

DIN EN 17359

Diese Norm ist Bestandteil des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Band 4.

ICS 13.040.20

Einsprüche bis 2019-04-01

Entwurf

**Emissionen aus stationären Quellen –
Bioaerosole und biologische Agenzien –
Probenahme von Bioaerosolen und Abscheidung in Flüssigkeiten –
Impinger-Methode;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17359:2019**

Stationary source emissions –
Bioaerosols and biological agents –
Sampling of bioaerosols and collection in liquids – Impingement method;
German and English version prEN 17359:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-02-01 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an krdl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss, 40002 Düsseldorf, Postfach 10 11 39, VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 106 Seiten

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss

Nationales Vorwort

Der Europäische Norm-Entwurf prEN 17359:2019 wurde im Europäischen Komitee für Normung (CEN) in der Arbeitsgruppe WG 28 „Außenluft und Emissionen – Bioaerosole“ (Sekretariat und Obmannschaft: DIN, Deutschland) des Technischen Komitees CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) unter Mitwirkung deutscher Experten, die von der VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss – benannt worden sind, erarbeitet.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 134-03-07-03 UA „Probenahme von Bioaerosolen und Erzeugung von Biotestaerosolen“ der VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Emissionen aus stationären Quellen — Bioaerosole und biologische Agenten — Probenahme von Bioaerosolen und Abscheidung in Flüssigkeiten — Impinger-Methode

Stationary source emissions — Bioaerosols and biological agents — Sampling of bioaerosols and collection in liquids — Impingement method

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen	9
5 Kurzbeschreibung des Verfahrens	11
6 Theoretische Grundlagen	12
6.1 Isokinetische Probenahme	12
6.2 Bestimmung von Konzentration und Fracht der Mikroorganismen	12
7 Gerät und Materialien	14
7.1 Allgemein	14
7.2 Gerät und Verfahren zur Messung der Abluftparameter für die Berechnung des Hauptvolumenstroms	14
7.2.1 Allgemein	14
7.2.2 Gerät zur Bestimmung der Abluftgeschwindigkeit	14
7.2.3 Gerät zur Bestimmung von Druck, Temperatur und Feuchte	15
7.3 Gerät für die Bioaerosolprobenahme	15
7.3.1 Allgemein	15
7.3.2 Materialeigenschaften	16
7.3.3 Entnahmesonde, Krümmer und Absaugrohr	16
7.3.4 Emissionsimpinger	16
7.3.5 Absaugaggregat und Geräte zur Messung des Gasvolumens bzw. des Gasvolumenstroms	18
8 Probenahme	18
8.1 Allgemein	18
8.2 Vorbereitung der Probenahmeausrüstung	18
8.2.1 Allgemein	18
8.2.2 Vorbereitung des Emissionsimpingers	19
8.2.3 Vorbereitung von Entnahmesonde und Absaugrohr	19
8.2.4 Bestimmung einer geeigneten Probenahmesonde und eines geeigneten Volumenstroms	19
8.3 Durchführung der Bioaerosolprobenahme	22
8.3.1 Dichtheitsprüfung und Probenahme (E)	22
8.3.2 Rückgewinnung von Ablagerungen vor dem Emissionsimpinger	23
8.3.3 Ermittlung der Masse der Sammelflüssigkeit	24
8.3.4 Feldblindwert	24
8.3.5 Analytischer Blindwert (entnommen im Analyselabor)	25
8.4 Transport und Lagerung	25
9 Analyse	25
10 Bewertung	25
10.1 Allgemein	25
10.2 Übergabe der Ergebnisse durch das analytische Labor	25
10.3 Teilgasvolumen bei der Probenahme	26
10.4 Berechnung der Anzahl an Mikroorganismen	28
10.5 Berechnung der Fracht	28

11	Verfahrenskenngrößen.....	29
11.1	Messunsicherheit (siehe VDI 2100-6, Kapitel 5.1 und 5.2).....	29
11.2	Parameter für die Bestimmung der Messunsicherheit in der Praxis (die meisten Textteile wurden aus VDI 2267-1, Kapitel 8.2.1 und Kapitel 8.2.2.1 entnommen)	30
12	Wartung und Qualitätssicherung.....	34
13	Sammeleffizienz und Grenzen des Verfahrens.....	35
14	Störungen	35
	Anhang A (informativ) Ausführungsbeispiel für Schimmelpilze und Bakterien.....	36
A.1	Allgemein.....	36
A.2	Festlegung der Messpunkte	36
A.3	Geräte und Materialien	36
A.3.1	Allgemein.....	36
A.3.2	Geräte und Verfahren zur Messung der Abluftparameter für die Berechnung des Hauptvolumenstroms	36
A.3.2.1	Geräte zur Bestimmung der Abluftgeschwindigkeit	36
A.3.2.2	Geräte zur Bestimmung von Druck, Temperatur und Feuchte.....	37
A.3.3	Geräte für die Bioaerosolprobenahme.....	37
A.3.3.1	Allgemein.....	37
A.3.3.2	Materialeigenschaften	37
A.3.3.3	Entnahmesonde, Krümmer und Absaugrohr	37
A.3.3.4	Emissionsimpinger	37
A.3.3.5	Messsystem zur isokinetischen Teilvolumenstromentnahme	37
A.4	Durchführung der Probenahme.....	37
A.4.1	Allgemein.....	37
A.4.2	Vorbereitung der Probenahmeausrüstung	37
A.4.2.1	Vorbereitung des Emissionsimpingers.....	38
A.4.2.2	Vorbereitung von Entnahmesonde, Krümmer und Absaugrohr	38
A.4.3	Messung der Abluftparameter zur isokinetischen Probenahme.....	38
A.4.4	Probenahme	38
A.4.4.1	Allgemein.....	38
A.4.4.2	Rückgewinnung von Ablagerungen vor dem Emissionsimpinger	39
A.4.4.3	Feldblindwert.....	39
A.4.5	Transport und Lagerung.....	39
	Anhang B (informativ)	44
B.1	Messunsicherheit	44
B.2	Messunsicherheit	44
B.2.1	Schimmelpilze.....	44
B.2.2	Mesophile Bakterien	45
B.2.3	Gesamtzellzahl.....	45
B.2.4	Messungen am Bioaerosol-Prüfkanal	45
B.3	Feldblindwert	45
	Anhang C (normativ) Zusammenfassung der Anforderungen an die Emissionsmessung.....	46
	Anhang D (informativ) Musterprotokoll für Probenahme und Analyse.....	48
D.1	Probenahme	48
D.2	Analyse	49
	Literaturhinweise.....	50

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17359:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm enthält Vorgaben zur aktiven Probenahme von Bioaerosolen aus der Abluft, die durch einen definierten Querschnitt eines Abluftkanals strömt. Sie legt allgemeine Grundlagen fest, die bei einer isokinetischen Probenahmekampagne für Bioaerosole berücksichtigt werden müssen, wobei die Abluft durch einen spezifischen Impinger, der auf Emissionsmessungen ausgelegt ist, geleitet wird.

In dieser Europäischen Norm wird die Anwendung mit anzüchtbaren Organismen festgelegt, jedoch kann dasselbe Prinzip auch auf Verfahren angewendet werden, die nicht auf Kulturen basieren (z. B. molekulare und/oder enzymbasierte Verfahren).

Der Impinger ist auf einen Teilvolumenstrom von 1 m³/h bis 1,8 m³/h bzw. 16 l/min bis 30 l/min ausgelegt, und wurde für verschiedene Mikroorganismen in breiten Konzentrationsbereichen geprüft [1; 2; 3; 4].¹

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1040:2005, *Chemische Desinfektionsmittel und Antiseptika — Quantitativer Suspensionsversuch zur Bestimmung der bakteriziden Wirkung (Basistest) chemischer Desinfektionsmittel und Antiseptika — Prüfverfahren und Anforderungen (Phase 1)*

EN 13284-1:2017, *Emissionen aus stationären Quellen — Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen — Teil 1: Manuelles gravimetrisches Verfahren*

EN 15259:2007, *Luftbeschaffenheit — Messung von Emissionen aus stationären Quellen — Anforderungen an Messstrecken und Messplätze und an die Messaufgabe, den Messplan und den Messbericht*

CEN/TS 16115-1, *Luftbeschaffenheit — Messen von Bioaerosolen — Teil 1: Bestimmung von Schimmelpilzen mittels Probenahme auf Filtern und kulturellem Nachweis*

EN ISO 16911-1, *Emissionen aus stationären Quellen — Manuelle und automatische Bestimmung der Geschwindigkeit und des Volumenstroms in Abgaskanälen — Teil 1: Manuelles Referenzverfahren (ISO 16911-1)*

EN ISO 20988:2007, *Luftbeschaffenheit — Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit (ISO 20988:2007)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

1 Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein Konventionsverfahren zur Ermittlung der Gesamtemission unter Einsatz einer Out-stack-Anordnung nach EN 13284-1.

3.1

Abgas (Synonym: Abluft)

Tränergase mit festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen (Emissionen), wobei die Tränergase natürliche Luft (z. B. aus Stallentlüftung) oder Prozessgase (z. B. aus Verbrennungsprozessen) sein können.

3.2

aerodynamischer Durchmesser

Durchmesser einer Kugel mit einer Dichte von 1 g/cm^3 mit derselben Endgeschwindigkeit aufgrund von Gravitationskräften in ruhiger Luft wie das Partikel unter den vorherrschenden Temperatur-, Druck- und relativen Luftfeuchtigkeitsbedingungen

[QUELLE: ISO 7708:1995, 2.2]

3.3

analytischer Blindwert

Messwert, der mithilfe einer Blindwertprobe ermittelt wird, die das Analysenverfahren abdeckt, um sicherzustellen, dass keine signifikante Kontamination während des gesamten Analysenverfahrens, aufgetreten ist (nach CEN/TS 16115-1)

3.4

Bakterien

eine große Gruppe prokaryotischer Mikroorganismen mit einem Chromosom in einer Zellkernregion, die sich ausschließlich asexuell durch Zellteilung vermehren

[QUELLE: EN 13098, 3.2]

Anmerkung 1 zum Begriff: Die derzeitige Klassifizierung von Bakterien, z. B. die Gruppierung in Gattungen und Arten, erfolgt nach molekularen, sequenzbasierten, chemotaxonomischen und physiologischen Eigenschaften.

3.5

Normbedingungen

Bezugswerte für den Druck und die Temperatur eines trockenen Abgases, wobei der Bezugsdruck 101,325 kPa beträgt und auf 101,3 kPa gerundet wird und die Bezugstemperatur 273,15 K beträgt und auf 273 K gerundet wird. Sofern die Referenzbedingungen durch eine Regulierungsbehörde festgelegt werden, z. B. durch eine Standort-Lizenz oder -Genehmigung, muss dies die zuvor festgelegten Bedingungen außer Kraft setzen.

3.6

Bioaerosole

luftgetragene Partikel biologischen Ursprungs

[QUELLE: EN 13098:2000, 3.3]

Anmerkung 1 zum Begriff: Bioaerosole im Sinne dieser Europäischen Norm sind alle in der Atmosphäre befindlichen Ansammlungen von Partikeln, denen Pilze (Sporen, Konidien, Hyphenbruchstücke), Bakterien, Viren und/oder Pollen sowie deren Zellmembranbestandteile und Stoffwechselprodukte (z. B. Endotoxine, Mykotoxine) anhaften oder die diese beinhalten.

3.7

biologische Probenahmeeffizienz

die Fähigkeit des Probenahmegeräts, die Lebensfähigkeit der luftgetragenen Mikroorganismen während des Sammelns aufrechtzuerhalten und auch die durch die Mikroorganismen erzeugten Produkte unversehrt zu erhalten

[QUELLE: EN 13098:2000, 3.4]

Anmerkung 1 zum Begriff: Die biologische Probenahmeeffizienz beschreibt zusätzlich zur physikalischen Probenahmeeffizienz den bei der Probenahme und Analyse auftretenden Sammelstress. Sie ist stamm- und artspezifisch.

3.8

Endotoxin

ein Bestandteil der äußeren Membran gramnegativer Bakterien (Lipopolysaccharide); es besteht aus einem komplexen Lipid, dem Lipid A, das kovalent an ein Polysaccharid gebunden ist

Anmerkung 1 zum Begriff: „Freies Endotoxin“ wird nach dem Zelltod und durch Abgeben von lebenden Zellen freigesetzt. Lipid A ist der aktive (giftige) Teil und ist eine potentiell entzündungsfördernde Substanz und kann bei den exponierten Arbeitern Fieber, Atemwegsbeschwerden und andere Symptome auslösen. Die Zusammensetzung und die Giftigkeit von Endotoxin variiert zwischen den Arten

[QUELLE: EN 13098, 3.8]

3.9

Last

das Produkt der gemessenen Konzentration von Bioaerosolen und dem Volumenstrom des Abgaskanals der Anlage

3.10

Allumfassende Blindprobe (Synonym: Feldblindprobe)

Probe, die am Ort der Probenahme wie eine normale Probe der Messreihe behandelt wird, jedoch ohne Gasprobenahme und ohne Einführen der Probenahmeeinrichtung in den Abgaskanal während der Dauer des Versuchs

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm wird der Begriff „Feldblindprobe“ verwendet.

3.11

Gesamtzellzahl

die Gesamtanzahl der lebensfähigen und toten Zellen in einem gegebenen Volumen; die Gesamtzellzahl kann z. B. durch Anfärbung mit DAPI bestimmt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Lebende und tote Zellen werden bei der Anfärbung mit DNA-Fluoreszenzfarbstoffen, z. B. DAPI (4,6-Diamidino-2-phenylindol-dihydrochlorid), gemeinsam erfasst und können nicht unterschieden werden.

3.12

Hauptvolumenstrom

Volumenstrom des Abgases im Bereich der Probenahmeebene

[QUELLE: EN ISO 16911-1]

3.13

Flüssigkeitsaufprallverfahren (Impingementverfahren)

Abscheidung von luftgetragenen Partikeln in Flüssigkeiten durch mehrere zugrunde liegende Mechanismen wie Impaktion, Diffusion, Interzeption und Sedimentation

3.14

koloniebildende Einheit (KBE)

Einheit, in der die anzüchtbare Anzahl an Mikroorganismen angegeben wird

[QUELLE: EN 13098:2000, 3.5]

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine koloniebildende Einheit kann aus einem einzigen Mikroorganismus entstehen, einem Klumpen vieler Mikroorganismen oder aus vielen einzelnen Mikroorganismen, die an ein Partikel angeheftet sind.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Anzahl der sich entwickelnden Kolonien hängt von den Anzuchtbedingungen ab.

3.15

kulturbasierte Analysen

Anzucht von Mikroorganismen auf Nährmedien

[QUELLE: ISO 16000-16:2008, 3.6]

3.16

nicht kulturbasierte Analysen

Verfahren, die nicht auf Kultivierungsverfahren basieren, darunter die Mikroskopie, molekulare Verfahren, Zytometrie, Fluoreszenz, usw.

3.17

Indikatororganismus

Mikroorganismen, die für die Emissionen aus einer bestimmten Anlagenart charakteristisch sind und mit derzeit zur Verfügung stehenden Probenahme- und Analysemethoden nachweisbar sind; Indikatororganismen, die für eine bestimmte Quelle (Prozess) charakteristisch sind, können auch in Luft vorkommen, die durch die entsprechende Quelle nicht beeinflusst wird, hauptsächlich jedoch in geringeren Konzentrationen; dies lässt sich durch die Tatsache erklären, dass viele Mikroorganismen allgegenwärtig sind

3.18

Probenahmeachse (Messachse)

durch die Innenwand des Abgaskanals begrenzte Linie in der Probenahmeebene, auf der die Probenahmepunkte liegen

[QUELLE: EN 15259:2007, 3.15]

3.19

Probenahmestelle (Messplatz)

Ort am Abgaskanal im Bereich der Probenahmeebene, bestehend aus baulichen und technischen Einrichtungen, beispielsweise Messbühnen, Messöffnungen und Energieversorgung

[QUELLE: EN 15259:2007, 3.11]

3.20

Probenahmepunkt (Messpunkt)

Festgelegter Ort auf der Probenahmeachse, an dem eine Probe entnommen bzw. eine Messgröße direkt ermittelt wird

[QUELLE: EN 15259:2007, 3.16]

3.21

Probenahmeebene (Messquerschnitt)

zur Mittelachse des Abgaskanals senkrechte Fläche am Ort der Probenahme

[QUELLE: EN 15259:2007, 3.13]

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Emissionsmessungen an Flächenquellen ist die gesamte Oberfläche als Probenahmeebene zu verstehen.

3.22

mikrobielle Luftverunreinigung

Konzentration an luftgetragenen Mikroorganismen, die bezogen auf Ihre Art nicht natürlicherweise in der Luft anzutreffen sind

3.23

Mikroorganismen

zelluläre oder nicht zelluläre mikrobiologische Einheit, die befähigt ist, sich zu vermehren oder genetisches Material zu übertragen, oder Einheiten, die diese Eigenschaften verloren haben.

[QUELLE: EN 13098:2000, 3.16]

3.24

physikalische Probenahmewirksamkeit

Fähigkeit des Probenahmegeräts, in der Luft schwebende Partikel zu sammeln (angepasst von EN 13098:2000, 3.17)

3.25

Pilze (Fungi)

einzellige Hefen und Fadenpilze mehrerer taxonomischer Gruppen, namentlich Zygomycetes (Mucoromycotina und Entomophthoromycotina), Ascomycetes (Ascomycota) und mitosporische Pilze (Deuteromycetes, Fungi imperfecti) [7]

Anmerkung 1 zum Begriff: Schimmelpilze bilden je nach taxonomischer Gruppe, zu der sie gehören, unterschiedliche Arten von Sporen aus und zwar Conidiosporen (Conidien), Sporangiosporen oder Ascosporen.

3.26

Teilvolumenstrom

Volumenstrom, der dem Hauptvolumenstrom zur Bestimmung der Messkomponente entnommen wird

[QUELLE: EN 15259, 3.29]

3.27

Probenahmeapparatur

eine vollständig zusammengebaute Probennahmeeinrichtung nach Bild 1

4 Symbole und Abkürzungen

In dieser Norm werden die nachfolgenden Symbole verwendet:

Symbol	Einheit	Bedeutung
A	m^2	Probenahmeebene des Abluftkanals
A_s	m^2	aus dem Durchmesser δ_s der Sonde berechnete Fläche
c	$KBE/m^3; GZZ/m^3$	Anzahlkonzentration von Mikroorganismen im Teilvolumenstrom
C	$KBE/m^3; GZZ/m^3$	Anzahlkonzentration von Mikroorganismen in der Abluft
$\sum C_{\text{Platte}}$	KBE	Summe der gezählten Kolonien auf allen ausgewerteten Platten
d		Verdünnungsfaktor der ersten ausgewerteten Verdünnung (z. B. $d = 100$ bei Verdünnungsstufe 10^{-2})
D		weiterer Verdünnungsfaktor, der sich daraus ergibt, dass nur ein Aliquot der Verdünnungen ausplattiert wurde
f_{GM}	kg/m^3	Feuchte des Teilgasvolumens am Volumenmessgerät (bezogen auf Normbedingungen)
f	kg/m^3	Feuchte der Abluft
n_1		Anzahl der Platten bei der niedrigsten auswertbaren Verdünnung (höhere Konzentration)

Symbol	Einheit	Bedeutung
n_2		Anzahl der Platten bei der nächst höheren auswertbaren Verdünnung (geringere Konzentration)
N		Anzahl der Doppelanalysen
N_{KBE}	KBE	Anzahl der Bakterien in KBE
p		Pipettierfaktor
p_d	Pa	dynamischer Druck
p_G	kPa	absoluter Druck der Abluft
p_{GM}	kPa	absoluter Druck am Gasvolumenmessgerät
p_N	kPa	Normdruck (101,3 kPa)
p_A	kPa	Außenluftdruck
p_R	kPa	absoluter Druck am Eingang des Schwebekörperdurchflusssmessgeräts
p_{st}	kPa	statischer Druck im Abluftkanal
$r_{H_2O, G}$	%	Wasserdampf-Volumenanteil in der feuchten Abluft
$r_{H_2O, GM}$	%	Wasserdampf-Volumenanteil in der feuchten Abluft im Gasvolumenstrommessgerät
s	KBE/m ³ ;GZZ/m ³	Standardabweichung unter Wiederholbedingungen
T_G	K	absolute Temperatur der Abluft
T_{GM}	K	Absolute Temperatur am Gasvolumenmessgerät
T_N	K	Normtemperatur (273 K)
T_R	K	Temperatur am Eingang des Schwebekörperdurchflusssmessgeräts
$u_{G,i}$	m/s	Strömungsgeschwindigkeit am Messpunkt i
u_{mittel}	m/s	mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Messquerschnitt
u_S	m/s	Strömungsgeschwindigkeit in der Entnahmesonde
u		Unsicherheit
v	m ³	Teilgasvolumen
v_b	ml	Volumen des pipettierten Aliquoten
v_{GM}	m ³	Teilgasvolumen bezogen auf die Bedingungen am Gasvolumenmessgerät (Temperatur, Druck, Feuchte)
$v_{N,tr}$	m ³	Teilgasvolumen (bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa und trockenes Gasvolumen)
v_p	ml	Pipettiervolumen (Platten 1-4)
v_1	ml	filtriertes Volumen der Impinger-Sammelflüssigkeit
v_2	ml	Gesamtvolumen der Impinger-Sammelflüssigkeit
$\dot{v}$	m ³ /h	Teilvolumenstrom (bzw. vorgesehener Teilvolumenstrom im Impinger)
$\dot{v}_{N,tr}$	m ³ /h	Teilvolumenstrom (bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa und trockenes Gasvolumen)

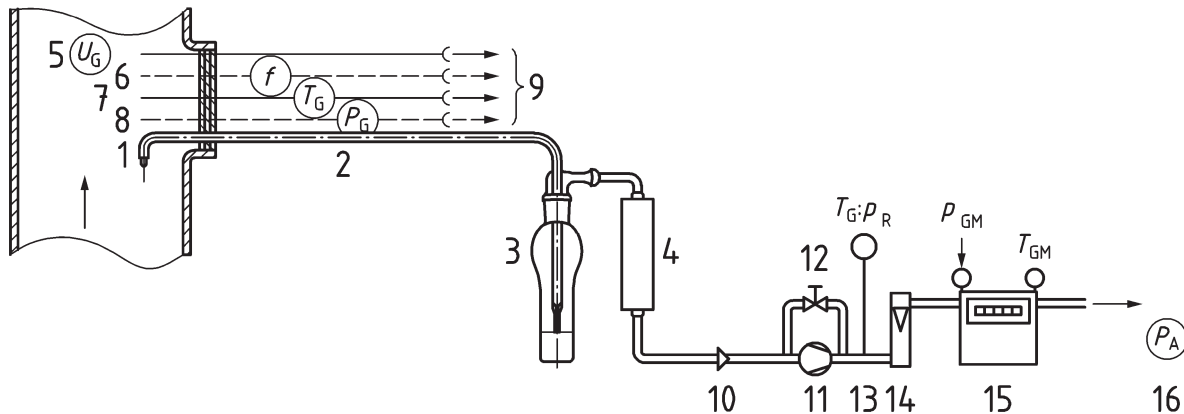
Symbol	Einheit	Bedeutung
$\dot{v}_i$	m ³ /h	erforderlicher Teilvolumenstrom am Messpunkt <i>i</i> bezogen auf Abluftbedingungen (Temperatur, Druck, gegebenenfalls Feuchte)
$\dot{v}_{i,N,tr}$	m ³ /h	erforderlicher Teilvolumenstrom am Messpunkt <i>i</i> (bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa und trockenes Gasvolumen)
$\dot{V}$	m ³ /h	Hauptvolumenstrom der Abluft bezogen auf Abluftbedingungen (Temperatur, Druck, gegebenenfalls Feuchte)
$\dot{V}_N$	m ³ /h	Hauptvolumenstrom der Abluft (bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa und trockenes Gasvolumen)
x_{1i}	KBE/m ³ ; GZZ/m ³	Messwert in Impinger 1 der Messreihe <i>i</i>
x_{2i}	KBE/m ³ ; GZZ/m ³	Messwert in Impinger 2 der Messreihe <i>i</i>
z_{Impinger}	GZZ	ermittelte Zellzahl im ausgewerteten Impinger
z_{GZZ}	GZZ	Anzahl der Mikroorganismenzellen in der Probe
z_{MO}	KBE	Anzahl der kultivierbaren Mikroorganismen in der Probe
$\dot{Z}_{\text{MO}}$	KBE/h	Fracht der kultivierbaren Mikroorganismen (bezogen auf die Anzahl) im Hauptvolumenstrom der Abluft
$\dot{Z}_{\text{GZZ}}$	GZZ/h	Fracht der Mikroorganismenzellen (bezogen auf die Anzahl) im Hauptvolumenstrom der Abluft
δ_S	m	Durchmesser der Entnahmesonde
ρ_f	kg/m ³	Dichte der feuchten Abluft
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	kg/m ³	Dichte des gasförmigen Wassers (bezogen auf Normbedingungen, $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 0,804 \text{ kg/m}^3$)
ρ_N	kg/m ³	Normdichte der Abluft
τ	s	Probenahmedauer

5 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Das im Folgenden beschriebene Verfahren zur Messung von Bioaerosolemissionen beruht auf EN 13284-1. Das Verfahren beschreibt die Durchführung von Emissionsmessungen unter isokinetischen Bedingungen unter Verwendung eines Emissionsimpingers in Out-stack-Anordnung.

Bei Quellen, bei denen die Abluft durch einen definierten Querschnitt strömt, wird während der Probenahmedauer ein Teilvolumenstrom der Abluft aus dem Hauptvolumenstrom entnommen, wobei das Teilgasvolumen gemessen wird. Die Anzahl und Lage der repräsentativen Messpunkte werden in EN 15259 festgelegt, obwohl die maximale Anzahl der Punkte, die für eine Einzelprüfung verwendet werden, auf 8 begrenzt wird (siehe 7.3.1). Nach EN 13284-1 muss das isokinetische Verhältnis zwischen –5 % und +15 % gehalten werden.

Bei der Durchführung von Bioaerosolemissionsmessungen wird Abluft durch die Entnahmesonde geleitet, bevor die in der Abluft schwebenden Partikel in der Sammelösung des Impingers aufgefangen werden. Es ist bekannt, dass sich Partikel in den Krümmern und auf den Oberflächen der Sonde ablagern können. Daher ist nach der Probenahme ein Ausspülen aller Teile der Probenahmeapparatur vor dem Emissionsimpinger erforderlich.



Legende

- 1 Entnahmesonde mit Krümmer
- 2 Absaugrohr
- 3 Emissionsimpinger
- 4 Trocknungseinrichtung (z. B. Silikagel)/Feuchtigkeitsabscheider
- 5 Gerät zur Messung der Abluftgeschwindigkeit (Hitzdrahtanemometer, Flügelradanemometer, Staurohr)
- 6 gegebenenfalls Feuchtefühler
- 7 Temperaturfühler
- 8 gegebenenfalls Sensor für absoluten Druck
- 9 Messwertaufnehmer
- 10 Abschaltventil
- 11 Absaugaggregat
- 12 Bypassventil
- 13 Temperatursensor (T_R) und Drucksensor (p_R)
- 14 Schwebekörperdurchflussmessgerät (optional)
- 15 Gasvolumenmessgerät mit Temperatursensor (T_{GM}) und Drucksensor (p_{GM})
- 16 Druckmessgerät

Bild 1 — Beispiel eine Probenahmeapparatur für Bioaerosolmessungen

6 Theoretische Grundlagen

6.1 Isokinetische Probenahme

Das Ziel der geschwindigkeitsgleichen Probenahme ist die repräsentative Erfassung der in einem Gasstrom dispergierten Partikel unabhängig von ihrer Größe. Für den Idealfall einer gerichteten Strömung im Abluftkanal liegen bei geschwindigkeitsgleicher Probenahme isokinetische Verhältnisse bezogen auf die Flugbahnen der Partikel in der freien Strömung und die der Partikel in der Sonde vor. Die theoretischen Grundlagen der isokinetischen Probenahme sind in Anhang A ausführlich beschrieben.

6.2 Bestimmung von Konzentration und Fracht der Mikroorganismen

Die im Folgenden aufgeführten Gleichungen gelten grundsätzlich allgemein, beziehen sich jedoch hier hauptsächlich auf die Anzahlkonzentration von Mikroorganismen als Bestandteil der Bioaerosole. Die Berechnung z. B. der Endotoxinkonzentration kann in analoger Weise erfolgen.

Die Anzahlkonzentration C von Mikroorganismen in der Abluft wird durch das Verhältnis der Fracht zum gesamten Volumenstrom (Hauptvolumenstrom) der Abluft definiert:

$$C = \frac{\dot{Z}_{MO}}{\dot{V}} \text{ bzw. } C = \frac{\dot{Z}_{GZZ}}{\dot{V}} \quad (1)$$

Dabei ist

- $\dot{Z}_{M0}$ die Fracht der kultivierbaren Mikroorganismen (bezogen auf die Anzahl) im Hauptvolumenstrom der Abluft in KBE/h
- $\dot{Z}_{GZZ}$ die Fracht der Mikroorganismenzellen (bezogen auf die Anzahl) im Hauptvolumenstrom der Abluft in GZZ/h
- $\dot{V}$ der Hauptvolumenstrom der Abluft in m³/h

Die Fracht im Abluftstrom kann nicht unmittelbar gemessen werden. Zu seiner Bestimmung ist eine Teilstromentnahme erforderlich. Das Teilgasvolumen v wird mit einem Gasvolumenmessgerät gemessen oder aus dem angesaugten Volumenstrom, z. B. gemessen mit einer Messblende oder einem Flügelradanemometer, und der Probenahmedauer berechnet:

$$v = \int \dot{v}(\tau) d\tau \quad (2)$$

Dabei ist

- v das Teilgasvolumen in m³
- $\dot{v}$ der Teilvolumenstrom in m³/h
- τ die Probenahmedauer in s

Die Anzahlkonzentration der Mikroorganismen in dem über die Probenahmedauer angesaugten Teilgasvolumen ergibt sich durch (siehe auch Abschnitt 10.3):

$$c = \frac{Z_{M0}}{v} \text{ bzw. } c = \frac{Z_{GZZ}}{v} \quad (3)$$

Dabei ist

- c Anzahlkonzentration der Mikroorganismen im Teilstrom in KBE/m³ oder GZZ/m³
- Z_{M0} Anzahl der Mikroorganismen in der Probe in KBE
- Z_{GZZ} Anzahl der Mikroorganismen in der Probe in GZZ
- v das Teilgasvolumen in m³

Die Fracht $\dot{Z}_{M0}$ bzw. $\dot{Z}_{GZZ}$ ergibt sich aus der Anzahlkonzentration der Mikroorganismen c im Teilstrom und dem Volumenstrom $\dot{V}$ wie folgt (siehe auch Abschnitt 10.4):

$$\dot{Z}_{M0} = c \cdot \dot{V} \text{ bzw. } \dot{Z}_{GZZ} = c \cdot \dot{V} \quad (4)$$

Dabei ist

- $\dot{Z}_{M0}$ Fracht der kultivierbaren Mikroorganismen (bezogen auf die Anzahl) im Hauptvolumenstrom der Abluft in KBE/h
- $\dot{Z}_{GZZ}$ Fracht der Mikroorganismenzellen (bezogen auf die Anzahl) im Hauptvolumenstrom der Abluft in GZZ/h

- c Anzahlkonzentration der Mikroorganismen im Teilstrom in KBE/m³ oder GZZ/m³
- $\dot{V}$ Hauptvolumenstrom der Abluft in m³/h

7 Gerät und Materialien

7.1 Allgemein

Zur Bestimmung der Fracht $\dot{Z}_{M0}$ in der Abluft nach Gleichung (4) oder Gleichung (15) gehören:

- die Messung der Abluftparameter zur Berechnung des Hauptvolumenstroms (siehe 6.1 und 7.2)
- die Bioaerosolprobenahme durch die isokinetische Teilstromentnahme mit Messung des Teilgasvolumens (siehe 6.2 und 7.3),
- die anschließende Analyse und
- die Berechnung der Mikroorganismenkonzentration (siehe 10.4).

7.2 Gerät und Verfahren zur Messung der Abluftparameter für die Berechnung des Hauptvolumenstroms

7.2.1 Allgemein

Im Vorfeld und während der Messung sind zur sachgerechten Anwendung des Messverfahrens, zur Normierung der erhaltenen Messergebnisse und zur Ermittlung der Fracht die Messgrößen zu bestimmen, die die Abluftparameter charakterisieren. In der Regel sind dies:

- Abluftgeschwindigkeit
- Luftdruck
- gegebenenfalls absoluter Druck der Abluft
- Ablufttemperatur
- Abluftfeuchte (zur Berechnung der Dichte der Abluft sowie zur Normierung)

7.2.2 Gerät zur Bestimmung der Abluftgeschwindigkeit

Gängige Geräte zur Bestimmung der Abluftgeschwindigkeit sind:

- Hitzdrahtanemometer
- Flügelradanemometer
- Staudrucksonde mit Manometer

Die Einsatzbereiche der unterschiedlichen Messgeräte sind abhängig von den zu erwartenden Abluftgeschwindigkeiten. Weitere Einzelheiten siehe EN 16911-1.

Der Hauptvolumenstrom der Abluft wird aus der mittleren Gasgeschwindigkeit im Messquerschnitt und der Fläche des Messquerschnitts bestimmt.

7.2.3 Gerät zur Bestimmung von Druck, Temperatur und Feuchte

Die Konzentration der Mikroorganismen in der Abluft ist auf die gegebenen Bedingungen zu beziehen. Dies können Normbedingungen (z. B. 101,3 kPa, 273 K, Trockengas) oder auch andere Bedingungen entsprechend den behördlichen Vorgaben sein, wie in der Standort-Lizenz oder der Betriebsgenehmigung zu finden sind. (Die Temperatur und der Druck im Abluftkanal müssen gemessen und die Feuchte bestimmt werden, sodass die tatsächliche Dichte des Gases unter Berücksichtigung der Gaszusammensetzung berechnet werden kann. Weiterhin werden bei der isokinetischen Probenahme beide Messwerte zur Berechnung des Teilvolumenstroms und zur Normierung der Anzahlkonzentration der Mikroorganismen benötigt.

Die folgenden Geräte sind erforderlich:

- Druckmessgeräte
- zur Messung des Luftdrucks (Barometer), gegebenenfalls des Drucks im Abluftkanal und des Drucks am Eingang des Durchflussmessgeräts
- Temperaturmessgeräte
- zur Messung der Ablufttemperatur und der Temperaturen am Eingang des Durchflussmessgeräts sowie am Ausgang der Durchflussmessgeräte (sofern verwendet)
- Feuchtemessgerät
- zur Bestimmung des Feuchtegehalts der Abluft (Gravimetrie, Psychrometrie, geeignete kontinuierlich arbeitende Messeinrichtungen). Die Feuchte des Abgases darf abgeschätzt werden, wenn eine vorangegangene Prüfung diese Konzentration in der Vergangenheit charakterisiert hat, bzw. wenn das Abgas fast den Umgebungsbedingungen entspricht.

7.3 Gerät für die Bioaerosolprobenahme

7.3.1 Allgemein

Die Materialeigenschaften der Geräte für die Probenahme werden in 7.3.2 beschrieben. Die Probenahmeeinrichtung besteht grundsätzlich aus folgenden Teilen:

- Entnahmesonde mit Krümmer (siehe 7.3.3)
- Absaugrohr (siehe 7.3.3)
- Abscheidevorrichtung (Emissionsimpinger, siehe 7.3.4)
- Trocknungssystem
- Absaugaggregat und Gasmesseinrichtung einschließlich Temperatur- und Druckmessung sowie Volumenstromregelung gemäß Bild 1 und 7.3.5
- Druckmessgeräte
- gegebenenfalls Feuchtemessgerät

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Probenahmeeinrichtung. Bei manueller Regelung des Teilvolumenstroms, z. B. mithilfe eines Schwebekörperdurchflussmessgeräts und eines Bypassventils, ist es zunächst erforderlich, den Sollwert an dem Schwebekörperdurchflussmessgerät einzustellen. Anstelle eines Schwebekörperdurchflussmessgeräts können auch eine Messblende, ein thermisches

Massendurchflussmessgerät (beide Geräte sind nicht in Bild 1 dargestellt) oder – bezogen auf ein Zeitintervall t – ein Gasvolumenstrommessgerät verwendet werden.

7.3.2 Materialeigenschaften

Die Teile der Probenahmeeinrichtung, die mit der Abluft in Berührung kommen, sind aus korrosionsbeständigem und sterilisierbarem Material zu fertigen, beispielsweise aus nicht rostendem Stahl, Titan, Quarzglas oder Glas. Biozidmaterialien, die Mikroorganismen abtöten können (z. B. Kupfer und Messing), dürfen nicht eingesetzt werden. Die Innenwände von Krümmer und Absaugrohr müssen möglichst glatt sein und dürfen keine Querschnittsänderungen aufweisen. Der Emissionsimpinger sollte vorzugsweise aus Glas gefertigt werden und kann daher von Glasbläsern entsprechend den Maßanforderungen in 7.3.4 hergestellt werden.

7.3.3 Entnahmesonde, Krümmer und Absaugrohr

Der zu messende Abluftstrom tritt durch die Entnahmesonde in die Probenahmeeinrichtung ein. Die Entnahmesonde ist über Krümmer und Absaugrohr mit dem Emissionsimpinger verbunden. Um eine isokinetische Probenahme in der strömenden Abluft in einem großen Geschwindigkeitsbereich (z. B. 0,5 m/s bis 20 m/s) zu ermöglichen, muss die Probenahmeeinrichtung mit einem Satz von Entnahmesonden verschiedener Durchmesser ausgestattet sein². In Anhang A ist ein Ausführungsbeispiel bei Verwendung einer 8-mm-Sonde zur Bioaerosolmessung in einem Schweinezuchtbetrieb beschrieben.

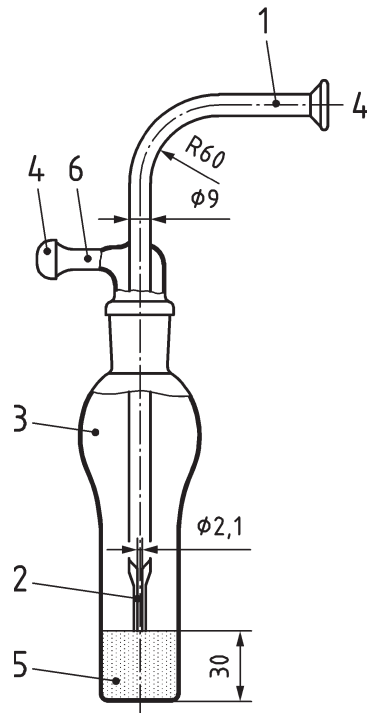
In EN 13284-1, Abschnitt 7.2.3 und Anhang C, sind die Ausführungshinweise für Entnahmesonden aufgeführt, die zu beachten sind. So muss z. B. die Spitze der Entnahmesonde dünnwandig sein, um den Hauptvolumenstrom nicht zu beeinflussen. Entnahmesonden mit einem Innendurchmesser von mehr als 8 mm werden empfohlen.

Die übliche Anforderung in EN 13284-1, die isokinetische Probenahmesonde zu erwärmen, entfällt, um sicherzustellen, dass bei der Probenahme keine Schäden für die Mikroorganismen auftreten können.

7.3.4 Emissionsimpinger

Der Emissionsimpinger fängt die Bioaerosole in der Sammelflüssigkeit auf (siehe Bild 2). Er besteht aus zwei Bauteilen, dem Einlasssystem mit Einlassrohr und Kapillare sowie dem Sammelgefäß zur Aufnahme der Sammelösung. Die technischen Daten des Emissionsimpingers sind Tabelle 1 zu entnehmen, er kann damit von Glasbläsern hergestellt werden. Unter Umständen, in denen die Emissionsquelle eine höhere Feuchte aufweist, kann es notwendig sein, einen sterilen, zweiten Impinger zu verwenden, um jedwede Übertragung zwischen Proben zu erfassen.

² In der Praxis hat es sich bewährt, einen SONDENSATZ mit Durchmessern von 6 mm bis 12 mm in Schritten von 2 mm vorzuhalten.



Legende

- 1 Einlassrohr (Ø [mm] Durchmesser – Innendurchmesser des Einlassrohrs, r[mm] Radius – Krümmungsradius des Einlassrohrs)
- 2 Kapillare
- 3 Sammelgefäß (Ø [mm] Durchmesser– Wandstärke des Sammelgefäßes)
- 4 Schliff
- 5 Sammellösung
- 6 Auslass

Bild 2 — Emissionsimpinger

Tabelle 1 — Technische Daten des Emissionsimpingers

Abmessungen/Kenngrößen	Wert
Gesamthöhe des Emissionsimpingers	ungefähr 280 mm
Außendurchmesser des Sammelgefäßes	40 mm bis 60 mm
Wandstärke des Sammelgefäßes	ungefähr 2,1 mm
Außendurchmesser des Einlassrohrs	11 mm
Innendurchmesser des Einlassrohrs	9 mm
Länge des Einlassrohrs von Krümmerende bis zum Kapillarauslass	190 mm
Länge des Einlassrohrs von Pfannenschliff bis zum Krümmeranfang	ungefähr 40 mm
Innendurchmesser der Kapillare	$(2 \pm 0,2)$ mm
Länge der Kapillare	24 mm
Abstand der Kapillare vom Boden ^a	30 mm
Krümmungsradius des Einlassrohrs	60 mm
Volumen der Sammelflüssigkeit nach Autoklavieren	ungefähr 30 ml
Schliff (Kugel/Pfanne)	z. B. KS 19/9 oder NS 29/32
^a Der Boden des Sammelgefäßes muss eben sein.	

7.3.5 Absaugaggregat und Geräte zur Messung des Gasvolumens bzw. des Gasvolumenstroms

Das Absaugsystem muss als Ganzes dicht sein, um Leckagen zu vermeiden (weniger als 2 % des erwarteten Probendurchflusses). Der Teilvolumenstrom muss innerhalb eines breiten Bereichs mittels Regulierungsventil und/oder Bypassventil einstellbar sein. Ein Absperrventil zur Unterbrechung des Gasstroms durch die Probenahmeeinrichtung muss ebenfalls vorhanden sein. Beispiele für Absaugaggregate und Gasmesseinrichtungen werden in EN 13284-1, Abschnitt 7.2.4 bis 7.2.6.

8 Probenahme

8.1 Allgemein

Vor der Messung ist eine Messplanung nach EN 15259 durchzuführen. Die allgemeinen Vorgaben des Arbeitsschutzes müssen eingehalten werden. Die Messstrecke, auf der die Prüfung durchgeführt werden soll, muss die Anforderungen nach EN 15259, Abschnitt 6.2 erfüllen.

8.2 Vorbereitung der Probenahmeausrüstung

8.2.1 Allgemein

Vor der Probenahme müssen einerseits die Geräte der Bioaerosolprobenahme als auch die Geräte zur Messung der Abluftparameter auf Funktionstüchtigkeit geprüft werden. Alle Komponenten der Probenahmeeinrichtung, die in direkten Kontakt mit den Bioaerosolen kommen, darunter die Entnahmesonde und der Emissionsimpinger, müssen vor dem Transport zum Probenahmeort gereinigt (z. B. autoklaviert/zellfrei) sein. Alle Teile der Probenahmeeinrichtung, die in Kontakt mit der Probe kommen, müssen vor ihrem Gebrauch vor Kontamination während des Transports und der Lagerung geschützt sein.

Die allgemeinen Vorgaben der guten mikrobiologischen Laborpraxis sind zu berücksichtigen. Weitere Details siehe auch Anhang B.

Die vorbereitenden Maßnahmen sind entsprechend des Qualitätsmanagementsystems des Labors zu dokumentieren (siehe auch 12).

8.2.2 Vorbereitung des Emissionsimpingers

Zur Gewährleistung von sterilen Bedingungen muss der Emissionsimpinger im Labor mit 32 ml Sammelflüssigkeit befüllt und anschließend autoklaviert werden. Als Alternative zur Autoklavierung des vorgefüllten Emissionsimpingers ist es außerdem zulässig, den leeren Impinger zu autoklavieren und anschließend 30 ml der Impingerflüssigkeit hinzuzugeben. Es ist wichtig, sicherzustellen, dass die hinzugegebene Flüssigkeit steril ist, bevor sie in den Emissionsimpinger gegeben wird und die Zugabe aseptisch erfolgt.

Druck, Temperatur und Dauer der Autoklavierung sind zu protokollieren. Wenn sich der pH-Wert während der Messung nicht ändert, könnte die Probenahme­flüssigkeit eine physiologische Kochsalzlösung (z. B. 0,85 %ige NaCl-Lösung sein). Für Emissionsproben aus Tierhaltungsanlagen oder jedweden anderen Anlagen, in denen der pH-Wert Schwankungen unterliegen kann, muss grundsätzlich eine Pufferlösung verwendet werden, um den pH-Wert konstant zu halten (Phosphatpuffer der folgenden Zusammensetzung: 4,3 g/l NaCl, 7,23 g/l $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$, 3,56 g/l KH_2PO_4 , pH-Wert: $7,0 \pm 0,2^3$). Für Endotoxinprobenahmen muss pyrogenfreies Wasser verwendet werden.

Die Masse des unbefüllten Emissionsimpingers (ohne Einlasssystem) wird durch Wägung bestimmt (Sicherheit von 1/10 g).

8.2.3 Vorbereitung von Entnahmesonde und Absaugrohr

Aufgrund ihrer Größe können Entnahmesonde und Absaugrohr nicht autoklaviert werden. Diese Geräte sind vor der Messreihe mechanisch zu reinigen und mit Wasser und abschließend mit 70 %igem Ethanol oder Isopropanol zu spülen und bei ungefähr 180 °C ca. 60 min lang zu trocknen [5].

8.2.4 Bestimmung einer geeigneten Probenahmesonde und eines geeigneten Volumenstroms

Vor der Bioaerosolprobenahme müssen die im Rahmen der Messplanung (EN 15259) festgelegten Parameter (Abmessungen des Abluftkanals, Anzahl und Lage der Messpunkte, Luftdruck usw.) überprüft oder ermittelt und aufgezeichnet werden (siehe auch Anhang D „Probenahme­protokoll“). Die Temperatur und Geschwindigkeit der Abluft müssen an den ausgewählten Messpunkten gemessen werden.

In Tabelle 2 ist eine Übersicht zum schrittweisen Vorgehen bei der isokinetischen Probennahme aufgeführt. Die mit A bis G bezeichneten Einzelschritte sind im weiteren Text der Norm in Klammern dargestellt.

3 Dieser Phosphatpuffer hat auch bei hohen Ammoniakgehalten in der Abluft (z. B. 20 mg/m³) genügend Pufferkapazität, um den pH-Wert der Sammellösung in einem akzeptablen Bereich zu halten (6,8-7,2 pH-Einheiten).

Tabelle 2 — Vorgehensweise bei der isokinetischen Probenahme

A	Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeitsverteilung im Messquerschnitt
B	Auswahl eines geeigneten Sondendurchmessers
C	Berechnung des erforderlichen Teilvolumenstroms an jedem Messpunkt der Probenahmeachse bei Berücksichtigung der Sondengeometrie und der Strömungsgeschwindigkeit am Messpunkt
D	Umrechnung des Teilvolumenstroms auf Normbedingungen (gegebenenfalls auch auf Gasbedingungen am Absaugaggregat)
E	Probenahme mit berechnetem Teilvolumenstrom an jedem Messpunkt
F	Berechnung des abgesaugten Volumens
G	Überprüfung der Einhaltung der Anforderungen an die isokinetische Probenahme

Aus dem ermittelten Geschwindigkeitsprofil wird eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit (Abluftgeschwindigkeit) berechnet (A). Unter Berücksichtigung dieser berechneten mittleren Strömungsgeschwindigkeit und des technisch bedingten Bereichs des Volumenstroms durch den Impinger von 1 m³/h bis 1,8 m³/h oder 16 l/min bis 30 l/min wird der Durchmesser δ_S der Entnahmesonde gemäß Gleichung (5) festgelegt (B).

$$\delta_S = \sqrt{\frac{4 \dot{v}}{\pi u_{\text{mittel}}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}} \quad (5)$$

Dabei ist

- δ_S erforderlicher (theoretischer) Sondendurchmesser in m
- $\dot{v}$ vorgesehener Teilvolumenstrom m³/h
- u_{mittel} mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Messquerschnitt in m/s

ANMERKUNG In Gleichung (5) bezieht sich die mittlere Strömungsgeschwindigkeit auf Abluftbedingungen im Kanal und der Volumenstrom auf Bedingungen im Impinger. Um Gleichung (5) korrekt anzuwenden, müsste der Volumenstrom im Impinger auf Abluftbedingungen im Kanal umgerechnet werden. Da der Einfluss dieser unterschiedlichen Bedingungen für die Auswahl der Entnahmesonde in der Regel nicht relevant ist, kann in der Praxis auf die Umrechnung an dieser Stelle verzichtet werden.

Zur Einhaltung der Probenahmebedingungen kann der Teilvolumenstrom mithilfe der Probenahmeeinrichtung variiert werden. Dabei muss gewährleistet sein, dass der Teilvolumenstrom den festgelegten Bereich von 1 m³/h bis 1,8 m³/h bzw. 16 m³/min bis 30 m³/min [2] einhält (siehe 8.3). Zur Überprüfung wird der erforderliche Teilvolumenstrom nach Gleichung (6) berechnet (E):

$$\dot{v}_i = u_{G,i} \times \delta_S^2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \quad (6)$$

Dabei ist

- $\dot{v}_i$ erforderlicher Teilvolumenstrom am Messpunkt i , bezogen auf Abluftbedingungen (Temperatur, Druck, gegebenenfalls Feuchte) in m³/h

$u_{G,i}$ Strömungsgeschwindigkeit am Messpunkt i in m/s

δ_S Durchmesser der Entnahmesonde in m

Der Teilvolumenstrom gemäß Gleichung (6) bezieht sich auf die vorliegenden Abluftbedingungen (Temperatur, Druck, und gegebenenfalls Feuchte⁴) im Abluftkanal. Der Teilvolumenstrom bezogen auf Normbedingungen und trockenes Abluftvolumen wird nach Gleichung (7) berechnet (**D**):

$$\begin{aligned}\dot{v}_{i,N,tr} &= \dot{v}_i \cdot \frac{T_N \cdot p_G}{T_G \cdot p_N} \cdot \frac{1}{1 + \frac{f}{\rho_{H_2O}}} \\ &= \dot{v}_i \cdot \frac{T_N \cdot p_G}{T_G \cdot p_N} \cdot \frac{100\% - r_{H_2O,G}}{100\%}\end{aligned}\quad (7)$$

Dabei ist

$\dot{v}_{i,N,tr}$	Teilvolumenstrom am Messpunkt i , bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa, trockenes Gasvolumen in m ³ /h
$\dot{v}_i \cdot \frac{T_N \cdot p_G}{T_G \cdot p_N}$	erforderlicher Teilvolumenstrom am Messpunkt i , bezogen auf Abluftbedingungen (Temperatur, Druck, gegebenenfalls Feuchte) in m ³ /h
T_G	die absolute Temperatur der Abluft in K
T_N	die Normtemperatur (273 K)
p_G	der absolute Druck der Abluft in kPa
p_N	der Normdruck (101,3 kPa)
f	Feuchte der Abluft, bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa und trockenes Gasvolumen, in kg/m ³
$r_{H_2O,G}$	Wasserdampf-Volumenanteil in der feuchten Abluft in %
ρ_{H_2O}	Dichte des gasförmigen Wassers, bezogen auf Normbedingungen, $\rho_{H_2O} = 0,804 \text{ kg/m}^3$

Für die Festlegung des erforderlichen Teilvolumenstroms bei der Probenahme ist dieser gegebenenfalls auf die Bedingungen am Gasvolumenstrommessgerät umzurechnen. Um mögliche Schwankungen des Volumenstroms im Abluftkanal während der Probenahme zu erkennen, ist die Abluftgeschwindigkeit u_G am Messpunkt kontinuierlich oder stichprobenartig alle fünf Minuten mit einer Staudrucksonde oder einem anderen geeigneten Messgerät im Messquerschnitt zu ermitteln. Bei stationären Prozessen, deren Volumenströme und Abluftparameter sich während der Probenahmedauer nicht ändern, kann auf die permanente Messung der Abluftgeschwindigkeit verzichtet werden. Ersatzweise wird dann die vor der Messung bestimmte Abluftgeschwindigkeit $u_{G,i}$ an jedem Messpunkt zur weiteren Berechnung verwendet (siehe 10.3).

4 Bei geringer Feuchte in der Abluft (z. B. $f \leq 0,043 \text{ kg/m}^3 \text{ H}_2\text{O}$ bei 30 °C), kann der Feuchteterm in Gleichung (7) vernachlässigt werden.

ANMERKUNG Schwankungen der Strömung im Abluftkanal können z.B. auch mithilfe einer Staudrucksonde überprüft werden, die an der Probenahmeeinrichtung befestigt ist. Dies ermöglicht die Messung des dynamischen Drucks an jedem Messpunkt und zu jedem Zeitpunkt.

8.3 Durchführung der Bioaerosolprobenahme

8.3.1 Dichtheitsprüfung und Probenahme (E)

Die Probenahmeeinrichtung ist zusammenzubauen und durch Verschließen der Entnahmesonde und Einschalten des Absaugaggregats auf Dichtheit zu prüfen. Zu diesem Zweck wird ein leerer Emissionsimpinger in die Probenahmeeinrichtung eingebaut. Wenn das gemessene Leck mehr als 2 % des erwarteten Probegasvolumenstroms der Probenahmeeinrichtung während der Prüfung umfasst, muss das Leck aufgespürt und geschlossen werden. Anschließend muss die Dichtheitsprüfung wiederholt werden, bis das Ergebnis der Dichtheitsprüfung weniger als 2 % des Probegasvolumenstroms entspricht.

In der Praxis kann eine beispielhafte Dichtigkeitsprüfung wie folgt durchgeführt werden:

Ein leerer Impinger wird in die Probenahmeeinrichtung eingebaut und alle Verbindungen müssen gasdicht sein. Das System wird z. B. mit einem vor der Pumpe installierten Absperrhahn verriegelt oder durch Absperren des Ventils mit einem Stopfen. In der Probenahmeeinrichtung wird ein Druck von 40 kPa eingestellt. Nach Abschalten der Pumpe wird der Druckverlauf in der Probenahmeeinrichtung registriert. Bleibt der Druck bei etwa 40 kPa konstant, ist die Apparatur dicht. Da davon ausgegangen werden muss, dass eine absolute Dichtigkeit bei Glasschliffen nicht zu erreichen ist, wird der Druck in der Probenahmeeinrichtung langsam ansteigen. Bei einem Anstieg kleiner als 1 kPa je Minute ist das System als dicht anzusehen und das durch ein Leck angesaugte Volumen bei den Probenahmen vernachlässigbar klein.

Nach der Dichtheitsprüfung an einem leeren Impinger, wird der gefüllte Emissionsimpinger unmittelbar vor der Messung aus dem Transportbehälter entnommen und der Verschluss entfernt. Beide Eingangs- und Ausgangsanschlüsse des Impingers (Kugel/Pfanne) und der Ausgang des Absaugrohrs werden anschließend kurz abgeflämmt (wobei ggf. sämtliche O-Ringe vor dem Abflämmen entfernt werden müssen). Wenn O-Ringe verwendet werden, müssen sie mit einem frischen Alkoholtupfer abgewischt werden, bevor sie wieder in das/die Kugelgelenk(e) eingesetzt werden. Anschließend wird der Emissionsimpinger strömungsrichtig in die Probenahmeeinrichtung zwischen Absaugrohr und Trockeneinheit eingebaut und alle Anschlüsse werden gasdicht verbunden. An dem gefüllten Impinger wird keine Dichtheitsprüfung durchgeführt.

Die Entnahmesonde wird in Richtung des Abgasstroms positioniert und die Probenahmesonde wird in den Abluftkanal eingesetzt. Der Kontakt der Entnahmesonde mit Teilen des Abluftkanals oder der Probenahmeöffnung muss vermieden werden. Es ist darauf zu achten, dass an den Kanalwandungen haftender oder abgelagerter Staub nicht in die Sonde gelangt.

Die Entnahmesonde ist gegebenenfalls zu drehen bis die Entnahmesonde auf $\pm 10^\circ$ in Richtung des Stroms ausgerichtet ist. Das Absaugaggregat ist einzuschalten, das Absperrventil zu öffnen und der Volumenstrom so einzustellen, dass eine isokinetische Probenahme innerhalb von -5 % bis +15 % erreicht wird. Die Regelung des Teilvolumenstroms erfolgt über eine automatisierte Regelungseinheit oder ein Bypass-Regelungsventil.

Die Probenahmedauer wird von der Messaufgabe und dem Messobjekt bestimmt (siehe EN 15259). Schreibt die Messplanung eine Beprobung an mehreren Messpunkten entlang der Messachse vor, dann muss die Probenahmedauer an jedem ausgewählten Messpunkt gleich sein. Die gesamte Probenahmedauer muss mindestens 30 min betragen.

Bei der Probenahme muss gewährleistet sein, dass

- der Volumenstrom oder der Gaszähler mindestens zu Beginn und zum Ende der Probenahme abgelesen wird

- der Volumenstrom für die isokinetische Probenahme innerhalb von -5 % bis +15 % während der Prüfung mind. alle 5 min angepasst wird,
- die Probenahme entlang der Messachse nicht unterbrochen wird, wenn die Probenahmesonde zu den nachfolgenden Probenahmepunkten gefahren wird
- die Probenahmedauer und das gesammelte Volumen oder der Volumenstrom für jeden Messpunkt aufgezeichnet wird

Nach Beendigung der Probenahme ist das Absperrventil zu schließen und das Absaugaggregat abzuschalten. Bei Beprobung weiterer Messachsen im Messquerschnitt muss dasselbe Verfahren angewandt werden. Die Sammelpuben der Messachsen können zu einer Gesamtprobe vereint werden, die den Messquerschnitt repräsentiert. Nachdem der gesamte Messquerschnitt beprobt wurde, müssen die Entnahmesonde und das Absaugrohr aus dem Kanal entnommen und umgehend zur Probewiederfindung verschlossen werden, z. B. mit Aluminiumfolie (siehe 8.3.2).

8.3.2 Rückgewinnung von Ablagerungen vor dem Emissionsimpinger

8.3.2.1 Allgemein

Aufgrund der charakteristischen Bauart der Probenahmereinrichtung, der Probenahme von Abluft mit hoher Temperatur und hoher relativer Feuchtigkeit und einer möglichen Taupunktunterschreitung kann es zu einer verstärkten Ablagerung von Mikroorganismen in der Probenahmereinrichtung vor dem Emissionsimpinger kommen. Aus diesem Grund müssen die Entnahmesonde, das Absaugrohr und das Impingereinlassrohr zur Rückgewinnung von Ablagerungen gespült werden. Die Entnahmesonde und das Absaugrohr müssen gemeinsam gespült werden und das Einlassrohr des Emissionsimpingers muss in der Impingerflasche selbst (ohne die Dichtung am Stutzen/Flaschenanschluss zu brechen) ausgespült werden. Es wird empfohlen, das Endvolumen der Probe und der Spülflüssigkeit auf weniger als ungefähr 50 ml zu begrenzen. Größere Probenahmesonden können jedoch möglicherweise größere Mengen der Spülflüssigkeit erfordern, um sicherzustellen, dass alle inneren Teile der Sonde ausreichend gespült werden. Wenn große Spülvolumina erforderlich sind, muss durch das Analyselabor vor der Analyse der Proben eine entsprechende Aufarbeitung (z. B. Membranfiltration) durchgeführt werden.

Es wird empfohlen, für die nachfolgenden Probenahmen dasselbe Volumen der Spülflüssigkeit zu verwenden, um einen konsistenten Ansatz beizubehalten. Aus diesem Grund wird die Verwendung einer sterilen Spritze empfohlen, um das Volumen der verwendeten Spülflüssigkeit zu messen.

Im Normalfall wird die zusammengebaute Probenahmereinrichtung (Entnahmesonde und Impinger) nach Beendigung der Probenahme umgehend gespült. Wenn dies nicht möglich oder beabsichtigt ist, muss ein besonderes Augenmerk auf die folgenden Punkte gelegt werden, um jedwede Kontamination vor oder während des Spülvorgangs zu vermeiden:

- Der Emissionsimpinger wird von der Probenahmeapparatur entfernt und wird anschließend mit einer Aluminiumkappe verschlossen.
- Das Absaugrohr wird vom Abluftkanal entfernt und anschließend mit einer Aluminiumkappe verschlossen.
- Der Impinger wird vom Absaugrohr getrennt und das Einlassrohr des Impingers wird mit einem definierten Volumen physiologischer Kochsalzlösung (z. B. 10 ml) gespült. Die Spüllösung wird mit der Impingerlösung vereinigt und der Emissionsimpinger mit einem Glasstopfen oder mit einer mit Parafilm umwickelten Aluminiumfolie verschlossen.
- Wenn ein zweiter Impinger als Tropfenabscheider verwendet wird, sollte jedwede angesammelte Flüssigkeit mit der Sondenspülung kombiniert werden.

- Die Entnahmesonde und das Absaugrohr müssen getrennt vom Impinger gespült werden. Zu diesem Zweck wird das Absaugrohr vom Einlassrohr des Impingers getrennt und an einem Ende verschlossen. Die Entnahmesonde und das Absaugrohr müssen wie oben dargestellt mit einem definierten Volumen physiologischer Kochsalzlösung gespült werden, was ausreichend sein wird, um alle Innenflächen des Absaugrohrs zu benetzen. Die Sonde muss leicht geschwenkt und die Spülflüssigkeit anschließend in einem sterilen Gefäß aufgefangen werden. Dieses Verfahren sollte mindestens zweimal durchgeführt werden.
- Grundsätzlich ist auf kontaminationsfreies Arbeiten zu achten. Um dies zu unterstützen, sollte Folgendes verwendet werden: autoklavierte Gummistopfen, sterile Handschuhe und Alkoholtupfer

Nach dem Spülvorgang werden der verschlossene Emissionsimpinger und gegebenenfalls die separate Spülflüssigkeit für den Transport kühl gelagert. Diese müssen bei einer konstanten Temperatur von 5 °C (± 3 °C) aufbewahrt werden. Im Labor wird die Gesamtmasse der Impingerlösung einschließlich der Spüllösung durch Wägung ermittelt, indem der befüllte Emissionsimpinger ohne Stopfen gewogen wird.

8.3.2.2 Wiederverwendung der Sonde und des Absaugrohrs

Wenn die Sonde und das Absaugrohr wiederverwendet werden sollen, ist es zwingend erforderlich, dass sie zwischen der Wiederverwendung ordnungsgemäß gereinigt werden. Nach dem Spülvorgang müssen alle Teile vor dem Emissionsimpinger gegebenenfalls sorgfältig mit Isopropanol desinfiziert werden. Diese Alkoholspülung sollte in einem separaten Probenbehälter gesammelt, anschließend vom Einsatzort entfernt und ordnungsgemäß entsorgt werden.

ANMERKUNG Vor dem erneuten Einsatz der gespülten Teile der Probenahmeapparatur vor dem Impinger ist sicherzustellen, dass kein Desinfektionsmittel mehr vorhanden ist (z. B. durch Abflammen, Trockensaugen mit vorgeschaltetem Sterilfilter, Spülen mit physiologischer Kochsalzlösung oder jedweder anderer guter Laborpraxis). Dieser Vorgang soll jedweden negativen Einfluss auf die biologische Sammeleffizienz ausschließen.

Die gereinigte Entnahmesonde und das Absaugrohr können für die nächste Probenahme wieder verwendet werden, falls keine sichtbaren Ablagerungen in der Sonde oder dem Absaugrohr verblieben sind.

Für die nächste Probenahme muss ein neuer steriler Emissionsimpinger verwendet werden.

8.3.3 Ermittlung der Masse der Sammelflüssigkeit

Vor der Probenahme wird die Masse der leeren Impingerflaschen (ohne Einlassrohr) bestimmt. Zur Ermittlung der Gesamtmasse der Sammelflüssigkeit werden die Impingerflaschen nach Beendigung der Probenahme im analytischen Labor in gleicher Weise (also ohne Einlassrohr) gewogen.

8.3.4 Feldblindwert

Zur Qualitätssicherung ist es erforderlich, Feldblindwerte nach dem in Abschnitt 7.3 beschriebenen Probenahmeverfahren zu ermitteln. Für die Feldblindprobe muss eine geeignet Probenahmeeinrichtung (Sonde, Absaugrohr, Impinger) verwendet werden, ohne das Absaugaggregat zu aktivieren oder in den Abluftkanal einzusetzen. Es ist zudem nicht erforderlich, eine Dichtheitsprüfung an der Feldblindprobenahmeapparatur durchzuführen.

Für Messreihen an Arbeitstagen muss die Anzahl der Feldblindwerte wie folgt festgelegt werden: bis vier Einzelmessungen ist ein Feldblindwert ausreichend, bei fünf bis zehn Einzelmessungen werden mindestens zwei Feldblindwerte ermittelt, bei mehr als zehn Einzelmessungen sollte die Anzahl der Feldblindwerte ungefähr 20 % der entnommenen Proben betragen.

Die Mikroorganismenkonzentration der Feldblindwerte darf in keinem Fall den Wert von 3 KBE/Platte der unverdünnten Probe überschreiten.

Das während der Probenahme erhaltene Probenahmenvolumen (in m³) wird zur Berechnung des Feldblindwerts in KBE/m³ verwendet. Alle Feldblindwerte müssen einzeln im Messbericht angegeben werden.

8.3.5 Analytischer Blindwert (entnommen im Analyselabor)

Bei der analytischen Blindwertprobe werden alle im Labor durchgeführten Arbeitsschritte (z. B. Verdünnung, Ausplattieren usw.) überprüft. Hierzu wird die Ausgangssammellösung wie eine normale Probe aufgearbeitet. Grundsätzlich wird immer auch die unverdünnte Ausgangssammellösung ausplattiert. Die Blindwertprobe der unverdünnten Ausgangssammellösung darf nicht mehr als 1 KBE/Platte enthalten.

8.4 Transport und Lagerung

Die Impinger sind nach der Probenahme vor störenden Einflüssen (Sonnenlicht, Feuchtigkeit oder Austrocknung, Hitze und Staub usw.) zu schützen und unverzüglich zur Analyse ins Labor zu transportieren (z. B. in verschlossenen Isolierboxen). Die Transportbedingungen (Temperatur, Dauer) müssen dokumentiert werden. Bis zur weiteren Bearbeitung sind die Proben bei (5 ± 3) °C gekühlt und im Dunkeln zu transportieren und zu lagern. Für Einzelheiten siehe Anhang B. Die Aufarbeitung der Proben hat möglichst umgehend, spätestens jedoch 24 h nach Ende der Probenahme, zu erfolgen.

9 Analyse

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, sollten Standard-Analyseverfahren angewandt werden, z. B.:

- VDI 4253 Blatt 2 für Schimmelpilze
- VDI 4253 Blatt 3 für Bakterien
- VDI 4253 Blatt 4 zur Bestimmung der Gesamtzellzahl (GZZ)
- Technical Guidance Note M9 (Monitoring) [9]
- Für die Emissionsmessungen muss hinsichtlich der Ergebnisangabe von den analytischen Richtlinien abgewichen werden. Die Angabe des Ergebnisses erfolgt in KBE/Probe bzw. in GZZ/Probe.

10 Bewertung

10.1 Allgemein

Bei Emissionsmessungen wird vom analytischen Labor eine Ergebnisangabe in KBE/Probe oder GZZ/Probe gefordert.

10.2 Übergabe der Ergebnisse durch das analytische Labor

Die Ergebnisse **für Schimmelpilze** und **für Bakterien** werden nach Gleichung (8) unter Berücksichtigung des gewichteten Mittelwerts (EN 1040, Abschnitt 5.6.2.3) dargestellt.

$$z_{M0} = \frac{\sum C_{Platte}}{(n_1 + 0,1 n_2)} \times d \times D \quad (8)$$

Dabei ist

z_{M0} Anzahl der kultivierbaren Mikroorganismen in der Probe in KBE

$\sum C_{Platte}$ Summe der gezählten Kolonien auf allen ausgewerteten Platten in KBE

n_1	Anzahl der Platten bei der niedrigsten auswertbaren Verdünnung (höhere Konzentration)
n_2	Anzahl der Platten bei der nächst höheren auswertbaren Verdünnung (geringere Konzentration)
d	Verdünnungsfaktor der ersten ausgewerteten Verdünnung (z. B. $d = 100$ bei Verdünnungsstufe 10^{-2})
D	weiterer Verdünnungsfaktor, der sich daraus ergibt, dass nur ein Aliquot der Verdünnungen ausplattiert wurde

Die Ergebnisse für **die Gesamtzellzahl** werden nach Gleichung (9) dargestellt:

$$z_{GZZ} = \frac{z_{\text{Impinger}}}{v_t} \cdot v_f \quad (9)$$

Dabei ist

z_{GZZ}	Anzahl der Mikroorganismen in der Probe in GZZ
z_{Impinger}	die ermittelte Zellzahl im ausgewerteten Impinger in GZZ
v_t	filtriertes Volumen der Impinger-Sammelflüssigkeit in ml
v_f	Gesamtvolumen der Impinger-Sammelflüssigkeit in ml

10.3 Teilgasvolumen bei der Probenahme

Das tatsächlich abgesaugte Teilgasvolumen v_{GM} ergibt sich aus der Ablesung am Gasvolumenmessgerät der Probenahmeeinrichtung (siehe Bild 1). Zum Berechnen des Ergebnisses ist das Teilgasvolumen auf Normbedingungen (273 K und 101,3 kPa) der trockenen Abluft zu beziehen. Unter Berücksichtigung der Verhältnisse am Gasvolumenmessgerät errechnet sich das Teilgasvolumen unter Normbedingungen (trocken) aus dem Teilgasvolumen im Betriebszustand wie folgt (F):

$$\begin{aligned} v_{N,tr} &= v_{GM} \cdot \frac{T_N \cdot p_{GM}}{T_{GM} \cdot p_N} \cdot \frac{1}{1 + \frac{f_{GM}}{\rho_{H_2O}}} \\ &= v_{GM} \cdot \frac{T_N \cdot p_{GM}}{T_{GM} \cdot p_N} \cdot \frac{100\% - r_{H_2O,GM}}{100\%} \end{aligned} \quad (10)$$

Wenn die Feuchte des Teilgasvolumens am Gasvolumenmessgerät (z. B. Einsatz eines Trockenturms) vernachlässigt werden kann ($f_{GM} \approx 0$), ergibt sich für das Teilgasvolumen unter Normbedingungen (trocken) die folgende Beziehung:

$$v_{N,tr} = v_{GM} \cdot \frac{T_N p_{GM}}{T_{GM} p_N} \quad (11)$$

Dabei ist

$v_{N,tr}$	das Teilgasvolumen (bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa und trockenes Gasvolumen) in m^3
------------	---

v_{GM}	das Teilgasvolumen bezogen auf die Bedingungen am Gasvolumenmessgerät (Temperatur, Druck, Feuchte) in m^3
p_{GM}	der absolute Druck am Gasvolumenmessgerät in kPa
p_N	der Normdruck (101,3 kPa)
T_{GM}	die absolute Temperatur am Gasvolumenmessgerät in K
T_N	die Normtemperatur (273 K)
f_{GM}	Feuchte des Teilgasvolumens am Volumenmessgerät (bezogen auf Normbedingungen) in kg/m^3
ρ_{H_2O}	die Dichte des gasförmigen Wassers (bezogen auf Normbedingungen, $\rho_{H_2O} = 0,804 \text{ kg/m}^3$)
$r_{H_2O,GM}$	Wasserdampf-Volumenanteil im feuchten Teilgas am Gasvolumenstrommessgerät in %.

Zum Nachweis der Einhaltung der isokinetischen Bedingungen muss das Verhältnis aus Strömungsgeschwindigkeit in der Entnahmesonde zur mittleren Abluftgeschwindigkeit über die Messdauer im Kanal die folgenden Bedingungen erfüllen (G):

$$-5 \% \leq \frac{u_S - u_{\text{mittel, Pr}}}{u_{\text{mittel, Pr}}} \times 100 \% \leq 15 \% \quad (12)$$

mit

$$\begin{aligned} u_S &= \frac{\dot{v}_{N, \text{tr}}}{A_S} \times \frac{T_G p_N}{T_N p_G} \times \left(1 + \frac{f}{\rho_{H_2O}} \right) \\ &= \frac{\dot{v}_{N, \text{tr}}}{A_S} \cdot \frac{T_G p_N}{T_N p_G} \times \frac{100 \%}{100 \% - r_{H_2O, G}} \end{aligned} \quad (13)$$

Dabei ist

u_S	die Strömungsgeschwindigkeit in der Entnahmesonde in m/s
$u_{\text{mittel, Pr}}$	mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Messquerschnitt während der Probenahme in m/s
$\dot{v}_{N, \text{tr}}$	Teilvolumenstrom an einem Teilgasvolumenstrommessgerät (Rotameter, Messblende, Gasvolumenmessgerät bezogen auf ein Zeitintervall t) bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa und trockenes Gasvolumen in m^3/h
A_S	aus dem Durchmesser δ_S der Sonde berechnete Fläche in m^2
p_G	der absolute Druck der Abluft in kPa
p_N	der Normdruck (101,3 kPa)
T_G	die absolute Temperatur der Abluft in K
T_N	die Normtemperatur (273 K)

- f die Feuchte der Abluft (bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa und trockenes Gasvolumen) in kg/m³
- $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ die Dichte des gasförmigen Wassers (bezogen auf Normbedingungen, $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 0,804 \text{ kg/m}^3$)
- $r_{\text{H}_2\text{O,G}}$ Wasserdampf-Volumenanteil in der feuchten Abluft in %

ANMERKUNG 1 Bei geringer Feuchte in der Abluft (z. B. $f \leq 0,043 \text{ kg/m}^3 \text{ H}_2\text{O}$ bei 30 °C), kann der Feuchteterm in Gleichung (13) vernachlässigt werden.

ANMERKUNG 2 Die zulässigen Abweichungen von –5 % bis +15 % von den isokinetischen Bedingungen sind gemäß VDI 2066 Blatt 1 auf eine Abluftgeschwindigkeit u an jedem Messpunkt bezogen. Für Bioaerosolmessungen wird aus Vereinfachungsgründen eine Abluftgeschwindigkeit u_{mittel} herangezogen.

ANMERKUNG 3 Bei stationären Prozessen, deren Volumenströme und Abluftparameter sich während der Probenahmedauer nicht ändern, kann auf die permanente Messung der Abluftgeschwindigkeit verzichtet werden. Die vor der Messung bestimmte Abluftgeschwindigkeit $u_{\text{average}} = \sum_{i=1}^n u_{\text{G},i} / n$ ist dann gleich u_{mittel} , p_r und kann zur weiteren Berechnung verwendet werden (siehe Abschnitt 7.3).

10.4 Berechnung der Anzahl an Mikroorganismen

Die folgenden Werte sind zur Berechnung der Konzentration an anzüchtbaren Mikroorganismen oder der Gesamtzellzahl c in der Abluft erforderlich, siehe auch Gleichung (3):

- Teilgasvolumen $v_{\text{N,tr}}$ gemäß Gleichung (10) oder Gleichung (11)
- Anzahl der Mikroorganismen z_{MO} gemäß Gleichung (8) oder Anzahl der Mikroorganismenzellen z_{GZZ} gemäß Gleichung (9)

$$c = \frac{z_{\text{MO}}}{v_{\text{N,tr}}} \quad \text{resp.} \quad c = \frac{z_{\text{GZZ}}}{v_{\text{N,tr}}} \quad (14)$$

Dabei ist

- c die Anzahlkonzentration der Mikroorganismen im Teilstrom in KBE/m³ oder GZZ/m³
- z_{MO} die Anzahl der Mikroorganismen in der Probe in KBE
- z_{GZZ} die Anzahl der Mikroorganismenzellen in der Probe in GZZ
- $v_{\text{N,tr}}$ das Teilgasvolumen (bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa und trockenes Gasvolumen) in m³

Das Ergebnis muss bezogen auf Normbedingungen angegeben werden.

10.5 Berechnung der Fracht

Die Fracht $\dot{Z}_{\text{MO}}$ bzw. $\dot{Z}_{\text{GZZ}}$ der Einzelmessung ergibt sich aus der Mikroorganismenkonzentration c und dem Hauptvolumenstrom $\dot{V}$ (siehe auch Gleichung (4)):

$$\dot{Z}_{\text{MO}} = c \times \dot{V}_{\text{N}} \quad \text{resp.} \quad \dot{Z}_{\text{GZZ}} = c \times \dot{V}_{\text{N}} \quad (15)$$

Dabei ist

- $\dot{Z}_{MO}$ die Fracht der kultivierbaren Mikroorganismen (bezogen auf die Anzahl) im Hauptvolumenstrom des Abluftstroms in KBE/h
- $\dot{Z}_{GZZ}$ die Fracht der Mikroorganismenzellen (bezogen auf die Anzahl) im Hauptvolumenstrom der Abluft in GZZ/h
- c die Anzahlkonzentration der Mikroorganismen im Teilstrom in KBE/m³ oder GZZ/m³
- $\dot{V}_N$ der Hauptvolumenstrom der Abluft (bezogen auf Normbedingungen 273 K, 101,3 kPa und trockenes Gasvolumen) in m³/h

Das Ergebnis muss bezogen auf Normbedingungen angegeben werden.

11 Verfahrenskenngrößen

11.1 Messunsicherheit (siehe VDI 2100-6, Kapitel 5.1 und 5.2)

Zur Ermittlung des Werts einer Messgröße werden ein Messverfahren und eine Messeinrichtung angewendet, wobei bekannte und unbekannte Einflüsse eine unvermeidliche Messabweichung verursachen. Eine eindeutig definierte Messgröße hat einen (Mess-) Wert; jedoch ist die Kenntnis über diesen Wert nicht vollständig, und es kann nur abgeschätzt werden, in welchem Bereich der Messwert mit welcher Wahrscheinlichkeit auftritt. Aus diesem Grund muss die Messunsicherheit eines gemessenen Wertes bestimmt werden. Die Messunsicherheit ist hierbei ein statistisches Maß für die Qualität eines Messergebnisses einer Prüfmethode. Sie ermöglicht es Anwendern, die Verlässlichkeit des Messergebnisses statistisch zu bewerten.

Es gibt verschiedene Ansätze zur Berechnung der Messunsicherheit. In jedem Fall ist die Quantifizierung der Unsicherheitskomponenten erforderlich.

Die Quantifizierung kann auf verschiedenen Wegen erfolgen:

- indirekter Ansatz

Es wird für jede ermittelte Quelle der Unsicherheitsbeitrag ermittelt, aus welchen dann die kombinierte Standardunsicherheit zu berechnen ist. Grundlage dabei ist das ausreichende Vorhandensein von Datenmaterial. Die Unsicherheitsbeiträge der einzelnen Quellen können durch eigene Bestimmung, Informationen aus der Literatur, Angaben des Herstellers oder durch Schätzung ermittelt werden (siehe z. B. [6]).

- Integrativer Ansatz

Integrative Bestimmung verschiedener Unsicherheitsquellen. Beispiele für diesen Ansatz können z. B. dem NORDTEST Technical Report TR 569 „Handbook for Calculation of Measurement Uncertainty in Environmental Laboratories“ entnommen werden. Üblicherweise werden Datensätze aus den Ergebnissen der Analyse der Qualitätskontrollprobe verwendet (Standard-Karten). Darüber hinaus werden die Ergebnisse der Analyse des zertifizierten Matrix-Referenzmaterials berücksichtigt. Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen, Leistungsprüfungen und Wiederfindungsversuche können auch angewandt werden.

- direkter Ansatz

Die Messunsicherheit wird direkt über die Variation der Messgröße bestimmt. Dies ist z. B. Möglich durch Wiederholmessung von zertifizierten Referenzmaterialien, Vergleichsmessungen mehrerer Verfahren, Parallelmessungen mit einem Referenzverfahren oder durch Teilnahme an Ringversuchen (siehe z. B. EN ISO 20988).

Es ist die Aufgabe des Laboratoriums, zu entscheiden, welche Vorgehensweise im Einzelfall am besten geeignet ist. Dabei sind auch die Probenzusammensetzung und die Probenvorbereitung zu berücksichtigen. In einigen Fällen werden Vereinfachungen notwendig bzw. können Abschätzungen/Ermittlungen nur unvollständig sein. Insbesondere die vollständige Erfassung aller bei der Probenahme relevanten Einflussgrößen kann zurzeit nur in wenigen Fällen berücksichtigt werden.

11.2 Parameter für die Bestimmung der Messunsicherheit in der Praxis (die meisten Textteile wurden aus VDI 2267-1, Kapitel 8.2.1 und Kapitel 8.2.2.1 entnommen)

Die nachfolgende Bestimmung der Messunsicherheit muss als beispielhaft betrachtet werden. Dieser Vorschlag basiert auf der direkten Bestimmung der zufälligen Messunsicherheit für den Analyseschritt und den Probenahmeschritt.

Zur Bestimmung des Zufallsfehlers des Verfahrens können die Auswertemodelle A6 der EN ISO 20 988 herangezogen werden. Diese Auswertemodelle sind in Anhang B von EN ISO 20988 näher beschrieben. Das Auswertemodell A6 basiert auf der Doppelbestimmung zweier identischer Messeinrichtungen.

Die Unsicherheitsquellen, die während der Anwendung dieses Verfahrens auftreten können, sind nachstehend aufgeführt. Die Beiträge der einzelnen Messunsicherheiten sind zum Teil abhängig von der Messgröße, das heißt vom Analyten.

- Probenahme
 - zufälliger Fehler oder Drift des Probenahmevervolumenstroms
 - unzureichende Sammeleffizienz des Probenahmefilters
 - Kontaminationen oder Verluste bei der Probenahme
- Transport und Lagerung
 - Kontaminationen oder Verluste während des Transports und der Lagerung der Proben
- Probenvorbereitung
 - Kontaminationen oder Verluste bei der Probenahme
- Vorbereitung
 - unvollständiger Aufschluss der Filterprobe
 - zufälliger Fehler bei der Probenaufarbeitung (z. B. Volumenstreuung)
- Analyse
 - systematische Fehler bei der Messung (z. B. unkorrigierte Interferenzen)
 - zufälliger Fehler bei der Messung
 - Unsicherheit des zertifizierten Referenzmaterials

In der Praxis spielt nur ein Teil der möglicherweise auftretenden Unsicherheiten eine maßgebliche Rolle. Durch korrekte Anwendung dieser Richtlinie werden die Auswirkungen vieler Unsicherheitsbeiträge minimiert oder vermieden, sodass sie für das Unsicherheitsbudget keine Bedeutung mehr haben. So kann beispielsweise die Unsicherheit durch eine unzureichende Probenahmefeffizienz vernachlässigt werden, wenn Probenahmeeinrichtungen verwendet werden, die der in der jeweiligen Richtlinie festgelegten