

DIN EN ISO/ASTM 52953



ICS 25.030

Einsprüche bis 2023-07-05

Entwurf

**Additive Fertigung von Metallen –
Allgemeine Grundsätze –
Registrierung von Geometriedaten aus der Prozessüberwachung und zur
Qualitätskontrolle (ISO/ASTM DIS 52953:2023);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO/ASTM 52953:2023**

Additive manufacturing for metals –
General principles –
Registration of geometric data acquired from process-monitoring and for quality control
(ISO/ASTM DIS 52953:2023);
German and English version prEN ISO/ASTM 52953:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-05-05 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 65 Seiten

DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52953:2023) 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 nationale Normungsgremium ist der Gemeinschaftsarbeitsausschuss NA 145-04-02 GA „Additive Fertigung – NWT, NAS & NL Gemeinschaftsarbeitsausschuss Metalle und Luft- und Raumfahrt“ 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 15530-3	siehe	DIN EN ISO 15530-3
ISO 17295	siehe	DIN EN ISO 17295
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 15530-3, *Geometrische Produktspezifikation und -prüfung (GPS) — Verfahren zur Ermittlung der Messunsicherheit von Koordinatenmessgeräten (KMG) — Teil 3: Anwendung von kalibrierten Werkstücken oder Normalen*

DIN EN ISO 17295, *Additive Fertigung — Grundsätze — Positionierung, Koordinaten und Ausrichtung des Bauteils*

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

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO/ASTM 52953:2023-06

– Leerseite –

Additive Fertigung von Metallen – Allgemeine Grundsätze – Registrierung von Geometriedaten aus der Prozessüberwachung und zur Qualitätskontrolle (ISO/ASTM DIS 52953:2023)

Additive manufacturing for metals – General principles – Registration of geometric data acquired from process-monitoring and for quality control (ISO/ASTM DIS 52953:2023)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
3.1 Abkürzungen	8
4 Bedeutung und Anwendung	9
5 Datenregistrierungsverfahren	9
6 Sensorkategorisierung und Metadatenelemente	10
6.1 Sensorkategorisierung	10
6.2 Metadaten bei der In-situ-Messung	10
6.2.1 Auf Laser-Scanning bezogene Datenelemente	10
6.2.2 Schichtbilder	11
6.2.3 Registrierung von Schmelzbad-Überwachungsbildern	13
6.3 Unsicherheitsquellen	14
7 Datenabgleich mit Koordinatensystemtransformationen	15
7.1 Allgemeines	15
7.2 Übersicht über die Methodik	16
7.3 Schmelzbadbild, Scanpfad und Schichtbildabgleich	17
7.3.1 Allgemeines	17
7.3.2 Abgleich des Schmelzbadbildes mit dem Scanpfad	17
7.3.3 Abgleich des Scanpfads mit der Bauplattform	19
7.3.4 Abgleich des Schichtbildes mit der Bauplattform	20
7.4 Abgleich von Schichtbildern	21
7.5 Schichtbilder zum Abgleich des zugehörigen XCT-Modells	22
7.6 Abgleich des CMM-Modells mit dem CAD-Modell	23
7.7 Globales Koordinatensystem	24
Anhang A (informativ) Kategorisierung von Sensoren und Prüfsystemen	25
Anhang B (informativ) Beispiele für mögliche globale Koordinatensysteme	29
Anhang C (informativ) Kantenanpassung	31
Literaturhinweise	33

Bilder

Bild 1 — Allgemeines Datenregistrierungsverfahren	10
Bild 2 — Datensätze und Koordinatensysteme	16
Bild 3 — Abgleich der Schmelzbadbilder mit dem Scanpfad	18
Bild 4 — Bauplattform-Koordinatensystem	19
Bild 5 — Starrende Kamera und Bauplattform-CS	20
Bild 6 — Koordinatensysteme für die starrende Kamera und die Bauplattform	21
Bild 7 — Abgleich des Schichtbildes mit dem 3D-XCT-Modell	22
Bild 8 — Abgleich des Schichtbildstapels mit dem zugehörigen 3D-XCT-Modell	23
Bild 9 — Abgleich des CMM-Modells mit dem CAD-Modell	24
Bild C.1 — Kantenanpassung	31

Tabellen

Tabelle 1 — Auf Laser-Scanning bezogene Metadatenelemente für die Registrierung	11
Tabelle 2 — Schichtbild-Metadatenelemente für die Registrierung	11
Tabelle 3 — Metadatenelemente zur Schmelzbad-Überwachung für die Registrierung	13
Tabelle 4 — XCT-Metadatenelemente für die Registrierung	13
Tabelle 5 — Nicht erschöpfende Liste von Unsicherheitsquellen	15
Tabelle A.1 — Sensorkategorien und Fehlererkennung — Photogrammetrie	25
Tabelle A.2 — Sensorkategorien und Fehlererkennung — Thermometrie	26
Tabelle A.3 — Sensorkategorien und Fehlererkennung — Prozessüberwachung	26
Tabelle A.4 — Sensorkategorien und Fehlererkennung — Schallaussendung, mechanische Abtastung und Abtastung der Baukammerumgebung	27
Tabelle A.5 — Kategorien von Prüfgeräten und Fehlererkennung	28
Tabelle A.6 — Quellen für die Anregung von Sensoren	28
Tabelle B.1 — Mögliches globales Koordinatensystem — Einzelner Laser, einzelnes Teil	29
Tabelle B.2 — Mögliches globales Koordinatensystem — Einzelner Laserstrahl, einzelnes CAD-Modell und mehrere Teile	29
Tabelle B.3 — Mögliches globales Koordinatensystem — Mehrere Laserstrahlen, mehrere Teile und mehrere CAD-Modelle	29
Tabelle C.1 — Metadatenelemente für die Kantenanpassung	32

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52953:2023) 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 52953:2023 wurde von CEN als prEN ISO/ASTM 52953:2023 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

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

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

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

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

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

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261, *Additive manufacturing*, 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 schaffen, erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Additive Fertigung (AM, en: Additive Manufacturing) ist der allgemeine Begriff für Technologien, bei denen Materialien sukzessive miteinander verbunden werden, um physische Objekte nach den Vorgaben von 3D-Konstruktionsmodelldateien herzustellen. Mit den heutigen AM-Technologien können Teile Schicht für Schicht aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt werden. Die so entstandenen Teile verfügen über komplexe Geometrien, die für Anwendungen in einer Vielzahl von Fertigungsindustrien benötigt werden, in denen durch additive Fertigung hergestellte Teile erhebliche Vorteile bieten oder in denen die Teile nicht mit den herkömmlichen Fertigungstechnologien wie Zerspanung und Schweißen hergestellt werden können.

AM-Maschinen werden mit verschiedenen Arten von Sensoren ausgestattet, die während des gesamten Bauprozesses Daten sammeln. Oft ist jeder einzelne Sensor so ausgelegt, dass er nur eine Art von Messdatensatz in einem einzigen Koordinatensystem erfasst. Die Nutzung dieser Überwachungsdaten für Anwendungen wie die Qualifizierung von durch additive Fertigung hergestellten Komponenten wird verbessert, wenn eine Vielzahl von Sensordatensätzen verwendet und die Daten in der Nachbearbeitungsuntersuchung verglichen werden. Dies erfordert eine multimodale Datensatzregistrierung einschließlich Datenabgleich.

Die Registrierung dieser Datensätze besteht aus der Erfassung der erforderlichen Metadaten und dem Datenabgleich. Ein registrierter Datensatz ermöglicht die Erfassung von Merkmalen aus Daten verschiedener Sensoren, die für die Nachbearbeitungsuntersuchung entsprechend registriert werden können. Diese Merkmale können für eine Reihe von Anwendungen genutzt werden, unter anderem zur Steuerung von Schwankungen bei der Pulververteilung, der Schmelzbadgeometrie, der thermischen Stabilität, der Schichtintegrität, der Fehlererkennung und der Teilequalität.

Ziel dieses Dokuments ist es, ein Verfahren und Methoden zur Registrierung von AM-Daten bereitzustellen, einschließlich:

- a) Zuordnung von validierten Daten zu bekannten Zeitpunkten, Orten und Ursprüngen; und
- b) Datenabgleich für die Prozessüberwachung und -steuerung.

Die laserbasierte Pulverbettfusion für Metalle (PBF-LB/M) wird zur Demonstration des Datenregistrierungsverfahrens verwendet. Das Verfahren kann zur Überwachung anderer AM-Prozesse eingesetzt werden, wie z. B. Materialauftrag mit gerichteter Energieeinbringung, Polymer- oder Keramik-Pulverbettfusion, Freistrahlschmelzen und Photopolymerisation.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument definiert und spezifiziert die Mindestanforderungen für die Registrierung von Daten, die bei der Prozessüberwachung und der Qualitätskontrolle in der additiven Fertigung (AM) erfasst werden, einschließlich der Beschreibung eines Verfahrens.

Darüber hinaus beschreibt dieses Dokument Aktivitäten, die Anwender ausführen müssen, um multimodale AM-Daten zu registrieren und sie in einem geeigneten Repository zu speichern.

Dieses Dokument ist nicht anwendbar für die Bereiche Datenbereinigung, Bildverarbeitung, Kosten, Produktionszeit und Personal.

Dieses Dokument ist nur auf Daten anwendbar, die mit zerstörungsfreien Prüfverfahren und Sensoren, z. B. Röntgen-Computertomographie (XCT), Kameras und Koordinatenmessgeräten (CMM, en: coordinate measuring machines), erfasst und erzeugt wurden.

Dieses Dokument ist nur auf Metallteile anwendbar, die mittels laserbasierter Pulverbettfusion (PBF-LB) und Materialauftrag mit gerichteter Energieeinbringung (DED, en: direct energy deposition) hergestellt wurden. Dennoch können die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren zur Überwachung anderer AM-Prozesse und Materialien (z. B. Polymer- oder Keramik-Pulverbettfusion, Freistrah-Bindemittelauftrag und Photopolymerisation) angewendet werden. Allerdings enthält dieses Dokument dafür keine Daten oder Fallstudien.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

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

Datenabgleich

Prozess der Umwandlung verschiedener Sätze geometrisch oder zeitlich zusammenhängender Daten in ein einziges, gemeinsames Koordinatensystem

3.2

Datenregistrierung

Verfahren zum Abgleich von Daten, zur Aufzeichnung von Metadaten und zur Zuweisung einer dauerhaften Kennung an den abgeglichenen Datensatz

3.3

digitaler Bildsensor

Erkennungsvorrichtung, üblicherweise photoelektrisch, die fotografische Bilder eines Objekts in einem digitalen Format erfasst

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser wird auch als digitaler Bildsensor für sichtbares Licht bezeichnet.

3.4

digitaler Infrarot (IR)-Bildsensor

digitaler Bildsensor, der auf das infrarote Lichtspektrum reagiert.

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser wird auch als digitaler Wärmebildsensor bezeichnet.

3.5

Ex-situ-Prüfung

Messung oder Prüfung des Werkstücks, nachdem es aus der Baukammer entnommen wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Prüfung kann zerstörend sein, wenn es sich bei dem Werkstück um eine Arbeitsprobe für mechanische Prüfungen oder um einen Abtastwert für die mikrostrukturelle Analyse handelt.

3.6

Steuermarkierung

physische Markierung auf einer Bauebene oder einer Schicht, um die Scanspuren relativ zum Bildkoordinatensystem zu verorten

3.7

globales Koordinatensystem

eindeutiges Koordinatensystem, auf das sich alle Daten beziehen

3.8

In-situ-Messung

Messung des Werkstücks während der Verarbeitung in der Baukammer

3.9

starrende Konfiguration

Art der Sensorkonfiguration, bei der ein berührungsloser Sensor innerhalb oder außerhalb der Baukammer angebracht ist, so dass sein Sichtfeld in Bezug auf das Koordinatensystem der Maschine fest ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese wird auch als feste Position, laterale Konfiguration oder außeraxial bezeichnet.

3.10

starrende Kamera

Kamera, die in einer starrenden Konfiguration angebracht ist, die für die Schichtbildgebung oder die Schmelzbadbildgebung verwendet wird

3.11

Schichtbild

Bild der Schicht, aufgenommen mit einer starrenden Kamera

3.12

Schmelzbadbild

Bild des Schmelzbads, das entweder mit einer Koaxialkamera oder einer starrenden Kamera aufgenommen wurde

3.13

dreidimensionales (3D-)Röntgencomputertomographie(XCT)-Modell

3D-Modell, das aus einer Reihe von zweidimensionalen (2D-)Bildern eines mit XCT gescannten Teils erstellt wird

3.1 Abkürzungen

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
AE	Schallaussendung (en: acoustic emission)

CAD	computergestützte Konstruktion (en: computer-aided design)
CCD	ladungsgekoppeltes Bauelement (en: charge-coupled device)
CMOS	komplementärer Metalloxid-Halbleiter (en: complementary metal oxide semiconductor)
CS	Koordinatensystem (en: coordinate system)
HIS	Hyperspektrale Bildgebung (en: hyperspectral imaging)
ID	Identifizierung
LIPS	laserinduzierte Plasmaspektroskopie (en: laser-induced plasma spectroscopy)
LUS	laserinduzierter Ultraschall (en: laser-induced ultrasonic)
LZW	Lempel–Ziv–Welch
MPE	Fehlergrenzen (en: maximum permissible error)
OCT	optische Kohärenztomographie (en: optical coherence tomography)
PBF-LB/M	laserbasierte Pulverbettfusion für Metalle (en: laser-based powder bed fusion for metals)
SD	Kugelabstand (en: sphere distance)
TIFF	Tag Image File Format
XCT	Röntgen-Computertomographie (en: X-ray computer tomography)

4 Bedeutung und Anwendung

Dieses Dokument enthält Methoden und Verfahren, mit denen Anwender Messungen und zugehörige Metadaten registrieren können, die sie für die genaue Qualifizierung komplexer, durch additive Fertigung (AM) hergestellter Metallteile benötigen. Die registrierten Daten erfüllen drei weitere Ziele des Anwenders: Erkennen von Instabilitäten im AM-Prozess, Vorhersage ihrer Auswirkungen auf die Qualität der Teile und Implementierung von Prozesskontrollen, sofern erforderlich und möglich. Die registrierten Daten können mit den folgenden Methoden erfasst werden: In-situ-Photogrammetrie, Thermographie, Pyrometrie, Ex-situ-XCT, CAD-Modelle und die dazugehörigen Metadaten. Diese Datensätze werden aus einer Vielzahl von Quellen erzeugt, z. B. aus Schmelzbadbildern, Scanpfaden, Schichtbildern und XCT-3D-Modellen.

Dieses Dokument ermöglicht die Entwicklung von Software zur Datenregistrierung. Die Software kann Anwendern bei der Registrierung der Daten helfen, die zur Validierung der AM-Systemzustände, zur Optimierung der Prozessparameter und zur Kontrolle der Teilequalität benötigt werden. Datenanalyse- und Steuerungssoftware kann so angepasst werden, dass sie registrierte Daten von einer breiten Palette von Messinstrumenten, vor allem von bildgebenden Sensoren, umfassend nutzt.

5 Datenregistrierungsverfahren

Wie in Bild 1 dargestellt, muss das Datenregistrierungsverfahren mit der Erfassung von Metadaten beginnen, die Informationen über Sensoren und deren Einstellungen enthalten (siehe Abschnitt 6). Dann müssen die In-situ- und Ex-situ-Erfassung, die Datenbereinigung und die Zuordnung der Kennung zu den Daten in genau dieser Reihenfolge erfolgen. Die Datenkennungen sollten nach ISO/IEC 9834-8 oder einem unternehmensspezifischen Schema vergeben werden. Der Datenabgleich umfasst sowohl den zeitlichen als auch den räumlichen Abgleich. Beim räumlichen Abgleich müssen die Sensordaten von ihrem ursprünglichen, lokalen Koordinatensystem in ein globales Koordinatensystem übertragen werden, in dem alle Daten korrekt verglichen und zusammengeführt werden können. Abgegliche Datensätze werden als Eingaben für Datenanalysesoftware verwendet, mit der Voraussagen getroffen werden, die für die Entscheidungsfindung und Kontrolle erforderlich sind.

Obwohl die Datenbereinigung nicht in den Anwendungsbereich fällt, kann sie ein Teil der Datenregistrierung sein.

Zu den Beispielen für die Datenbereinigung in einem Bild gehören unter anderem die Korrektur der Skalierung aufgrund von Perspektiven, die Korrektur von Verzerrungen aufgrund der Objektiveometrie, die Handhabung von unempfindlichen/toten Pixeln, der Offset-Verstärkung durch Laser Speckles, die Entrauschung und die Gammakorrektur. Die Bildverarbeitung liegt außerhalb des Anwendungsbereichs.

Einige Beispiele für die Bildverarbeitung sind unter anderem die Schwellenwertberechnung, das Entfernen von Spritzern, die Entfernung von Fahnen und die Entfernung von XCT-Artefakten.

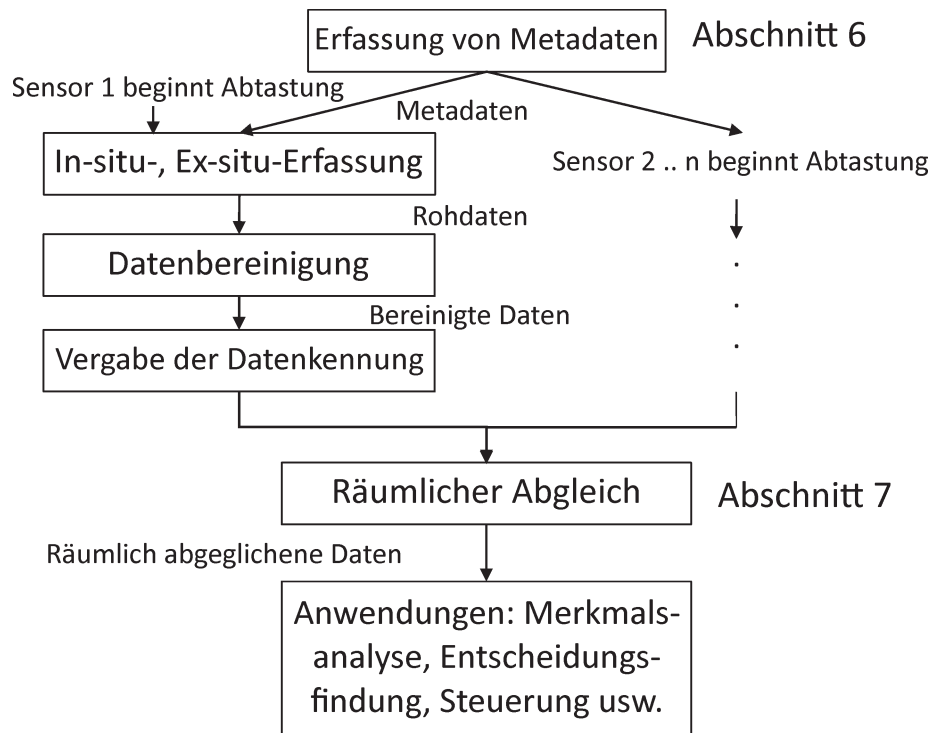


Bild 1 — Allgemeines Datenregistrierungsverfahren

6 Sensorkategorisierung und Metadatenelemente

6.1 Sensorkategorisierung

Für die Entwicklung eines Datenregistrierungsverfahrens ist in diesem Abschnitt eine Kategorisierung der derzeit verwendeten Sensoren für die In-situ-Überwachung und die Ex-situ-Prüfung enthalten. Weitere Einzelheiten sind in Anhang A aufgeführt. XCT-Koordinatenmessgeräte als Ex-situ-Messgeräte sind ebenfalls in Anhang A aufgeführt.

6.2 Metadaten bei der In-situ-Messung

6.2.1 Auf Laser-Scanning bezogene Datenelemente

Die auf das Laser-Scanning bezogenen Datenelemente müssen räumliche Referenzen für den räumlichen Abgleich von In-situ-Messungen von verschiedenen Sensoren liefern. Das prozessorientierte Verfahren zur Registrierung von Scan-Strategien basiert auf dem Scan, den Positionen der Laserpunkte, der Laserleistung und dem Timing des Kameraauslösers. Dieses Verfahren muss in erster Linie verwendet werden, um die Position und den Zeitpunkt der Aufnahme eines Bildes durch eine Kamera zu registrieren. Die erforderlichen Datenelemente sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 — Auf Laser-Scanning bezogene Metadatenelemente für die Registrierung

Datenelement	Beschreibung
Maschinen-ID	Eindeutige Kennung der AM-Maschine.
Bau-ID	Eindeutige Kennung des zugehörigen Baus.
Teil-ID	Eindeutige Kennung des zugehörigen Teils.
Scanning-ID	Eindeutige Kennung des zugehörigen Scans im Bau.
Schichtnummer	Die gedruckte Schichtnummer.
Befehlszeitpunkt, t	Der Zeitpunkt, zu dem ein Positionsbefehl gesendet wird.
Scanpositionen (x_i, y_i)	Die vorgegebene Position des Laserstrahls, $i = 1 \dots n$. Wahlweise mit eingeschaltetem oder ausgeschaltetem Laser an der Scanposition. Wenn der Laser eingeschaltet ist, muss die Laserleistung (W) angegeben werden.
Schmelzlaserstrahl-ID	Die Kennung des Schmelzlaserstrahls in einem Mehrlaserstrahlsystem, mit dem die Messung durchgeführt wird, sofern ein Mehrlaserstrahlsystem verwendet wird. Wenn es sich um ein System mit einem einzigen Schmelzlaserstrahl handelt, ist dieses Datenelement nicht erforderlich.
Programmierte Scangeschwindigkeit, V (mm/s)	Die Geschwindigkeit des Laserstrahls, wie sie in der Scan-Befehlsdatei programmiert wurde.
Tatsächliche Scangeschwindigkeit (A mm/s) (optional)	Die Geschwindigkeit des Laserstrahls, berechnet aus den tatsächlichen Galvanometerpositionen und der Probenahmedauer. A ist optional, wenn die programmierte Scangeschwindigkeit (V) ausreichend ist.

Für die allgemeine Registrierung von Metadaten siehe ISO/IEC 11179-4, F3049 und SAE AMS 7003 für laserbasierte Pulverbettfusionsprozesse. Für eine Norm für Sensornetzwerke, siehe ISO/IEC 20005. AM-Metadatenformate sind in ASTM F3490 enthalten. Einige allgemeine Metadatenformate sind in OCG Sensor ML enthalten. [10]

6.2.2 Schichtbilder

Wenn bei der Überwachung des Aufbaus einer Schicht Schichtbilder verwendet werden, müssen Stapel (oder Ordner) solcher 2D-Bilder unter Verwendung der Datenelemente in Tabelle 2 registriert werden. Solche Stapel beschreiben effektiv einen Volume-Datensatz.

Es können ein oder mehrere optische Bilder für vor- oder nachgescannte Pulverschichten aufgenommen werden.

Tabelle 2 — Schichtbild-Metadatenelemente für die Registrierung

Datenelement	Beschreibung
Bildname	Der Name des Bildes oder Videos.
Bild-ID	Eine eindeutige ID-Nummer des Bildes oder Videos
Schichtnummer	Die Schichtnummer dieses Bildes (möglicherweise identisch mit der Bild-ID). Die Schichtnummer 0 muss der Grundplatte zugewiesen werden und die Schichtnummer 1 der ersten Schicht der Pulververteilung.
Zeit (s)	Der Zeitpunkt, zu dem das Bild aufgenommen wurde, bezogen auf den Startzeitpunkt des Scans.
Baukammertemperatur	Temperatur des Baus bei thermischem Gleichgewicht, °C.
Blitzlicht-Bedingung	Wenn eine externe Beleuchtung verwendet wird, eine Beschreibung der Ausrichtung der Beleuchtung in Bezug auf das Maschinen-CS.
Sensor-ID	Die Kennung des Bildsensors.

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Datenelement	Beschreibung
Beschreibung des Sensors	Sensortyp (z. B. InSb, CMOS, Photodiode), Erwerbsdatum, Wellenlängenbereiche, Informationen zur Objektivverzerrung und andere Spezifikationen, einschließlich Filter und Anregungsquellen (siehe Tabelle A.6).
Informationen zur Sensorkalibrierung	Das Datum der Kalibrierung, die Art und die Methode der Kalibrierung, z. B. perspektivische Transformationen, Pixelkala und Skalierung der Intensitätswerte von der ursprünglichen Bittiefe.
Datentyp (oder Bittiefe)	Die Anzahl der Schichten auf der Graustufen- oder Farbskala, z. B. 8 Bit, die die Anzahl der rechnerisch möglichen Intensitätsstufen angibt.
Informationen zur Komprimierung	Informationen über die im Dateiformat angewandte Komprimierung, z. B. TIFF und LZW.
Bildgröße	Form des Bildes nach der Kalibrierung, in Pixelzahlen in <i>x</i> und <i>y</i> im lokalen CS. Es wird angenommen, dass die Höhe des Bildes in erster Annäherung der Tiefe der Bauplatte entspricht (nachfolgende Offsets beachten).
Tatsächliche Dicke der abgebildeten Schichten	Vertikale Abstände zwischen den Bildern des Stapels. Wenn tatsächliche Abstände verwendet werden, müssen diese durch einen Kalibrierungsprozess bestätigt werden, insbesondere da die Dicke der erzeugten Schicht von der Dicke der Pulververteilung abweichen kann; daher können die Abstände zwischen den Bildern der Schicht und die Abstände zwischen den Bildern des Baus unterschiedlich sein. Wenn eine vordefinierte Schichtdicke verwendet wird, sollte dies vermerkt werden.
Multiplikatoren für die Schichtdicke	Nicht jede gedruckte Schicht muss abgebildet werden. Wenn dies der Fall ist, muss ein Multiplikator (> 1) für die Nenndicke verwendet werden. Der Multiplikator muss eine ganze Zahl sein.
Rotations-Offsets im erzeugten Koordinatensystem	Die drei Winkel, die einen möglichen Winkelversatz zwischen dem (neu zugeordneten) CS der Kamera (lokal) und dem CS der Bauplatte berücksichtigen, der möglicherweise durch einen Kalibrierungsprozess ermittelt werden muss.
Übertragungs-Offsets im erzeugten Koordinatensystem	Lineare Offsets, die mögliche Unterschiede zwischen dem CS-Ursprung der Kamera und dem CS-Ursprung der Bauplatte berücksichtigen, einschließlich der Unterschiede, die durch die potenzielle Verwendung eines relevanten Bildgebungsbereichs oder von Stützstrukturen unter Teilen verursacht werden. Muss möglicherweise durch einen Kalibrierungsprozess ermittelt werden.
Geschätzte Positionsunsicherheit	Der Fehler der angegebenen Positionen, der z. B. die Ergebnisse eines geometrischen Standardkalibrierungsprozesses widerspiegelt.
Geschätzte Unsicherheit der Intensität	Der Fehler der angegebenen Intensitäten, der z. B. die Ergebnisse einer standardmäßigen Sensorrausch- und Intensitätskalibrierung widerspiegelt.
Methode zur Schätzung der Unsicherheit	Beschreibung des Ansatzes für die Schätzung der Positions- und Intensitätsunsicherheit.

Die Datenelemente in Tabelle 2 beziehen sich auf die Daten des Kamerasystems nach der Kalibrierung und wurden vom Hersteller bereitgestellt.

Einzelheiten zu den Kalibrierungsroutinen liegen außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Verfahrens, da der Hauptfokus dieses Verfahrens auf der Unterstützung von AM-Anwendern liegt.

Ein Integrator, der eine Kamera zur Beobachtung des Baus einrichtet, muss die Rohdaten der Kamera vorverarbeiten, um die in Tabelle 2 aufgeführten Datenelemente bereitzustellen.

Die Einzelheiten der Kalibrierungsroutinen werden sich zwangsläufig auf die pixelweise erfolgenden Unsicherheitsschätzungen auswirken und sollten bei der Datenregistrierung beurteilt werden. Eine derart detaillierte Beurteilung liegt außerhalb des Anwendungsbereichs, da die vollständige und generische Festlegung von Eingaben zur Ermittlung ganzheitlicher Unsicherheitsschätzungen nicht im Vordergrund dieses Dokuments steht.

Eine Unsicherheitsschätzung erster Ordnung sollte jedoch aus den enthaltenen Datenelementen zur Unsicherheitsschätzung gewonnen werden können. Siehe 6.4.

6.2.3 Registrierung von Schmelzbad-Überwachungsbildern

Schmelzbad-Überwachungsbilder werden üblicherweise als einzelne Videobilder mit einer Hochgeschwindigkeitskamera (Bilder/s) aufgenommen, die je nach Region Tausende von Bildern je Schicht erfassen kann. Die Bilder werden üblicherweise in einem digitalen Ordner gespeichert. Die für die Registrierung erforderlichen Datenelemente sind in Tabelle 3 aufgeführt. Bei einem Mehrlaserstrahl-Scansystem hat jeder Schmelzlaserstrahl eine bestimmte Region zu scannen. Der Schmelzlaserstrahl muss eine eindeutige Kennung haben. Die Scanzeit muss sich auf den Startzeitpunkt des Mehrlaserstrahlsystems beziehen.

Tabelle 3 — Metadatenelemente zur Schmelzbad-Überwachung für die Registrierung

Datenelement	Beschreibung
Bildname	Der Name des Bildes.
Bild-ID	Eine eindeutige Kennung des Bildes.
Auslösezeit	Der Zeitpunkt, zu dem die Kamera zur Aufnahme des Bildes ausgelöst wird, z. B. basierend auf den Scan-Befehlen, programmiert im csv-Format.
Sensor-ID	Die Kennung des Bildsensors.
Beschreibung des Sensors	Sensortyp (z. B. InSb, CMOS, Photodiode), Erwerbsdatum, Wellenlängenbereiche, Informationen zur Objektivverzerrung und andere Spezifikationen, einschließlich Filter und Anregungsquellen (siehe Tabelle A.6).
Sensorinstallation	Installationsdatum, Installationsunternehmen.
Sensorkonfigurations-ID	Identifizierung der Sensorkonfiguration (koaxial oder starrend).
Sichtfeld	Der Sichtbereich (mm × mm) im CS der Maschine.
Fenstergröße	Größe des Detektorfensters (Pixel × Pixel).
Beschnitten	(J/N)
	Falls ja, müssen die vier Kanten der untersuchten Region definiert werden.
Pixelabstand	Die Breite eines Pixels (nm/Pixel).
Vergrößerung	Vergrößerungsfaktor.
Datentyp (Bittiefe)	Die Anzahl der Graustufen, zum Beispiel 16 Bit.
Bandbreite des optischen Filters	Minimale und maximale Wellenlängen in nm.
Gamma-Korrektur	Die Position des Gamma-Schiebereglers im Bildausschnitt.
Informationen zur Sensorkalibrierung	Das Datum der Kalibrierung, die Kalibrierungsmethode, die Person, die die Kalibrierung durchgeführt hat, und die Kalibrierungsdaten.

Metadatenelemente für Ex-situ-XCT-Messungen

Anhand von mit XCT gescannten Bildern (2D-Projektionen) muss ein 3D-Modell rekonstruiert werden, das das additiv gefertigte Teil darstellt, um Poren und die Abmessungen der internen Merkmale zu erkennen. Die XCT-Datenelemente sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4 — XCT-Metadatenelemente für die Registrierung

Datenelement	Beschreibung
XCT-Scanner-ID	Die Kennung des verwendeten XCT-Geräts.
Quell-ID	Die Kennung der verwendeten XCT-Quelle (bei Systemen mit mehreren Quellen).
Detektor-ID	Die Kennung des verwendeten XCT-Detektors (bei Systemen mit mehreren Detektoren).
Scan-ID	Die Kennung des XCT-Scans.

Tabelle 4 (fortgesetzt)

Datenelement	Beschreibung
Volumen-ID	Die Kennung des rekonstruierten Volumens (kann mit der Scan-ID identisch sein).
Teil-ID(s)	Die ID(s) des/der aufgenommenen Teils/Teile.
Zeit- und Datumsstempel	Angabe des Zeitpunkts, zu dem der Scan abgeschlossen wurde (erleichtert die Rückverfolgbarkeit der Phase in der Herstellungsprozesskette, in der der Scan abgeschlossen wurde).
Probentemperatur	Temperatur der Probe im Scanner, relevant bei Abweichung von den standardmäßigen 20 °C.
Geometrische Spezifikationen des XCT-Scanners, MPE (SD)	Als Angabe für die geometrische Konformität der generierten Datenmengen sind die Fehlergrenze (MPE) und der Kugelabstandsfehler (SD-Fehler) geeignete Kennzahlen. Um den Anwendern die Möglichkeit zu geben, geometrische Verzeichnungen zu beurteilen, geben die Systemhersteller dies für Systeme mit metrologischer Qualität an, wie in ISO 10360:11 festgelegt.
Informationen zur Systemkalibrierung	Das Kalibrierungsdatum, das verwendete Referenz-Artefakt, das Datum der letzten Referenzmessung sowie die Gültigkeitsgrenzen der Kalibrierung für den abgeschlossenen Scan.
Schätzung der geometrischen Unsicherheit	Sofern verfügbar, Schätzung der voraussichtlichen Messunsicherheit, Beschreibung des angewendeten Verfahrens (mit dem Hinweis, dass dies ein Bereich fortlaufender Forschungs- und Normungsbemühungen ist, z. B. auf der Grundlage von ISO 15530:3).
Datentyp (Bittiefe)	Die Anzahl der Graustufen, zum Beispiel 16 Bit.
Informationen zur Komprimierung	Sofern relevant, Informationen über die im Dateiformat angewandte Komprimierung, z. B. TIFF und LZW.
Volumen Höhe, Breite und Tiefe	Form des Volumens in Anzahl der Pixel.
Ordnung der Achsen	Reihendominiert oder spaltendominierte für 1D-Datenformate.
Voxelgröße (skalierte volumetrische Pixelgröße)	Physikalische Ausdehnung der 3D-Pixel.
Schichtdicke (µm)	Falls der fächerförmige Strahl angewendet wird, die Dicke eines Scans. Die Scanebene muss sich in der Mitte der Schicht befinden.

6.3 Unsicherheitsquellen

Die von den Sensoren erfassten Daten sind immer mit Unsicherheit behaftet. Einige wichtige Unsicherheitsquellen für die beschriebenen Datenquellen sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5 — Nicht erschöpfende Liste von Unsicherheitsquellen

Sensortyp	Unsicherheitsquelle
Kamera	<ul style="list-style-type: none">— Änderung des Betrachtungswinkels aufgrund der Installation.— Der Vergrößerungsfaktor variiert aufgrund des Betrachtungswinkels.— Sichtfeld aufgrund des Betrachtungswinkels.— Variation im Fokus des Objektivs.— Änderungen an der Optik (Verstellen, Ändern des Fokus und/oder der Blende aufgrund von Vibrationen, wenn diese nicht feststehend sind).— Montage bei der Installation und Wiedermontage im Falle einer Wartung.— Im Falle der koaxialen Bildgebung und der F-Theta-basierten Optik gibt es zwei mögliche Unsicherheitsquellen: (1) Fokusverschiebung in der Z-Achse in Abhängigkeit von der Wellenlängenempfindlichkeit der Kamera im Vergleich zur Laserwellenlänge (d. h. chromatische Aberration in z-Richtung) und (2) chromatische Aberration in x- oder y-Richtung oder in beiden Richtungen in Abhängigkeit von der spektralen Empfindlichkeit der Kamera im Vergleich zur Laserwellenlänge einschließlich Drehung des Bildes.— Geometrische Korrektur (Kalibrierungsverfahren der Kamera, z. B. extrinsische und intrinsische Matrizen).
XCT-Scanner	<p>Faktoren, die die Geometrie der Voxel beeinflussen:</p> <ul style="list-style-type: none">— Neigungen des Detektors— Krümmung des Detektors— Fehlausrichtungen der Rotationsachse— Fokusabweichung der Quelle <p>Faktoren, die die Bestimmung von Kanten im Volumen beeinflussen:</p> <ul style="list-style-type: none">— Strahlhärtung— Streuung von Röntgenstrahlen— Bildrauschen— Streifende Artefakte aufgrund von Photonenmangel
Laserpunkt	<ul style="list-style-type: none">— Der Standort relativ zu den Koordinaten der Bauplatte in x- und y-Richtung.— Fehlerhafte Positionen an den Scanner gesendet, um optische und zeitliche Verzerrungen zu beseitigen.— Die optischen Verzerrungen ändern sich mit der Zeit und bei Temperaturschwankungen.
Galvo-Scanner	<ul style="list-style-type: none">— Die tatsächliche Position des Laserpunkts in x- und y-Richtung relativ zu den Koordinaten der Bauplatte in x- und y-Richtung kann von der vorgegebenen Position abweichen.
Schmelzbadbild	<ul style="list-style-type: none">— Der Laserpunkt bewegt sich, während die Kamera ein Bild aufnimmt. Das Schmelzbad verändert sich während der Belichtung ständig. Die Unsicherheit muss in Form, Größe und Intensität des Schmelzbadbildes eingebettet sein.

7 Datenabgleich mit Koordinatensystemtransformationen

7.1 Allgemeines

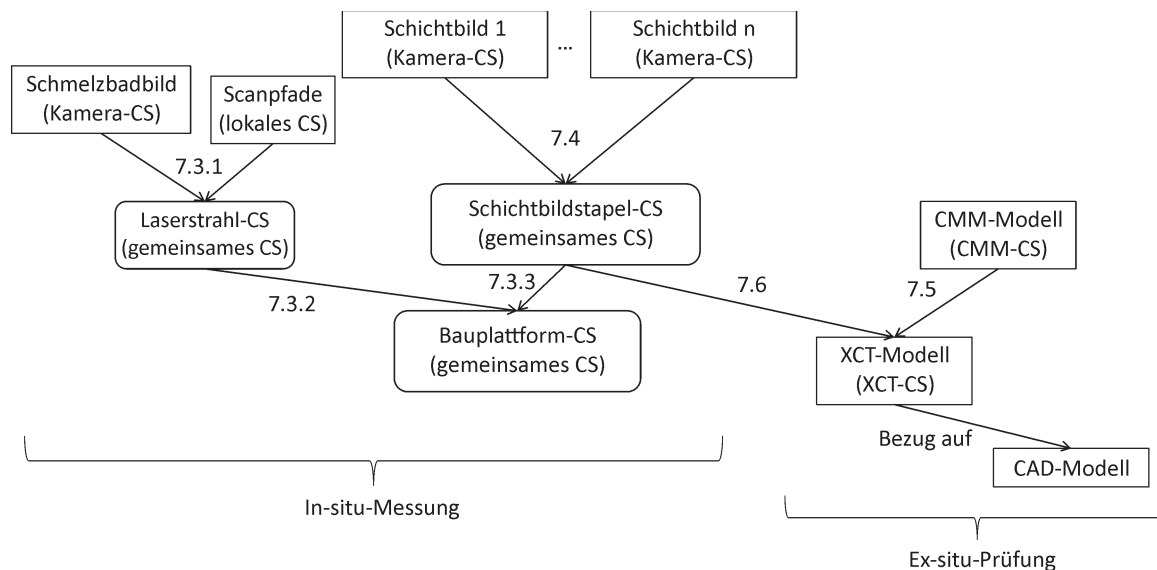
Jeder Sensordatensatz befindet sich in seinem eigenen, lokalen Koordinatensystem (CS). Verwandte Sensordatensätze und ihre lokalen CS müssen in ein einziges, gemeinsames CS transformiert werden. Diese Koordinatentransformation wird als Datenabgleich bezeichnet.

7.2 Übersicht über die Methodik

Die Methodik zum Abgleich von Datensätzen in verschiedenen CS erfordert sowohl ein Datenregistrierungsverfahren als auch Verfahren zur Koordinatentransformation. Das Datenregistrierungsverfahren umfasst die folgenden drei Schritte:

- a) Identifizierung der Präzedenzbeziehungen zwischen zwei verschiedenen Datensätzen und Auswahl des gemeinsamen kartesischen CS, in das sie aufgenommen werden müssen.
- b) Für jeden Datensatz die Definition sowohl der zu registrierenden Bezugsmerkmale als auch der Präzedenzrelationen. Bezugsmerkmale werden verwendet, um einen Bezugsmerkmalrahmen für das gemeinsame, kartesische CS herzustellen. Die Präzedenz kann ein primärer Bezugspunkt, ein sekundärer Bezugspunkt, ein tertiärer Bezugspunkt usw. sein. Ein Bezugsmerkmal wird aus Stabilitätsgründen bevorzugt. Wenn es nicht stabil ist, muss der Anwender einen Bezugspunkt oder einen Bereich möglicher Bezugspunkte wählen, der dem jeweiligen Bedarf entspricht.
- c) Verwendung der Bezugsmerkmale mit ihrer Präzedenz zur Festlegung des gemeinsamen CS. Der Datensatz kann dann durch Anwendung einer mathematischen Koordinatentransformation von seinem lokalen CS in das gemeinsame, kartesische CS übertragen werden.

Insbesondere stellt dieser Abschnitt die Datentransformationen zwischen In-situ- und Ex-situ-Datensätzen bereit, um eine Kette von Beziehungen herzustellen, die in Bild 2 beschrieben sind.



Legende

7.3.1 ...7.6 Nummern der Unterabschnitte

Bild 2 — Datensätze und Koordinatensysteme

Das Verfahren zum Abgleich von In-situ-Datensätzen ist in 7.3 beschrieben. Das Verfahren muss die folgenden Schritte umfassen:

- a) Abgleich eines Schmelzbadbildes mit dem CS-Abgleich des Scanpfads wie in 7.3.1 beschrieben;
- b) Abgleich des Scanpfad-CS mit dem Laserstrahl-CS mit dem Bauplattform-CS wie in 7.3.2 beschrieben;
- c) Abgleich des Schichtbildes mit dem Bauplattform-CS wie in 7.3.3 beschrieben;
- d) Abgleich einzelner Schichtbilder zu einem Bildstapel wie in 7.4 beschrieben;