

DIN EN ISO 27548



ICS 13.040.40; 25.030

Einsprüche bis 2023-06-21

Entwurf

**Additive Fertigung von Kunststoffen –
Umwelt, Gesundheit und Sicherheit –
Prüfverfahren zur Bestimmung der Partikelemissionsrate und der
chemischen Emissionsrate von materialextrusionsbasierten
Desktop-3D-Druckern (ISO/DIS 27548:2023);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 27548:2023**

Additive manufacturing of plastics –
Environment, health, and safety –
Test method for determination of particle and chemical emission rates from desktop
material extrusion 3D printer (ISO/DIS 27548:2023);
German and English version prEN ISO 27548:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-04-21 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 nwt@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 den DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

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 69 Seiten

DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 27548:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261 „Additive manufacturing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 438 „Additive Fertigungsverfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 145-04-01 AA „Additive Fertigung – Querschnittsthemen/Digitalisierung“ im DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT).

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.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 14644-1	siehe	DIN EN ISO 14644-1
ISO 16000-3	siehe	DIN ISO 16000-3
ISO 16000-6:2011	siehe	DIN ISO 16000-6:2012-11
ISO 16000-9	siehe	DIN EN ISO 16000-9
ISO/ASTM 52900	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52900

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 14644-1, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 1: Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration*

DIN EN ISO 16000-9, *Innenraumluftverunreinigungen — Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen — Emissionsprüfkammer-Verfahren*

DIN EN ISO/ASTM 52900, *Additive Fertigung — Grundlagen — Terminologie*

DIN ISO 16000-3, *Innenraumluftverunreinigungen — Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern — Probenahme mit einer Pumpe*

DIN ISO 16000-6:2012-11, *Innenraumluftverunreinigungen — Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (ISO 16000-6:2011)*

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO 27548:2023-05

– Leerseite –

**Additive Fertigung von Kunststoffen – Umwelt, Gesundheit und Sicherheit –
Prüfverfahren zur Bestimmung der Partikelemissionsrate und der chemischen
Emissionsrate von materialextrusionsbasierten Desktop-3D-Druckern
(ISO/DIS 27548:2023)**

Additive manufacturing of plastics – Environment, health, and safety – Test method for determination of particle and chemical emission rates from desktop material extrusion 3D printer (ISO/DIS 27548:2023)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Abkürzungen und Symbole	10
4.1 Abkürzungen	10
4.2 Symbole	10
5 Überblick über die Verfahren	11
6 Anforderungen an die Messgeräte	11
6.1 Allgemeines	11
6.1.1 Emissionsprüfkammer (ETC)	11
6.1.2 Geräte für chemische Analysen	12
6.1.3 Aerosolinstrumente	12
6.2 Allgemeine Anforderungen an MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker und Probekörper	13
6.2.1 MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker	13
6.2.2 Filament	13
6.2.3 Probekörper	13
7 ETC-Bedingungen und Prüfverfahren	14
7.1 Allgemeine ETC-Bedingungen	14
7.2 ETC-Hintergrundkonzentration	15
7.3 Vorbereitung von ETC und 3D-Desktopdrucker	15
7.4 Vorextrusionsphase	15
7.5 Extrusionsphase	16
7.6 Nachextrusionsphase	16
7.7 Probenahme von Partikeln und chemischen Substanzen	16
7.7.1 Partikel	16
7.7.2 Chemische Substanzen	16
7.8 Messverfahren	16
8 Berechnung der Emissionsrate	18
8.1 Berechnung der Emissionsrate von Partikeln	18
8.2 Berechnung der VOC-Emissionsrate	20
9 Prüfbericht	21
9.1 Daten zu Prüfbedingungen und Prüfverfahren	21
9.2 Daten zu Filament und 3D-Desktopdrucker	22
9.3 Beschreibung des Standardprobekörpers	23
9.4 Informationen zum Prüflabor	23
9.5 Ergebnisse	23
Anhang A (normativ) Standardbetriebsbedingungen eines 3D-Desktopdruckers	25
A.1 Zweck	25
A.2 Standardbetriebsbedingungen	25
Anhang B (normativ) Probekörper	26
B.1 Gesamtform	26
B.2 Erhabene rechteckige Elemente	27
B.3 Ausgesparte rechteckige Elemente	27
B.4 Regelmäßig achteckiger Turm in der Mitte	28
B.5 Regelmäßig achteckiger Turm nahe der Ecke	28
B.6 Schrifttypen	29
Anhang C (informativ) Beispiele für die Partikel- und chemischen Emissionsraten	30

C.1	Beispiel für die Partikelemissionsrate [$PER(t)$] entsprechend den Prüfbetriebsbedingungen	30
C.2	Beispiel für die chemische Konzentration je Stunde	31
	Literaturhinweise	33

Bilder

Bild 1	— Probekörper	14
Bild 2	— Schematische Darstellung des Prüfsystems unter Verwendung einer Emissionsprüfkammer	17
Bild 3	— Graph zur Gesamt-Partikelanzahlkonzentration und Partikelemissionsrate gegenüber der Druckzeit	20
Bild B.1	— Auslegung des vorgeschlagenen Probekörpers	26
Bild B.2	— Details zu den erhabenen rechteckigen Elementen der 5 Formen in Bild B.1	27
Bild B.3	— Details zu den ausgesparten rechteckigen Elementen der 5 Formen in Bild B.1	27
Bild B.4	— Details zum regelmäßig achteckigen Turm in der Mitte der 5 Formen in Bild B.1	28
Bild B.5	— Details zum regelmäßig achteckigen Turm nahe der Ecke der 5 Formen in Bild B.1	28
Bild B.6	— Details zu den Schrifttypen der 5 Formen in Bild B.1	29
Bild C.1	— In der ETC über die Zeit emittierte TVOC-Konzentration	32

Tabellen

Tabelle A.1	— Standardbetriebsbedingungen	25
Tabelle C.1	— Beispiel für $PER(t)$ entsprechend der Form und Größe des Druckmodells	30
Tabelle C.2	— Beispiel für $PER(t)$ entsprechend der Düsentemperatur	31
Tabelle C.3	— Beispiel für $PER(t)$ entsprechend der Druckgeschwindigkeit	31
Tabelle C.4	— Beispiel für $PER(t)$ entsprechend der Schichtdicke	31
Tabelle C.5	— Prüfergebnisse	32

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 27548:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261 „Additive manufacturing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 438 „Additive Fertigungsverfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 27548:2023 wurde von CEN als prEN ISO 27548:2023 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Directives, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Directives, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261, *Additive manufacturing*, Arbeitsgruppe WG 6, *Environment, health and safety*, erarbeitet.

Einleitung

Wissenschaftliche Gemeinschaften haben mehrere Publikationen veröffentlicht, in denen gewarnt wird, dass eine erhebliche Anzahl an beim 3D-Druck emittierten Partikeln und chemischen Substanzen durch Einatmen und Aufnahme in den menschlichen Körper gefährlich für den Menschen wären.

Es gibt jedoch kein bekanntes Prüfverfahren zur Messung der Partikel und chemischen Substanzen, die von MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckern in Büros, Klassenräumen und Wohnräumen emittiert werden.

Zweck dieser Internationalen Norm ist es daher, Prüfverfahren für spezifische Betriebsbedingungen zur Messung von Partikel- und chemischen Emissionsraten bereitzustellen, die von national marktüblichen MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckern emittiert werden.

Hersteller von MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckern werden dieses Dokument nutzen können, um ihre Produkte zu entwickeln und durch minimierte Partikel- und chemische Emissionsraten zu verbessern. Die Endnutzer würden zudem sicherere und verbesserte 3D-Drucker vom Markt erwerben.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Prüfverfahren zur Bestimmung der Partikelemissionen (einschließlich ultrafeiner Partikel) und angegebenen flüchtigen organischen Verbindungen (einschließlich Aldehyden) von MEX-TRB/P-Desktopdruckern fest, die häufig in nicht-industriellen Umgebungen wie Schulen, Wohnräumen und Büroräumen verwendet werden. Die Prüfverfahren werden unter festgelegten Prüfbedingungen in einer Emissionsprüfkammer durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Prüfverfahren entsprechen unter Umständen jedoch nicht genau den realen Bedingungen.

Dieses Dokument beschreibt ein Konditionierungsverfahren unter Verwendung einer Emissionsprüfkammer mit Regelung von Temperatur, Luftfeuchte, Luftaustauschrate, Luftgeschwindigkeit sowie Verfahren zur Überwachung, Lagerung, Analyse, Berechnung und Angabe von Emissionsraten.

Dieses Dokument ist für MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker vorgesehen, die üblicherweise so groß sind, dass sie auf einem Schreibtisch stehen können, und in nicht-industriellen Umgebungen wie Schulen, Wohnräumen und Büroräumen verwendet werden. Der Hauptzweck dieses Dokuments ist die Quantifizierung der Partikel- und chemischen Emissionsraten von MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckern.

Von diesem Verfahren werden jedoch nicht alle möglichen Emissionen abgedeckt. Viele Ausgangsmaterialien können gefährliche Emissionen abgeben, die von den in diesem Dokument beschriebenen chemischen Detektoren nicht gemessen werden. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders, das extrudierte Material und die möglichen chemischen Emissionen zu verstehen. Ein Beispiel sind Ausgangsmaterialien aus Polyvinylchlorid, die potentiell chlorierte Verbindungen emittieren können, die durch das in diesem Dokument beschriebene Verfahren nicht gemessen werden können.

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).

ISO 16000-3, *Indoor air — Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor and test chamber air — Active sampling method*

ISO 16000-6:2011, *Indoor air — Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID*

ISO 16000-9, *Indoor air — Part 9: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing — Emission test chamber method*

ISO 27891, *Aerosol particle number concentration — Calibration of condensation particle counters*

ISO/IEC 28360-1:2018, *Information technology — Office equipment — Determination of chemical emission rates from electronic equipment — Part 1: Using-consumables*

ISO/ASTM 52900, *Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO/ASTM 52900, ISO/IEC 28360-1 und die folgenden Begriffe.

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

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

Aerosol

System aus in einem Gas suspendierten festen oder flüssigen Partikeln

[QUELLE: ISO 15900:2009, 2.1]

3.2

Beladungsfaktor

Verhältnis des Volumens des Geräts zum Volumen der unbeladenen Emissionsprüfkammer

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Anwendung dieser Norm ist das geprüfte Gerät üblicherweise ein MEX-TRB/P-Desktopgerät, oft auch als 3D-Drucker bezeichnet.

[QUELLE: ISO/IEC 28360-1:2018 (E), 3.15, modifiziert – „EUT“ wurde durch „Gerät“ ersetzt]

3.3

Emissionsprüfkammer

ETC, en: emission test chamber

Prüfeinrichtung mit geregelten Parametern (Temperatur, Luftfeuchte, Luftaustauschrate usw.) zur Bestimmung der chemischen Substanzen und der Anzahl der Partikel, die beim AM-Prozess emittiert werden

[QUELLE: ISO 16000-9:2006, 3.6, modifiziert – Terminologieeintrag wurde geändert, um dem AM-Prozess Rechnung zu tragen]

3.4

differentieller elektrischer Mobilitätsklassierer

DEMC, en: differential electrical mobility classifier

Klassierer, der in der Lage ist, Aerosolpartikel entsprechend ihrer elektrischen Mobilität auszuwählen und sie zu seinem Auslass weiterzuleiten

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein DEMC unterteilt Aerosolpartikelgrößen durch Einstellen des Gleichgewichts zwischen der elektrischen Feldkraft an jedem Partikel und der aerodynamischen Widerstandskraft in einem elektrischen Feld. Klassierte Partikel haben eine geringe Spannweite der elektrischen Mobilität, die durch die Betriebsbedingungen und physikalischen Maße des DEMC bestimmt wird, während sie auf Grund der unterschiedlichen Zahl ihrer elektrischen Ladungen unterschiedliche Größen aufweisen können.

[QUELLE: ISO 15900:2009, 2.7]

3.5

differentielles Mobilitätsanalysesystem

DMAS, en: differential mobility analysing system

System zum Messen der Größenverteilung von Submikrometer-Aerosolpartikeln, das aus einem DEMC, Durchflusssensoren, einem Partikeldetektor, Verbindungsleitungen, einem Rechner und geeigneter Software besteht

[QUELLE: ISO 15900:2009, 2.8]

3.6

Streulicht-Einzelpartikelzähler

LSAPC, en: light scattering airborne particle counter

Gerät, das in der Lage ist, einzelne luftgetragene Partikel zu zählen und deren Größe zu bestimmen und Größendaten als optische Äquivalentdurchmesser auszugeben

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Spezifikationen für den LSAPC sind in ISO 21501-4:2007 angegeben.

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.5.1]

3.7

akkumulierte Partikelanzahlkonzentration

C_p

zeitabhängige Anzahlkonzentration in einem festgelegten Größenbereich

3.8

Summe der Partikel

Gesamtanzahl an Partikeln, berechnet als Prüfergebnis aus der gemessenen akkumulierten Partikelanzahlkonzentration auf Grundlage der Dauer der Partikelemission

3.9

Partikelemissionsrate

PER

je Zeiteinheit (1/h) in einem festgelegten Größenbereich beim AM-Prozess emittierte Partikel, berechnet aus der akkumulierten Partikelanzahlkonzentration, dividiert durch die Druckzeit in h

[QUELLE: ISO/IEC 28360-1:2018, 3.19, modifiziert]

3.10

Partikelemissionsausbeute

Y_{particle}

Anzahl emittierter Partikel je Masse des während des Bauprozesses extrudierten Materials

3.11

chemische Emissionsausbeute

Y_{chemical}

Masse der emittierten Chemikalien je Masse des während des Bauprozesses extrudierten Materials

3.12

flüchtige organische Verbindung

VOC, en: volatile organic compound

organische Verbindung, die von dem Prüfstück emittiert und in der Luft des Emissionsprüfkammerauslasses nachgewiesen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Aus praktischen Gründen, die für Emissionsprüfkammern in Betracht zu ziehen sind, weicht diese Definition geringfügig von der, die in ISO 16000-6:2004 zu Grunde gelegt ist, ab. In ISO 16000-6 basiert die Definition auf den Siedepunktbereichen (50 °C bis 100 °C) bis (240 °C bis 260 °C).

Anmerkung 2 zum Begriff: Das in diesem Teil der ISO 16000 beschriebene Emissionsprüfverfahren ist für die Verbindungen optimiert, die in dem Bereich liegen, der durch die Definition der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) festgelegt ist.

[QUELLE: ISO 16000-9:2006, 3.15]

3.13

chemische Emissionsrate

mittlere Masse des Analyten (Summe der VOC und einzelnen Aldehyde), das im AM-Prozess je Druckzeiteinheit emittiert wird

3.14

Toluol-Responsefaktor

Toluoläquivalente zur Quantifizierung der nicht identifizierten Substanzen, die mit einem Flammenionisationsdetektor (GC-FID) oder massenspektrometrischen Detektor (GC-MS) erkannt wurden

3.15

Summe der flüchtigen organischen Verbindungen

Summe der Konzentrationen der identifizierten VOC, die zwischen den Retentionszeiten von n-Hexan (C_6) und n-Hexadecan (C_{20}) auf einer unpolaren GC-Kapillarsäule eluieren, und der Konzentrationen der mit Hilfe des Toluol-Responsefaktors umgerechneten Flächen der nicht identifizierten Peaks

[QUELLE: ISO 16000-9:2006, 3.14, modifiziert – Terminologieeintrag wurde um die Analyse und Berechnung erweitert]

4 Abkürzungen und Symbole

4.1 Abkürzungen

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
CPC	Kondensationspartikelzähler (en: condensation particle counter)
DEMC	differentieller elektrischer Mobilitätsklassierer (en: differential electrical mobility classifier)
DMAS	differentielles Mobilitätsanalysesystem (en: differential mobility analysing system)
DNPH	Dinitrophenylhydrazin
ETC	Emissionsprüfkammer (en: emission test chamber)
FP	feine Partikel
GC/MS	Gaschromatographie/Massenspektrometrie
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (en: high performance liquid chromatography)
LSAPC	Streulicht-Einzelpartikelzähler (en: light scattering airborne particle counter)
PER	Partikelemissionsrate
PLA	Polymilchsäure (en: poly lactic acid)
RH	relative Luftfeuchte (en: relative humidity)
RPD	relative prozentuale Differenz
RSD	relative Standardabweichung (en: relative standard deviation)
TVOC	Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (en: total volatile organic compounds)
TP	Summe der Partikel (en: total particles)
UFP	ultrafeine Partikel
VOC	flüchtige organische Verbindungen (en: volatile organic compounds)
Y_{particle}	Partikelemissionsausbeute
Y_{chemical}	chemische Emissionsausbeute

4.2 Symbole

β	Partikelverlustkoeffizient (h^{-1})
C_{av}	arithmetischer Mittelwert von $C_p(t)$ zwischen t_{start} und t_{stop} (cm^{-3})
C	VOC-Konzentration während der Extrusionsphase ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
C_b	VOC-Konzentration während der Vorextrusionsphase ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
C_p	akkumulierte Partikelanzahlkonzentration ($\text{Anzahl}\cdot\text{cm}^{-3}$)
L	Belastungsfaktor ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$)
$PER(t)$	zeitabhängige Partikelemissionsrate (s^{-1})
PER_{hour}	mittlere Partikelemissionsrate für eine Stunde (h^{-1})
Δt	Zeitdifferenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Datenpunkten (s)

t_{start}	Zeit, zu der ein Druckbefehl gesendet wird (s)
t_{stop}	Zeit, zu der die Extrusion endet (s)
t_{print}	Zeit zwischen t_{start} und t_{stop} (s)
n	Luftaustauschrate (h^{-1})
P_{m}	Masse des fertigen Probekörpers nach Abschluss der Extrusion (g)
V_{c}	Volumen der Emissionsprüfkammer (m^3)
V_{s}	Probenvolumen während der Extrusionsphase (m^3)

5 Überblick über die Verfahren

Dieses Dokument legt Prüfverfahren zur Bestimmung der Partikel- und chemischen Emissionsraten während des Betriebs des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers fest. Partikel- und chemische Emissionen werden anhand der Kammerkonzentration bestimmt, die beim Betrieb des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers in einer Emissionsprüfkammer emittiert wird, in der Temperatur, Luftfeuchte, Luftaustauschrate und Luftgeschwindigkeit geregelt werden. Die Prüfverfahren werden in drei Phasen unterteilt: Vorextrusions-, Extrusions- und Nachextrusionsphase.

Die während der Extrusionsphase beobachtete Kammerkonzentration wird durch mathematische Berechnungen in die Partikelemissionsrate je Stunde oder Masse des verwendeten Materials umgerechnet. Die Druckverfahren sollten unter den Standardbetriebsbedingungen (siehe Abschnitt A.2) des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers durchgeführt werden. Chemische Emissionen (TVOC und Aldehyde) werden direkt als Masse je Stunde aus der Kammerkonzentration berechnet.

Es gibt verschiedene Gründe zur Durchführung dieser Messungen. Zum Beispiel die Bestimmung der maximalen Emissionen für die Verwendung von Geräten oder der Vergleich von Emissionen von verschiedenen 3D-Druckern. Die für die Prüfung eingesetzten Verfahren können an den spezifischen Zweck der Prüfung angepasst werden. Für die Bestimmung der maximalen Emissionsraten sollte der 3D-Drucker auf die Bedingungen eingestellt werden, die zu maximalen Emissionen führen. Dies sind typischerweise die schnellste Extrusionsgeschwindigkeit, die dickste Schicht und die höchste Düsentemperatur, die vom Hersteller empfohlen werden. Zum Vergleich von Emissionsraten von verschiedenen 3D-Druckern können die Einstellungen für den 3D-Druck auf die Werte gesetzt werden, die in Anhang A angegeben werden.

6 Anforderungen an die Messgeräte

6.1 Allgemeines

6.1.1 Emissionsprüfkammer (ETC)

Die ETC muss aus elektropolierten Materialien aus nichtrostendem Stahl konstruiert sein, so dass sie keine Substanzen emittiert oder absorbiert, die die Messungen während Hintergrundprüfungen und Prüfungen des 3D-Druckvorgangs beeinflussen können. Während des Betriebs müssen Temperatur, Luftfeuchte und Luftaustauschrate in der ETC mittels Regelung konstant gehalten werden (siehe 7.1), und die ETC muss kontinuierlich mit Geräten zur Datenaufzeichnung überwacht werden, die durch Primärnormale kalibriert wurden und auf diese zurückführbar sind.

Allgemeine Anforderungen an andere Materialien, die über ein Luftversorgungssystem und Mischeinrichtungen verfügen und luftdicht sind, und die zur Konstruktion der ETC verwendet werden, müssen in der ETC geprüft werden, um nachzuweisen, dass sie nicht durch Emission oder Adsorption zur Hintergrundkonzentration in der Emissionsprüfkammer beitragen. Im Prüfaufbau der ETC darf die Kammerluft nicht zurückgeführt werden, damit die kontaminierte Luft nicht wieder in die ETC gelangt.

Wenn die Strömung der Kammerluft geändert wird, muss eine Tracergasprüfung durchgeführt werden, um die Genauigkeit der Luftaustauschrate zu bestätigen. Die Überprüfung der Prüfbedingungen der ETC, wie ein Tracergasprüfverfahren und eine Bestimmung der Wiederfindungsrate, muss nach ISO 16000-9 oder ASTM D6670 durchgeführt werden.

6.1.2 Geräte für chemische Analysen

VOC, die während des 3D-Druckbetriebs in der ETC emittiert werden, müssen durch Thermodesorptions-GC/MS unter Verwendung des Sorbens Tenax TA®¹ oder von Multibett-Röhrchen aus Tenax® GR plus Carbo-pack™B analysiert werden. Die Multibett-Röhrchen bestehen aus 30 mm Tenax® GR plus 25 mm Carbo-pack™B, getrennt durch 3 mm vorkonditionierter Quarzwolle, oder eins mit gleicher Leistung. Diese sind bei Bedarf abgepackt und vorkonditioniert im Handel erhältlich.

Eine Vorrichtung für Elektronenstoß-Ionisation (EI, en: electron impact) für GC/MS muss im Scanmodus über einen Massenbereich von mindestens m/z 35-350 betrieben werden. Das allgemeine Analyseverfahren für die Emission von VOC aus 3D-Desktopdruckern mit Hilfe einer ETC muss auf ISO 16000-6, EPA-Verfahren TO-17 und ASTM D6196 beruhen.

Benzaldehyd, Phenol und Acetophenon sind einige der bekannten vorhandenen Artefakte bei der Probenahme mit Tenax-Röhrchen. Daher sollte Tenax TA® mit einem Ozonwäscher verwendet werden, um eine Bildung chemischer Artefakte durch Oxidation zu verhindern, wenn die Probenahme unter hohen Ozonkonzentrationen erfolgt. Das Verfahren und die Vorkehrungen in Bezug auf GC/MS unter Verwendung eines Adsorptionsröhrchen sollten auf ISO 16000-6 und EPAF TO-17 beruhen.

Formaldehyd und andere Carbonylverbindungen, die mit einem Ozonwäscher aus Kartuschen mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin gesammelt wurden, müssen mittels HPLC mit Ultraviolett-Absorptions-Detektion analysiert werden. Formaldehyd, Acetaldehyd, Aceton, Acrolein, Propionaldehyd, Crotonaldehyd, Benzaldehyd und *o*-, *m*-, *p*-Tolualdehyde müssen identifiziert werden.

Das allgemeine Analyseverfahren zur Bestimmung der Aldehydkonzentration muss auf ISO 16000-3 und ASTM D6007 beruhen. Wenn ein Peak Acrolein im Chromatogramm vom DNPH-Formaldehydderivat auf unterschiedliche Weise gebildet wird und instabil ist, muss es mit Hilfe des Prüfverfahrens EPA TO-11A quantifiziert werden.

Die digitale Waage zum Wägen des gedruckten Objekts muss eine Empfindlichkeit von mindestens 0,01 g haben. Das Objekt einschließlich Stützkonstruktionen muss gewogen werden, nachdem es auf konstant geregelte Temperatur und Luftfeuchte nach 7.1 gebracht wurde.

6.1.3 Aerosolinstrumente

Aerosolinstrumente müssen die zeitabhängige Gesamt-Partikelanzahlkonzentration mit einer Partikelgröße unter 3 000 nm messen und die Partikel nach Größe klassifizieren können.

Ein Aerosolinstrument muss einen Kondensationspartikelzähler (CPC) und/oder eine Kombination aus einem differentiellen Mobilitätsanalysesystem (DMAS) und einem Streulicht-Einzelpartikelzähler (LSAPC) nutzen. Im Fall der Kombination von Aerosolinstrumenten muss die Konsistenz zwischen den beiden verschiedenen Aerosolmessinstrumenten überprüft werden und vergleichbar sein.

Der CPC sollte in der Lage sein, in einem Partikelgrößenbereich von mindestens 7 nm bis mindestens 300 nm zu zählen, und der LSAPC sollte die Partikelanzahlverteilung für optische Partikeldurchmesser von 300 nm bis mindestens 3 000 nm messen. Die CPC-Nachweiseffizienz am oberen sowie unteren Größengrenzwert muss gleich oder größer 50 % sein.

1 Tenax® TA ist ein Warenzeichen von „Tenax international B.V.“. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieses Dokuments und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch ISO.

Die erforderliche niedrige Partikelanzahlkonzentration bis zur Partikelgröße von 7 nm des CPC muss 1 cm^{-3} oder geringer sein, und die hohe Konzentration bis zur Partikelgröße von 300 nm muss gleich oder größer 10^7 cm^{-3} sein. Die Kalibrierung für die Zähl-effizienz des CPC muss ISO 27891 entsprechen.

Die Prüfung auf Betriebsbereitschaft des Aerosolmesssystems muss bestanden werden, bevor die Prüfung nach ISO/IEC 28360-1, Anhang B, erfolgt.

6.2 Allgemeine Anforderungen an MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker und Probekörper

6.2.1 MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker

Der MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker muss vor der Prüfungsvorbereitung bei konstant geregelter Temperatur und Luftfeuchte nach 7.1 gehalten werden. Vor einer Prüfung müssen alle Verpackungsmaterialien des Herstellers vom verpackten MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers entfernt werden und die Prüfung muss so früh wie möglich innerhalb von 24 h durchgeführt werden. Die Expositionsdauer des ausgepackten MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers in der Konditionierungsumgebung muss aufgezeichnet werden.

Wenn thermoplastisches Filament während der Einrichtung des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers durch die Extrusionsdüse gepresst wird, muss jegliches verbranntes Filament außen um die Düse mit Aceton oder Ethylalkohol entfernt werden, sobald die Düse abgekühlt ist. Diese Chemikalien zur Entfernung von Rückständen müssen vollständig verdampft sein, bevor der MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker in die ETC verbracht wird.

6.2.2 Filament

Das vom Hersteller gelieferte Filament als Ausgangsmaterial muss nach den Empfehlungen des Filamentherstellers gelagert werden und so früh wie möglich innerhalb von 24 h vor der Prüfung ausgepackt und in die Düse geladen werden. Die Expositionsdauer des ausgepackten Filaments in der Konditionierungsumgebung muss aufgezeichnet werden. Sobald die Düse des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers mit dem Filament beladen wurde, darf dieses nicht durch andere Filamentarten ersetzt werden. Die Masse des verwendeten Filaments (d. h. der fertige Probekörper einschließlich Stützkonstruktion) muss auf 0,01 g gewogen werden. Der Probekörper wird in einen Exsikkator platziert und 1 h getrocknet, bis der Gewichtsunterschied der getrockneten Probekörper weniger als 1 % beträgt.

Die Informationen zum Filament und zum MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker, mit dem ein Probekörper gedruckt wird, müssen nach 9.2 aufgezeichnet werden, um über die Vorgeschichte zu informieren.

6.2.3 Probekörper

Das Modell dieses Probekörpers hat eine Größe von 70 mm × 70 mm × 15,4 mm. Jedes Element des Probekörpers muss wie das in Anhang C angegebene Artefakt gedruckt werden. Die Gesamtdruckzeit kann beruhend auf den vom Hersteller empfohlenen Bedingungen so angepasst werden, dass über 4 h gedruckt wird, je nach Standardbetriebsbedingungen nach Tabelle A.1. Die Druckzeit muss unter Verwendung der vom Hersteller empfohlenen Standardbetriebsbedingungen wie Druckgeschwindigkeit, Schichtdicke, Füllprozentsätze (Dichte) usw. auf mehr als 4 h eingestellt werden.

Der Probekörper (Bild 1) unten besteht aus mehreren Elementen mit einfacher Geometrie auf einer rechteckigen Basis. Es gibt 5 verschiedene Formen mit positiven (erhabenen) Elementen und negativen (ausgesparten) Elementen auf bzw. in der Oberfläche, darunter erhabene und ausgesparte rechteckige Blöcke verschiedener Größen, achteckige Türme, verschiedene Schrifttypen. Dieser Probekörper ist für die Messung der Partikel- und chemischen Emissionsraten während des Betriebs eines 3D-Desktopdruckers vorgesehen, jedoch nicht für die Prüfung der Genauigkeit des Probekörpers.

Das digitale 3D-Modell für einen Probekörper kann im STL-Dateiformat heruntergeladen werden, indem in der digitalen Kopie dieses Dokuments auf den Link in Anhang B geklickt wird.

Die Elemente des Probekörpers werden in Anhang B dargestellt.

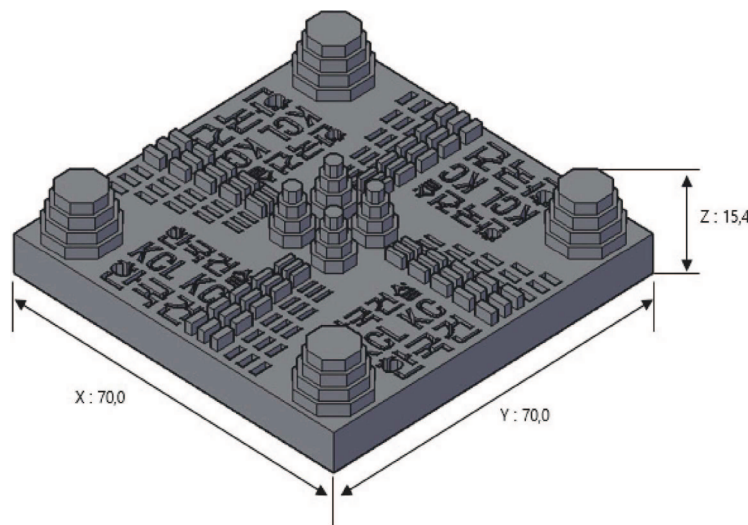


Bild 1 — Probekörper

7 ETC-Bedingungen und Prüfverfahren

7.1 Allgemeine ETC-Bedingungen

Die angemessene Kammergröße in Abhängigkeit des Volumens des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers wird auf Grundlage des Kriteriums für den Beladungsfaktor in Gleichung (1) ausgewählt:

$$0,01 < \frac{V_{AM}}{V_C} < 0,25 \quad (1)$$

Dabei ist

V_{AM} das Volumen des 3D-Desktopdruckers, in m^3 ;

V_C das Volumen der Emissionsprüfkammer, in m^3 .

ANMERKUNG Wenn ein MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker für auf dem Boden aufgestellte Systeme geplant wird, wie sie bei nicht-industriellen Anwendungen verwendet werden, und die Anforderungen in Gleichung (1) erfüllt werden, könnte dieses Prüfverfahren allgemein auf MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker angewendet werden. Das Volumen V_{AM} sollte anhand der drei längsten Seiten des zusammengebauten MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker berechnet werden.

Die Emissionsprüfungen in der ETC müssen nach ISO 554 bei 23 °C und 50 % RH durchgeführt werden. Die Temperatur und Luftfeuchte der Prüfkammer muss während der Dauer der Vorextrusions-, Extrusions- und Nachextrusionsphase innerhalb der unten genannten Bedingungsbereiche geregelt werden können.

- a) Temperatur: 23 °C ± 2 °C
- b) Luftfeuchte: 50 % ± 5 % RH
- c) Luftgeschwindigkeit: 0,1 m/s ~ 0,3 m/s
- d) Luftaustauschrate: h^{-1}

Die Luftgeschwindigkeit muss an einem Punkt gemessen werden, der sich 15 cm oberhalb des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers in der Mitte (bezogen auf Länge und Breite) der Maschine befindet. Sie muss parallel zum Boden der ETC und rechtwinklig zu der Seite der ETC gemessen werden, an der der Luftstrom eintritt.

Bei einem ETC-Volumen von 5 m^3 oder mehr muss die Luftaustauschrate der ETC in einem Bereich von $(0,5 \sim 2,0) \text{ h}^{-1}$ liegen, während ein Volumen von weniger als 5 m^3 in einem Bereich von $(0,5 \sim 5,0) \text{ h}^{-1}$ liegen muss.

7.2 ETC-Hintergrundkonzentration

Die Hintergrundkonzentration von Partikeln bei unbeladener Prüfkammer muss weniger als 100 cm^{-3} betragen, wenn die Luftaustauschrate $n = 1 \cdot \text{h}^{-1}$ beträgt. Die Erfüllung der Anforderungen an die Konzentration, einschließlich Partikelgrößen von unter 300 nm , muss mit Hilfe der in 6.1.3 angegebenen Aerosolinstrumente nachgewiesen werden. Die TVOC-Konzentration muss geringer sein als $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und die Konzentration aller VOC-Zielarten und Aldehyde muss geringer sein als $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

7.3 Vorbereitung von ETC und 3D-Desktopdrucker

Der MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker und das Filament müssen vor der Prüfung in einem klimatisierten Raum (23°C , $50\% \text{ RH}$) in ihrer Originalverpackung gelagert werden. Die Prüfung muss innerhalb von 24 h nach dem Auspacken von MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker und Filament durchgeführt werden.

Die Innenwände der ETC müssen nach ISO 16000-9 mit einem alkalischen Reinigungsmittel gereinigt und mit destilliertem Wasser abgespült werden. Anschließend müssen sie mit Frischluft gereinigt werden, deren Volumen mindestens dem 4-Fachen des Rauminhalts entspricht, um die Anforderungen in 7.2 zu erfüllen.

Ein MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker, der die Anforderungen nach 6.2.1 erfüllt, muss in der Mitte (bezogen auf Länge und Breite) der ETC in einer Höhe von $1 \text{ m} \sim 1,5 \text{ m}$ über dem Boden aufgestellt werden. Ein Computer mit Steuerungssoftware für MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker muss außerhalb der ETC an den MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker innerhalb der ETC angeschlossen werden. Alle Probenahmeleitungen für Partikel und chemische Substanzen müssen aus einem leitfähigen Material bestehen, um Partikelverluste aufgrund von elektrostatischer Aufladung zu verhindern. Die Probenahmeleitungen müssen regelmäßig vor und nach der Prüfung gereinigt werden.

Die Probenahmeanschlüsse für Aerosol und chemische Substanzen müssen sich mindestens 10 cm von der Kammerinnenwand und mindestens 30 cm vom 3D-Desktopdrucker entfernt befinden. Die Länge der Probenahmeleitungen ab der Kammeraußenwand sollte so gering wie möglich sein (maximal 3 m lang) und die Leitungen sollten ohne Knicke verlegt werden.

Der MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker und alle Zusatzgeräte sollten abgewischt oder abgesaugt werden, um Staub oder Schmutz zu entfernen. Nachdem MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker, Filament und alle Zusatzgeräte für den Betrieb in der ETC eingerichtet wurden, muss der 3D-Desktopdrucker mit sauberer Luft in der kontrollierten Umgebung konditioniert werden, bis die ETC-Hintergrundkonzentrationen die Anforderungen nach 7.2 erfüllen.

Bild 2 zeigt eine schematische Darstellung des Prüfsystems.

7.4 Vorextrusionsphase

Die Vorextrusionsphase ist die Vorbereitungsphase, in der ein 3D-Desktopdrucker an eine elektrische Energieversorgung in der ETC angeschlossen wird, in der sich der MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker gerade im eingeschalteten Zustand befindet. Die Bauplattform und die Düsenaufwärmung befinden sich im Wartezustand für den Start.

Vor der Extrusion muss der MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker an die Energieversorgung angeschlossen worden sein und von außerhalb der ETC gesteuert werden. Durch Luftaustausch für die ETC müssen die Anzahlkonzentration von Partikeln, TVOC, einzelner VOC und die Aldehydkonzentrationen innerhalb der ETC weiter niedriger als die Hintergrundkonzentration gehalten werden. Es muss sichergestellt werden, dass die Vorextrusionsphase $1 \text{ h} \sim 2 \text{ h}$ vor der Extrusion beginnt, um Zeit zur Durchführung der Probenahme nach 7.7.2 zu lassen. Aerosolmessinstrumente müssen von der Vorextrusionsphase bis zur Nachextrusionsphase aufzeichnen.

7.5 Extrusionsphase

Die Extrusionsphase ist die Betriebsphase, in der die Temperatur der Düsen und der Bauplattform des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers in der ETC auf Betriebstemperatur ist und das Filamentmaterial in eine dreidimensionale Form extrudiert wird.

Die Extrusionsphase beginnt, wenn ein Druckbefehl von dem an den MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker angeschlossenen PC gesendet und die Temperatur des Düsenkopfs und Druckbetts erhöht wird. Die Extrusionsphase endet, wenn der Probekörper vollständig hergestellt wurde. Die Gesamtdruckzeit und die Prozessparameter der Software des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers während des Bauprozesses müssen aufgezeichnet werden.

7.6 Nachextrusionsphase

Die Nachextrusionsphase ist die Endphase, in der der 3D-Druck bereits abgeschlossen wurde. Die Nachextrusionsphase beginnt am Ende der Extrusionsphase. Die Luftaustauschrate muss für mindestens einen weiteren Luftaustausch und bis die Aerosolkonzentrationen wieder den Hintergrundkonzentrationen vor der Prüfung entsprechen beibehalten werden.

7.7 Probenahme von Partikeln und chemischen Substanzen

7.7.1 Partikel

FP- und UFP-Messungen müssen ab dem Beginn der Vorextrusionsphase bis zum Ende der Nachextrusionsphase durchgeführt und aufgezeichnet werden. Aerosolmessinstrumente werden zu Beginn der Vorextrusionsphase gestartet und müssen so lange betrieben werden, bis die Aerosolkonzentrationen wieder den Hintergrundkonzentrationen vor der Prüfung entsprechen.

7.7.2 Chemische Substanzen

Die Probenahme von VOC und Aldehyden aus der ETC muss jeweils zweimal und zur gleichen Zeit in den folgenden Phasen erfolgen:

a) Vorextrusionsphase

Die Probenahme der Hintergrundkonzentration vom MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker in der ETC muss während der Vorextrusionsphase mindestens 1 h vor Beginn der Extrusion durchgeführt werden. Die Probenahmemenge wird innerhalb von 1 h mit einem Probenfluss von 100 ml/min bis 200 ml/min genommen. Die Probenahmedauer und -menge müssen über die chemische Konzentration bestimmt werden, die vom 3D-Desktopdrucker emittiert wird. Probenahme- und Analyseverfahren für VOC müssen nach ISO 16000-3 und ISO 16000-6 durchgeführt werden.

b) Extrusionsphase

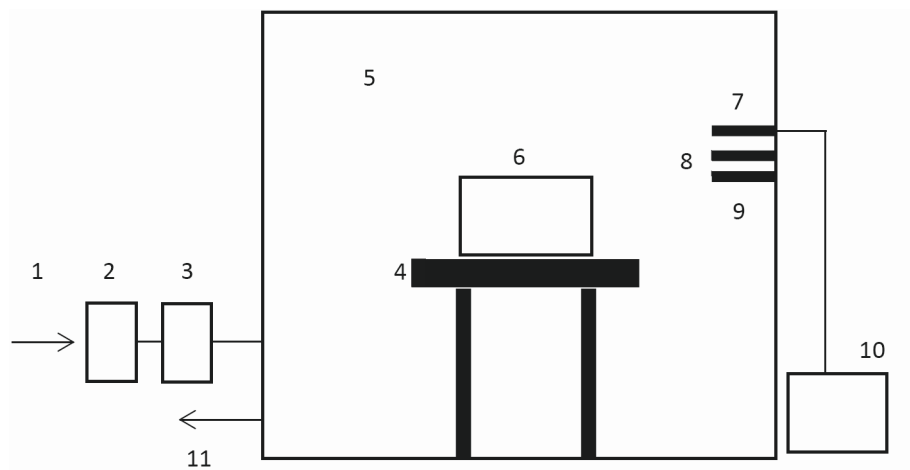
Die Probenahme für VOC und Aldehyde während der Extrusionsphase muss mindestens 1 h vor der Nachextrusionsphase durchgeführt werden. Das Probenahmeverfahren entspricht dem Verfahren in der Vorextrusionsphase.

In der Vorextrusions- und Extrusionsphase müssen die Durchflussraten des Probenahmeinstruments für die Erfassung von VOC und Aldehyden vor der Probenahme mit kalibrierten Massendurchflussreglern angepasst werden. Die bei der Kalibrierung verwendeten Massendurchflussmessgeräte müssen auf ± 2 % genau sein.

7.8 Messverfahren

Der MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker ist bereit, nachdem die Hintergrundkonzentration innerhalb der ETC gemessen worden ist. Die folgenden Prozesse müssen nacheinander durchgeführt werden:

- 1) Nach Prüfung der Hintergrundkonzentration der unbeladenen Kammer nach 7.2 muss der 3D-Desktopdrucker in der Mitte (bezogen auf Länge und Breite) der ETC in einer Höhe von 1,0 m ~ 1,5 m über dem Boden aufgestellt werden (siehe Bild 2).
- 2) Die beladene Kammer muss im Rahmen der Vorextrusionsphase konditioniert werden, um die Anzahlkonzentration der Partikel, TVOC und einzelnen VOC und die Aldehydkonzentrationen geringer als die Hintergrundkonzentration zu halten.
- 3) Die Probenahme von VOC und der Aldehyd-Hintergrundkonzentration der beladenen Kammer nach bestätigtem Schritt 2 muss während der Vorextrusionsphase mindestens 1 h vor Beginn der Extrusion durchgeführt werden. Die Aerosolkonzentration muss während der gesamten Vorextrusionsphase gemessen werden.
- 4) Die Bedingungen des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers müssen auf die Standardbetriebsbedingungen nach Tabelle A.1 eingestellt werden.
- 5) Der Betrieb des MEX-TRB/P-3D-Desktopdruckers wird begonnen, wenn er mit Strom versorgt wird und die ETC-Hintergrundkonzentration erreicht wird.
- 6) Partikel (FP und UFP) werden während der Vorextrusions-, Extrusions- und Nachextrusionsphase gemessen, und VOC und Aldehyde werden 1 h vor der Nachextrusionsphase gesammelt.
- 7) VOC und Aldehyde werden nach 7.7.2 gesammelt und mit den in 6.1.2 angegebenen Instrumenten analysiert.
- 8) Die Gesamt-Partikelanzahlkonzentration wird in einem Graphen dargestellt mit $C_p(t)/(\text{cm}^{-3})$ gegenüber der Zeit von der Vorextrusionsphase bis mindestens 1 Luftaustausch nach dem Ende der Extrusionsphase und bis die Aerosolkonzentrationen wieder den Hintergrundkonzentrationen vor der Prüfung entsprechen (siehe Bild 3).



Legende

- | | | | |
|---|--------------------------------|----|----------------------------|
| 1 | Lufteintritt | 7 | Aerosol-Probenahmeröhrchen |
| 2 | Luftreinigungsverrichtung | 8 | VOC-Probenahmeröhrchen |
| 3 | Luftstromregler | 9 | Aldehyd-Probenahmeröhrchen |
| 4 | Tisch aus nichtrostendem Stahl | 10 | Aerosolvorrichtungen |
| 5 | ETC | 11 | Luftaustritt |
| 6 | MEX-TRB/P-3D-Desktopdrucker | | |

Bild 2 — Schematische Darstellung des Prüfsystems unter Verwendung einer Emissionsprüfkammer