

	DIN EN ISO/ASTM 52939	
<p>ICS 25.030</p> <p>Additive Fertigung für das Bauwesen – Grundsätze der Qualifizierung – Struktur- und Infrastrukturelemente (ISO/ASTM 52939:2023); Deutsche Fassung EN ISO/ASTM 52939:2023</p> <p>Additive Manufacturing for construction – Qualification principles – Structural and infrastructure elements (ISO/ASTM 52939:2023); German version EN ISO/ASTM 52939:2023</p> <p>Fabrication additive pour la construction – Principes de qualification – Éléments de structure et d’infrastructure (ISO/ASTM 52939:2023); Version allemande EN ISO/ASTM 52939:2023</p> <p>Gesamtumfang 61 Seiten</p> <p>DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT)</p>		

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO/ASTM 52939:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261 „Additive manufacturing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 438 „Additive Fertigungsverfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

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

Hinweis zum Begriff 3.7: In der englischen Referenzfassung wird in dieser Definition auf 3.7 verwiesen, die physische Produktion wird allerdings in 3.6 definiert.

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

ISO 4413	siehe	DIN EN ISO 4413
ISO 9001	siehe	DIN EN ISO 9001
ISO 10218-1	siehe	DIN EN ISO 10218-1
ISO 10218-2	siehe	DIN EN ISO 10218-2
ISO 11403-3	siehe	DIN EN ISO 11403-3
ISO 12100	siehe	DIN EN ISO 12100
ISO 13849-1	siehe	DIN EN ISO 13849-1
ISO 13849-2	siehe	DIN EN ISO 13849-2
ISO 13850	siehe	DIN EN ISO 13850
ISO 13854	siehe	DIN EN ISO 13854
ISO 13857	siehe	DIN EN ISO 13857
ISO 14001	siehe	DIN EN ISO 14001
ISO 14118	siehe	DIN EN ISO 14118
ISO 14119	siehe	DIN EN ISO 14119
ISO 14120	siehe	DIN EN ISO 14120
ISO/ASTM 52900	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52900
ISO/ASTM 52901	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52901
ISO/ASTM 52902	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52902
ISO/ASTM 52950	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52950
ISO/IEC 27001	siehe	DIN EN ISO/IEC 27001

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 4413, *Fluidtechnik — Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Hydraulikanlagen und deren Bauteile*

DIN EN ISO 9001, *Qualitätsmanagementsysteme — Anforderungen*

DIN EN ISO 10218-1, *Industrieroboter — Sicherheitsanforderungen — Teil 1: Roboter*

DIN EN ISO 10218-2, *Industrieroboter — Sicherheitsanforderungen — Teil 2: Robotersysteme und Integration*

DIN EN ISO 11403-3, *Kunststoffe — Ermittlung und Darstellung von vergleichbaren Vielpunkt-Kennwerten — Teil 3: Umgebungseinflüsse auf Eigenschaften*

DIN EN ISO 12100, *Sicherheit von Maschinen — Allgemeine Gestaltungsleitsätze — Risikobeurteilung und Risikominderung*

DIN EN ISO 13849-1, *Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen — Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze*

DIN EN ISO 13849-2, *Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen — Teil 2: Validierung*

DIN EN ISO 13850, *Sicherheit von Maschinen — Not-Halt-Funktion — Gestaltungsleitsätze*

DIN EN ISO 13854, *Sicherheit von Maschinen — Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen*

DIN EN ISO 13857, *Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen*

DIN EN ISO 14001, *Umweltmanagementsysteme — Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung*

DIN EN ISO 14118, *Sicherheit von Maschinen — Vermeidung von unerwartetem Anlauf*

DIN EN ISO 14119, *Sicherheit von Maschinen — Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen — Leitsätze für Gestaltung und Auswahl*

DIN EN ISO 14120, *Sicherheit von Maschinen — Trennende Schutzeinrichtungen — Allgemeine Anforderungen an Gestaltung und Bau von feststehenden und beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen*

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

DIN EN ISO/ASTM 52901, *Additive Fertigung — Grundlagen — Anforderungen an erworbene additiv gefertigte Bauteile*

DIN EN ISO/ASTM 52902, *Additive Fertigung — Testkörper — Geometrische Leistungsbewertung additiver Fertigungssysteme*

DIN EN ISO/ASTM 52950, *Additive Fertigung — Grundlagen — Überblick über die Datenverarbeitung*

DIN EN ISO/IEC 27001, *Informationssicherheit, Cybersicherheit und Datenschutz —
Informationssicherheitsmanagementsysteme — Anforderungen*

Deutsche Fassung

Additive Fertigung für das Bauwesen —
Grundsätze der Qualifizierung —
Struktur- und Infrastrukturelemente
(ISO/ASTM 52939:2023)

Additive Manufacturing for construction —
Qualification principles —
Structural and infrastructure elements
(ISO/ASTM 52939:2023)

Fabrication additive pour la construction —
Principes de qualification —
Éléments de structure et d'infrastructure
(ISO/ASTM 52939:2023)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 1. Dezember 2023 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Konstruktionsfähigkeit, Beurteilung und Überprüfung	9
4.1 Allgemeines	9
4.2 Beurteilung der Durchführbarkeit der AC	10
4.3 Validierungsplan	12
5 Infrastruktur der AC-Zelle	12
6 Qualifikation des additiven Konstruktionsprozesses	14
6.1 Qualitätsrelevante Prozessschritte innerhalb des additiven Konstruktionsprozesses	14
6.2 Datenvorbereitung	16
6.3 Anforderungen an das Materialmanagement	17
6.4 Systembezogene Vorverarbeitung	18
6.5 Bauprozessleitung	19
6.6 (Standardmäßige) System-Nachbearbeitung	21
6.7 Prozessqualifizierung	21
7 Qualitätssicherung	22
7.1 Allgemeines	22
7.2 Personelle Anforderungen	22
7.3 Dokumentation und Nachverfolgung der Arbeitsschritte	23
7.4 Qualitätskontrollen	25
7.5 Lieferung und Logistik	26
Anhang A (informativ) Zusatzinformationen	27
A.1 Spezifische Nachbearbeitung von AC-Elementen	27
A.1.1 Mit der AC-Struktur verbundene Endbearbeitung	27
A.1.2 Prüfung von AC-Elementen (gesonderte Einzel- bzw. Stichprobenprüfung)	28
A.2 Beispiel für die Serien-Qualifizierung	28
A.3 Überblick: Normen-Rahmenwerk für AC-Zentralen (vor Ort/ortsfern)	28
A.4 Anmerkungen zu Prozessabweichungen	39
A.4.1 Allgemeines	39
A.4.2 Erscheinungsbild am AC-Element	39
Anhang B (informativ) Beispiele für die AC-Qualitätssicherung	40
B.1 Allgemeines	40
B.2 Datenvorbereitung	40
B.3 Datenspeicherung und Qualitätssicherung	40
B.4 Materialmanagement	40
B.5 Anforderungen an die Herstellung von Mischungszusammensetzungen, Eigenschaften von Materialmischungen und Probemischungen	41
B.6 Eigenschaften von Materialauftragsvorrichtungen	42
B.7 Systembezogene Vorverarbeitung	43
B.8 AC-Richtlinien	43
B.9 Kombinieren verschiedener Materialien in der AC	44
B.10 Verwendung von Sensoren	44
B.11 Standardmäßige Nachbearbeitung	45
B.12 Spezifische Nachbearbeitung von Elementen	45
B.13 Logistik	45
Anhang C (informativ) Beispiele für Qualitätssicherungsschritte in der Bauprozessleitung	47
C.1 Allgemeines	47

C.2	Prozessleitung	47
C.3	Verbindung zwischen den Schichten	47
C.4	Erwägungen nach dem Druck	47
Anhang D (informativ)	Beispiele für spezifische Prozesse	49
Literaturhinweise		51

Bilder

Bild 1	Schritte einer Verifizierung von Anforderungen an AC-Elemente	10
Bild 2	Prozess mit Qualitätssicherung in AC vor Ort oder ortsfern	15
Bild 3	Schritte der Datenvorbereitung	16
Bild 4	Elemente des Materialmanagements	17
Bild 5	Elemente der systembezogenen Prozessvorbereitung	18
Bild 6	Elemente der Prozessleitung	19
Bild 7	Elemente der (standardmäßigen) System-Nachbearbeitung	21
Bild 8	Elemente der Qualitätssicherung	22
Bild 9	Elemente der Qualitätskontrolle	25
Bild 10	Ansätze zur Qualitätskontrolle	26
Bild A.1	Anforderungen an die elementspezifische Nachbearbeitung	27

Tabellen

Tabelle A.1	AC-Technologie- und Materiallegenden (einschließlich, aber nicht darauf beschränkt)	28
Tabelle A.2	Normen-Rahmenwerk für AC-Zentralen vor Ort/ortsfern	29
Tabelle D.1	Abschnittspezifische Beispiele für Prozesse für bestimmte AC-Lösungen/Technologien	49

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO/ASTM 52939:2023) 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.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2024, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2024 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/ASTM 52939:2023 wurde von CEN als EN ISO/ASTM 52939:2023 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).

ISO weist auf die Möglichkeit hin, dass die Anwendung dieses Dokuments mit der Verwendung eines oder mehrerer Patente verbunden sein kann. ISO bezieht jedoch in dieser Hinsicht keinerlei Stellung bezüglich Nachweis, Gültigkeit oder Anwendbarkeit jeglicher beanspruchten Patentrechte. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments lag ISO keine Mitteilung über ein Patent bzw. mehrere Patente vor, welche/s zur Umsetzung dieses Dokuments erforderlich sein könnte/n. Anwender werden jedoch darauf hingewiesen, dass dies möglicherweise nicht der aktuelle Informationsstand ist. Dieser kann jedoch der Patentdatenbank unter www.iso.org/patents entnommen werden. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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, und in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 438, *Additive Fertigungsverfahren*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) 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

Der Bausektor steht vor zunehmenden Herausforderungen im Zusammenhang mit einem Mangel an Arbeitskräften, Projektverzögerungen, erhöhten Vorlaufzeiten, übermäßiger Materialnutzung, einem hohen Maß an Abfall und nachteiligen Auswirkungen auf den CO₂-Fußabdruck. Darüber hinaus nimmt die Nachfrage im Bauwesen aus Sicht des Markts weltweit zu, insbesondere in Anbetracht der anhaltenden Wohnraumkrise und einer steigenden Zahl von Infrastrukturprojekten (Neubauten oder Instandhaltung bestehender Bauten). Die additive Konstruktion (AC, en: additive construction), auch als additive Fertigung für die Konstruktion (AMC, en: additive manufacturing for construction) und 3D-Konstruktionsdruck (3DCP, en: 3D construction printing) bekannt, hat das Potential, diese Probleme direkt anzugehen.

Die AC hat in jüngster Zeit große Fortschritte gemacht. Gedruckte Elemente könnten sich potenziell als länger haltbar, nachhaltiger, umweltfreundlicher, preisgünstiger (Massenproduktion) und schneller lieferbar als herkömmliche Konstruktionsansätze erweisen. Ohne AC-Normen sind Zulassung, Zertifizierung und Risikominderung jedoch unmöglich.

Der Zweck dieses Dokuments ist die Beschreibung der notwendigen Anforderungen als Grundlage für die Produktion und Lieferung additiv gefertigter Strukturen (Wohnungsbau oder Infrastruktur) im Bausektor in hoher Qualität.

Es werden wichtige Schritte des AC-Prozesses festgelegt. Diese Schritte werden gesteuert und überwacht, um gedruckte Strukturen von hoher Qualität für die Verwendung vor Ort oder ortsfern sicherzustellen. Da dieses Dokument nicht technologie- oder materialspezifisch konzipiert ist, sind in Abhängigkeit von dem verwendeten Ansatz Teilprozesse anwendbar. Es sollte jedoch beachtet werden, dass gedruckte Elemente von einem lokal zertifizierten Ingenieur genehmigt werden und sowohl lokale als auch regionale Spezifikationen und Anforderungen erfüllen sollten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Qualitätssicherungsanforderungen an die additive Konstruktion (AC) in Bezug auf Bau- und Konstruktionsprojekte fest, in denen additive Fertigungsverfahren für die Konstruktion angewendet werden. Die Anforderungen sind nicht von den verwendeten Werkstoffen und Prozesskategorien abhängig.

Dieses Dokument ist nicht für Metalle anwendbar.

Dieses Dokument legt die Kriterien für additive Konstruktionsprozesse, qualitätsrelevante Eigenschaften und Faktoren im Rahmen des Betriebs von AC-Systemen fest. Es legt weiterhin Aktivitäten und Abläufe innerhalb einer AC-Zelle (Additive Baustelle) und eines Projekts fest.

Dieses Dokument ist anwendbar für alle additiven Fertigungstechnologien im Bau- und Konstruktionswesen (lasttragend und nicht-lasttragend) sowie für strukturelle und Infrastruktur-Bauelemente für Wohnungsbau- und Gewerbebauanwendungen und folgt einem an dem Prozess ausgerichteten Ansatz.

Dieses Dokument befasst sich nicht mit Umweltschutz-, Gesundheits- und Sicherheitsaspekten, die für den Aufbau der Druckeinrichtung, die Materialhandhabung, den Betrieb von Industrierobotern und das Verpacken von Ausrüstung und/oder Elementen für den Versand anwendbar sind, es gelten jedoch Richtlinien des Materiallieferanten, Betriebsrichtlinien der Robotiklösung und lokale und regionale Anforderungen.

Bauartzulassungen, Charakterisierung und Prüfung von Materialeigenschaften werden in diesem Dokument nicht behandelt.

2 Normative Verweisungen

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

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

ISO/ASTM 52950, *Additive manufacturing — General principles — Overview of data processing*

3 Begriffe

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

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

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

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

3.1

additive Fertigung für die Konstruktion

AMC

Prozess zur Verbindung von Materialien, um strukturelle und nicht-strukturelle Elemente/Komponenten und Systeme aus 3D-Modelldaten herzustellen, üblicherweise durch schichtweisen Materialauftrag im Gegensatz zu subtraktiven und umformenden Fertigungsverfahren

3.2

additive Konstruktion

AC

Begriff zur Beschreibung aller relevanten Disziplinen und Kenntnisse für das Konstruktionssegment, das additive Fertigung und Prozesskategorien nutzt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verwendung von Technologien umfasst alle relevanten Bausektoren wie beispielsweise große Immobilienprojekte, ganze Gebäude und Gebäudeelemente, Infrastrukturbauten und Katastrophenschutz.

Anmerkung 2 zum Begriff: AC beschreibt alle relevanten Wissensdisziplinen wie etwa Architektur, Ingenieurwesen, Statik, Materialtechnik, Bediener von Industrierobotern, Projektmanagement, Bauleitung, Anlagenmanagement usw.

Anmerkung 3 zum Begriff: Weitere synonym verwendete Begriffe sind: Digitale Konstruktion (DC, en: digital construction), Konstruktion 4.0 (en: construction 4.0), fortgeschrittene Fertigung in der Konstruktion (AMC, en: advanced manufacturing in construction), Konstruktions-3D-Druck (C3DP, en: construction 3D printing) und 3D-Konstruktionsdruck (3DCP, en: 3D construction printing).

Anmerkung 4 zum Begriff: Baumaterialien umfassen:

- zementhaltige Varianten wie etwa Beton und Mörtel, polymermodifizierte Pasten,
- Verbundwerkstoffe.

Anmerkung 5 zum Begriff: Die aktuelle Festlegung impliziert ein hohes Maß an Automatisierung durch Roboter, ein vermindertes Maß an menschlicher Intervention während des Konstruktionsprozesses und minimale Verschwendung dank eines bedarfsbasierten Materialliefersystems.

Anmerkung 6 zum Begriff: Der AC-Bereich entwickelt sich zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Norm in 2023 rapide weiter und neue Materialien und Verfahren werden wahrscheinlich in diese Festlegung aufgenommen.

Anmerkung 7 zum Begriff: AC wird vor Ort oder ortsfern (z. B. modulare werksbasierte Fertigung) verwendet.

3.3

Schichtauftrag

Anwendung einer einzelnen Schicht

3.4

AC-Zelle

auf der Baustelle eingesetzte Drucklösung für den Druck vor Ort (einschließlich des Materialmisch- und Platzierungssystems)

3.5

Materialauftragsvorrichtung

numerisch gesteuerte Baugruppe, einschließlich Misch- und Zufuhreinrichtungen für Rohmaterialien, Bindemittel und Zusatzstoffe; trägt die Mischung auf Grundlage einer in die elektronischen Programme der Baugruppe eingespeisten digitalen Simulation auf, ohne dass eine direkte menschliche Interaktion oder die Verwendung von Formen erforderlich ist

3.6

physische Produktion

physische Gesamtheit des Bauraums, der Elemente in dem Bauraum und der produktionsbezogenen Tragwerke und Anlagen in dem Bauraum des Systems

3.7

virtueller Produktionsdurchlauf

Computer-/digitale Simulation des *physischen Produktionsdurchlaufs* (3.7) (Druckdatei)

BEISPIEL Drucksimulation

3.8

trockener Produktionsdurchlauf

Prozess der Ausführung des Bauprogramms ohne Materialien, um den Werkzeugweg der ersten Schicht und andere kritische Punkte des Programms zu prüfen; kann Teil des Kalibrierungsprozesses sein

3.9

Konstruktionsprozess

digitale und physische AC-Arbeitsschritte, von der Einrichtung des Roboters bis zur Fertigstellung des endgültigen Druckelements, einschließlich Prüfung und Verifizierung zur Qualitätssicherung

3.10

Mechanik, Elektrik und Sanitärtechnik

MEP, en: mechanical, electrical, plumbing

gebäudetechnische Anlagen, die für Heizung, Belüftung und Klimatisierung, die Stromversorgung und Kommunikationseinrichtungen bzw. die Wasserversorgung und Abwasserableitung erforderlich sind

3.11

gedrucktes Element

konstruktionsbezogene, am Standort (in situ) oder außerhalb des Standorts gefertigte 3D-Druck-Komponente, die in ein Gebäude oder eine Struktur als eine vollständige Infrastruktur-Komponente eingefügt wird

BEISPIEL Wände, Säulen, Balken usw.

3.12

Druckbarkeit

Fähigkeit des Materials, leicht dem Druckkopf zugeführt und von dem Druckkopf verarbeitet zu werden, z. B. *Extrusionsfähigkeit* (3.13), sowie die Anforderungen an die gleichmäßige Schichtform-Stabilität und Anforderungen an die *Baubarkeit* (3.14) und ggf. die *Pumpbarkeit* (3.15) zu erfüllen

3.13

Extrusionsfähigkeit

Fähigkeit des Materials, reibungslos durch die Druckdüse ausgestoßen werden zu können, ohne die Kanäle zu blockieren oder die Materialqualität wesentlich zu beeinträchtigen

3.14

Baubarkeit

Fähigkeit eines Drucks, die vertikale und seitliche Stabilität unter zunehmenden Lasten durch darauf aufgetragene/nachfolgende Schichten mit kontrollierter Verformung zu bewahren

3.15

Pumpbarkeit

Kriterium für pastöse Materialien, das sich auf die Betonextrusion und -bearbeitbarkeit bezieht, da es wichtig ist, dass die Materialien von der Quelle bis zur Materialauftragsvorrichtung/-düse für den Druck ein durchgängig leichtes Durchflussverhalten aufweisen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Pumpbarkeit stellt sicher, dass die Materialien einfach und fortlaufend gepumpt werden können, ohne Verstopfungen innerhalb des Abgabesystems zu verursachen.

4 Konstruktionsfähigkeit, Beurteilung und Überprüfung

4.1 Allgemeines

Die Anforderungen an AC-Elemente müssen vor der Datenvorbereitung festgelegt und geprüft werden. Die Ergebnisse müssen in einer definierten Abfolge mit zugehörigen Produktionsvorgaben inkl. spezifischer Anforderungen an die Qualitätskontrolle überführt werden (für lasttragende und nicht-lasttragende Elemente). Es wird empfohlen, jede Anlagenüberwachung und/oder jedes Anlagenmanagement, die/das auf einer digitalen Überprüfungsanalyse basieren könnten, auf lokal anwendbaren Normen/Codes/Vorschriften basiert.

Falls die Fertigungsanfrage unvollständig (bspw. fehlende technische Zeichnung) oder eine erste Inbetriebnahme mit Restriktionen verbunden ist, so muss der Kunde darauf hingewiesen werden, um das Problem zu beheben.

In Bild 1 sind die einzelnen Schritte zur Prüfung der Herstellbarkeit und der Qualifizierungsphase als Voraussetzungen für die additive Fertigung mit AC dargestellt.

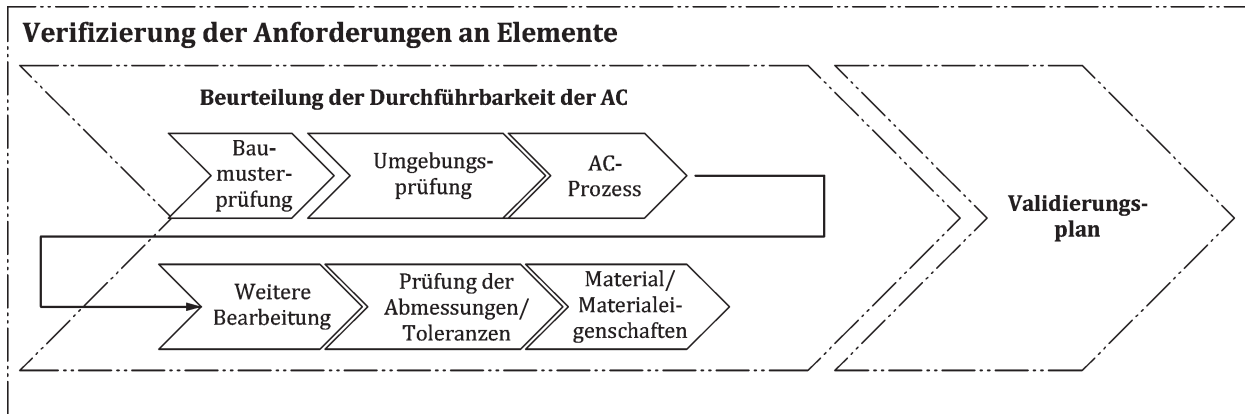


Bild 1 — Schritte einer Verifizierung von Anforderungen an AC-Elemente

4.2 Beurteilung der Durchführbarkeit der AC

Die Durchführbarkeit der AC, einschließlich den Anforderungen an das AC-Element, muss von qualifiziertem Personal beurteilt werden (z. B. Technologieexperten oder unterwiesene Personen, die die relevanten Zulassungen von lokalen Behörden erhalten haben, entsprechend zuständiger Behörden klassifiziert und registriert sind und nachweislich eine bestimmte Anzahl von 3D-Druckelementen (z. B. 5) mit dem gleichen Konstruktionsprozess und von vergleichbaren Maße und Komplexität erfolgreich konstruiert und gefertigt haben).

Die erforderliche Produktionskompetenz ist nur in der direkten AC-Umgebung verfügbar. Es ist wichtig, alle Anforderungen an Elemente in die Durchführbarkeitsprüfung einzubeziehen. Die Beurteilung muss die folgenden Schritte umfassen:

- Baumusterprüfung:** Die prozessrelevanten Gestaltungsrichtlinien sollten zur Bewertung der AC-Durchführbarkeit der Gestaltung konsultiert werden und nationale, regionale und lokale Bestimmungen erfüllen. Außerdem müssen prozessbezogene AC-Beschränkungen wie z. B. minimale Wandstärken und Verstärkungsanforderungen ebenfalls berücksichtigt werden.
- Umgebungsprüfung:** Für die Maße der Umgebung werden die Materialauswahl und die Gestaltungsphasen als wesentlich für die Nachhaltigkeitsleistung eines gebauten Elements während seiner gesamten Lebensdauer angesehen. Es ist wichtig, eine Nachhaltigkeitsbeurteilung des Baumaterials oder des Bauprodukts selbst nach ISO 21930 und ISO 14001 anhand eines „Wiege bis zur Bahre“-Ansatzes der Lebensdaueranalyse (LCA, en: life cycle analysis) durchzuführen und Makro-Indikatoren für die interne Nutzung nachzuverfolgen und Umweltprodukterklärungen (EPDs, en: environmental product declarations) der Bauprodukte nach der Validierung zu erstellen. Umgebungsprüfungen/-studien müssen in Übereinstimmung mit sämtlichen nationalen, regionalen und lokalen Anforderungen erfolgen.

Die folgenden Hauptindikatoren müssen angewendet werden:

- Treibhauspotential (CO₂-äquivalente Emissionen);
- Treibhausgasemissionen (GHG, en: greenhouse gas), die einen potenziellen Einfluss auf das Klima haben.

Weitere mögliche relevante Indikatoren sind:

- Verschmutzungspotential: Trinkwasserressourcen, die einen potenziellen Einfluss auf den Abbau von Trinkwasserressourcen haben (sofern keine metallischen Materialien in der Zusammensetzung der Mischpaste verwendet werden, darf Wasser einer anderen Kategorie als Trinkwasser, wie etwa Meerwasser oder aufbereitetes Wasser, im Prozess vorgesehen werden, basierend auf der Nutzung des gedruckten Elements und seiner Interaktion mit/Exposition gegenüber dem Endnutzer).
 - Abbaupotential fossiler Brennstoffe (Öl-äquivalent): Verbrauch nicht-erneuerbarer Rohstoffe und nicht-erneuerbarer Primärenergie.
 - Ozonabbaupotential (CFC-11 zu Luft): Freisetzung von Gasen, die einen potenziellen Einfluss auf die stratosphärische Ozonschicht haben.
 - Menge der erzeugten Abfälle nach Art: Gesamtvolumen unschädlicher und schädlicher Abfälle, die einen potenziellen Einfluss auf die Erzeugung von zu entsorgenden Abfällen hat.
 - Versauerungspotenzial (SO_2 zu Luft)– potenzieller Einfluss auf die Versauerung von Boden- und Wasserressourcen.
 - Trinkwasser-Eutrophierungspotential (P zu Trinkwasser): potenzieller Einfluss auf die Eutrophierung von Wasserflächen.
- c) **AC-Prozess:** Darüber hinaus müssen qualifizierte Techniker zudem prüfen, ob das gewünschte Element und die Elementeigenschaften erreichbar sind, die AC mit den bereits qualifizierten Prozessparametern durchführbar ist oder ob Anpassungen erforderlich sind, um die Durchführbarkeit der AC zu erreichen. AC-spezifische Prozesskategorierisiken müssen ebenfalls durch qualifizierte Techniker bewertet werden, um die jeweiligen Anforderungen an die Komponente zu erfüllen. Siehe Tabelle A.1 für spezifische Prozesse und Materialien.
- d) **Weitere Verarbeitung:** Erfolgt ein weiterer (teil-) automatisierter Fertigungsschritt, muss geprüft werden, ob die Gestaltung hierfür geeignet ist, sofern Hilfsmittel nicht angewendet werden können. Falls anschließend subtraktive oder Endbearbeitungsprozesse durchgeführt werden, um die erforderlichen Fertigungstoleranzen einzuhalten, müssen entsprechende Einzelheiten der Gestaltung möglichst früh in der Datenverarbeitung bereitgestellt werden, sofern erforderlich.
- e) **Prüfung der Abmessungen/Toleranzen:** Die in der Gestaltung vorgegebenen Toleranzen müssen im ausgewählten AC-Prozess erreichbar sein. Die Nachbehandlung muss vor dem Beginn des AC-Prozesses berücksichtigt werden.
- BEISPIEL 1 Alle besonderen Erwägungen für die Verstärkung und/oder MEP-Integration, Starten, Stoppen oder Überspringen in dem AC-Prozess.
- f) **Material/Materialeigenschaften:** Die AC-Durchführbarkeit muss über die ausgewählte Technologie hinaus in Abhängigkeit von dem Material, der Zusammensetzung der Materialmischung und über den gesamten AC-Prozess betrachtet werden. Die festgelegten Materialeigenschaften müssen hier einbezogen werden. Lokale Normtoleranzen für die Feuerwiderstandsfähigkeit, Belastbarkeit, Druckfestigkeit, Spannung, Schrumpfung, Kriechen und Widerstandsfähigkeit gegenüber Umwelteinflüssen wie Feuchte, periodischer Frost und ultraviolette (UV) Strahlung usw. sollten eingehalten werden.

BEISPIEL 2 Materialien, die unterschiedliche AC-Beschränkungen aufweisen.

Eine Bewertung einzelner Elemente muss anschließend durchgeführt werden, um die notwendigen Maßnahmen für die Qualitätssicherung festzulegen. Auf Basis der bereits implementierten Verfahren zur Qualitätssicherung sowie der Risikoanalyse für die jeweilige Anwendung ist es notwendig zu prüfen, ob gesonderte Maßnahmen zur elementbezogenen Qualitätskontrolle erforderlich sind (siehe 7.4).

4.3 Validierungsplan

Die Anforderungen an die direkte Fertigungsumgebung beinhalten den Qualifizierungsplan für das Serienelement. Die Voraussetzung ist eine Qualifizierung des Materials für einen festgelegten AC-Prozess. Ein Qualifizierungsplan muss für die Elemente sowie zugehörige Prüfverfahren nach den jeweiligen Arbeits- bzw. Verfahrensschritten entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers ausgearbeitet werden. Die Produktion des Elements/der Elemente wird in einem Phasenprozess (siehe Abschnitt A.2 oder ISO/ASTM 52901) validiert. Jede Phase wird mit Unterzeichnung durch geeignetes Personal erfolgreich abgeschlossen.

Die methodische Erfassung der Anforderungen an das Element kann beispielsweise ISO/ASTM 52901 entnommen werden. Daraus lässt sich ableiten, welche Nachweise über dieses Dokument hinaus erforderlich sein können.

5 Infrastruktur der AC-Zelle

Die folgenden Anforderungen sind für die Infrastruktur der AC-Zelle relevant:

- a) **Ausrüstung:** Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsprüfungen und -management sollten bei sämtlicher Ausrüstung den geltenden lokalen und regionalen gesetzlichen Normen vor Ort und ortsfern entsprechen. Im Folgenden sind einige Beispiele aufgeführt:
- EN 12001;
 - EN 12629-1;
 - ISO 4413;
 - ISO 4144;
 - ISO 12100;
 - ISO 13849-1;
 - ISO 13849-2;
 - ISO 13850;
 - ISO 13854;
 - ISO 13857;
 - ISO 14118;
 - ISO 14119;
 - ISO 14120;
 - EN 60204-1;
 - ISO 10218-1;
 - ISO 10218-2;
 - EN 60204-1.

- b) **Sicherheit am Arbeitsplatz:** Eine sichere Arbeitsumgebung unter Berücksichtigung der gesetzlichen Vorschriften muss sichergestellt werden. Dazu gehört die Unterweisung des Personals über die Arbeitsschutzmaßnahmen und Einrichtungen.

Die Anwender dieses Dokuments sollten die entsprechende Sicherheitsmanagement-Leitlinien und die örtlichen Gesetze und Vorschriften und Verordnungen lesen, um ein umfassendes Verständnis der spezifischen Anforderungen zu erlangen.

Der nachfolgende Abschnitt enthält eine Zusammenfassung der Sicherheitsmanagement-Aspekte, die für die AC beachtet werden sollten.

- 1) Sicherheitsbezogene Gesetze machen Betreiber für den Schutz ihrer Arbeitskräfte, der Öffentlichkeit und der Umwelt in Verbindung mit ihren industriellen Aktivitäten verantwortlich. Während Gesetze und Verordnungen je nach Land oder Region variieren können, sind die grundlegenden Grundsätze des Sicherheitsmanagements gleich und sollten für alle AC-Unternehmen allgemeingültig sein.
- 2) Betreiber müssen Sicherheitsmanagement-Vorkehrungen vorsehen, die verantwortliche und rechenschaftspflichtige Personen innerhalb ihrer Organisation festlegen. Die Sicherheitsmanagement-Vorkehrungen werden außerdem die vorhandenen Prozesse beschreiben, die die Sicherheit aller betrieblichen Aktivitäten im Unternehmen und die Berücksichtigung aller Gefährdungen in Verbindung mit der AC sicherstellen. Sicherheitsmanagement-Vorkehrungen sollten dem Risiko und der Komplexität des Betriebs angemessen sein.
- 3) Das zentrale Ziel des Sicherheitsmanagements besteht darin, alle vorhersehbaren Gefährdungen zu identifizieren und Risiken auf ein akzeptables und vernünftigerweise praktikables oder erreichbares Maß zu reduzieren. Risikokontrollmaßnahmen werden angewendet, um dies auf verschiedene Arten im gesamten Sicherheitsbereich zu erreichen.
- 4) Betreiber von AC-Roboteranlagen und damit verbundenen Maschinen und Materialien müssen die Sicherheit aller Aspekte des Betriebs berücksichtigen und sicherstellen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf:
 - Ort des Drucks, im Werk oder vor Ort;
 - verwendete Maschinen und Schnittstellen zwischen Maschinen;
 - Notfall- und Unfallvorkehrungen und Maßnahmen einschließlich Anforderungen an die Erste Hilfe;
 - Sicherheitsschilder;
 - sichere Handhabung und Lagerung von Materialien;
 - Anforderungen an die Baustellensicherheit und PSA;
 - Prozesswarnungen und Vorsichtsmaßnahmen;
 - Installation und Nutzung von Barrieren und trennenden Schutzeinrichtungen;
 - angemessene Sicherheitsschulung und Bereitstellung geeigneter Sicherheitsinformationen;
 - Sicherheitsdisziplin und Sicherheitskultur;
 - Sorgfaltspflicht für Arbeitskräfte;
 - Meldung von Beinahe-Unfällen;
 - Lernen aus Erfahrungen;

- Berücksichtigung der öffentlichen Sicherheit;
- Aufbewahrung prüfbarer Protokolle zu Sicherheitsentscheidungen.

c) **Systeminstallation:** Das AC-System muss durch qualifiziertes Personal installiert werden (siehe 7.2). Der Nachweis der installierten Bedingungen muss dokumentiert werden (z. B. Instandhaltungsbericht, Endabnahmebericht, Berichte zu Änderungen des Systems, Bezeichnung des Maschinentyps einschließlich Versionsstatus von Softwarekomponenten und, sofern zutreffend, Versionsstatus von Hardwarekomponenten, Maschinenkennnummer). Sämtliches mit der Produktlieferung befasstes Personal muss mit gepflegten und gespeicherten Aufzeichnungen im Rahmen eines Qualitätsmanagementsystems (QMS) mit aufgezeichneten Prozessschritten als angemessen geschult eingestuft werden.

d) **Instandhaltung:** Alle Instandhaltungsaktivitäten müssen abgeschlossen und dokumentiert sein.

Die Installation und Instandhaltung der Maschine bezieht sich auf die Systeme der Prozesssteuerung sowie alle Vorrichtungen in Verbindung mit Systemen und Teilen (z. B. Materiallagerung, Mischer, Pumpe, UV-System [sofern zutreffend]).

e) **Produktionsumgebung:** Die Spezifikationen des Systemherstellers im Hinblick auf die Umgebungs- und Installationsbedingungen müssen übernommen werden.

f) **IT-Infrastruktur:** Für die Einrichtung eines AC-Werks müssen Anforderungen an die Sicherheit der Serverlandschaft, die Bereitstellung der IT-Hardware, Sicherheit und Archivierungssysteme usw. (z. B. nach ISO/IEC 27001) wie nachfolgend in der unvollständigen Liste dargelegt, befolgt werden:

- Bodenbelastbarkeit und Ebenheit des Untergrunds, Vibrationsfreiheit;
- umfassende Zugänglichkeit, Mindestabstand zu benachbarten Anlagen und Einrichtungen;
- kontrollierte oder zulässige Temperatur, Feuchte, Lichtverhältnisse, Luftpartikelanteile;
- Sauberkeit der AC-Umgebung;
- protokollierte Installationsbedingungen und Qualifizierung des Produktionssystems;
- Protokolle über alle qualitätsrelevanten Einflussgrößen bezüglich der Funktion eines Systems.

Das AC-Managementsystem stellt sicher, dass die richtigen Schritte in der qualifizierten Abfolge mit den entsprechenden Parametern erfolgen. Dazu gehören die Planung der Maschinenauslastung und der Materialbestand entsprechend einem festgelegten Mindestbestand. Ein System für die Planung von Engpässen muss nachgewiesen werden.

6 Qualifikation des additiven Konstruktionsprozesses

6.1 Qualitätsrelevante Prozessschritte innerhalb des additiven Konstruktionsprozesses

Es wird empfohlen, ein Qualitätsmanagementsystem (z. B. ISO 9001) vorzusehen, wenn ein Hersteller von AC-Elementen dieses Dokument anwendet. Zudem kann dieses Dokument zur Einrichtung eines speziell für die AC-Technologie geltenden Qualitätsmanagementsystems verwendet werden.

Um eine hohe Qualität innerhalb einer AC-Zelle sicherzustellen, müssen die komplette Prozesskette (siehe 6.2 bis 6.7) des Produktionsprozesses und die Personalanforderungen (siehe 7.2) berücksichtigt werden.

Die relevanten Bereiche der Prozesskette sind in Bild 2 dargestellt. Diese umfassen:

- Qualitätssicherung: Präventivmaßnahmen, die die erforderliche Qualität des Elements entlang der gesamten Prozesskette sicherstellen (ein vorgeschlagener Ansatz zur AC-Qualitätssicherung ist in Anhang B zu finden);
- Datenvorbereitung: digitale Verarbeitung vor der additiven Konstruktion (siehe Abschnitt A.3);
- Materialmanagement: Materialflüsse vor dem Druckprozess und während des Druckprozesses (siehe Abschnitt B.3);
- systembezogene Vorverarbeitung: manuelle Aktivitäten, die im unmittelbaren Umfeld des Drucksystems erfolgen und der Initiierung der Steuerung des Prozesses dienen (siehe Abschnitt A.3);
- Prozessleitung (Bauzyklus): kompletter Maschinenzklus, in dem Elemente additiv gefertigt werden (siehe Abschnitt A.3);
- standardmäßige Nachbearbeitung: Aktivitäten in der Umgebung des Produktionssystems und die nach der Prozesssteuerung ausgeführt werden (siehe Abschnitt A.1);
- elementspezifische Nachbearbeitung: Aktivitäten an dem Element nach der Prozessleitung (siehe Anhang A, Anhang B und Anhang C).

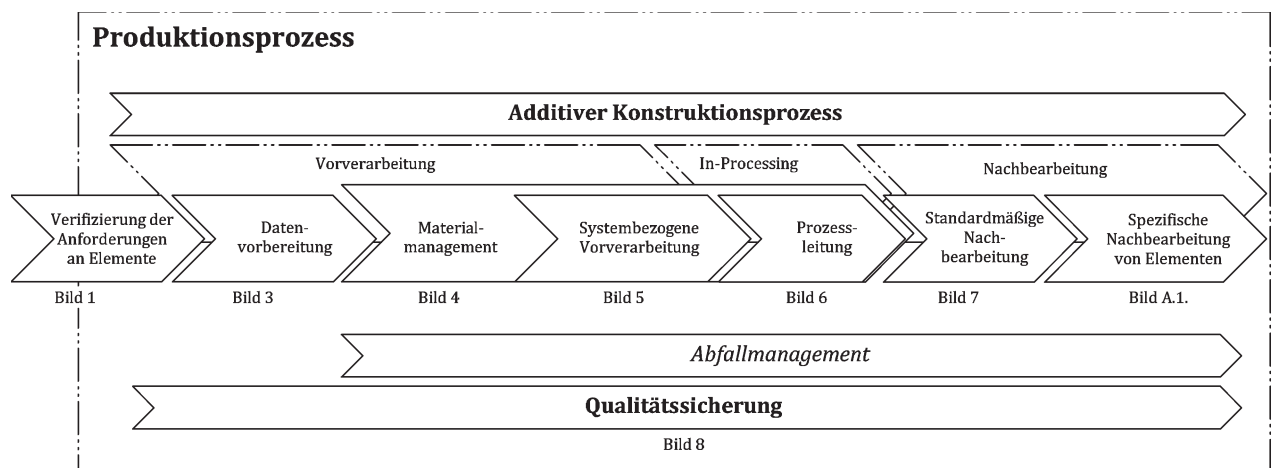


Bild 2 — Prozess mit Qualitätssicherung in AC vor Ort oder ortsfern

Die Qualitätssicherung des Elements erfordert eine umfassende Spezifikation des Produktionsprozesses (Bild 2):

- Qualitätsrelevante Eigenschaften sowie Prüfverfahren und Intervalle für die Überwachung jedes einzelnen in Bild 1 dargestellten Prozesses sollten beschrieben werden;
- Es müssen die Arbeitsausrüstung und alle anzuwendenden Umgebungsbedingungen, die für den Druckprozess und während des Druckprozesses erforderlich sind, vorhanden sein;
- Systembezogene Wartungs- und Instandhaltungsaktivitäten (siehe Tabelle D.1 für spezifische Prozessbeispiele) sollten berücksichtigt werden;
- Es sollten Qualifizierungsmaßnahmen für die Bestimmung relevanter Eingangsvariablen (z. B. Materialeigenschaften) und resultierende Ausgangsvariablen, die aus einer Kombination aus zuvor definierten Eigenschaften über den gesamten Prozess abgeleitet werden, festgelegt sein;