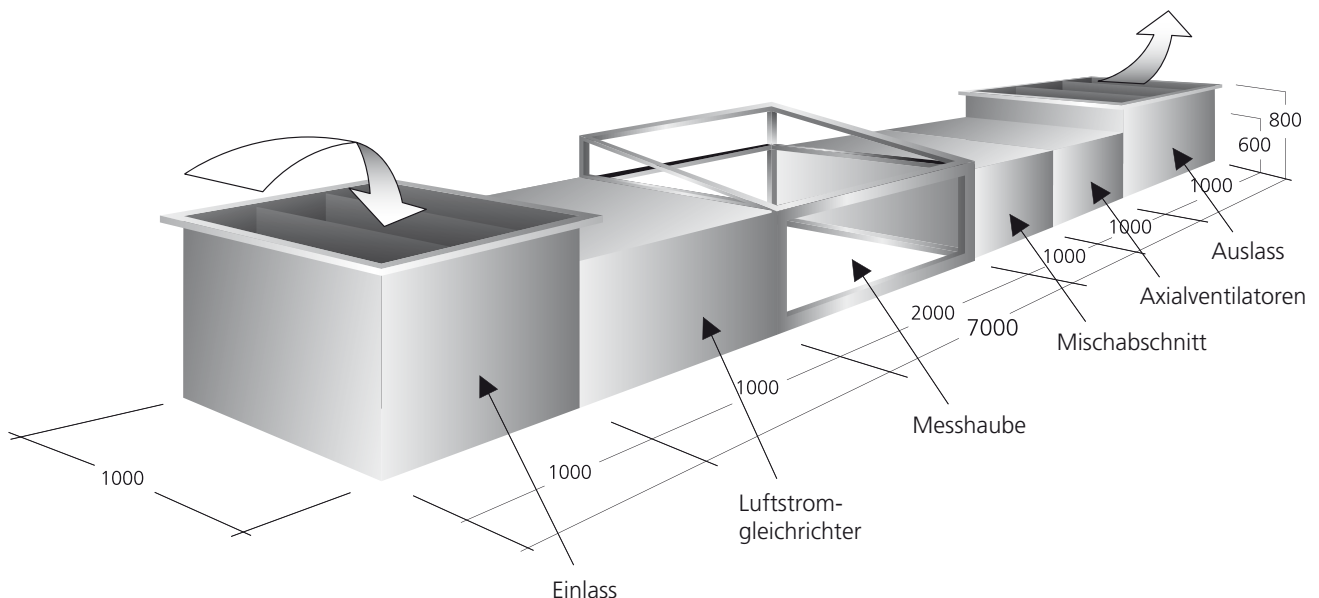


Abbildung 4: Dynamische Kammer mit Luftstromgleichrichter

(Den Zeichnungen liegen die dynamischen Kammern zugrunde, die von Lockyer (1984), Braschkat et al. (1993), Sommer et al. (2001) präsentiert wurden.)