

DIN EN ISO/ASTM 52902



ICS 25.030

Entwurf

Einsprüche bis 2022-02-03
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO/ASTM 52902:2020-05

**Additive Fertigung –
Testkörper –
Geometrische Leistungsbewertung additiver Fertigungssysteme
(ISO/ASTM DIS 52902:2021);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO/ASTM 52902:2021**

Additive manufacturing –
Test artifacts –
Geometric capability assessment of additive manufacturing systems
(ISO/ASTM DIS 52902:2021);
German and English version prEN ISO/ASTM 52902:2021

Fabrication additive –
Pièces types d'essai –
Évaluation de la capacité géométrique des systèmes de fabrication additive
(ISO/ASTM DIS 52902:2021);
Version allemande et anglaise prEN ISO/ASTM 52902:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-12-03 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.

DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT)

Gesamtumfang 96 Seiten

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52902:2021) 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).

Die diesem Dokument zugrundeliegende ISO-Norm wurde auf der Grundlage einer Partnerschaftvereinbarung zwischen ISO und ASTM International erarbeitet, die für den Bereich der Additiven Fertigung eine gemeinsame Normenentwicklung beider Organisationen zum Ziel hat sowie die Übernahme jeweiliger Normen durch die jeweils andere Organisation ermöglicht. Auf Grund dieser partnerschaftlichen Zusammenarbeit entsprechen die resultierenden Dokumente in ihrer Gestaltung in mancher Hinsicht nicht den ISO/IEC Direktiven Teil 2. Die Gestaltung des vorliegenden Dokuments weicht daher von den Vorgaben von DIN 820-2 ab.

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/ASTM 52900	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52900
ISO/ASTM 52915	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52915
ISO/ASTM 52921	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52921
ISO/IEC 17025	siehe	DIN EN ISO/IEC 17025
ISO 4287	siehe	DIN EN ISO 4287
ISO 4288	siehe	DIN EN ISO 4288
ISO 17296-2	siehe	DIN EN ISO 17296-2
ISO 17296-3	siehe	DIN EN ISO 17296-3
ISO 17296-4	siehe	DIN EN ISO 17296-4
ISO 25178 (alle Teile)	siehe	DIN EN ISO 25178

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO/ASTM 52902:2020-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Hinzufügen eines Testartefakts zum Testen der Leistung der Z-Achse in einem AM-System;
- b) geänderte Abmessungen im Text und in der Zeichnung (Bild 3) des mittelgroßen kreisförmigen Artefakts, sodass die Beschreibung im Text mit den Abmessungen in der herunterladbaren STEP-Datei übereinstimmt;
- c) Bild 3 neu gezeichnet, um die kreisförmige Artefaktgeometrie besser darzustellen.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

DIN EN ISO/ASTM 52915, *Spezifikation für ein Dateiformat für Additive Fertigung (AMF) Version 1.2*

DIN EN ISO/ASTM 52921, *Normbegrifflichkeiten für die Additive Fertigung — Koordinatensysteme und Prüfmethodologien*

DIN EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*

DIN EN ISO 4287, *Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit*

DIN EN ISO 4288, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit*

DIN EN ISO 17296-2, *Additive Fertigung — Grundlagen — Teil 2: Überblick über Prozesskategorien und Ausgangswerkstoffe*

DIN EN ISO 17296-3, *Additive Fertigung — Grundlagen — Teil 3: Haupteigenschaften und entsprechende Prüfverfahren*

DIN EN ISO 17296-4, *Additive Fertigung — Grundlagen — Teil 4: Überblick über die Datenverarbeitung*

DIN EN ISO 25178 (alle Teile), *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft*

— Leerseite —

<i>Titel de:</i>	Additive Fertigung — Testkörper — Geometrische Leistungsbewertung additiver Fertigungssysteme (ISO/ASTM DIS 52902:2021)
<i>Titel en:</i>	Additive manufacturing — Test artifacts — Geometric capability assessment of additive manufacturing systems (ISO/ASTM DIS 52902:2021)
<i>Titel fr:</i>	Fabrication additive — Pièces types d'essai — Évaluation de la capacité géométrique des systèmes de fabrication additive (ISO/ASTM DIS 52902:2021)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Bedeutung und Anwendung	6
4.1 Allgemeines	6
4.2 Vergleich von Ergebnissen einer Maschine	7
5 Allgemeine Leitsätze für die Testkörperherstellung	7
5.1 Allgemeines	7
5.2 Notwendigkeit der Verwendung von Ausgangswerkstoff, der einer Werkstoffspezifikation entspricht	7
5.3 Notwendigkeit des Bauens von Testkörpern nach einer dokumentierten Prozessspezifikation	7
5.4 Dateiformate und -erstellung	8
5.5 Datei-Download	8
5.6 Erörterung der Dateiumwandlung	8
5.7 AMF bevorzugt (einschließlich Anweisungen/Auflösungen für die Umwandlung)	8
5.8 Notwendigkeit von Prüfspezifikation und Prüfprozess	8
5.9 Anzahl der Testkörper	8
5.10 Position und Ausrichtung von Testkörpern	9
5.11 Betrachtungen zur Ausrichtung	9
5.12 Beschriftung	9
5.13 Bedeckungsgrad	9
5.14 Baugruppen	9
5.15 Zusammenfassen von Bauteilen	9
5.16 Stützstrukturen und Nachbearbeitung	10
6 Allgemeine Leitsätze für die Testkörpermessung	10
6.1 Allgemeines	10
6.2 Messungen an Bauteilen im Zustand „wie gebaut“	10
6.3 Messstrategie	11
6.4 Messunsicherheit	11
7 Testkörpergeometrien	11
7.1 Allgemeines	11
7.2 Genauigkeit	11
7.2.1 Linearer Testkörper	11
7.2.2 Kreisförmiger Testkörper	13
7.2.3 Testkörper für die Z-Achse	15
7.3 Auflösung	17
7.3.1 Auflösungsteststifte	17
7.3.2 Auflösungstestlöcher	19
7.3.3 Auflösungstestwandung	21
7.3.4 Auflösungstestschlitz	24
7.4 Oberflächenstruktur	27

7.4.1	Zweck	27
7.4.2	Geometrie	27
7.4.3	Messungen	28
7.4.4	Berichterstattung	29
7.4.5	Betrachtungen	30
7.5	Beschriftung	31
7.5.1	Zweck	31
7.5.2	Geometrie	31
7.5.3	Betrachtungen	31
Anhang A (informativ) Beispiele für Testkörperkonfigurationen		33
Anhang B (informativ) Messverfahren		36
B.1	Allgemeines	36
B.2	Vorschläge zur Bestimmung von Maßen	39
Anhang C (informativ) Messabläufe		40
C.1	Allgemeines	40
C.2	Linearer Testkörper	40
C.2.1	Messausrüstung	40
C.2.2	Anleitungen für die Benchmark-Messung	40
C.2.3	Betrachtungen für die Benchmark-Messung	40
C.3	Kreisförmiger Testkörper	41
C.3.1	Messausrüstung	41
C.3.2	Anleitungen für die Benchmark-Messung	41
C.4	Auflösungsteststifte	43
C.4.1	Messausrüstung	43
C.4.2	Anleitungen für die Benchmark-Messung	43
C.4.3	Betrachtungen für die Benchmark-Messung	43
C.5	Auflösungstestlöcher	43
C.5.1	Messausrüstung	43
C.5.2	Anleitungen für die Benchmark-Messung	44
C.5.3	Betrachtungen für die Benchmark-Messung	44
C.6	Auflösungstestwandung	44
C.6.1	Messausrüstung	44
C.6.2	Anleitungen für die Benchmark-Messung	44
C.6.3	Betrachtungen für die Benchmark-Messung	45
C.7	Auflösungstestschlitze	45
C.7.1	Messausrüstung	45
C.7.2	Anleitungen für die Benchmark-Messung	45
C.7.3	Betrachtungen für die Benchmark-Messung	45
C.8	Oberflächenstruktur	46
C.8.1	Messausrüstung	46
C.8.2	Anleitungen für die Benchmark-Messung	46
Anhang D (informativ) Liste von Bezeichnungen und Größen von Prüfkörpern		47
Literaturhinweise		49

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52902:2021) 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.

Dieses Dokument wird EN ISO/ASTM 52902:2019 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/ASTM DIS 52902:2021 wurde von CEN als prEN ISO/ASTM 52902:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

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

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-Direktiven, 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-Direktiven, 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.

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

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO/ASTM 52902:2019), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Ergänzung eines Testkörpers zur Prüfung der Leistung der Z-Achse im AM-System.
- Geänderte Maße in Text und Zeichnung (Bild 3) des mittleren kreisförmigen Testkörpers, so dass die Beschreibung im Text den Maßen in der herunterladbaren STEP-Datei entspricht; Bild 3 wurde ebenfalls neu gezeichnet, um die Geometrie des kreisförmigen Testkörpers besser darzustellen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält die allgemeine Beschreibung von Prüfkörpergeometrien mit dem Ziel des Benchmarkings, gemeinsam mit an dem/den Benchmarking-Prüfkörper(n) vorzunehmenden quantitativen und qualitativen Messungen zur Bewertung der Leistung additiver Fertigungssysteme (AM-Systeme).

Diese Leistungsbewertung kann den beiden folgenden Zwecken dienen:

- der Fähigkeitsbewertung des AM-Systems;
- der Kalibrierung des AM-Systems.

Der Hauptverwendungszweck der/des Benchmarking-Prüfkörper(s) ist die quantitative Bewertung der geometrischen Leistungsfähigkeit eines AM-Systems. Das Dokument beschreibt einen Satz von Prüfgeometrien, die jeweils für die Untersuchung einer oder mehrerer Leistungsmetriken ausgelegt sind, sowie mehrere Beispielkonfigurationen dieser Geometrien im/in Prüfkörper(n). Es gibt zu messende Quantitäten und Qualitäten der Prüfgeometrien vor, schreibt aber keine spezifischen Messverfahren vor. Verschiedene Nutzeranwendungen können verschiedene Leistungsniveaus erfordern. Zur Veranschaulichung von Untersuchungen und für den Nachweis der Leistungsfähigkeit auf niedrigem und hohem Niveau erörtert dieses Dokument Beispiele für Merkmalskonfigurationen sowie Anforderungen an die Messunsicherheit. Dieses Dokument behandelt keine spezifischen Verfahrensweisen oder Maschineneinstellungen für die Prüfkörperherstellung.

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).

ASME B46.1, *Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)*

3 Begriffe

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

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>

4 Bedeutung und Anwendung

4.1 Allgemeines

In diesem Dokument beschriebene Messungen und Beobachtungen werden dazu genutzt, die Leistung eines AM-Systems mit einer vorgegebenen Systemanordnung und vorgegebenen Prozessparametern in Kombination mit einem bestimmten Ausgangswerkstoff zu untersuchen.

Die primäre Beschreibung des AM-Systems nach diesem Dokument erfolgt über geometrische Genauigkeit, Oberflächenbeschaffenheit und Mindest-Merkmalsgröße der Benchmarking-Prüfkörper.

4.2 Vergleich von Ergebnissen einer Maschine

Der/die Prüfkörper können z. B. beim Einbau der neuen Maschine hergestellt und gemessen werden. Der/die Prüfkörper darf/dürfen für die regelmäßige Leistungsbeurteilung oder die Fehlerdiagnose in einem AM-System eingesetzt werden, z. B. nach Systeminstandhaltung oder entsprechend den Anforderungen eines Qualitätssystems.

Der/die in diesem Prüfverfahren beschriebene(n) Prüfkörper darf/dürfen zum Nachweis von Fähigkeiten für einen Vertrag zwischen Käufer und Verkäufer von AM-Bauteilen oder AM-Systemen eingesetzt werden.

Daten aus den in diesem Dokument beschriebenen Messungen können verwendet werden, um die Auswirkung neuer Prozessparameter oder Werkstoffe auf die Leistung des AM-Systems zu bestimmen.

Bestimmte Prüfgeometrien dürfen bei jedem Aufbau auf einem bestimmten AM-System einbezogen werden, um die Rückverfolgbarkeit der Leistung zu unterstützen. Je nach den Erfordernissen des Endnutzers brauchen nicht alle Testkörper gebaut zu werden und einzelne Testkörper können gesondert gebaut werden, sofern erforderlich.

5 Allgemeine Leitsätze für die Testkörperherstellung

5.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt enthält Leitsätze, die für die Herstellung aller Testkörpergeometrien nach diesem Dokument anwendbar sind. Anforderungen an die Berichterstattung werden in diesem Abschnitt in Zusammenhang mit den Fertigungsschritten vorweggenommen, weitere Einzelheiten zu Aufzeichnung und Berichterstattung können jedoch den in Abschnitt 7 angegebenen Beschreibungen einzelner Testkörper entnommen werden.

5.2 Notwendigkeit der Verwendung von Ausgangswerkstoff, der einer Werkstoffspezifikation entspricht

Zur Sicherstellung wiederholbarer Ergebnisse ist die Verwendung eines Qualitäts-Ausgangswerkstoffs notwendig. Eine Ausgangswerkstoffspezifikation sollte vom Endnutzer gewählt oder bestimmt werden, und der für Probeläufe mit Testkörpern verwendete Ausgangswerkstoff sollte jener Spezifikation entsprechen. Die Spezifikation darf z. B. die Partikeleigenschaften (Korngröße, Korngrößenverteilung, Morphologie) für Pulver-Ausgangswerkstoffe, Schüttguteigenschaften (wie Fließfähigkeit) und chemische Eigenschaften (wie chemische Zusammensetzung und Grad der Verunreinigung) enthalten. Obwohl die Einzelheiten der Werkstoffspezifikation nicht öffentlich gemacht werden dürfen (sofern nicht zwischen Lieferant und Käufer anders vereinbart), sollten sie vom Hersteller dokumentiert und mit einer eindeutigen alphanumerischen Bezeichnung nach ASTM F2971:2013, Anhang A1, Element „B“ angegeben werden. Bei pulverbasierten Prozessen sollte die Werkstoffspezifikation insbesondere Begrenzungen der Wiederverwendung von Pulver und das prozentuale Verhältnis von neuem/wiederverwendetem Pulver angeben.

5.3 Notwendigkeit des Bauens von Testkörpern nach einer dokumentierten Prozessspezifikation

Die Verarbeitung des Werkstoffs im AM-System sollte nach einer/einem dokumentierten Prozessspezifikation/Fertigungsplan erfolgen, wie in ASTM F2971:2013, Anhang A1, Element „C“ festgelegt. Dabei darf es sich um eine eigene interne oder eine externe Norm handeln (entsprechend Käufer/Verkäufer-Verhandlungen), der Hersteller sollte jedoch vom Nutzer definierbare Einstellungen und Bedingungen in Zusammenhang mit dem Bau von Bauteilen dokumentieren. Dokumentiert werden sollten z. B. die während des Baus angewendete(n) Schichtdicke, Baustrategien (z. B. Scan-Weg, Werkzeugweg und/oder Scan-Parameter), Temperaturen usw. Dieser Prozess sollte für alle in einem Aufbau hergestellten Testkörper einheitlich sein. Diese Empfehlungen können bei jeder Anwendung unterschiedlich sein, so dass die Parameter der Prozessspezifikation zwischen Anbieter und Endnutzer vereinbart werden sollten.

5.4 Dateiformate und -erstellung

Die verwendeten Dateiformate und die Schritte zur Erstellung digitaler Dateien, einschließlich der Slice-Parameter, sollten in die Prozessspezifikation aufgenommen werden. Bei der Erstellung und Übertragung von Dateien muss darauf geachtet werden, dass eine Verschlechterung des Modells verhindert wird. Jegliche Abweichung beeinflusst die Ergebnisse der Prüfungen an den Testkörpern, daher ist die bewährte Vorgehensweise zur Kontrolle der Dateiformate und zur Dateierstellung hier erörtert.

5.5 Datei-Download

Die digitalen 3D-Modelle für Normtestkörpergeometrien können im Format *.step unter <https://standards.iso.org/iso/52902/ed-1/en> heruntergeladen werden. Eine vollständige Liste verfügbarer Dateien ist in Anhang D zu finden.

5.6 Erörterung der Dateiumwandlung

Bei Umwandlung eines CAD-Modells in AMF, STL oder ein Zwischen-Dateiformat muss ausreichende Wiedergabetreue beibehalten werden, um sicherzustellen, dass der damit hergestellte Testkörper die Fähigkeiten des zu bewertenden AM-Systems hinreichend repräsentiert. Die Dateiumwandlungstoleranz sollte so gewählt werden, dass die größte Abweichung der Daten vom nominalen CAD-Modell weniger als ein Viertel und, auf der Grundlage guter Messpraxis, idealerweise weniger als ein Zehntel der erwarteten Genauigkeit des zu bewertenden AM-Systems beträgt. Derzeit können mit den meisten additiven Fertigungsanlagen keine Merkmale mit einer Auflösung besser als 10 µm hergestellt werden, daher werden CAD-Modelle als STL/AMF mit einer Mindestgenauigkeit von 2,5 µm oder besser gespeichert. Dies sind lediglich allgemeine Empfehlungen, die für das jeweilige Ausgabesystem bestätigt werden sollten. Es wird empfohlen, dass Nutzer die größte Abweichung überprüfen und die angewendeten Umwandlungsparameter sowie jede größte Abweichung aufzeichnen (Sehnenhöhe und Winkeltoleranz).

Dateien sollten nicht verkleinert oder vergrößert werden, weder während der Umwandlung noch danach. Maschinenkorrekturfaktoren (z. B. Versatz, Achsenskalierung usw.) dürfen angewendet und sollten als Teil der Prozessspezifikation dokumentiert werden.

5.7 AMF bevorzugt (einschließlich Anweisungen/Auflösungen für die Umwandlung)

Das AMF-Dateiformat nach ISO/ASTM 52915 ist das bevorzugte Modellformat für die Darstellung der Testkörpergeometrie aufgrund seiner Fähigkeit, die Geometrie mit hoher Wiedergabetreue mit eingebetteten Einheiten in einem Zwischen-Dateiformat zu speichern.

5.8 Notwendigkeit von Prüfspezifikation und Prüfprozess

Dieses Dokument bildet die Grundlage für den/die allgemeine(n) *Prüfplan/Prüfspezifikation* nach ASTM F2971:2013, Anhang A1, Element „D“, Einzelheiten zur Umsetzung sind jedoch für die genaue Dokumentation des *Prüfprozesses* (Element „E“ nach Anhang A1) aufzuzeichnen, der für die Herstellung der Bauteile entsprechend Abschnitt 6 angewendet wird.

5.9 Anzahl der Testkörper

Bei einer vollständigen Prüfung der Maschinenleistung wird die Anzahl der hergestellten Testkörper durch zwei Aspekte bestimmt. Erstens muss die Prüfspezifikation/der Prüfprozess eine Probenanzahl sicherstellen, gewöhnlich nicht weniger als fünf, so dass statistisch signifikante Messungen durchgeführt werden können. Zweitens ist die ausreichende Abdeckung (siehe 5.13) der Bauplattform erforderlich, um Schwankungen in der Leistung zwischen Baupositionen Rechnung zu tragen. Für Stichproben oder begrenzte Demonstrationen, wie im in Anhang A dargelegten Beispiel, dürfen weniger Testkörper mit weniger vollständiger Abdeckung verwendet werden. Die Anzahl der Testkörper muss zwischen Käufer und Verkäufer vereinbart werden und die Durchführung von mindestens 5 Messungen erlauben.

5.10 Position und Ausrichtung von Testkörpern

Nach ASTM F2971:2013, Anhang A1, Element „F“ wird die Angabe der Ergebnisse in Kombination mit der jeweiligen Bauposition und Ausrichtung der Testkörper entsprechend den Festlegungen nach ISO/ASTM 52921 empfohlen.

5.11 Betrachtungen zur Ausrichtung

Da diese Testkörper dafür vorgesehen sind, die Stärken und Schwächen additiver Bautechniken aufzudecken, wird es Baugeometrien geben, die versagen. Es lohnt sich, zu betrachten, welche Merkmale voraussichtlich versagen, und diese so zu positionieren, dass dadurch das Risiko minimiert wird, dass ihr Versagen zu einem vollständigen Ausfall von Merkmalen/Bauteilen/Testkörpern im übrigen Aufbau führt. Bei einem Pulverbettprozess z. B. kann es ratsam sein, Bauteile mit einer höheren Wahrscheinlichkeit des Versagens auf einer höheren Ebene im Gesamtaufbau zu positionieren, sodass das Risiko verringert wird, dass das Versagen von Bauteilen oder Bauteil-Abschnitten andere Komponenten im Aufbau oder den AM-Maschinenmechanismus beeinflusst.

5.12 Beschriftung

Die Beschriftung von Bauteilen kann nützlich sein, um die jeweiligen Ausrichtungen und Positionen von Testkörpern im Aufbau zu kennzeichnen. Die Beschriftung ist in 7.5 zusammengefasst.

5.13 Bedeckungsgrad

Es ist wichtig, Testkörper mit ausreichender Abdeckung des Bauvolumens herzustellen, um repräsentative Daten für die Herstellung tatsächlicher Bauteile zu erhalten. Abdeckung beurteilt Veränderlichkeit im gesamten Bauvolumen. Das ist die bewährte Vorgehensweise für alle AM-Prozesse und insbesondere entscheidend für Prozesse mit einem „Sweetspot“ (z. B. erzielen einige galvanometrische Laserstrahl-Steuersysteme in der Mitte der Plattform Ergebnisse mit höherer Wiederholpräzision). Die Testkörperverteilung sollte mindestens 80 % der Fläche der Bauplattform der Maschine abdecken. Wenn die Auswirkungen der Bauposition bekannt sind oder als irrelevant für die jeweilige Versuchsdurchführung angesehen werden, darf entsprechend der Vereinbarung zwischen Anbieter und Nutzer eine einzelne Bauposition ausgewählt und verwendet werden.

Lange Testkörper, die das Ausmaß des Bauvolumens abdecken, können erforderlich sein, um Korrekturen zu erkennen, die nicht linear oder von periodischer Art sind.

5.14 Baugruppen

Geometrien sollten nicht skaliert werden (aufgrund der Auswirkungen auf die Messergebnisse), dürfen jedoch in einer Baugruppe angeordnet werden, um größere Abdeckungsflächen zu ergeben. Beispiel siehe Bild 2.

5.15 Zusammenfassen von Bauteilen

Sind Baugruppen für eine bessere Abdeckung notwendig, kann es am praktischsten sein, ein einzelnes kombiniertes Bauteil zu bauen, statt zu versuchen, Baugruppen aus benachbarten einzelnen Bauteilen zu bauen. Dies kann durch Zusammenfassen benachbarter AMF- oder STL-Dateien vor dem Slicing und anderen Dateierstellungsschritten erreicht werden.

Da AM am häufigsten ein schichtweiser Prozess (in Z-Richtung) und häufig pixelbasiert (in X/Y-Richtung) ist, kann die genaue Position des Bauteils im Aufbau die Prüfung erheblich beeinflussen. Dies gilt insbesondere für Testkörper zur Prüfung der Maschinenauflösung. Eine geringe Verschiebung des Bauteils kann Einfluss auf Verrundungsaspekte haben, welche Einfluss darauf haben, ob sich ein(e) spezifische(s) Schicht oder Pixel aufbaut oder nicht. Dies kann während der Erstellung der Slice-Datei und während der Ausrichtung der Slice-Datei auf der Arbeitsfläche in der Maschine verursacht werden. Ergebnisse sollten in Kombination mit den

Bauausrichtungen des Testkörpers entsprechend den Festlegungen nach ISO/ASTM 52921 angegeben werden.

Bei bestimmten AM-Prozessen (insbesondere mit Metallen) kann Wärmestau aufgrund der Verarbeitung großer Querschnittsflächen in der Nähe der Testkörper deren geometrische Genauigkeit beeinflussen. Daher wird empfohlen, dass der Hersteller die Einhaltung der festgelegten Abstände sicherstellt.

5.16 Stützstrukturen und Nachbearbeitung

Stützstrukturen sollten nach Möglichkeit vermieden oder es sollten Stützstrukturen eingesetzt werden, die die vorgesehene Messung in keiner Weise behindern oder beeinflussen. Die Stützstrukturstrategie einschließlich u. a. Werkstoff, Geometrie, Technik zum Entfernen usw. muss vollständig in der Prozessspezifikation dokumentiert sein.

Daten nach diesem Dokument müssen im Zustand „wie gebaut“ vor jeder Oberflächenbearbeitung oder nachfolgenden Verarbeitung angegeben werden. Falls eine unvermeidbare Nachbearbeitung vor der Messung durchgeführt wird (z. B. Entfernen des Werkstoffs notwendiger Stützstrukturen), müssen Einzelheiten des Prozesses als Teil der Prozessspezifikation angegeben werden. Die Berichterstattung sollte eine Beschreibung jeglicher Abrasivmittel und das Verfahren ihres Auftrags auf die Testkörperoberfläche enthalten. Darüber hinaus dürfen Daten nach zusätzlichen Nachbearbeitungsbehandlungen (wie z. B. Sandstrahlen von Metallteilen) erfasst werden, aber nur falls diese eindeutig vermerkt und gemeinsam mit den Messungen im Zustand „wie gebaut“ angegeben werden.

6 Allgemeine Leitsätze für die Testkörpermessung

6.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt enthält Leitsätze, die für die Messung aller Testkörpergeometrien nach diesem Dokument anwendbar sind. Die jeweiligen Messungen sind in Abschnitt 7 festgelegt, welcher die einzelnen Testkörpergeometrien beschreibt. Dieses Dokument schreibt keine spezifischen Messverfahren vor; die nachstehend beschriebenen Messungen können mit einer Vielzahl von Techniken und Geräten (z. B. Koordinatenmessgerät, optischer Scanner, Messuhren mit kalibrierten Zeigern, Oberflächenprofilometer usw.) durchgeführt werden. ISO 17296-3 kann angewendet werden, um die Nutzung der verschiedenen Prüfverfahren bezüglich der Anwendung auf Prüfkörper zu verbessern. Anforderungen an die Berichterstattung werden in diesem Abschnitt in Zusammenhang mit den Messungen vorweggenommen, weitere Einzelheiten zu Aufzeichnung und Berichterstattung können jedoch Anhang B und Anhang C entnommen werden.

6.2 Messungen an Bauteilen im Zustand „wie gebaut“

Der Testkörper sollte auf Raumtemperatur abkühlen und dann direkt nach seiner Entnahme aus dem für seinen Bau verwendeten System den Messungen unterzogen werden, bevor jegliche Nachbearbeitung durchgeführt wird. Der Endnutzer darf fordern, dass Bauteile vor der Messung bei einer voreingestellten Temperatur und Luftfeuchte gehalten werden. Werden die Bauteile in einem pulverbettbasierten Prozess gebaut, sollten sie vor der Messung vollständig vom umgebenden Pulver befreit werden. Werden die Bauteile auf einer Bauplattform gebaut, sind die Messungen durchzuführen, ohne das Bauteil von der Plattform zu entfernen. (Das Entfernen von einer Bauplattform kann die Formen der Testkörper und damit die Ergebnisse beeinflussen. Falls die Messung auf der Plattform nicht möglich ist, muss dies ausdrücklich im Prüfbericht angegeben werden.) Ist Nachbearbeitung erwünscht, sind alle Einzelheiten jedes Nachbearbeitungsschritts anzugeben und Messungen sind am Bauteil vor und nach jedem Nachbearbeitungsschritt vorzunehmen (Angabe aller Messergebnisse).

6.3 Messstrategie

Es ist wohlbekannt, dass die Messstrategie die Gesamt-Messunsicherheit beeinflusst; das gilt sowohl für die Messung von Maßen als auch für Oberflächenmessungen. Die hier angegebene Messstrategie umfasst das für die Durchführung der Messungen gewählte Gerät zusammen mit der Anzahl von Punkten, die gewählt wurden, um das Merkmal oder die Oberfläche zu repräsentieren sowie der Verteilung der Punkte entlang des Merkmals oder der Oberfläche. Für Messungen der Rauheit schließt die Messstrategie alle verwendeten Filter ein (z. B. die Grenzwellenlänge). Die Messstrategie ist ein komplexes Thema und häufig sehr spezifisch für das zu messende Bauteil oder Merkmal. Daher gibt es keine allgemeine „bewährte Vorgehensweise“ für die Durchführung dieser Messungen. Einige Hinweise sind jedoch Anhang B und Anhang C zu entnehmen. Die Messunsicherheit ist letztendlich die entscheidende Größe, und unter Berücksichtigung der verfügbaren Messgeräte sollte das Hauptaugenmerk der Anwendung einer Messstrategie gelten, welche die Messunsicherheit innerhalb aller gegebenen Einschränkungen minimiert.

Nominell „ebene“ Oberflächen können sehr uneben oder rau sein. Manchmal ist die Messung mehrerer Punkte notwendig, um ein mittleres Ergebnis zu erhalten.

6.4 Messunsicherheit

Die Standardunsicherheit jeder Messung sollte zusammen mit der Messung im Bericht angegeben werden. Anleitungen zur Bestimmung der Messunsicherheit können den folgenden Verweisungen entnommen werden:

- ASME B89.7.3.2 für die Messunsicherheit bei Messungen von Maßen;
- ASME B46.1 für Messungen der Oberflächenstruktur;
- JCGM 100 und JCGM 101 für Messunsicherheit im Allgemeinen;
- ISO/IEC Guide 98-1 und zugehörige Dokumente.

Anwender sollten alle Systeme für die Kalibrierung und/oder Beibehaltung der Qualität der angewendeten Messprozesse und verwendeten Ausrüstung dokumentieren. Messgerät und Auflösung müssen im Bericht angegeben werden.

7 Testkörpergeometrien

7.1 Allgemeines

In den folgenden Unterabschnitten werden acht Arten von Testkörpern beschrieben. Jeder Testkörper ist zur Prüfung eines anderen Aspekts der Leistung oder Fähigkeit eines Systems vorgesehen.

7.2 Genauigkeit

7.2.1 Linearer Testkörper

7.2.1.1 Zweck

Mit diesem Testkörper wird die Genauigkeit der linearen Positionierung entlang einer bestimmten Maschinenrichtung geprüft. In Abhängigkeit von der Ausrichtung des Testkörpers und der Maschinenkonfiguration können Fehler im Testkörper eine Grundlage für den Positionsausgleich oder die Diagnose bestimmter fehlerhafter Bewegungen im Positionierungssystem der Anlage bilden.

7.2.1.2 Geometrie

In Bild 1 ist die Geometrie des linearen Testkörpers dargestellt. Der Testkörper besteht aus prismatischen Vorsprüngen auf der Oberseite eines massiven rechteckigen Grundkörpers. Die Begrenzungsbox für das gesamte Merkmal hat die Maße 55 mm × 5 mm × 8 mm. Die Maße der Vorsprünge an den Enden betragen 2,5 mm × 5 mm × 5 mm. Die Vorsprünge in der Mitte sind Würfel von 5 mm. Die Abstände zwischen den Vorsprüngen nehmen entlang der Länge des Testkörpers von 5 mm auf 7,5 mm, 10 mm und 12,5 mm zu.

Maße in Millimeter

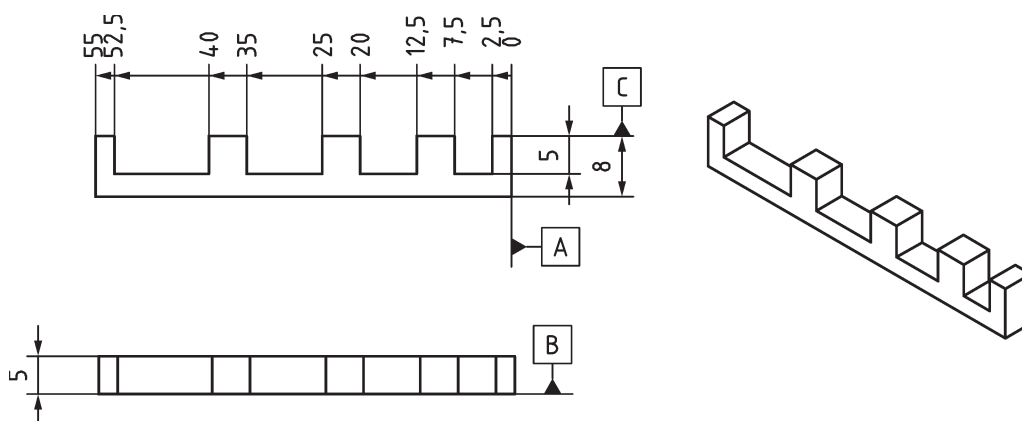


Bild 1 — Technische Zeichnung linearer Testkörper

Ist eine längere Prüfung der linearen Genauigkeit gewünscht, können mehrere lineare Testkörper aneinandergereiht werden. Die Länge der Vorsprünge an den Enden von 2,5 mm bedeutet, dass bei Aneinanderreihung von zwei oder mehr linearen Testkörpern alle mittleren Vorsprünge Würfel von 5 mm sind. In Bild 2 ist ein Beispiel dargestellt. Wird diese Option gewählt, siehe 5.14.

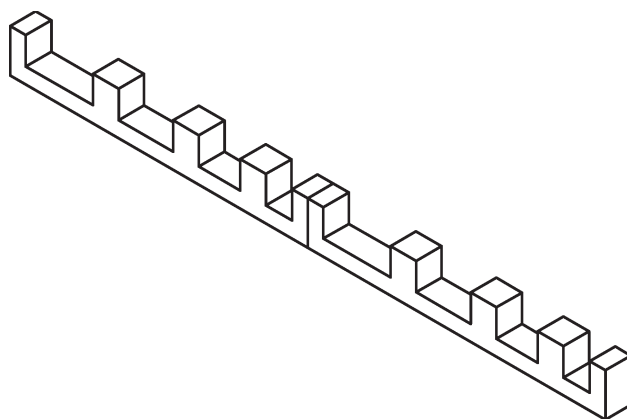


Bild 2 — Zwei aneinandergereihte Testkörper für die lineare Genauigkeit

Ist eine kürzere Prüfung der linearen Genauigkeit erforderlich, muss die Geometrie eines alternativen Testkörpers zwischen Anwender und Lieferant vereinbart werden, wobei vergleichbare Grundsätze der Konstruktion wie für das in Bild 1 dargestellte Bauteil befolgt werden müssen. Der alternative Testkörper sollte Merkmale in ungleichmäßigen Abständen aufweisen und sowohl Vorsprünge als auch Abstände prüfen (d.h. Abstände mit Material zwischen Bezugsmerkmalen und Abstände mit freiem Raum zwischen Bezugsmerkmalen).

7.2.1.3 Messungen

Die Hauptmessung am linearen Testkörper gilt der jeweiligen Lage der Würfelflächen im Verhältnis zum primären Bezugspunkt am Ende des Testkörpers (siehe Bild 1). Alternativ dazu können die Längen jedes Vorsprungs sowie die Abstände zwischen allen Vorsprüngen gemessen werden. Optional verfügbar sind die Messungen der Geradheit des Grundkörpers entlang der Testkörperlänge, der Parallelität jeder Seite des Grundkörpers entlang der Testkörperlänge sowie der Höhe jedes Vorsprungs.

7.2.1.4 Betrachtungen

Die Standard-Ausrichtungen für einen umfassenden Überblick der linearen Genauigkeit sollten mindestens einen Testkörper parallel zu jeder Achse (X, Y und Z) im Koordinatensystem der Maschine beinhalten. Danach sollte mittels Vermerk der orthogonalen Ausrichtung die Ausrichtung nach ISO/ASTM 52921 dokumentiert werden. Eine Alternative darf die Anpassung eines linearen Testkörpers an die Bewegung einer der Positionierungsachsen der Maschine sein (z. B. das Gleiten entlang der X-Achse in einem Portalsystem). Diese alternative Ausrichtung kann möglicherweise Fehler im Bauteil besser mit fehlerhaften Bewegungen im Positionierungssystem in Zusammenhang bringen.

Ausrichtungen, die zu Zusammenstoß oder Beschädigung durch einen Wischer oder einen Beschichterrakel führen können, sollten vermieden werden.

Es ist häufig wünschenswert, die lineare Genauigkeit über die gesamte Spanne der Positionierungsfähigkeiten der Maschine zu prüfen. Anwender sollten in Betracht ziehen, lineare Testkörper die Mitte der Baufläche abdeckend sowie nahe den Enden der Baufläche zu positionieren.

Bei einem senkrecht ausgerichteten linearen Testkörper sollte der Einsatz von Stützstrukturen nach Möglichkeit vermieden werden. Sind Stützstrukturen erforderlich (z. B. unterhalb der Vorsprünge), muss die Stützstrategie (einschließlich Geometrie, Werkstoff und Technik zum Entfernen) vollständig dokumentiert werden. Es sollte sorgfältig darauf geachtet werden, eine Stützstrategie zu wählen, welche die nachteiligen Auswirkungen auf den Messprozess/die Genauigkeit minimiert.

7.2.2 Kreisförmiger Testkörper

7.2.2.1 Zweck

Diese Testkörper sind vorgesehen zur Prüfung der dynamischen Genauigkeit für die Projektion der Aktivierungsenergie (z. B. eines Laser- oder Elektronenstrahls) oder des Verfahrens zur Materialaufbringung (z. B. beim Bindemittelauftrag) auf die Bauoberfläche in der AM-Maschine.

Die Grundkonfiguration dieser Testkörper wurde so geschaffen, um den Einfluss des Werkstoffs und externe Fehlerquellen, welche in der gesamten AM-Maschine vorliegen können, voneinander zu trennen.

7.2.2.2 Geometrie

7.2.2.2.1 Grundlegende Geometrie

In Bild 3 ist die grundlegende Geometrie des kreisförmigen Testkörpers für die Genauigkeit dargestellt. Der Testkörper besteht aus zwei konzentrischen Ringen mit geringem Abstand dazwischen.

Die konzentrischen Ringe sind zentriert auf einer dünnen runden Platte aufgebaut.

Der innerste Ring ist optional.

7.2.2.2.2 Grundkörper

Der Grundkörper muss einen Innendurchmesser von 20,0 mm für den groben, 10,0 mm für den mittleren und 5,0 mm für den feinen Testkörper sowie einen Außendurchmesser von 100,0 mm für den groben, 50,0 mm für den mittleren und 25,0 mm für den feinen Testkörper aufweisen. Die Höhe des Grundkörpers muss 12,0 mm, 6,0 mm bzw. 3,0 mm betragen.

Ein Ausrichtungsmerkmal muss in einem Quadranten des Grundkörper-Zylinders angeordnet werden und aus zwei flachen Ebenen senkrecht zur Ebene der Oberseite bestehen, ausgehend vom Mittelpunkt des Grundkörper-Zylinders, tangential zum Außendurchmesser und außerhalb des Zylinders kreuzend.

7.2.2.2.3 Außenringe

Die äußeren Ringe haben einen Außendurchmesser von 94,0 mm für den groben, 47,0 mm für den mittleren und 23,5 mm für den feinen Testkörper und einen Innendurchmesser von 60,0 mm für den groben, 30,0 mm für den mittleren und 15,0 mm für den feinen Testkörper. Die Höhe der Ringe muss 40,0 mm, 20,0 mm bzw. 10,0 mm über der oberen Oberfläche des Grundkörpers betragen.

7.2.2.2.4 Innenringe

Die inneren Ringe haben einen Außendurchmesser von 32,0 mm für den groben, 15,0 mm für den mittleren und 8,0 mm für den feinen Testkörper und einen Innendurchmesser von 28,0 mm für den groben, 14,0 mm für den mittleren und 7,0 mm für den feinen Testkörper. Die Höhe der Ringe muss 40,0 mm, 20,0 mm bzw. 10 mm über der oberen Oberfläche des Grundkörpers betragen.

7.2.2.3 Messungen

Die Hauptmessung an diesem Testkörper gilt der Rundheit (Kreisform) der Ringflächen. Alternativ dazu können die Größen der Durchmesser jedes inneren und äußeren Rings an mehreren (mindestens fünf) Stellen gemessen werden, wobei jeweils der größte einbeschriebene und der kleinste umschriebene Kreisdurchmesser angegeben wird. Eine zweite Alternative ist die Messung der Wanddicke jedes Rings an mehreren (mindestens fünf) Stellen. Optionale Messungen an diesem Testkörper umfassen die Konzentrität jeder Seite jedes Rings sowie die Zylinderform jeder Seite jedes Rings.

7.2.2.4 Betrachtungen für die Herstellung von Testkörpern

Bauposition und -orientierung: Mehrere Ringe innerhalb des Bauvolumens sollten betrachtet werden. Die Ausrichtung des Testkörpers sollte das Trennen nach zwei Bewegungsachsen der Maschine ermöglichen (d. h. Bezugsoberfläche D sollte orthogonal zur XY-, YZ- oder XZ-Ebene ausgerichtet werden).

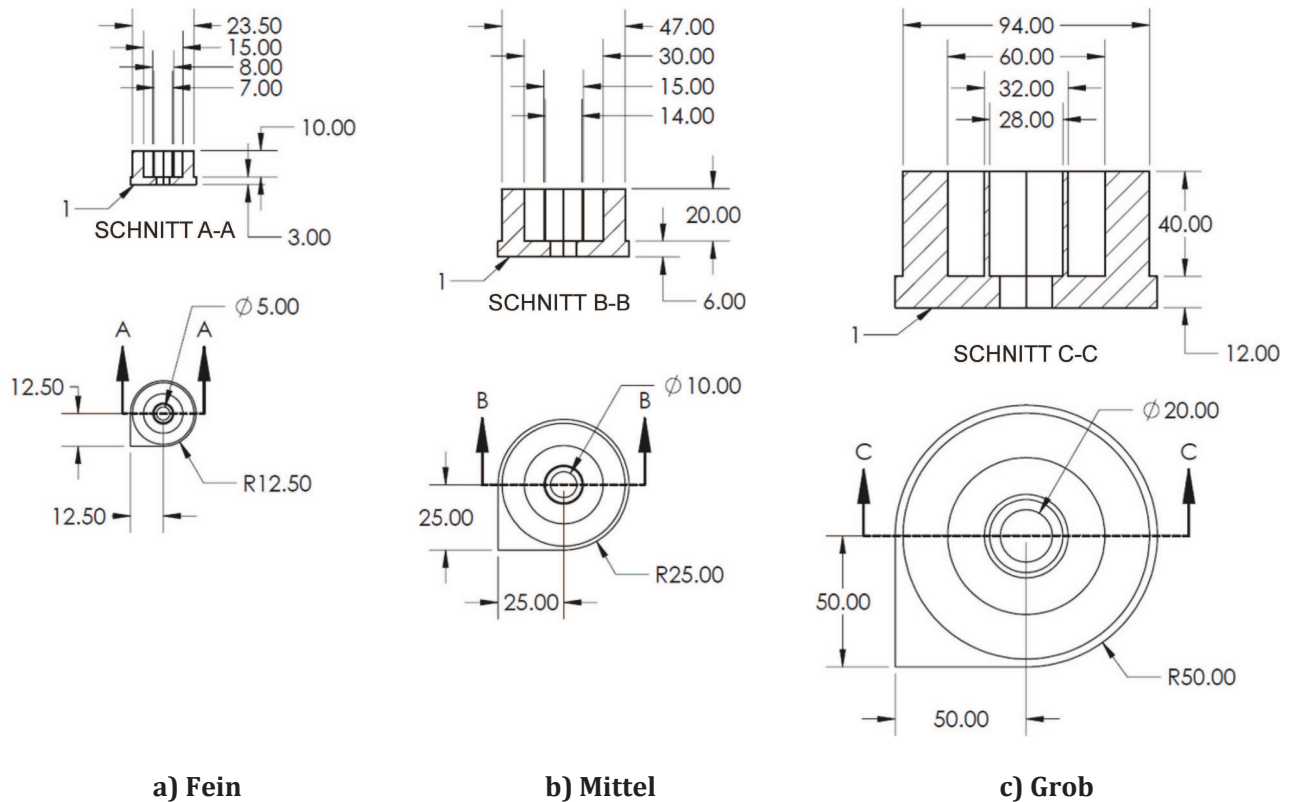
Der Einsatz von Stützstrukturen sollte nicht erforderlich sein, wenn das Bauteil mit der Bezugsoberfläche D parallel zur XY-Ebene gebaut wird. Der Grundkörper sollte eine massive Konstruktion und Trägerstruktur sein, um eine ordnungsgemäße Verankerung der Ringe an der Plattform als notwendiger Testkörper sicherzustellen.

7.2.2.5 Berichterstattung

Der Bericht zum kreisförmigen Testkörper muss zusätzlich zu den Messwerten mindestens die folgenden Informationen umfassen:

- Anzahl konzentrischer Kreise;
- Nomenklatur der Kreise, wie auf der Platte gekennzeichnet;
- Position auf der Platte;
- Kreiskennzeichnung (von innen nach außen).

Maße in Millimeter



Legende

1 Referenzfläche D

Bild 3 — Technische Zeichnung kreisförmiger Testkörper

7.2.3 Testkörper für die Z-Achse

7.2.3.1 Zweck: Mit diesem Testkörper wird die Genauigkeit der linearen Positionierung entlang der Z-Achse der Maschine geprüft. Dies ist wie beim Testkörper für die lineare Genauigkeit, es sollte jedoch keine Stützstruktur zur Beschreibung der Positionierungsleistung der Z-Achse der Maschine erforderlich sein.

In Abhängigkeit von der Ausrichtung des Testkörpers und der Maschinenkonfiguration können Fehler im Testkörper eine Grundlage für den Positionsausgleich oder die Diagnose bestimmter fehlerhafter Bewegungen im Positionierungssystem der Z-Achse bilden.

7.2.3.2 Geometrie: In Bild 4 ist die Geometrie des mittleren Testkörpers für die Z-Achse dargestellt. Der Testkörper verfügt über eine Zickzacktreppe auf der Oberseite eines massiven rechteckigen Grundkörpers. Diese Norm umfasst drei Testkörper mit Zickzacktreppe: einen kleinen Testkörper mit 9 (3×3) Stufen, einen mittleren Testkörper mit 16 (4×4) Stufen und einen großen Testkörper mit 36 (6×6) Stufen.

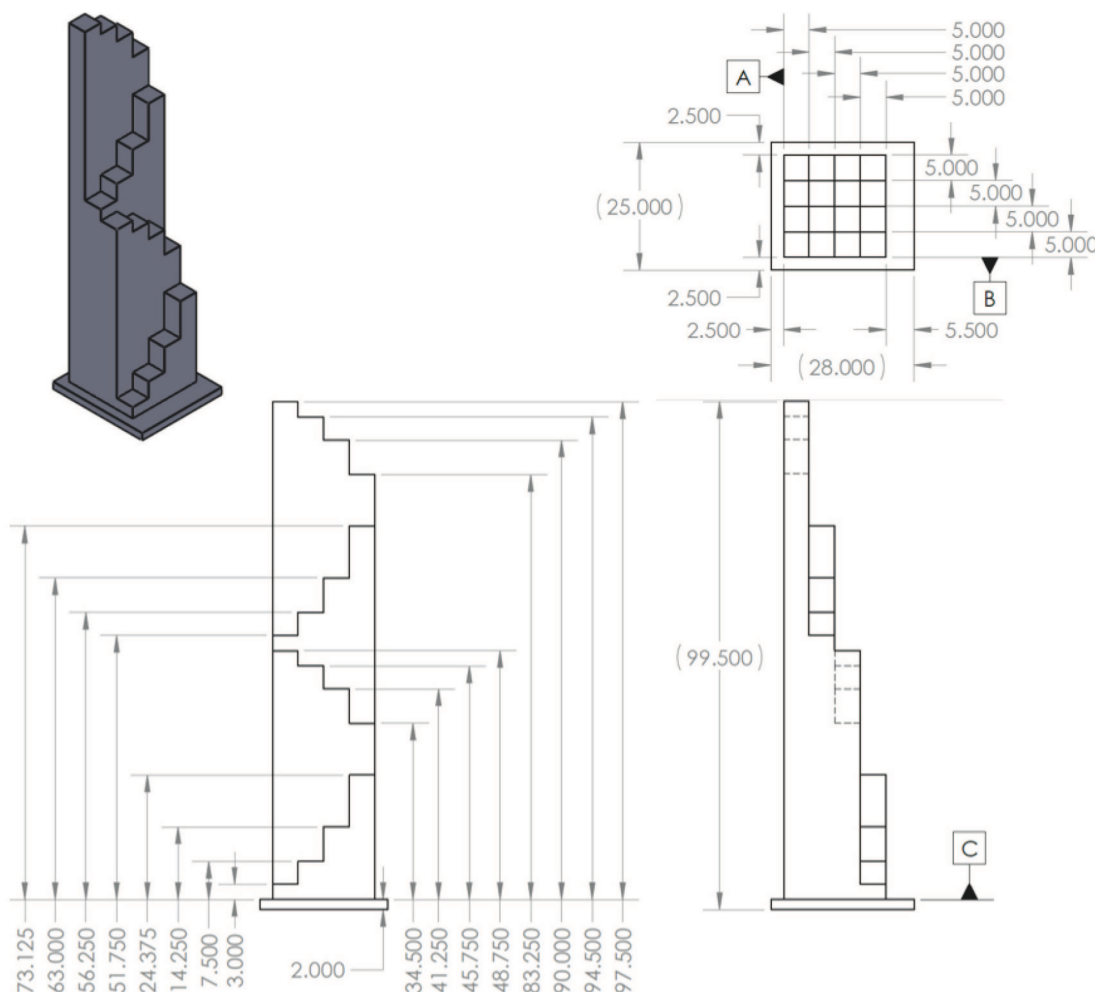


Bild 4 — Technische Zeichnung eines mittleren Testkörpers für die Z-Achse

Die Höhen zwischen den Stufen sind nicht gleichmäßig. Die Höhen werden so gewählt, dass es unwahrscheinlich ist, dass alle Stufenhöhen Vielfache der Schichtdicke sind.

Ist eine kürzere Prüfung der linearen Genauigkeit erforderlich, sollte die Geometrie eines alternativen Testkörpers zwischen Anwender und Lieferant vereinbart werden, wobei vergleichbare Grundsätze der Konstruktion wie für das in Bild 4 dargestellte Bauteil befolgt werden. Der alternative Testkörper sollte Merkmale in ungleichmäßigen Abständen aufweisen und keine Vielfachen der Schichtdicke prüfen (d. h. die Stufen befinden sich zwischen den einzelnen Schichthöhen).

7.2.3.3 Messung: Die Hauptmessung am Testkörper für die Z-Achse gilt der jeweiligen Lage der Stufenflächen im Verhältnis zur Oberseite des rechteckigen Grundkörpers (Bezugsfläche C in Bild 4). Bestimmung von Abständen zwischen einzelnen Stufen ist zulässig, und kann zusammen mit der Hauptmessung eine zusätzliche Analyse ermöglichen. Zu den optionalen Messungen zählen Form (z. B. Ebenheit) der senkrechten Oberflächen des Testkörpers.

7.2.3.4 Betrachtungen

Ausrichtungen, die zu Zusammenstoß oder Beschädigung durch einen Wischer oder einen Beschichterrakel führen dürfen, sollten vermieden werden.

Anwender sollten in Betracht ziehen, Testkörper für die Z-Achse die Mitte der Baufläche abdeckend sowie nahe der Außenkanten der Bauplatzform zu positionieren.

In Fällen, bei denen eine Stufenhöhe zwischen geplante Schichthöhen fällt, ist der Nutzer angehalten, die Slice-Datei zu prüfen, um herauszufinden, wie das System mit diesen Fällen umgeht (z. B. ob das System das Teil durch Beendigung der Geometrie an der nächsthöheren Schicht höher bauen oder durch Beendigung der Geometrie an der nächsttieferen Schicht tiefer bauen möchte. Diese Information kann als Hilfestellung zur Erklärung der Unterschiede zwischen der gemessenen Testkörpergeometrie und der Auslegungsgeometrie im Bericht enthalten sein.

Sollte es erforderlich sein, ein Messkoordinatensystem einzurichten, um das Messverfahren (wie bei einem Koordinatenmessgerät) einzurichten, wird dem Nutzer empfohlen, die in Bild 4 gekennzeichnete Bezugsoberflächen zu verwenden. Dabei gilt die Reihenfolge der Priorität Bezugsflächen A, B und C.

7.3 Auflösung

7.3.1 Auflösungsteststifte

7.3.1.1 Zweck

Dieses Dokument enthält eine Reihe von Merkmalen, die zur Bewertung der Fähigkeit der Maschine/des Werkstoffs vorgesehen ist, feine Merkmale mit verschiedenen Seitenverhältnissen herzustellen, die repräsentativ für Merkmale sind, die in tatsächlichen Bauteilen vorliegen können. Der feinste herstellbare Stift kann den Nutzer über das feinste Detail informieren, das auf dem zu untersuchenden System hergestellt werden kann. Die gemessenen Durchmesser der hergestellten Stifte geben Hinweise auf die Genauigkeit des Systems.

7.3.1.2 Geometrie

Einige additive Fertigungsprozesse weisen eine bessere Fähigkeit zur Herstellung feiner Merkmale auf. Der gewählte Testkörper mit Auflösungsteststiften sollte geeignete Größen für die Prüfung des betreffenden Systems bieten. Dieses Dokument enthält drei Sätze von Merkmalen mit jeweils 5 Auflösungsteststiften bei vier verschiedenen Seitenverhältnissen. Die Merkmale mit 5 Stiften sind in einer groben, mittleren und feinen Variante verfügbar. Die groben Stifte liegen im Durchmesserbereich von 4,0 mm bis 0,5 mm (4,0 mm, 3,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm und 0,5 mm). Die mittleren Stifte liegen im Durchmesserbereich von 0,5 mm bis 0,1 mm (0,5 mm, 0,4 mm, 0,3 mm, 0,2 mm und 0,1 mm). Die feinen Stifte liegen im Durchmesserbereich von 0,2 mm bis 0,025 mm (0,2 mm, 0,15 mm, 0,1 mm, 0,05 mm und 0,025 mm). Jeder dieser Sätze von Merkmalen ist mit einem Längen-Durchmesser-Verhältnis von 4:1, 6:1, 8:1 und 10:1 erhältlich. In Bild 5 ist die Geometrie der Variante mit mittleren Stiften im Verhältnis 6:1 dargestellt.

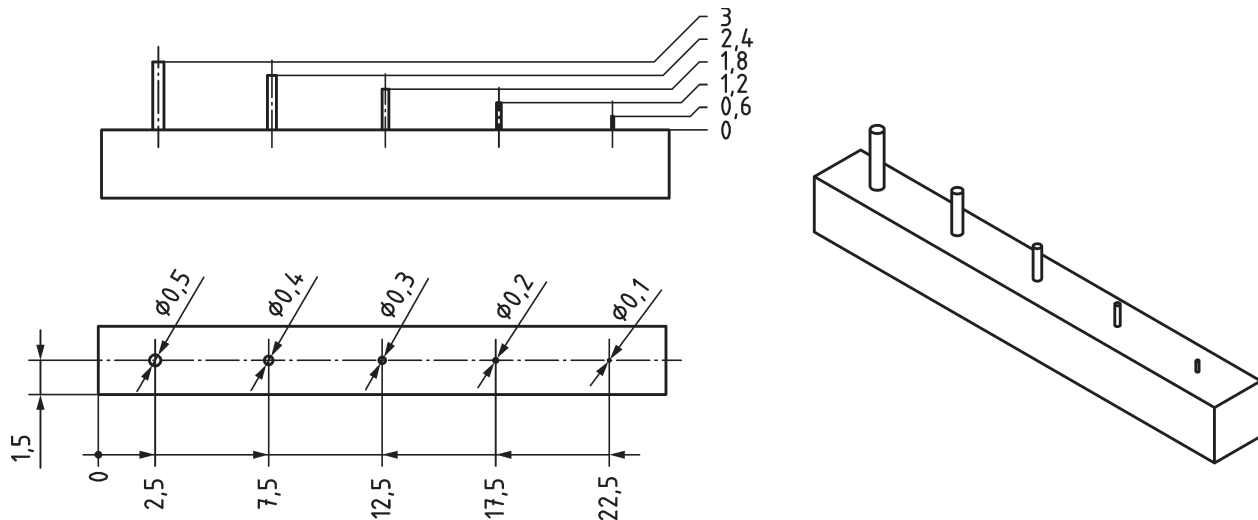


Bild 5 — Technische Zeichnung des Merkmals mit mittleren Auflösungsteststiften bei einem Längendurchmesser-Verhältnis von 6:1

Diese Merkmale sind auch als grobe und feine Merkmale erhältlich.

7.3.1.3 Messungen

Die Hauptmessung an den Merkmalen mit Auflösungsteststiften gilt den Stiftdurchmessern. Die mittleren und feinen Stifte sind in Abständen von 5,0 mm angeordnet, um den Zugang mit dem Objektiv eines optischen Mikroskops oder mit Handmessgeräten (z. B. Messschraube oder -schieber) zu ermöglichen. Optionale Messungen an den Auflösungsteststiften sind die Höhen der Stifte sowie die Zylinderform.

7.3.1.4 Betrachtungen

Es ist nicht vorgesehen, dass der Nutzer alle verfügbaren Auflösungsmerkmale baut. Der Nutzer sollte eine Abschätzung der Auflösung haben, die das zu untersuchende System erreichen kann, und den passenden Satz von Merkmalen auswählen, der diese geschätzte Auflösung abdeckt. Darüber hinaus darf der Nutzer entscheiden, den Satz von Merkmalen nicht mit allen Seitenverhältnissen zu bauen. Es sollte jedoch beachtet werden, dass in bestimmten Systemen (z. B. PBF-Systemen für Metalle) der erreichbare Minstdurchmesser bei verschiedenen Seitenverhältnissen unterschiedlich sein kann.

Übersteigt die abgeschätzte mit dem System erreichbare Auflösung die Größe des Satzes von Merkmalen mit den größten Auflösungsteststiften, können andere Standardtestkörper verwendet werden, um das kleinste erreichbare Merkmal abzuschätzen (z. B. die Vorsprünge von 2,5 mm und 5,0 mm des linearen Testkörpers).

Der kleinste herstellbare Stift kann abhängig von der Baurichtung sein, insbesondere bei der Untersuchung von anisotropen Prozessen (z. B. können bestimmte AM-Technologien eine bessere Auflösung in der XY-Richtung als in der Z-Richtung aufweisen). Daher sollte im AM-Prozess dieser Testkörper in unterschiedlichen Ausrichtungen gebaut werden, z. B. mit den Stiften parallel zur Z-Richtung der Maschine und mit den Stiften parallel zur X-Richtung der Maschine. Es wird empfohlen, dass der Nutzer alle jeweiligen Gründe für die Wahl spezifischer Ausrichtungen vermerken (z. B. wenn eine Ausrichtung als bestimmte Herausforderung für das System oder als günstigstes Szenario gewählt wird).

Bei richtiger Wahl werden einige Stifte des Merkmals erfolgreich vom System gebaut, während andere versagen. Potenzielles Versagen von Stiften sollte bei der Positionierung der Probe im Bauvolumen berücksichtigt werden, um die Beeinträchtigung des Bauprozesses für die verbleibenden Stifte zu vermeiden.

Sind Messungen für solch feine Merkmale nicht einfach verfügbar, sollte der Nutzer nach dem Bau vermerken, welche Stifte vorhanden sind und welche nicht und welche Stifte verformt oder nur teilweise gebaut sind. Diese Beobachtung liefert trotzdem Informationen zur Auflösung des Systems. Wenn alle Stifte vorhanden sind, aber einige denselben Durchmesser aufzuweisen scheinen, sollten die Stifte mit ähnlichem Durchmesser vermerkt werden.

Die Positionen der Stifte auf dem Merkmal können die Messung des Durchmessers in nur einer Richtung zulassen, wenn ein Handmessgerät verwendet wird. Wenn dies die einzige verfügbare Messoption ist, darf der Nutzer die Herstellung von Stiften in Z-Richtung in zwei verschiedenen Ausrichtungen in Betracht ziehen: mit den Stiften parallel zur Z-Richtung der Maschine und dem Grundkörper ausgerichtet auf die X-Richtung der Maschine (ZX) sowie mit den Stiften parallel zur Z-Richtung der Maschine und dem Grundkörper ausgerichtet auf die Y-Richtung der Maschine (ZY).

7.3.2 Auflösungstestlöcher

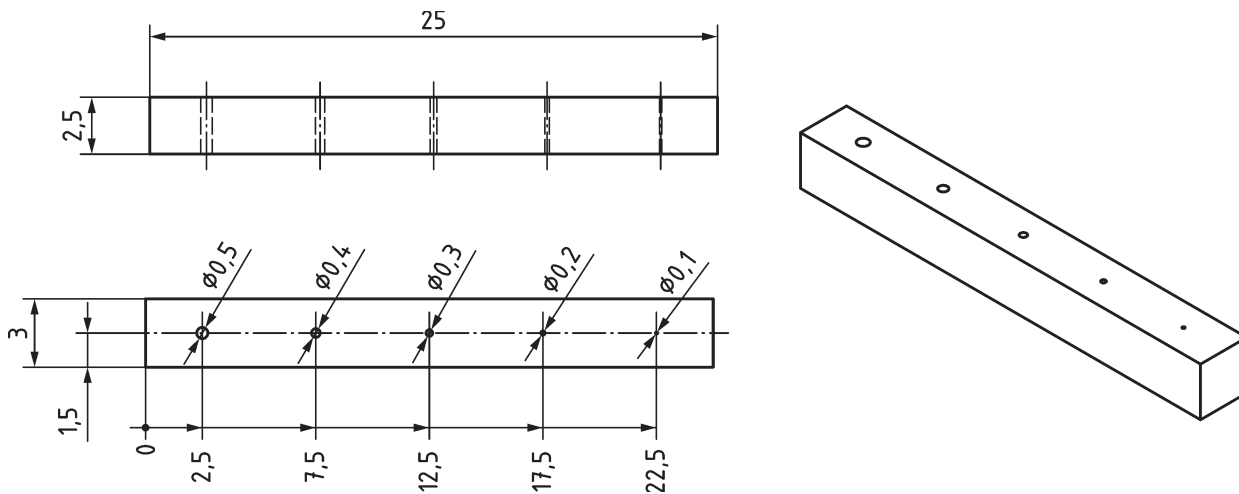
7.3.2.1 Zweck

Dieses Dokument enthält eine Reihe von Merkmalen, die zur Bewertung der kleinsten erreichbaren Größen zylindrischer Merkmale bei verschiedenen Seitenverhältnissen vorgesehen ist. Der kleinste herstellbare Lochdurchmesser kann den Nutzer über das feinste Detail informieren, das auf dem zu untersuchenden System hergestellt werden kann. Die gemessenen Durchmesser der hergestellten Löcher geben Hinweise auf die Genauigkeit des Systems.

Zusätzlich zur Einschätzung der Fähigkeit zur Lochformung liefert dieses Merkmal nützliche Rückschlüsse auf die Fähigkeit, loses Material aus kleinen Löchern zu entfernen.

7.3.2.2 Geometrie

Einige additive Fertigungsverfahren weisen eine bessere Fähigkeit zur Herstellung feiner Merkmale auf als andere. Das gewählte Testmerkmal sollte geeignete Größen für die Prüfung des betreffenden Systems aufweisen. Dieses Dokument enthält drei Sätze von Merkmalen mit jeweils 5 Auflösungstestlöchern. Die Merkmale mit 5 Löchern sind in einer groben, mittleren und feinen Variante verfügbar. Die groben Löcher liegen im Durchmesserbereich von 4,0 mm bis 0,5 mm (4,0 mm, 3,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm und 0,5 mm). Die mittleren Löcher liegen im Durchmesserbereich von 0,5 mm bis 0,1 mm (0,5 mm, 0,4 mm, 0,3 mm, 0,2 mm und 0,1 mm). Die feinen Löcher liegen im Durchmesserbereich von 0,2 mm bis 0,025 mm (0,2 mm, 0,15 mm, 0,1 mm, 0,05 mm und 0,025 mm). Die Höhe des Bauteils beträgt 2,5 mm und die Löcher sind durchgehend. In Bild 6 ist die Geometrie der Variante mit mittleren Löchern dargestellt.



ANMERKUNG Diese Merkmale sind auch als grobe und feine Variante verfügbar.

Bild 6 — Technische Zeichnung des Merkmals mit mittleren Auflösungstestlöchern

7.3.2.3 Messungen

Die Hauptmessung an den Merkmalen mit Auflösungstestlöchern gilt den Lochdurchmessern. Die Löcher sind in Abständen von 5,0 mm angeordnet, um den Zugang mit dem Objektiv eines optischen Mikroskops oder mit Handmessgeräten (z. B. Passstiften) zu ermöglichen. Optionale Messungen für die Auflösungstestlöcher sind die Tiefe, Rundheit (Kreisform) und Zylinderform der Löcher.

7.3.2.4 Betrachtungen

Es ist nicht vorgesehen, dass der Nutzer alle verfügbaren kleinsten Größen von Merkmalen baut. Der Nutzer sollte eine Abschätzung der Auflösung haben, die das zu untersuchende System erreichen kann, und den passenden Satz von Merkmalen auswählen, der diese geschätzte Auflösung abdeckt.

Sind Sacklöcher statt durchgehender Löcher erwünscht, kann der Nutzer die Geometriedatei leicht anpassen, um eine massive ebene Platte unter der Testkörpergeometrie einzuschließen. Wird diese Option gewählt, siehe 5.14. Bei pulverbettbasierten Prozessen kann das Entfernen von Pulver aus kleinen Löchern eine erhebliche Herausforderung sein.

Das kleinste herstellbare Loch kann von der Baurichtung abhängig sein, insbesondere bei Untersuchung anisotroper Prozesse. Daher sollte im AM-Prozess dieser Testkörper in unterschiedlichen Ausrichtungen gebaut werden, z. B. mit den Löchern parallel zur Z-Richtung der Maschine und mit den Löchern parallel zur X-Richtung der Maschine. Nicht orthogonale Ausrichtungen sind ebenfalls zulässig und Nutzer sollten die Auswirkungen von Treppenbildung und Schichtdicke auf die Lochformung berücksichtigen.

Bei richtiger Wahl werden einige Löcher im Merkmal erfolgreich vom System gebaut, während andere versagen. Versagende Löcher werden vermutlich dennoch eine gewisse Oberflächengeometrie aufweisen, unter der Oberfläche jedoch massiv (d. h. gefüllt) sein. Daher muss sorgfältig darauf geachtet werden, das Merkmal über die Oberflächenprüfung hinaus zu untersuchen (z. B. durch Sondieren mit einem Messstift oder mittels anderer zerstörungsfreier Beurteilungstechniken).

Sind Messungen für solch feine Merkmale nicht einfach verfügbar, sollte der Nutzer vermerken, welche Löcher ordnungsgemäß ausgeführt erscheinen, welche nicht vorhanden sind und welche Löcher nach dem Bau gefüllt erscheinen. Diese Beobachtung liefert trotzdem Informationen zur Auflösung des Systems. Wenn alle Löcher

vorhanden sind, aber einige denselben Durchmesser aufzuweisen scheinen, sollten die Löcher mit ähnlichem Durchmesser vermerkt werden.

Die Löcher dürfen für eine Bewertung auf „bestanden“/„nicht bestanden“ mittels Passstiften überprüft werden (d. h., ein Stift mit bestimmtem Durchmesser kann in das Loch eingeführt werden – „bestanden“ – während ein anderer Stift mit geringfügig größerem Durchmesser nicht in das Loch eingeführt werden kann – „nicht bestanden“). Wird dieses Messverfahren gewählt, werden die spezifischen Leitlinien nach Anhang C dringend empfohlen. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass das Vorliegen von unerwünschtem Material innerhalb des Loches ebenso wie die annähernde Tiefe des Loches bewertet werden kann. Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass es nur einen Durchmesserbereich (zwischen den mit „bestanden“ und „nicht bestanden“ bewerteten Durchmessern) statt eines tatsächlichen Lochdurchmessers mit bekannter Messunsicherheit ergibt. Darüber hinaus ist es wahrscheinlich, dass die Löcher nicht perfekt kreisförmig sind, weshalb diese Messung lediglich den größten einbeschriebenen Durchmesser ergibt. Wenn das Loch nicht in ganzer Tiefe ausgeführt ist, sollte der Nutzer die Tiefe des Loches messen und im Bericht angeben (sofern möglich). Die Auflösungstestlöcher der Testgeometrien entsprechen üblichen metrischen Passungen. Alternative Testgeometrien entsprechend englischen Passungen sind ebenfalls erhältlich. Die Fähigkeiten eines AM-Systems können über die Grenzen von Passstiften hinausgehen (d. h. das kleinste herstellbare Loch kann möglicherweise kleiner sein als der kleinste verfügbare Passstift).

7.3.3 Auflösungstestwandung

7.3.3.1 Zweck

Dieses Dokument enthält eine Reihe von Merkmalen, die zur Bewertung der kleinsten mit dem AM-System erreichbaren Wanddicken vorgesehen ist. Die dünnste herstellbare Wandung kann einen Nutzer über das feinste Detail informieren, das auf dem zu untersuchenden System hergestellt werden kann, insbesondere bezüglich dünnwandiger Konstruktionen. Die gemessene Dicke der hergestellten Wandung gibt Hinweise auf die Genauigkeit und Auflösung des Systems.

7.3.3.2 Geometrie

Einige additive Fertigungsverfahren weisen eine bessere Fähigkeit zur Herstellung feiner Merkmale auf. Das gewählte Testmerkmal sollte geeignete Größen für die Prüfung des betreffenden Systems aufweisen. Dieses Dokument enthält drei Sätze von Merkmalen mit jeweils 6 Auflösungstestwandungen. Die Merkmale mit 6 Wandungen sind in einer groben, mittleren und feinen Variante verfügbar. Die groben Wandungen haben eine Wanddicke von 6,0 mm bis 1,0 mm (6,0 mm, 5,0 mm, 4,0 mm, 3,0 mm, 2,0 mm und 1,0 mm). Die mittleren Wandungen haben eine Wanddicke von 1 mm bis 0,1 mm (1,0 mm, 0,8 mm, 0,6 mm, 0,4 mm, 0,2 mm und 0,1 mm). Die Schlitz der feinen Variante haben eine Breite von 0,1 mm bis 0,01 mm (0,1 mm, 0,08 mm, 0,06 mm, 0,04 mm, 0,02 mm und 0,01 mm). Jedes dieser Merkmale ist mit zwei verschiedenen Wandhöhen von 10,0 mm und 20,0 mm verfügbar.

Maße in Millimeter

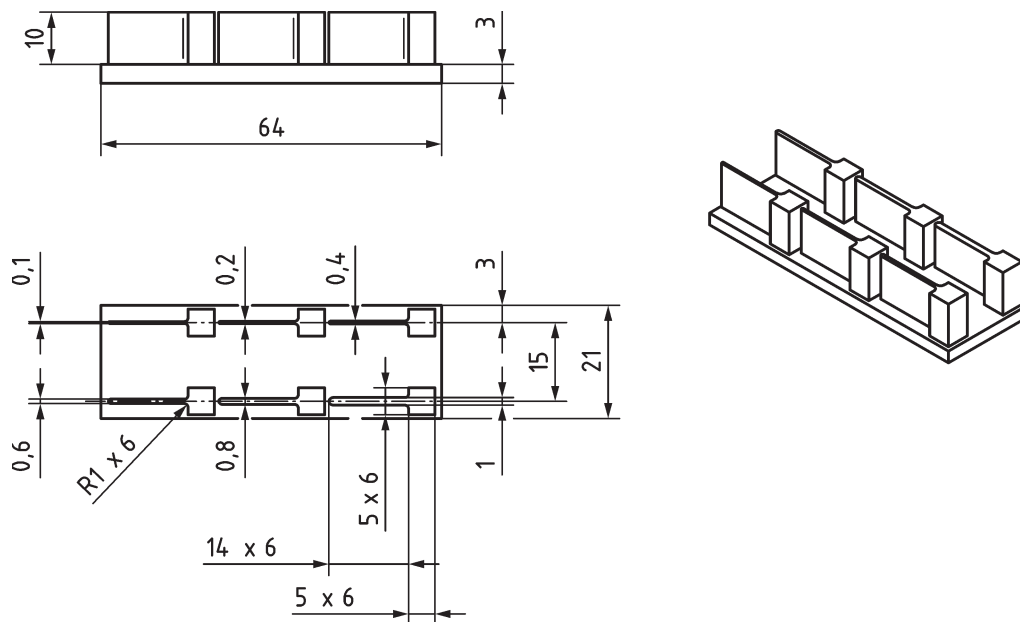
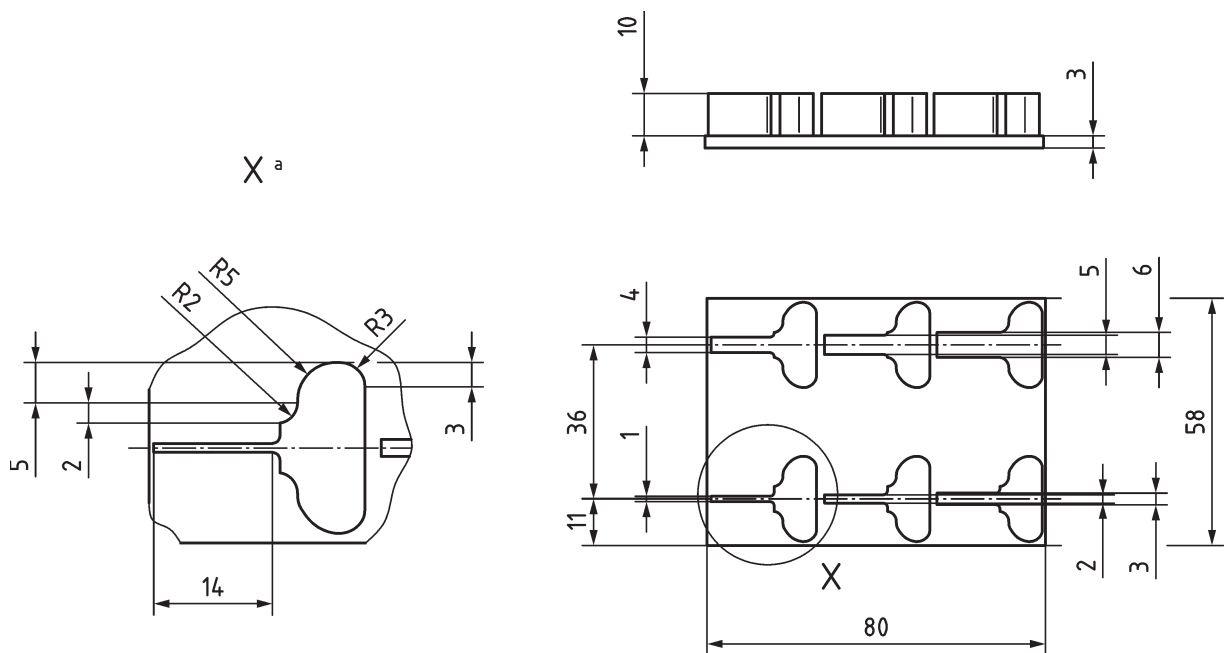


Bild 7 — Technische Zeichnung des Merkmals mit mittleren Auflösungstestwandungen

Diese Merkmale sind auch als grobe und feine Variante sowie mit Wandhöhen von 10,0 mm und 20,0 mm verfügbar.

Jede Wandung jedes Merkmals wird entlang einer Seite der senkrechten Oberfläche von einer größeren Säule gestützt (siehe Bild 7). Diese Säule ist zur Unterstützung der Identifizierung der Lage einer Wandung vorgesehen, die möglicherweise nicht ordnungsgemäß gebaut ist, und zur Verhinderung von Beschädigung der Wandung durch etwaige Beschichtungsprozesse. Die Stützsäule am Merkmal mit grobem Wandungsradius hat eine andere Geometrie (siehe Bild 8). Die Geometrie in der Ebene parallel zum Grundkörper umfasst drei miteinander verbundene Radien oder Bögen. Dies ermöglicht dem Nutzer die Prüfung der Fähigkeit des AM-Systems, eine Profiltoleranz einzuhalten.

Maße in Millimeter



^a Detail A, Maßstab 2: 1 Profil, 6-mal wiederholt.

Bild 8 — Technische Zeichnung des Merkmals mit groben Radius-Auflösungstestwandungen

Ein Nutzer kann dieses Merkmal zur Messung der Profilabweichung verwenden.

7.3.3.3 Messungen

Die Hauptmessung an den Merkmalen mit Auflösungstestwandungen gilt der Wanddicke (Breite) der Wandung. Die Wanddicke sollte an mehreren Stellen entlang der Länge und der Höhe gemessen werden. Messverfahren umfassen u. a. handgehaltene Messschieber oder Messschrauben, kalibriertes optisches Mikroskop und Koordinatenmessgerät (en: coordinate measuring machine, CMM).

Verfügbare optionale Messungen an diesem Testkörper sind die der Länge und Höhe jeder Wandung gemeinsam mit der Geradheit (sowohl seitlich als auch senkrecht) jeder Fläche der Wandungen. Zusätzlich ist eine Profilmessung der Stützsäule an den groben Merkmalen verfügbar.

7.3.3.4 Betrachtungen

Es ist nicht vorgesehen, dass der Nutzer alle verfügbaren Auflösungsmerkmale baut. Der Nutzer sollte eine Abschätzung der Auflösung haben, die das zu untersuchende System erreichen kann, und den passenden Satz von Merkmalen auswählen, der diese geschätzte Auflösung abdeckt.

Ist der Testkörper zu groß für das Bauvolumen einer Maschine, darf der Testkörper vom Nutzer nach Vereinbarung zwischen Käufer und Verkäufer modifiziert werden, um weniger Wandungen auf einen Grundkörper zu bauen.

Die kleinste herstellbare Wandung kann von der Baurichtung abhängig sein, insbesondere bei der Untersuchung anisotroper Prozesse. Daher sollte im AM-Prozess dieser Testkörper in unterschiedlichen Ausrichtungen gebaut werden, z. B. mit der Länge der Wandungen parallel zur X-Richtung der Maschine und mit den Wandungen parallel zur Y-Richtung der Maschine. Aufgrund der Grenzen einiger Prozesse beim Bau ungestützter dünner Wände ist es nicht vorgesehen, den Testkörper mit der Länge der Wandungen parallel zur Z-Richtung zu bauen. Die Ausrichtung dieses Testkörpers im Verhältnis zur Bewegungsrichtung eines

jeglichen Wischers oder Beschichtungssystems sollte berücksichtigt werden, da das Biegen oder Brechen von Wandungen wahrscheinlicher sein kann, wenn diese rechtwinklig zur Wisch- oder Beschichtungsrichtung ausgerichtet sind.

Bei richtiger Wahl werden einige Wandungen der Testgeometrie erfolgreich vom System gebaut, während andere versagen. Dieses Versagen sollte bei der Positionierung der Probe im Bauvolumen berücksichtigt werden.

Sind Messungen für solch feine Merkmale nicht einfach verfügbar, sollte der Nutzer vermerken, welche Wandungen vorhanden sind und welche nicht und welche Wandungen teilweise gebaut oder beschädigt sind (Länge und Höhe von teilweise gebauten oder beschädigten Wandungen können nützlich sein). Diese Beobachtung liefert trotzdem Informationen zur Auflösung des Systems. Wenn alle Wandungen vorhanden sind, aber einige dieselbe Breite aufzuweisen scheinen, sollten die Wandungen mit ähnlicher Breite vermerkt werden.

Die sechs Säulen jedes Merkmals sind nutzbar für die Prüfung der Einheitlichkeit der Profilherstellung.

7.3.4 Auflösungstestschlitz

7.3.4.1 Zweck

Dieses Dokument enthält eine Reihe von Merkmalen, die zur Bewertung der kleinsten erreichbaren Größe eines Schlitzes oder des kleinsten erreichbaren Abstands zwischen zwei Teilen vorgesehen ist. Der feinste herstellbare Schlitz kann einen Nutzer über das feinste Detail informieren, das auf dem zu untersuchenden System hergestellt werden kann. Die gemessene Dicke des hergestellten Schlitzes gibt Hinweise auf die Genauigkeit des Systems.

7.3.4.2 Geometrie

Einige additive Fertigungsverfahren weisen eine bessere Fähigkeit zur Herstellung feiner Merkmale auf. Das gewählte Testmerkmal sollte geeignete Größen für die Prüfung des betreffenden Systems aufweisen. Dieses Dokument enthält drei Sätze von Merkmalen mit jeweils 6 Auflösungstestschlitz. Die Merkmale mit 6 Schlitz sind in einer groben, mittleren und feinen Variante verfügbar. Die Schlitz der groben Variante haben eine Breite von 6,0 mm bis 1,0 mm (6,0 mm, 5,0 mm, 4,0 mm, 3,0 mm, 2,0 mm und 1,0 mm). Die Schlitz der mittleren Variante, in Bild 9 dargestellt, haben eine Breite von 1,0 mm bis 0,1 mm (1,0 mm, 0,8 mm, 0,6 mm, 0,4 mm, 0,2 mm und 0,1 mm). Die feinen Schlitz haben eine Breite von 0,1 mm bis 0,01 mm (0,1 mm, 0,08 mm, 0,06 mm, 0,04 mm, 0,02 mm und 0,01 mm). Jedes dieser Merkmale ist auch mit Wandhöhen von 5,0 mm und als grobe Varianten mit Wandhöhen von 20,0 mm und 10,0 mm und als feine Varianten mit Wandhöhen von 5,0 mm und 10,0 mm verfügbar. für die mittleren und feinen Testkörper. Der Abstand zwischen zwei Schlitz ist konstant: 5,0 mm beim groben Testkörper, 2,0 mm beim mittleren Testkörper und 1,0 mm beim feinen Testkörper.

Maße in Millimeter

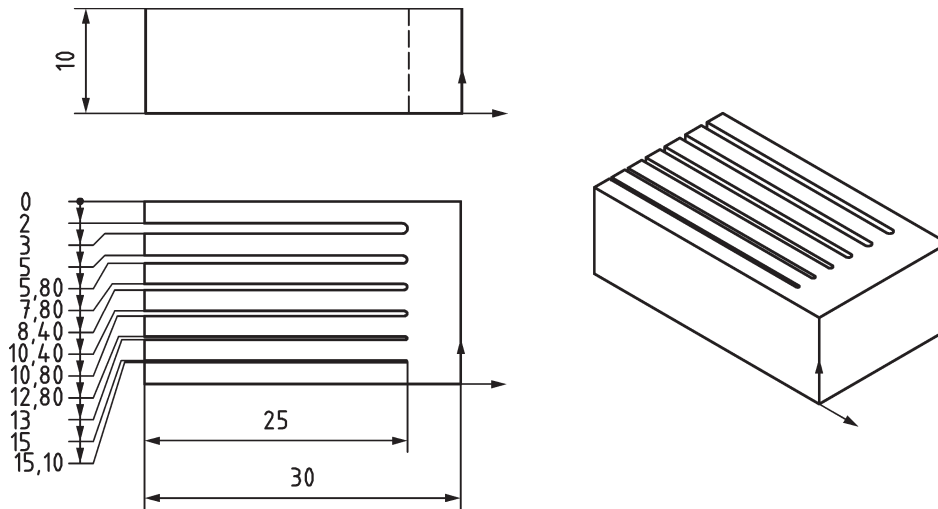


Bild 9 — Technische Zeichnung des Merkmals mit mittleren Auflösungstestschlitzten mit 10,0 mm Wandhöhe

Diese Merkmale sind als grobe und feine Variante auch mit Wandhöhen von 5,0 mm und 10,0 mm verfügbar.

Die Schlitzte werden festgelegt durch den Abstand zwischen zwei Armen, die aus einer massiven Struktur hervortreten, welche alle Arme verbindet. Die obere Oberfläche dieses Verbinders ist parallel zur Grundfläche des Merkmals.

Bei den Merkmalen mit Winkel-Auflösungstestschlitzten ist jeder Arm anders zur oberen Oberfläche des Verbinders geneigt (siehe Bild 10). Dies ermöglicht dem Nutzer die Prüfung der Fähigkeit des AM-Systems, eine Winkeltoleranz einzuhalten.