

DIN EN ISO/ASTM 52933



ICS 13.020.01; 25.030

Einsprüche bis 2023-04-24

Entwurf

**Additive Fertigung –
Umwelt, Gesundheit und Sicherheit –
Prüfverfahren für die gefährlichen Stoffe, die von 3D-Druckern mit
Materialextrusion in nicht-industriellen Bereichen emittiert werden
(ISO/ASTM DIS 52933:2023);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO/ASTM 52933:2023**

Additive manufacturing –
Environment, health and safety –
Test method for the hazardous substances emitted from material extrusion type 3D printers
in the non-industrial places (ISO/ASTM DIS 52933:2023);
German and English version prEN ISO/ASTM 52933:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-02-24 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 64 Seiten

DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52933:2023) 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 16000-2	siehe	DIN EN ISO 16000-2
ISO 16000-3	siehe	DIN ISO 16000-3
ISO 16000-4	siehe	DIN ISO 16000-4
ISO 16000-5	siehe	DIN EN ISO 16000-5
ISO 16000-6	siehe	DIN ISO 16000-6
ISO 16000-8	siehe	DIN ISO 16000-8
ISO 16017-1	siehe	DIN EN ISO 16017-1
ISO 16017-2	siehe	DIN EN ISO 16017-2
ISO 28439	siehe	DIN EN ISO 28439
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 16000-2, *Innenraumluftverunreinigungen — Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd*

DIN EN ISO 16000-5, *Innenraumluftverunreinigungen — Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC)*

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 16000-4, *Innenraumluftverunreinigungen — Teil 4: Bestimmung von Formaldehyd — Probenahme mit Passivsammlern*

DIN ISO 16000-6, *Innenraumluftverunreinigungen — Teil 6: Bestimmung organischer Verbindungen (VVOC, VOC, SVOC) in Innenraum- und Prüfkammerluft durch aktive Probenahme auf Adsorptionsröhrchen, thermischer Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID*

DIN ISO 16000-8, *Innenraumluftverunreinigungen — Teil 8: Bestimmung des lokalen Alters der Luft in Gebäuden zur Charakterisierung der Lüftungsbedingungen*

DIN EN ISO 16017-1, *Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz — Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie — Teil 1: Probenahme mit einer Pumpe*

DIN EN ISO 16017-2, *Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz — Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie — Teil 2: Probenahme mit Passivsammlern*

DIN EN ISO 28439, *Arbeitsplatzatmosphäre — Charakterisierung ultrafeiner Aerosole/Nanoaerosole — Bestimmung der Größenverteilung und Anzahlkonzentration mit differentiellen elektrischen Mobilitätsanalysesystemen*

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

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO/ASTM 52933:2023-04

– Leerseite –

Additive Fertigung – Umwelt, Gesundheit und Sicherheit – Prüfverfahren für die gefährlichen Stoffe, die von 3D-Druckern mit Materialextrusion in nicht-industriellen Bereichen emittiert werden (ISO/ASTM DIS 52933:2023)

Additive manufacturing – Environment, health and safety – Test method for the hazardous substances emitted from material extrusion type 3D printers in the non-industrial places (ISO/ASTM DIS 52933:2023)

—

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Gefahrstoffziele und Hauptfaktoren	10
5 Relevante Prüfnormen	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Messzielstoffe und Übersicht	11
6 Probenahmebedingungen	11
6.1 Probenahmestelle	11
6.2 Probenahmeplanung	12
7 Messverfahren	13
7.1 Kurzzeit- und Langzeitverfahren	13
7.1.1 Zweck	13
7.1.2 VOC-Analyse	13
7.1.3 Aldehydverfahren	17
7.2 Dauerverfahren	18
7.2.1 Zweck	18
7.2.2 Probenahme	19
7.2.3 Bestimmung der Emissionsrate von Partikeln	19
8 Prüfbericht	21
Anhang A (informativ) Überlegungen zur Reduzierung der Emission von Gefahrstoffen	23
A.1 Umgebung am nicht-industriellen Standort	23
A.1.1 Allgemeines	23
A.1.2 Vor dem Materialextrusionsprozess	23
A.1.3 Während des Materialextrusionsprozesses	23
A.1.4 Nach dem Materialextrusionsprozess	23
A.2 Materialextrusion — 3D-Drucker	23
A.3 Filament	25
A.4 Additiv gefertigtes Produkt	25
A.5 Überlegungen zum Umgebungszustand des nicht-industriellen Standorts	26
A.5.1 Belüftungszustand	26
A.5.2 Temperatur- und Feuchtekontrolle	26
A.5.3 Einrichtungen und Ausrüstung	26
A.6 Sonstige Überlegungen	26
Anhang B (informativ) Checkliste für die Reduzierung von Gefahrstoffen	31
B.1 Zweck	31
B.2 Checkliste für die Vermeidung von Gefahrstoffen	31
Literaturhinweise	32

Bilder

Bild 1 — Schematisches Diagramm des nicht-industriellen Standorts für die Probenahmestrategie	12
Bild 2 — Probenahmeplanung an dem nicht-industriellen Standort	12
Bild 3 — Beispiel für die Herstellung eines Normsorptionssrohrs unter Verwendung von Normgasmischungen	15

Bild 4 — Beispiel für die Erstellung einer Kalibrierkurve	15
Bild 5 — Diagramm der Gesamtpartikelkonzentration und der größenspezifischen Partikelkonzentration	21
Bild A.1 — Chromatogramm des Rohfilaments und des durch GC-MS analysierten Endprodukts .	25

Tabellen

Tabelle 1 — Relevante Prüfnormen für einige Gefahrstoffe	11
Tabelle A.1 — Elemente der Maschineneinrichtung und Überlegungen	24
Tabelle A.2 — Gesamtpartikelzahlkonzentration in Abhängigkeit von der Düsentemperatur (Beispiel) [1]	24
Tabelle A.3 — 3D-Druck mit Filamenten Zu stellende Gesundheits- und Sicherheitsfragen (NTRC)	27
Tabelle B.1 — Checkliste	31

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52933:2023) 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/ASTM DIS 52933:2023 wurde von CEN als prEN ISO/ASTM 52933:2023 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/foreword.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 261, *Additive manufacturing*, in Zusammenarbeit mit ASTM-Komitee F42, *Additive Manufacturing Technologies*, auf Basis eines Partnerschaftsvertrags zwischen ISO und ASTM International, mit dem Ziel, einen gemeinsamen Satz von ISO/ASTM-Normen zur additiven Fertigung zu erarbeiten.

Einleitung

Dieses Dokument bezieht sich auf die Beurteilung von Gefahrstoffen, die während des Betriebs von in Schulen oder an öffentlichen Orten zu Schulungs- und praktischen Zwecken installierten 3D-Materialextrusionsdruckern freigesetzt werden, und auf Gegenmaßnahmen zur Reduzierung solcher Stoffe.

Dieses Dokument enthält die notwendigen Informationen und Prüfverfahren zur Wiedergabe der Eigenschaften des AM-Prozesses auf der Grundlage vorheriger internationaler Normen in Bezug auf die Innenraumluftqualität und zur Beurteilung von Gefahrstoffen an nicht-industriellen Standorten.

Fertigungspersonal, Versuchsleiter und Manager, die an den nicht-industriellen Standorten tätig sind, werden in der Lage sein, dieses Dokument für die Messung und Diagnose der Luftqualität zu verwenden. Darüber hinaus hilft ihnen dieses Dokument, die an nicht-industriellen Standorten freigesetzten Gefahrstoffe zu reduzieren.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument behandelt das Prüfverfahren für die Messung von während des Betriebs von 3D-Materialextrusionsdruckern an nicht-industriellen Standorten freigesetzten Gefahrstoffen und enthält Überlegungen zu ihrer Reduzierung.

Dieses Dokument

- legt die von 3D-Materialextrusionsdruckern während des Betriebs freigesetzten Hauptgefahrstoffe fest,
- beschreibt die zusätzlichen Informationen und die verbundenen Prüfverfahren für die Messung von Gefahrstoffen, und
- enthält Überlegungen zur Reduzierung von Gefahrstoffen und grundlegenden Gegenmaßnahmen.

Dieses Dokument dient dazu, Konzentrationen von Gefahrstoffen zu messen, die an nicht-industriellen Standorten (Schulen, öffentliche Orte usw.), an denen 3D-Materialextrusionsdrucker installiert sind, generiert werden, und eine akzeptable Arbeitsumgebung durch die Handhabung der Feldeinrichtungen, 3D-Materialextrusionsdrucker, Filamente und additiv gefertigten Produkte zwecks Reduzierung von Gefahrstoffen zu schaffen.

Dieses Dokument behandelt jedoch nicht alle gasförmigen Emissionen von Chemikalien, sondern gilt für eine Reihe flüchtiger organischer Verbindungen von n-Hexan bis n-Hexadecan einschließlich Aldehyden. Anhang A und Anhang B enthalten Überlegungen zur Reduzierung von Chemikalien-Emissionen und zur Verbesserung der Arbeitsumgebung.

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 16000-2, *Indoor air — Part 2: Sampling strategy for formaldehyde*

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

ISO 16000-4, *Indoor air — Part 4: Determination of formaldehyde — Diffusive sampling method*

ISO 16000-5, *Indoor air — Part 5: Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs)*

ISO 16000-6, *Indoor air — Part 6: Determination of organic compounds (VVOC, VOC, SVOC) in indoor and test chamber air by active sampling on sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS FID*

ISO 16000-8, *Indoor air — Part 8: Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions*

ISO 16017-1, *Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 1: Pumped sampling*

ISO 16017-2, *Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 2: Diffusive sampling*

ISO 27628, *Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment*

ISO 28439, *Workplace atmospheres — Characterization of ultrafine aerosols/nanoaerosols — Determination of the size distribution and number concentration using differential electrical mobility analysing systems*

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

ISO/ASTM/CD 52932, *Additive manufacturing — Environment, health, and safety — Test method for determination of particle and chemical emission rates from desktop 3D printer material extrusion*

ISO/ASTM 16200-1, *Workplace air quality — Sampling and analysis of volatile organic compounds by solvent desorption/gas chromatography — Part 1: Pumped sampling method*

ISO/ASTM 16200-2, *Workplace air quality — Sampling and analysis of volatile organic compounds by solvent desorption/gas chromatography — Part 2: Diffusive sampling method*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO/ASTM 52900 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 additive Fertigung

AM, en: additive manufacturing

Prozess, der durch Verbinden von Material Bauteile aus 3D-Modelldaten, im Gegensatz zu subtraktiven und umformenden Fertigungsmethoden, üblicherweise Schicht für Schicht, herstellt

[QUELLE: ISO/ASTM 52900:2021, 3.1.2]

3.2 Materialextrusion

MEX, en: material extrusion

Prozess der additiven Fertigung, in dem Werkstoffe gezielt durch eine Düse oder Öffnung aufgetragen werden

[QUELLE: ISO/ASTM 52900:2021, 3.2.3]

3.3 3D-Drucker

Maschine, die zum 3D-Druck verwendet wird

[QUELLE: ISO/ASTM 52900:2021, 3.1.1]

3.4 flüchtige organische Verbindung

VOC, en: volatile organic compound

organische Verbindung, die von dem Probekörper freigesetzt wird, und alle anderen in der Kammeraustrittsluft entdeckten Verbindungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Aufgrund von für Prüfkammern zu berücksichtigenden praktischen Gründen weicht diese Definition von der Definition in ISO 16000-6:2004 ab. In ISO 16000-6 basiert die Definition auf dem Siedepunktbereich (50 °C bis 100 °C) bis (240 °C bis 260 °C).

Anmerkung 2 zum Begriff: Das in diesem Teil von ISO 16000 beschriebene Emissionsprüfverfahren ist optimal für den durch die Definition der gesamten flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC, en: total volatile organic compounds) festgelegten Bereich der Verbindungen.

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

3.5

Aldehyde

organische Verbindungen, die Formyl-Familien enthalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Formaldehyd, Acetaldehyd und Vanillin gehören zur Aldehyd-Familie.

[QUELLE: ISO 21366:2019, 3.8]

3.6

ultrafeine Partikel

UFP

Partikel mit einem Partikeldurchmesser von nicht mehr als 0,1 µm

[QUELLE: ISO/IEC 28360-1:2018, 3.30]

3.7

Blindwert

Hintergrundkonzentration einzelner Stoffe, VOC, Aldehyde und UFP an dem nicht-industriellen Standort

3.8

Hintergrund

Grad der chemischen Stoffe und Partikel an dem nicht-industriellen Standort, bevor der 3D-Drucker zu Prüfungszwecken an diesem Ort aufgestellt wird

3.9

Durchbruchsvolumen

Volumen des Prüfgesetzes, das durch das Sorptionsröhrchen geleitet werden kann, bevor die Konzentration des eluierten Gases 5 % der verwendeten Prüfgesetzeskonzentration erreicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Durchbruchsvolumen hängt von der Art des Gases und dem Sorbentstyp ab.

[QUELLE: ISO 16017-1:2000, 3.1]

3.10

Hintergrund-Sorptionsröhrchen

Sorptionsröhrchen, in das Reagenzmittel injiziert werden, um Gase zu erfassen, die während des additiven Fertigungsprozesses in die Luft abgegeben werden, das jedoch nicht für die Gasfassung an dem nicht-industriellen Standort verwendet wird

3.11

Kurzzeitprobenahme

Kurzzeitprobenahme-Verfahren, bei dem die Probenahme zur Erfassung chemischer Stoffe innerhalb einer Stunde erfolgt

3.12

Langzeitprobenahme

Langzeitprobenahme-Verfahren, bei dem die Probenahme für die Erfassung chemischer Stoffe über einige Stunden erfolgt

3.13

Dauerprobenahme

Dauerprobenahme-Verfahren, bei dem die Messung der Gesamtkonzentration von Aerosolpartikeln fortlaufend erfolgt

4 Gefahrstoffziele und Hauptfaktoren

VOC, Aldehyde und UFP werden derzeit als einige der potenziellen Gefahrstoffe identifiziert, die während des Betriebs von 3D-Materialextrusionsdruckern in Schulen und an öffentlichen Standorten freigesetzt werden können. Die derzeit für den additiven Fertigungsprozess mit Filamenten (ABS, Nylon, PC usw.) verwendeten 3D-Materialextrusionsdrucker können die Konzentration von Gefahrstoffen je nach Prozess und Umgebung der nicht-industriellen Standorte verändern.

Da die folgenden Faktoren die Möglichkeit der Emission von Gefahrstoffen erhöhen können, sind geeignete Gegenmaßnahmen erforderlich. Anhang A enthält Informationen zu Überlegungen für die Reduzierung der Emissionskonzentrationen von Gefahrstoffen an nicht-industriellen Standorten.

Die Faktoren werden wie folgt festgelegt:

- Die Wahrscheinlichkeit der Emission von UFP und chemischen Verbindungen erhöht sich während des Betriebs eines 3D-Materialextrusionsdruckers über einen langen Zeitraum ohne ausreichende Belüftungseinrichtungen.
- Wenn die Temperatur des nicht-industriellen Standorts nicht konstant während des Betriebs kontrolliert wird, kann sich die Raumtemperatur und somit auch die Wahrscheinlichkeit einer höheren Konzentration von VOC und Aldehyden durch mit 3D-Druckern verbundene Ausrüstung und Baumaterialien an dem nicht-industriellen Standort kontinuierlich erhöhen.
- Die Emissionskonzentration von UFP und chemischen Verbindungen (VOC und Aldehyden) variiert möglicherweise je nach Betriebsbedingungen von 3D-Materialextrusionsdruckern und der Art der verwendeten Filamente.
- Die Wahrscheinlichkeit der Emission chemischer Verbindungen erhöht sich, wenn die additiv gefertigten Produkte in offenen Bereichen des Unterrichtsraums platziert werden.

5 Relevante Prüfnormen

5.1 Allgemeines

Tabelle 1 enthält eine Liste einiger Gefahrstoffe, die im Fall der Verwendung von 3D-Materialextrusionsdruckern und Filamenten freigesetzt werden könnten, sowie die empfohlene Probenahmestrategie und Prüfverfahren für die Analyse von Gefahrstoffen, die während des Maschinenbetriebs freigesetzt werden könnten.

Die folgenden Normen sind die Prüfverfahren für die Bewertung von Gefahrstoffen am Arbeitsplatz und in Innenräumen. Tabelle 1 enthält ein Probenahme- und das relevante Analyseverfahren. Es besteht jedoch kein Prüfverfahren für die gleichzeitige und fortlaufende Messung von VOC, Aldehyden und UFP über einen längeren Zeitraum, insbesondere während des additiven Fertigungsprozesses. Aus diesem Grund erfordern nicht-industrielle Standorte, an denen 3D-Materialextrusionsdrucker im Betrieb sind, ein integriertes Analyseverfahren zur gleichzeitigen Bewertung dreier verschiedener Stoffe in Tabelle 1, weil jede Emission je nach Dauer des Maschinenbetriebs, der Art der Filamente, der Temperatur und der Luftfeuchte am Standort usw. variieren könnte.

Dieses Dokument, das das Probenahmeverfahren und die -strategie enthält, ist in drei verschiedene Verfahren je nach Gefahrstoff unterteilt.

Tabelle 1 — Relevante Prüfnormen für einige Gefahrstoffe

Anforderungen	VOC	Aldehyde	UFP
Probenahmeverfahren	ISO 16200-1 ISO 16000-5 ISO 16000-6 ISO 16017-2 ISO 16017-1	ISO 16000-2 ISO 16000-3 ISO 16000-4 ISO 16200-2	ISO 28439 ISO 27628
Analyseverfahren	ISO 16000-6 ISO 16017-2 ISO 16017-1	ISO 16000-4	ISO 28439 ISO 27628

5.2 Messzielstoffe und Übersicht

Dieses Dokument legt VOC, Aldehyde und UFP fest, die während des Betriebs des 3D-Materialextrusionsdruckers an dem nicht-industriellen Standort freigesetzt werden können, als Hauptziele für die Messung von Giftstoffen fest.

Diese Norm erläutert die Bewertung der 3 Hauptgefahrstoffe durch die Klassifizierung in drei Abschnitte von Kurzzeit-, Langzeit- und Dauermessverfahren.

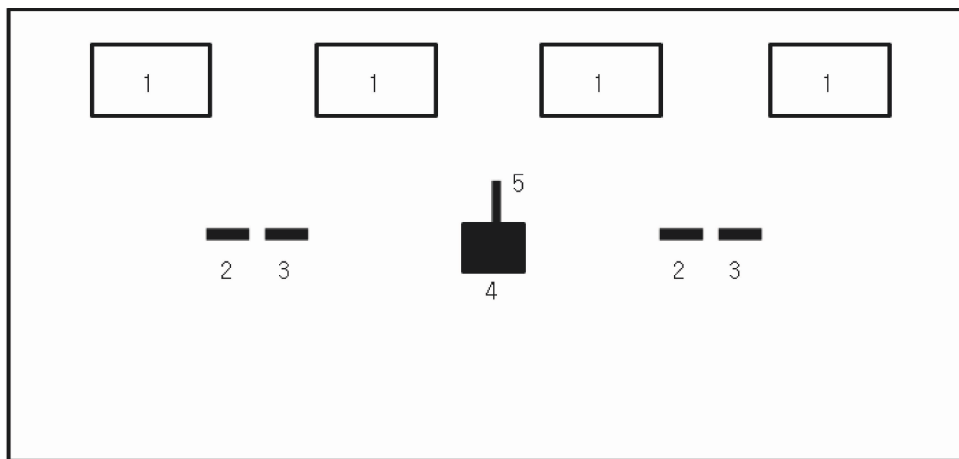
Tabelle 1 dieser Norm enthält das Probenahme- und das relevante Analyseverfahren. Diese Norm legt jedoch ein integriertes Analyseverfahren wie etwa Probenahmestelle, Probenahmeplanung, Probenahmeverfahren usw. fest, um VOC, Aldehyde und UFP, die an dem nicht-industriellen Standort freigesetzt werden, gleichzeitig zu messen.

6 Probenahmebedingungen

6.1 Probenahmestelle

Die Probenahme von Gefahrstoffen während des additiven Fertigungsprozesses muss gleichzeitig durchgeführt werden und die VOC- und Aldehyd-Probenahmeeinrichtungen und die UFP-Analyseausrüstung müssen an separaten Stellen platziert werden, um jeden der Stoffe zu beproben, wie in Bild 1 gezeigt. Mindestens zwei VOC- und Aldehyd-Probenahmeeinrichtungen müssen unter Berücksichtigung der Größe der nicht-industriellen Standorte installiert werden. Darüber hinaus müssen sie innerhalb eines Abstands von 1,0 m zu den 3D-Materialextrusionsdruckern und in einer Höhe von (1,0 bis 1,8) m über dem Boden installiert werden.

Das UFP-Probenahmerohr muss aus einem leitfähigen Silikonschlauch oder aus Edelstahl mit einer Länge von nicht mehr als 3 m bestehen, wobei Knicke in dem Rohr zu vermeiden sind.



Legende

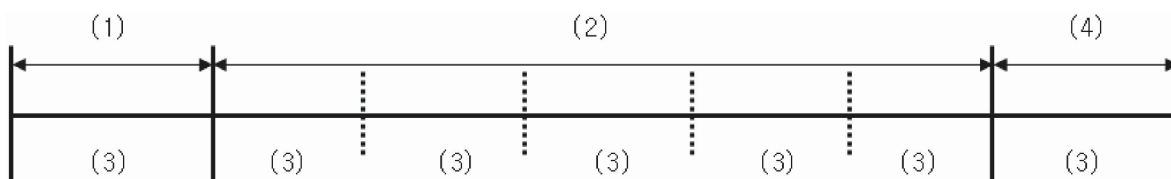
- 1 3D-Materialextrusionsdrucker (Beispiel)
- 2 VOC-Probenahmeeinrichtung
- 3 Aldehyd-Probenahmeeinrichtung
- 4 UFP-Analysegerät
- 5 UFP-Probenahmerohr

Bild 1 — Schematisches Diagramm des nicht-industriellen Standorts für die Probenahme

Im Fall von UFP-Analysegeräten, die Nanopartikel durch die Verwendung von Butanol, Isopropanol und andere organische Lösungen kondensieren, könnten sich die Stoffe spontan während des Betriebs der Ausrüstung in dem nicht-industriellen Standort verflüchtigen. Dementsprechend könnten die endgültigen Konzentrationen von VOC und Aldehyd beeinflusst werden. Aus diesem Grund sollten UFP-Analysegeräte, die organische Lösemittel verwenden, außerhalb des additiven Fertigungsstandorts platziert und es sollte dabei sichergestellt werden, dass keine Kreuzkontamination von außen auftritt.

6.2 Probenahmeplanung

Die Probenahmebedingungen erfordern die in Bild 2 dargestellten Anforderungen entsprechend dem Kurzzeit-, Langzeit- und Dauermessverfahren.



Legende

- (1) Vorbetriebsphase
- (2) Betriebsphase
- (3) Probenahmephase
- (4) Nachbetriebsphase

Bild 2 — Probenahmeplanung an dem nicht-industriellen Standort

1. Vorbetriebsphase

Als Vorbereitung auf die Zuführung des Filaments vor dem Betrieb des 3D-Druckers müssen Fenster und Türen geöffnet und das Lüftungssystem muss mindestens 60 Minuten betrieben werden, um die aus diesem Prozess freigesetzten Giftstoffe freizusetzen. Wenn die Außenluftqualität eher zweifelhaft ist, sollte der Standort durch

eine Zwangszirkulation oder mechanische Zirkulationseinrichtung anstatt durch das Öffnen der Fenster belüftet werden.

2. Betriebsphase

In der Betriebsphase, in der die 3D-Drucker laufen, müssen alle Türen und Fenster geschlossen sein, um zu verhindern, dass Außenluft eindringt. Falls der nicht-industrielle Standort mit einem Belüftungssystem oder einer Heizungs- oder Kühleinrichtung ausgestattet ist, muss der Drucker unter den üblichen Bedingungen betrieben werden. Wenn die Prüfung jedoch erwartungsgemäß unter den ungünstigsten Bedingungen an dem nicht-industriellen Standort durchgeführt wird, können die Belüftungs- und Klimaanlage während der Bewertung abgeschaltet sein.

3. Probenahmephase

In dieser Phase wird jeder Gefahrstoff beprobt. Diese Phase ist in Kurzzeit-, Langzeit- und Dauermessverfahren entsprechend der Probenahmestrategie unterteilt.

— A. Kurzzeitverfahren

— Die Probenahme von VOC und Aldehyden erfolgt nur für eine Stunde in einer spezifischen Phase der Betriebsphase (2) während des Betriebs des 3D-Druckers.

— B. Langzeitverfahren

— Die Probenahme von VOC und Aldehyden erfolgt fortlaufend in Intervallen von einer Stunde in der Betriebsphase (2) nach dem Betrieb des 3D-Druckers.

— C. Dauerverfahren

— Zur Messung der Menge der während des Betriebs generierten UFP wird von Phase (1) bis Phase (2) fortlaufend und für mehr als 30 Minuten nach dem Abschalten der 3D-Drucker Gas erfasst.

7 Messverfahren

7.1 Kurzzeit- und Langzeitverfahren

7.1.1 Zweck

Die Kurzzeit- und Langzeitverfahren dienen dazu, die VOC und Aldehyde zu messen. Ein aktives Probenahmeverfahren unter Verwendung von Pumpen und Sorptionsmitteln wird für die Beurteilung der höchsten Konzentration von Gefahrstoffen oder einer spezifischen Konzentration während des Betriebs empfohlen. Das Verfahren der aktiven Probenahme wurde auf der Grundlage von ISO 16000-6, ISO 16017-1 und ISO 16000-3 gewählt.

7.1.2 VOC-Analyse

7.1.2.1 Probenahme

Tenax® TA¹ wird als Sorptionsrohr mit einer Pumpe verbunden, die in der Lage ist, VOC mit einer konstanten Geschwindigkeit von (50 bis 200) ml/min zu messen, und die Probenahmeeinrichtung wird nach 6.1 installiert. Anschließend werden Dämpfe mit einer Durchflussrate von (50 bis 80) ml/min fortlaufend auf stündlicher Basis erfasst. Für ein Kurzzeitverfahren werden Dämpfe mit derselben Durchflussrate für nur eine Stunde innerhalb der Betriebsphase (2) nach Bild 2 erfasst.

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

Im Fall der Probenahme in Umgebungen mit hoher Ozonkonzentration (100 ppb bis 500 ppb) sollte Tenax® mit einem Ozonwäscher verwendet werden, weil Benzaldehyd-, Phenol- und Acetophenon-Artefakte durch die Oxidation des Tenax®-Polymers entstehen würden.

Aufgrund der kontinuierlichen Erwärmung der Düse während des Betriebs des 3D-Druckers steigt die Raumtemperatur in dem nicht-industriellen Standort möglicherweise weiterhin an. Dies führt möglicherweise zu einem kontinuierlichen Anstieg der Emission von VOC und Aldehyd aus 3D-Druckern und den umgebenden Baumaterialien.

Der Anstieg der Konzentration im Verlauf der Zeit während des Druckens führt möglicherweise letztendlich zum Durchbruch des Absorptionsmittels. Aus diesem Grund sollten zwei Pumpen gleichzeitig mit verschiedenen Durchflussraten verwendet werden, um einen Ausfall der Probenahme durch das Durchbruchsvolumen zu vermeiden.

Um jegliches Durchbruchsvolumen des Sorptionsrohrs zu erkennen, werden die beiden Sorptionsrohre mit einer Verbindung verbunden, um die Durchflussrate der Pumpe auf 80 ml/min einzustellen.

Die andere Pumpe sollte gleichzeitig mit 50 ml/min erfassen, wenn ein Probenahmeausfall aufgrund des Durchbruchsvolumens auftritt.

Siehe ISO 16000-6 und ISO 16017-1 für Informationen zu sicheren VOC-Probenahmeverfahren in Bezug auf das Durchbruchsvolumen.

Für das Langzeitverfahren muss die Probenahme fortlaufend auf stündlicher Basis bis zum Abschalten der Drucker erfolgen. Für das Kurzzeitverfahren muss die Probenahme für mindestens eine Stunde vor dem Abschalten der additiven Fertigungsmaschinen erfolgen, sofern nicht besondere Anforderungen der Anwender der additiven Fertigung bestehen.

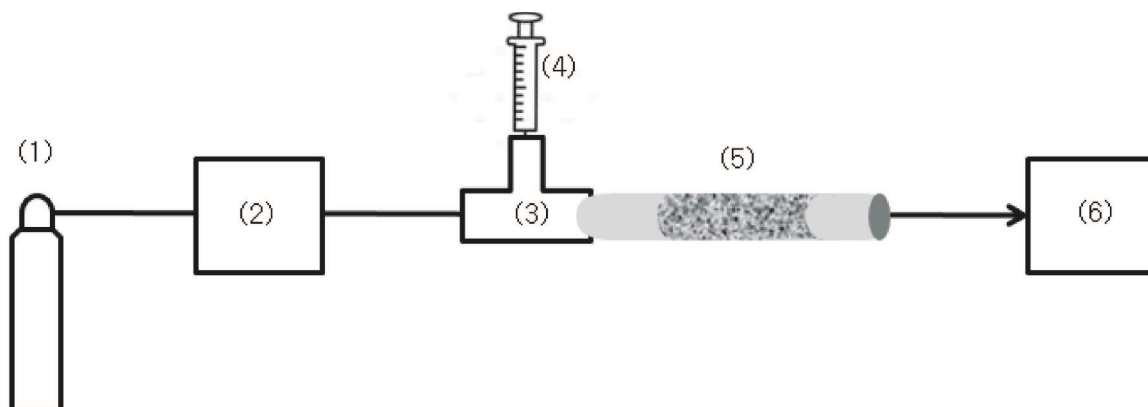
Alle Sorptionsrohre sollten mit Metallschraubkappen mit PTFE-Dichtkonus verschlossen und in einem luftdichten Behälter bei Raumtemperatur aufbewahrt werden.

Die Temperatur in dem nicht-industriellen Standort kann während des Betriebs des 3D-Druckers ansteigen, was möglicherweise zu einer Veränderung des tatsächlich erfassten Probenahmeverfahrens führt. Aus diesem Grund muss das tatsächliche Volumen der VOC-Probenahme an eine Temperatur von 25 °C und einen Druck von 101,3 kPa angepasst werden, indem die Temperatur und der Druck an dem nicht-industriellen Standort stündlich kontrolliert werden.

7.1.2.2 Erstellung der Kalibrierkurve

Bei der Erstellung der Kalibrierkurve durch die Herstellung einer flüssigen Standardlösung kann auf ISO 16000-6, 5.6, Bezug genommen werden. Wenn jedoch eine Normgas Mischung (z. B. 1 µmol/mol, die Toluol enthält, mit einer Toleranz von 10 %) verwendet wird, kann eine Kalibrierkurve wie folgt erstellt werden.

- 1) Ein wärmebehandeltes Sorptionsrohr wird bei einer konstanten Durchflussrate von (50 bis 100) ml/min unter Verwendung von inertem Spülgas (z. B. Stickstoff und Helium) nach Bild 3 vorbereitet.



Legende

- (1) Spülgas
- (2) Massendurchflussregler
- (3) T-Verbinder
- (4) Gas-String
- (5) Tenax-TA
- (6) Pumpe

Bild 3 — Beispiel für die Herstellung eines Normsorptionsrohrs unter Verwendung von Normgasmischungen

- 2) Eine lineare Gleichung $Y = aX$ wird unter Verwendung der vorhandenen Toluolmasse (ng) des Analyts in jedem Sorptionsrohr und dem Gesamtionen-Chromatogramm-Bereich des Toluols in dem unten gezeigten Gaschromatogramm berechnet. Der Korrekturkoeffizient (r^2) muss jedoch als 0,999 oder höher bestimmt werden.

TIC-Kalibrierkurve Toluol

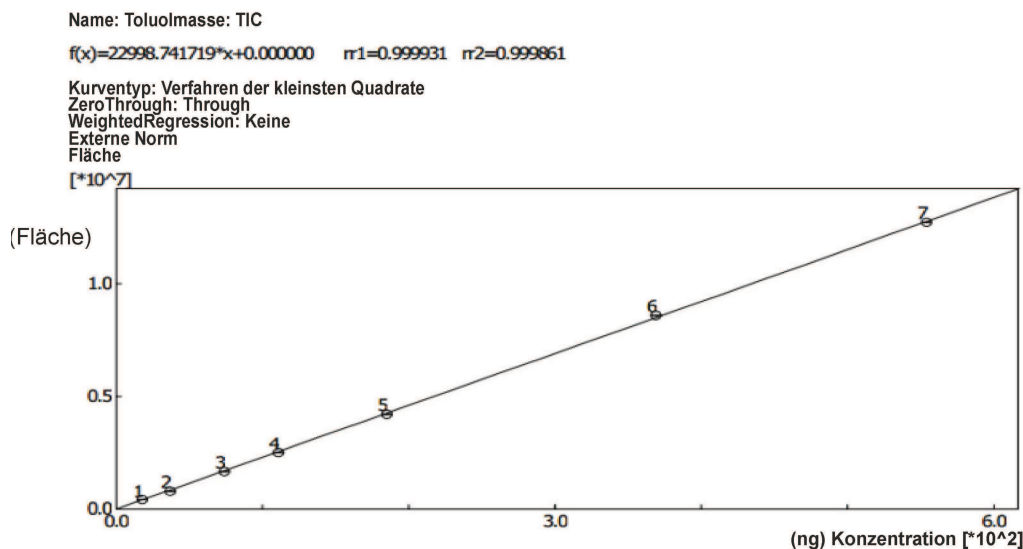


Bild 4 — Beispiel für die Erstellung einer Kalibrierkurve

7.1.2.3 Analyseverfahren

Mit einem Sorptionsrohr während des Betriebs des 3D-Druckers an dem nicht-industriellen Standorts erfasste VOC werden mit einem GC/MS-Analysegerät wie in ISO 16000-6 beschrieben analysiert.

7.1.2.4 Bestimmung der VOC-Konzentration

Die mittlere Konzentration der durch den nicht-industriellen Standort freigesetzten VOC wird wie folgt bestimmt. Die maximale VOC-Konzentration an dem nicht-industriellen Standort kann durch die in jeder Phase kontinuierlich auf regelmäßiger Basis gemessenen Konzentrationen ($C_{m1} - C_{m_n}$) überprüft werden.

$$\overline{C_{\text{voc}}} = \frac{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{m_n}}{n} \quad (1)$$

Dabei ist

$\overline{C_{\text{voc}}}$ die mittlere Massenkonzentration der VOC in dem Sorptionsrohr in $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

C_{m1} die Massenkonzentration des von dem Sorptionsrohr über 1 Stunde nach dem Beginn des Betriebs des 3D-Druckers erfassten VOC-Analyts in $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

C_{m2} die Massenkonzentration des von dem Sorptionsrohr über 1 Stunde in der zweiten Phase nach 2 Stunden des Betriebs des 3D-Druckers erfassten VOC-Analyts in $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

C_{m_n} die Massenkonzentration des von dem Sorptionsrohr in der finalen Phase vor dem Anhalten der 3D-Drucker erfassten VOC-Analyts in $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

n die Gesamtzahl der Proben von C_{m1} bis C_{m2} .

Für das Langzeitverfahren muss die tatsächliche Probenahme mindestens fünfmal unter Berücksichtigung des additiven Fertigungsprozesses an dem nicht-industriellen Standort auf der Grundlage von 8 Stunden je Werktag erfolgen. Dies bedeutet, dass die Gesamtzahl der Proben je nach tatsächlicher Betriebszeit mehr als fünf betragen könnte. Für das Kurzzeitverfahren muss die Probenahme nur für eine Stunde vor dem Abschalten der AM-Maschinen vorgenommen werden.

$$C_m = \frac{\frac{A_{s1} + A_{s2}}{2} - A_b}{V_{(25^\circ\text{C}, 1 \text{ atm})}} \quad (2)$$

Dabei ist

A_{s1}, A_{s2} die Masse des VOC-Analyts in dem Sorptionsrohr in Nanogramm, in ng;

A_b die Masse des VOC-Analyts in dem Blindrohr des Sorptionsrohrs in Nanogramm, in ng;

$V_{(25^\circ\text{C}, 1 \text{ atm})}$ das Probenahmenvolumen in l, bei 25 °C und 101,3 kPa, in m^3 .

Das tatsächliche Volumen der VOC-Probenahme muss an die Temperaturbedingung von 25 °C und den Druck von 101,3 kPa anhand der folgenden Gleichung angepasst werden.

$$V_{(25^\circ\text{C}, 1 \text{ atm})} = V \times \frac{T_{(25^\circ\text{C})}}{T_2} \times \frac{P_2}{P_{(1 \text{ atm})}} \quad (3)$$

Dabei ist

V das tatsächliche Probenahmenvolumen der beprobten Luft in l;

$T_{(25^\circ\text{C})}$ die Umrechnung von 25 °C in Kelvin (K) ($K = 273 + 25^\circ\text{C}$);

T_2 die Umrechnung der tatsächlichen Innenraumtemperatur in Kelvin (K), °C ($K = 273 + ^\circ\text{C}$);

P_2 der tatsächliche Flächendruck in Kilopascal, in kPa.