

DIN EN ISO/ASTM 52939



ICS 25.030

Einsprüche bis 2022-12-14

Entwurf**Additive Fertigung für das Bauwesen –
Grundsätze der Qualifizierung –
Struktur- und Infrastrukturelemente (ISO/ASTM DIS 52939:2022);
Deutsche und Englisch Fassung prEN ISO/ASTM 52939:2022**

Additive Manufacturing for construction –
Qualification principles –
Structural and infrastructure elements (ISO/ASTM DIS 52939:2022);
German and English version prEN ISO/ASTM 52939:2022

Fabrication additive pour la construction –
Principes de qualification –
Éléments de structure et d'infrastructure (ISO/ASTM DIS 52939:2022);
Version allemande et anglaise prEN ISO/ASTM 52939:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-10-14 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 90 Seiten

DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52939:2022) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261 „Additive manufacturing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 438 „Additive Fertigungsverfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

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

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

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

ISO 9001	siehe	DIN EN ISO 9001
ISO 14001	siehe	DIN EN ISO 14001
ISO/ASTM 52900	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52900
ISO/ASTM 52901	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52901
ISO/ASTM 52920*	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52920*
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.

* Aktuell noch im Entwurf.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 9001, *Qualitätsmanagementsysteme — Anforderungen*

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

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 52920*, *Additive Fertigung — Qualifikationsprinzipien — Anforderungen an Standorte für industrielle additive Fertigung*

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

DIN EN ISO/IEC 27001, *Informationstechnik — Sicherheitsverfahren — Informationssicherheitsmanagementsysteme — Anforderungen*

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO/ASTM 52939:2022-11

– Leerseite –

Additive Fertigung für das Bauwesen – Grundsätze der Qualifizierung – Struktur- und Infrastrukturelemente (ISO/ASTM DIS 52939:2022)

Additive Manufacturing for construction – Qualification principles – Structural and infrastructure elements (ISO/ASTM DIS 52939:2022)

Fabrication additive pour la construction – Principes de qualification – Éléments de structure et d'infrastructure (ISO/ASTM DIS 52939:2022)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Konstruktionsfähigkeit, Beurteilung und Überprüfung	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Beurteilung der Durchführbarkeit der AC	10
4.3 Validierungsplan	11
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	20
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	24
7.5 Lieferung und Logistik	25
Anhang A (informativ) Zusatzinformationen	26
A.1 Spezifische Nachbearbeitung von AC-Elementen	26
A.1.1 Mit der AC-Struktur verbundene Endbearbeitung	26
A.1.2 Prüfung von AC-Elementen (gesonderte Einzel- bzw. Stichprobenprüfung)	27
A.2 Beispiel für die Serien-Qualifizierung	27
A.3 Übersicht: Normen-Rahmenwerk für AC-Zentralen (vor Ort/ortsfern)	27
A.4 Anmerkungen zu Prozessabweichungen	35
A.4.1 Allgemeines	35
A.4.2 Erscheinungsbild am AC-Element	35
Anhang B (informativ) Beispiele für die AC-Qualitätssicherung	36
Anhang C (informativ) Beispiele für Qualitätssicherungsschritte in der Bauprozessleitung	39
Anhang D (informativ) Spezifische Prozessbeispiele	41
Literaturhinweise	43

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	20
Bild 8 — Elemente der Qualitätssicherung	22

Bild 9 — Elemente der Qualitätskontrolle	24
Bild 10 — Ansätze zur Qualitätskontrolle	25
Bild A.1 — Anforderungen an die elementspezifische Nachbearbeitung	26

Tabellen

Tabelle A.1 — AC-Technologie- und Materiallegenden (einschließlich, aber nicht darauf beschränkt)	27
Tabelle A.2 — Normen-Rahmenwerk für AC-Zentralen vor Ort/ortsfern	29
Tabelle D.1 — Abschnittspezifische Beispiele für Prozesse für bestimmte AC-Lösungen/Technologien	41

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52939:2022) 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.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/ASTM DIS 52939:2022 wurde von CEN als prEN ISO/ASTM 52939:2022 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.

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 Bausektor 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 (en: Additive Construction, AC) kann all diese Probleme direkt behandeln. Synonyme wie Additive Fertigung (en: Additive Manufacturing, AM) und 3D-Baudruck (en: 3D Construction Printing, 3DCP) werden in der Industrie ebenfalls angewendet. In dieser Norm wird der Begriff der additiven Konstruktion verwendet.

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-Norm ist eine Zulassung, Zertifizierung und insbesondere Risikominderung jedoch unmöglich.

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

Wichtige Schritte in Verbindung mit dem AC-Prozess werden festgelegt und müssen kontrolliert und überwacht werden, um auf der Baustelle oder ortsfern gedruckte Strukturen in hoher Qualität sicherzustellen. Da dieses Dokument nicht technologie- oder materialspezifisch konzipiert ist, sind in Abhängigkeit von dem verwendeten Ansatz Teilprozesse anwendbar oder können ignoriert werden. Es sollte jedoch beachtet werden, dass gedruckte Elemente von einem lokal zertifizierten Ingenieur genehmigt werden und lokale/regionale Spezifikationen und Anforderungen erfüllen müssen.

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

Diese Norm gilt 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.

Umweltschutz-, Gesundheits- und Sicherheitsaspekte, die für den Aufbau der Druckeinrichtung, die Materialhandhabung, den Betrieb von Industrierobotern, das Drucken vor Ort oder ortsfern und das Verpacken von Ausrüstung und/oder Elementen für den Versand anwendbar sind, werden in dieser Norm nicht behandelt, sollten jedoch auf der Grundlage von Richtlinien des Materiallieferanten, Betriebsrichtlinien der Robotiklösung und lokaler und regionaler Anforderungen angewendet werden.

Bauartzulassungen sowie die Charakterisierung und Prüfung von Materialeigenschaften werden in dieser Norm 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 21930, *Sustainability in buildings and civil engineering works — Core rules for environmental product declarations of construction products and services*

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, en: additive manufacturing for construction

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 oder umformenden Fertigungsverfahren

3.2

additive Konstruktion

AC, en: additive construction

Begriff zur Beschreibung aller relevanten Disziplinen und Kenntnisse für das Konstruktionssegment, das additive Fertigung und 3D-Drucktechnologien nutzt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verwendung von Technologien umfasst alle relevanten Bausektoren wie etwa 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: Weiter austauschbar verwendete Begriffe sind: Digitale Konstruktion (en: digital construction, DC), Konstruktion 4.0 (en: construction 4.0), fortgeschrittene Fertigung in der Konstruktion (en: advanced manufacturing in construction, AMC), Konstruktions-3D-Druck (en: construction 3D printing, C3DP) und 3D-Konstruktionsdruck (en: 3D construction printing, 3DCP).

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 geringes 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 2022 rapide weiter und neue Materialien und Verfahren werden wahrscheinlich in diese Festlegung aufgenommen.

3.3

AM-Systembetrieb

en **AM system operations**

Anlage/Lösung, die das additive Konstruktionssystem in Betrieb für Endanwendungen abbildet

BEISPIEL Ein industrieller AC-Dienstleister oder eine interne Abteilung eines größeren Unternehmens oder eine AM-Zellenlösung mit einem durchgängigen Ansatz.

3.4

Schichtauftrag

en **layer deposition**

Anwendung einer einzelnen Schicht

3.5

AC-Zelle

en **AC cell**

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

3.6

Materialauftragsvorrichtung

en **material deposition device**

Baugruppe einschließlich Aufgabemechanismus für Material und/oder Bindemittel- und Auftragsdüse(n)

3.7

physische Produktion

en **physical production**

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

3.8

virtueller Produktionsdurchlauf

en **virtual production run**

Computer-/digitale Simulation des physischen Produktionsdurchlaufs (Bauftrag)

BEISPIEL Drucksimulation

3.9

trockener Produktionsdurchlauf

en **dry production run**

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

BEISPIEL Werkzeugweg

3.10

Konstruktionsprozess

en **construction process**

Prozess, der alle digitalen und physischen Konstruktionsschritte bis zur Fertigstellung des endgültigen Teils einschließlich der Qualitätskontrolle umfasst

3.11

MEP, en: mechanical, electrical, plumbing

im Bausektor verwendetes Akronym für „mechanisch, elektrisch, Sanitärinstallation“

3.12

gedrucktes Element

en **printed element**

konstruktionsbezogene 3D-Druck-Komponente, die in ein Gebäude oder eine Struktur eingefügt wird, eine vollständige Infrastruktur-Komponente ist

BEISPIEL Wände, Säulen, Balken usw.

3.13

Druckbarkeit

en **printability**

Fähigkeit des Materials, leicht dem Druckkopf zugeführt, von dem Druckkopf verarbeitet (z. B. Extrusionsfähigkeit) zu werden und die Anforderungen an die Schichtform, die Stabilität und die Baubarkeit zu erfüllen und die Pumpbarkeit, sofern zutreffend

3.14

Extrusionsfähigkeit

en **extrudability**

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

3.15

Schichtformstabilität

en **layer shape stability**

Fähigkeit der aufgetragenen Schicht, ihre Form zu bewahren und den zunehmenden Lasten durch darauf aufgetragene/nachfolgende Schichten mit kontrollierter Verformung zu widerstehen

3.16

Baubarkeit (Druckstabilität)

en buildability (print stability)

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

4 Konstruktionsfähigkeit, Beurteilung und Überprüfung

4.1 Allgemeines

Die Verifizierung der Anforderungen an AC-Elemente muss vor der Datenvorbereitung erfolgen. 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 zu basieren.

Ist die Fertigungsanfrage unvollständig (bspw. fehlende technische Zeichnung) oder eine erste Inbetriebnahme mit Restriktionen verbunden, so ist der Kunde darauf hinzuweisen, 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.

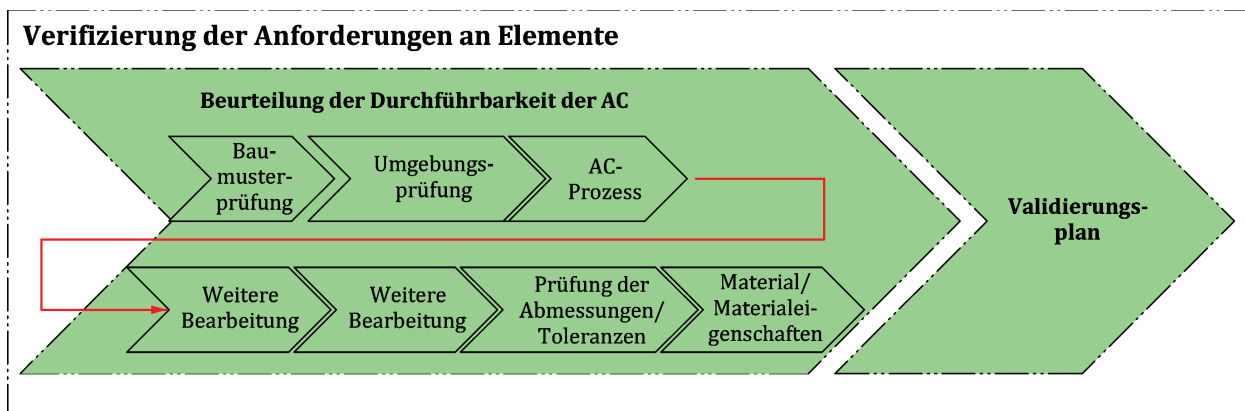


Bild 1 — Schritte einer Verifizierung von Anforderungen an AC-Elemente

4.2 Beurteilung der Durchführbarkeit der AC

Die Durchführbarkeit der AC muss durch geeignetes Personal (z. B. Technologie-Experten oder unterwiesene Personen) geprüft werden, die notwendige Produktionskompetenz ist nur in der direkten AC-Umgebung verfügbar. Es ist wichtig, alle Anforderungen an Elemente in die Durchführbarkeitsprüfung einzubeziehen.

- 1) **Baumusterprüfung:** Die prozessrelevanten Gestaltungsrichtlinien sollten zur Bewertung der AC-Durchführbarkeit der Gestaltung konsultiert werden. Außerdem müssen prozessbezogene AC-Beschränkungen wie z. B. minimale Wandstärken ebenfalls berücksichtigt werden.
- 2) **Umgebungsprüfung:** Für die Abmessungen 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 anhand eines „Wiege bis zur Bahre“-Ansatzes der Lebensdaueranalyse (LCA) durchzuführen und Makro-Indikatoren für die interne Nutzung nachzuverfolgen und Umweltprodukterklärungen (EPD) der Bauprodukte nach der Validierung zu erstellen.

Die folgenden Hauptindikatoren müssen angewendet werden:

- Treibhauspotential (CO₂-äquivalente Emissionen) — Treibhausgasemissionen (GHG), die einen potenziellen Einfluss auf das Klima haben.

Weitere mögliche relevante Indikatoren sind:

- Umweltverschmutzungspotential: Trinkwasserressourcen, die einen potenziellen Einfluss auf den Abbau von Trinkwasserressourcen haben;
 - 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;
 - Erzeugte Abfälle nach Art: Gesamtvolumen unschädlicher und schädlicher Abfälle, die einen potenziellen Einfluss auf die Erzeugung von Abfällen für das Entsorgungssäuerungspotential (SO₂ zu Luft) haben — potenzieller Einfluss auf die Versauerung von Boden- und Wasserressourcen;
 - Trinkwasser-Eutrophierungspotential (P zu Trinkwasser): potenzieller Einfluss auf die Eutrophierung von Wasserflächen.
- 3) AC-Prozess: Darüber hinaus muss geprüft werden, 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. Dies sollte der Verantwortlichkeit des AC-Ingenieurs unterliegen. AC-spezifische Prozesskategorierisiken müssen bewertet werden, um die jeweiligen Anforderungen an die Komponente zu erfüllen. Siehe Tabelle A.1 — AC-Technologie und Materiallegenden für spezifische Prozesse und Materialien.
- 4) 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.
- 5) 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/Überspringen in dem AC-Prozess.

- 6) Material/Materialeigenschaften: Die AC-Durchführbarkeit muss über die ausgewählte Technologie hinaus in Abhängigkeit von dem Material über den gesamten AC-Prozess betrachtet werden. Die festgelegten Materialeigenschaften müssen hier einbezogen werden. Lokale Normtoleranzen für die Brandlast, die Spannung, die Schrumpfung, Kriechen usw. sollten eingehalten werden.

BEISPIEL 2 Materialien, die unterschiedliche 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 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 Ele-

ments/der Elemente wird in einem aus ein bis drei Phasen bestehenden Prozess (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 z. B. 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:

- 1) **Ausrüstung:** Jede verwendete Ausrüstung sollte den lokalen Vorschriften und den EHS-Normen (Umweltschutz, Gesundheit und Sicherheit) entsprechen. Entsprechend den in den einzelnen Ländern akzeptierten Normen. Im Folgenden sind einige Beispiele aufgeführt:

EN 12001	Förder-, Spritz- und Verteilmaschinen für Beton und Mörtel — Sicherheitsanforderungen
EN 12629-1	Maschinen für die Herstellung von Bauprodukten aus Beton und Kalksandsteinmassen — Sicherheit — Teil 1: Gemeinsame Anforderungen
EN ISO 4413	Fluidtechnik — Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Hydraulikanlagen und deren Bauteile
EN ISO 4144	Pneumatische Fluidtechnik — Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Systeme und deren Bauteile
EN ISO 12100	Sicherheit von Maschinen — Allgemeine Gestaltungsleitsätze — Risikobeurteilung und Risikominderung
EN ISO 13849	Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen — Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze
EN ISO 13849-2	Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen — Teil 2: Validierung
EN ISO 13850	Sicherheit von Maschinen — Not-Halt-Funktion — Gestaltungsleitsätze
ISO 13854	Safety of machinery — Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body
EN ISO 13857	Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen
EN ISO 14118	Sicherheit von Maschinen — Vermeidung von unerwartetem Anlauf
EN ISO 14119	Sicherheit von Maschinen — Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen — Leitsätze für Gestaltung und Auswahl
EN ISO 14120	Sicherheit von Maschinen — Trennende Schutzeinrichtungen — Allgemeine Anforderungen an Gestaltung und Bau von feststehenden und beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen
60204-1	Sicherheit von Maschinen — Elektrische Ausrüstung von Maschinen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen
10218-1	Robotik — Sicherheitsanforderungen für Robotersysteme im industriellen Umfeld — Teil 1: Roboter
10218-2	Industrieroboter — Sicherheitsanforderungen — Teil 2: Robotersysteme und Integration
EN 60204-1	Sicherheit von Maschinen — Elektrische Ausrüstung von Maschinen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen

- 2) **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 dieser ISO-Norm sollten die entsprechende Sicherheitsmanagement-Anleitung und die lokalen Vorschriften und Verordnungen lesen, um alle spezifischen Anforderungen zu verstehen. Der nachfolgende Abschnitt enthält eine Zusammenfassung der für die AC zu beachtenden Sicherheitsmanagement-Aspekte.

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.

Betreiber müssen Sicherheitsmanagement-Vorkehrungen vorsehen, die verantwortliche und zuständige Personen innerhalb ihrer Organisation kennzeichnen. 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.

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.

Betreiber von AC-Roboteranlagen und damit verbundenen Maschinen und Materialien müssen die Sicherheit aller Aspekte des Betriebs berücksichtigen und sicherstellen, einschließlich, aber nicht darauf beschränkt:

- 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.

3) **Systeminstallation:** Das AC-System muss durch qualifiziertes Personal installiert werden (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 usw.).

4) **Instandhaltung:** Alle Instandhaltungsaktivitäten wurden abgeschlossen und dokumentiert.

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

5) **Produktionsumgebung:** Die Spezifikationen des Systemherstellers im Hinblick auf die Umgebungs- und Installationsbedingungen.

6) **IT-Infrastruktur:** Sicherheit der Serverumgebung, Bereitstellung von IT-Hardware sowie Sicherheits- und Archivierungssysteme (z. B. nach ISO/IEC 27001);

- 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 AM-Elementen diese Norm anwendet. Zusätzlich kann diese Norm genutzt werden, um für das Qualitätsmanagementsystem relevante Inhalte festzulegen, die spezifisch für die AC-Technologie sind.

Um eine hohe Qualität innerhalb einer AC-Zelle sicherzustellen, müssen die komplette Prozesskette (6.2 bis 6.7) des Produktionsprozesses und die Personalanforderungen (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;
- **Datenvorbereitung:** digitale Verarbeitung vor der additiven Konstruktion;
- **Materialmanagement:** Materialflüsse vor dem Druckprozess und während des Druckprozesses;
- **Systembezogene Vorverarbeitung:** manuelle Aktivitäten, die im unmittelbaren Umfeld des Drucksystems erfolgen und der Initiierung der Steuerung des Prozesses dienen;

- **Prozessleitung (Bauzyklus):** kompletter Maschinenzyklus, in dem Elemente additiv gefertigt werden;
- **Standardmäßige Nachbearbeitung:** Aktivitäten in der Umgebung des Produktionssystems und die nach der Prozesssteuerung ausgeführt werden;
- **Elementspezifische Nachbearbeitung:** Aktivitäten an dem Element nach der Prozessleitung (siehe Anhang B und Anhang C).

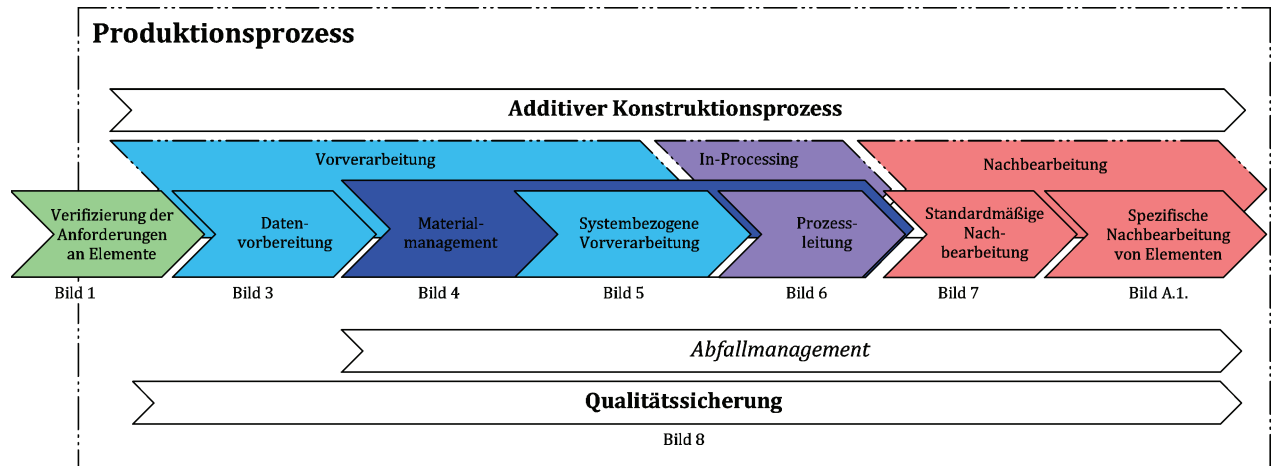


Bild 2 — Prozess mit Qualitätssicherung in AC vor Ort oder ortsfern

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

- 1) qualitätsrelevante Eigenschaften sowie Prüfverfahren und Intervalle für die Überwachung jedes einzelnen in Bild 1 dargestellten Prozesses sollten beschrieben werden;
- 2) Arbeitsausrüstung und alle anzuwendenden Umgebungsbedingungen, die für den Druckprozess und während des Druckprozesses erforderlich sind;
- 3) systembezogene Instandhaltungs- und Instandsetzungsaktivitäten (siehe Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele);
- 4) 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;
- 5) die Festlegung der Messung, der geometrischen Abmessungen und der Toleranzbestimmung der AC-Nutzung muss durch die Spezifität der Anwendung und/oder auf der Grundlage der Anwenderanforderungen erfolgen.

ANMERKUNG Siehe Anhang B — lokale und globale AC-Toleranzen

6.2 Datenvorbereitung

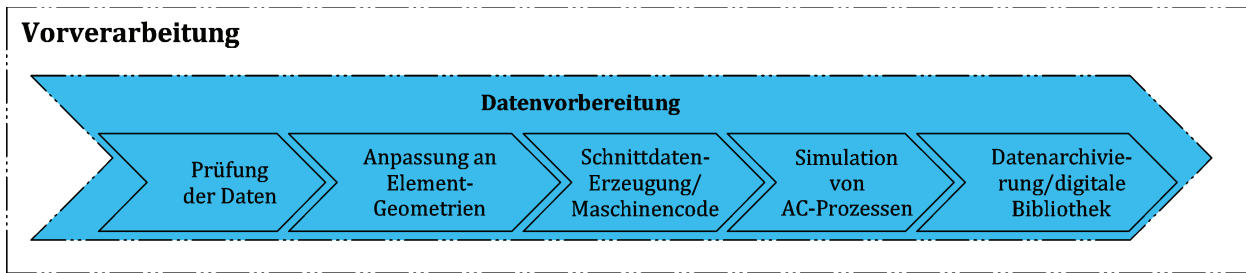


Bild 3 — Schritte der Datenvorbereitung

Die Datenstruktur-Grundsätze nach ISO/ASTM 52950 müssen angewendet werden. Die Festlegung nach ISO/ASTM 52900, Unterabschnitt 3.4, Processing data sollte befolgt werden.

Sofern technisch anwendbar, müssen die folgenden Prozessschritte aus Bild 3 festgelegt und ihre Prüfung und Dokumentation definiert werden:

- 1) **Prüfung der Daten:** Eine Überprüfung auf fehlerfreie Verarbeitbarkeit der 3D-Daten muss vorgenommen werden. Falls Fehler gefunden werden, muss eine Datenreparatur in enger Zusammenarbeit mit dem und Genehmigung durch das technische Team erfolgen, insbesondere wenn geometrische Änderungen erforderlich sind;

Falls zutreffend, müssen die Parameter der Konvertierung des Dateiformats (z. B. STL) (*Tessellierung*) dokumentiert werden.

- 2) **Anpassung an Element-Geometrien:** Aufschläge für vorübergehende Stützkonstruktionen (z. B. *Überhänge*) und die MEP-Integration, sofern zutreffend. Änderungen der 3D-Daten sind zulässig, sofern sie mit der Veränderung von Elementen verbunden sind, wenn alle Anpassungen in einer verständlichen und überprüfbaren Form dokumentiert (dies erfordert eine Versionskontrolle des modifizierten Datensatzes) und entsprechende Genehmigungen vor der Anwendung der Änderungen eingeholt und erteilt werden.

Schnittdaten-Erzeugung/Maschinencode (z. B. G-Code): Konvertierung in maschinenspezifische Schnittdaten mit vollständigen Prozessparametern auf der Grundlage des Ansatzes und des Materials.

Bei Software-Aktualisierungen sollte anhand festgelegter Ein- und Ausgabedaten geprüft werden, dass die generierten Daten mit den referenzierten Ausgabedaten übereinstimmen.

Die Parameter für die Datenkonvertierung müssen festgelegt und in der entsprechenden Prozessbeschreibung unter Berücksichtigung der Hauptqualitätssicherungseigenschaften der jeweiligen verwendeten AC-Prozesskategorie eingehalten werden.

- 3) **Simulation des additiven Konstruktionsprozesses:** Virtueller Produktionsdurchlauf zur Vorhersage der Druckbarkeit und der Druckleistung auf der Grundlage der Geometrie, des Materials und der AC-Prozesskategorien/-eigenschaften (siehe Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele).
- 4) **Datenarchivierung:** Archiv des Produktionsdurchlaufs mit eindeutiger Versionsbezeichnung (oder als Verweisung auf Bestandszeichnungen des Elements/digitalen Modells). Archivierungsdauer wie für die/den relevante(n) Anwendung/Sektor festgelegt.

6.3 Anforderungen an das Materialmanagement

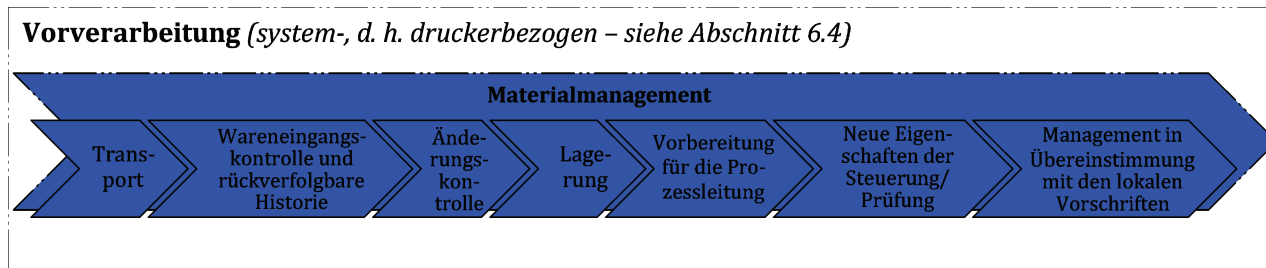


Bild 4 — Elemente des Materialmanagements

Besondere Erwägungen zur Materialhandhabung sollten berücksichtigt werden, da es ebenfalls erforderlich ist, die Spezifikation wesentlicher Parameter und damit verbundene Prüfverfahren, die die Eignung eines Materials für den jeweiligen Druckprozess sicherstellen, sofern zutreffend, festzulegen. Die lokalen Gesetze und Verordnungen der zuständigen Behörden sind zu befolgen. Bild 4 zeigt die Elemente des Materialmanagements.

„Unterstützende Materialien“ wie etwa Bindemittel oder Klebeprodukte für die Materialhandhabung (Lagerung und Mischung) und die Materialaufgabe (Pumpen und Drucken) sollten berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollte beachtet werden, dass das gedruckte Material an dem Kopf/der Düse/dem Extruder sich von dem Material im Mischer-/Materialaufgabebereich unterscheidet. (Siehe Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele)

Um die erforderlichen Eigenschaften des Materials sicherzustellen, müssen die folgenden Prozessschritte angegeben und ihre Prüfung und Dokumentation festgelegt werden:

- 1) **Transport:** sollte den Empfehlungen des Lieferanten entsprechen;
 - i) **Wareneingangskontrolle:** Kennzeichnung des eingehenden Materials mit Chargenprüfung des Rohmaterials nach Anweisung des Materiallieferanten (siehe Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele)
- 2) **Chargenkontrolle:** eine rückverfolgbare Materialhistorie muss zusammengestellt, dokumentiert und gespeichert werden;
- 3) **Lagerung:** geeignete Lagerungsbedingungen (mindestens Überwachung der Feuchte (sofern zutreffend) und Temperatur) sollten den Empfehlungen des Lieferanten entsprechen (siehe Anhang B);
 - i) **Vorbereitung für die Prozessleitung:** sofern zutreffend, Anpassung der Materialzusammensetzung für die Prozesssteuerung (siehe Anhang C und Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele);
 - ii) **Neue Eigenschaften der prozessinternen Steuerung:** Beispiel: Parameterkontrolle, Parameterprüfungen (Beispiel: Durchfluss- und Konsistenzprüfungen) und Sonden können Teil des Qualitätsüberwachungsplans sein;
- 4) **Management in Übereinstimmung mit den lokalen Vorschriften:** AC-Technologie-spezifisch, AC-Material-spezifisch, Umgebungsaspekte usw.

6.4 Systembezogene Vorverarbeitung

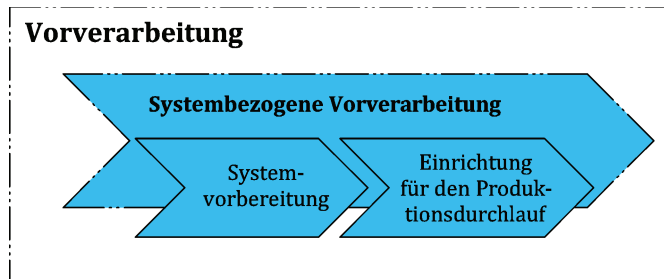


Bild 5 — Elemente der systembezogenen Prozessvorbereitung

Sofern technisch anwendbar, müssen die folgenden Prozessschritte (siehe Bild 5) festgelegt und ihre Prüfung und Dokumentation definiert werden:

- 1) **Systemvorbereitung:** Wiederherstellung des Ausgangszustands der Maschine für den folgenden Produktionsdurchlauf:
 - a) Die Vorbereitungsschritte müssen nach Angabe des Herstellers erfolgen (Inspektions- und Prüfverfahren einschließlich in Verbindung mit dem Auspacken und Einrichten der Maschinen für den Druck vor Ort, sofern zutreffend). Siehe 5.2 für Aufgaben des Personals;
 - b) Reinigung: Reinigungsvorgänge sind nach den Anweisungen des Herstellers durchzuführen. (Siehe Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele.)
- 2) **Einrichtung für den Produktionsdurchlauf:**
 - a) Platte oder Basis für den Druck (es muss sichergestellt werden, dass die Toleranzanforderungen entsprechend den Empfehlungen des Lieferanten erfüllt werden). (Siehe Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele);
 - b) System- und Prozessmaterialien, Anforderungen an die Produktion, Trockener-Produktionsdurchlauf-Überprüfung entsprechend den Anforderungen des Herstellers (*könnte die Überprüfung der Ebenheit der Platte oder des Sockels beinhalten, sofern zutreffend*);
 - c) Einrichtung des Materialaufgabesystems für den Trockenlauf;
 - d) Stopp-/Start-Verfahren auf der Grundlage der material- und druckerspezifischen Empfehlungen;
 - e) festgelegte Bauzyklus-Parameter;
 - f) Umgebungskontrollen;
 - g) Bauzaun, Zaun oder andere Strukturen zur Umschließung und/oder Zugangskontrolle, Wetter, schädliche Fremdstoffe wie Staub, windgetragene Schmutzstoffe (Blätter, Gras, Sand usw.), Umgebungstemperatur und Feuchte und auch, ob Schallschutz- oder Schalldämmungsvorrichtungen vorhanden sind;
 - h) Sicherheit innerhalb der Zelle;
 - i) Festlegung der natürlichen und umgebungsbedingten Schwingungsgrenzwerte. (Siehe Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele);
 - j) Recycling und Abfallmanagement.

6.5 Bauprozessleitung

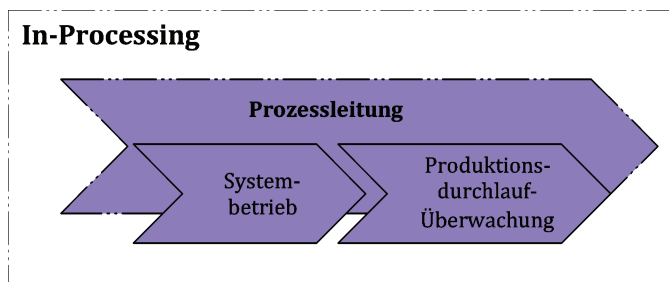


Bild 6 — Elemente der Prozessleitung

Die Anforderungen an die Druckumgebung beinhalten die Systemüberwachung während des Betriebs.

Sofern technisch anwendbar, müssen die folgenden Prozessschritte (siehe Bild 6) festgelegt und ihre Prüfung und Dokumentation definiert werden, siehe Anhang C für die Bauprozessleitung:

1) **Systembetrieb: Starten** und Ausführen des Produktionsdurchlaufs:

- a) Die von dem Hersteller angegebenen Verfahrensschritte müssen eingehalten werden;
- b) Start des Druckers: die Arbeitsanweisungen müssen eingehalten werden;
- c) Die Platzierung der Bewehrung (Betonstahl, Metalldraht usw.) sollte auf der Grundlage der erforderlichen Leistungstoleranzen erfolgen;
- d) Die MEP-Integration (sofern zutreffend) muss entsprechend den erforderlichen Gestaltungsparametern erfolgen:
 - Alle Stopp-/Start-Aktivitäten für die mechanische, elektrische und sanitärtechnische Integration und/oder die Platzierung von Bewehrungen sollten entsprechend den dokumentierten Praktiken des Systemanbieters erfolgen.

e) Protokollierung des Produktionsdurchlaufs:

- Alle Stopp-/Start-Aktivitäten müssen dokumentiert werden;
- Datensatz aus der Fertigungscharge (Geometrie, Anzahl, Schichtdicke, Expositionsstrategie usw.);
- Prozessparameter (z. B. Vorschubrate, Düsenreinigungsschritte, Materialaufgabe oder Schichtauftrag, Kalibrierung, Druckgeschwindigkeit, Schichtdauer, Extrusionsrate). (Siehe Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele);
- Die Druckbarkeit kann durch den Materialfluss festgelegt werden, der durch den Stromverbrauch einer Pumpe gemessen werden kann.

ANMERKUNG Die Baubarkeit könnte einen zusätzlichen Festlegungsstatus der Komponenten haben (Förderate, Druckkopfstatus, Achsenpositionierung usw.);

- Material- und Maschinendaten (Seriennummer usw.).

2) **Produktionsdurchlauf-Überwachung:** ein manueller oder automatisierter Überwachungsplan sollte vorhanden sein (z. B. Technologie-/Anwendungsprobenahme, Start-/Stopp-Dokument, Materialgehalt, Sichtprüfung, zerstörungsfreie Prüfung). Dies kann unter anderem Folgendes enthalten:

- a) Sammeln von Materialproben (*manuell, halbautomatisch, automatisch*); (siehe Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele);
- b) Aufzeichnung und Bewertung des Produktionsdurchlaufs mittels bildgebender Verfahren: Die erhobenen Daten ermöglichen die Auswertung von Fehlern bzw. die Rückführung von Bauteildefekten auf Prozessabweichungen;
- c) (zum Teil echtzeitgerecht) Schichtfehleranalyse zur Erkennung einer unregelmäßigen Materialplatzierung auf der Baufläche(nach jeder Schicht) kann in die Qualitätssicherung integriert werden;
- d) die Schichtfehleranalyse muss in Übereinstimmung mit ausreichend festgelegten Spezifikationen erfolgen;
- e) der Zeitabstand zwischen Schichten wird entsprechend festgelegter Spezifikationen gemessen;
- f) das Höhen-/Zeitintervall wird entsprechend den festgelegten Spezifikationen gemessen;
- g) Gestaltungsspezifikationen (Maueranker, Bewehrung) müssen überwacht werden;
- h) bei der Überprüfung der gedruckten Schicht dürfen keine Oberflächenfehler einschließlich Unterbrechungen aufgrund übermäßiger Steifheit und unzureichender Kohäsion zwischen aufeinander folgenden Schichten zu erkennen sein;
- i) Maßkonformität und Maßkonsistenz je verwendetem Material und von einem zertifizierten Betreiber durchgeführt. Dies erfolgt anhand der Druckschicht und der folgenden Faktoren, die die Druckqualität beeinflussen könnten und gemessen werden sollten, wie etwa
 - Klimatische Bedingungen (Temperatur, Feuchte, Wind) vor Ort mit dem gedruckten Element;
 - Positionierung der Temperaturmesseinrichtung, um die Umgebung und das Material messen zu können;
 - Menge und Temperatur flüssiger und trockener Komponenten;
 - Temperatur der platzierten Endkomponente;
 - Geschwindigkeit des Mixers, der Pumpe, des Roboters;
 - Stromverbrauch der Elektromotoren;
 - Menge der dem Material beigemischten Zuschlagstoffe.

6.6 (Standardmäßige) System-Nachbearbeitung

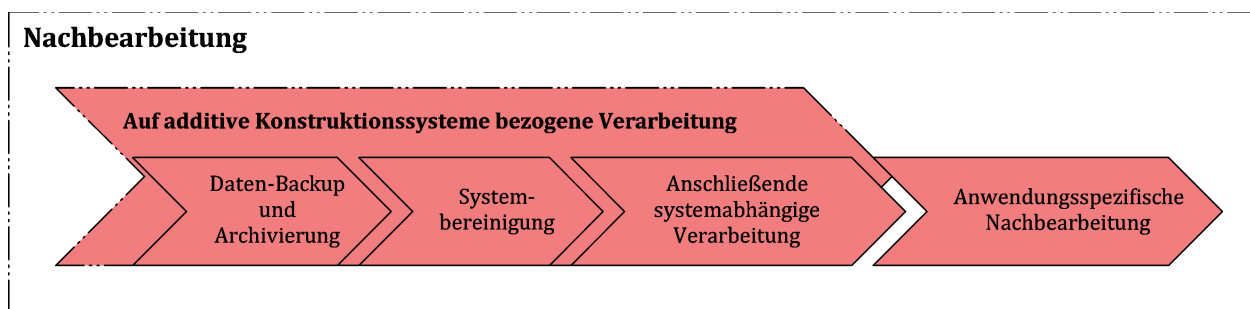


Bild 7 — Elemente der (standardmäßigen) System-Nachbearbeitung

Soweit möglich müssen die Nachbearbeitungsmaßnahmen (siehe Bild 7) einheitlich gestaltet und in die Qualifikation integriert werden (siehe 6.7). Angewendete Prozesse müssen der Struktur eindeutig zugewiesen und als Nachweis archiviert werden. Sofern zutreffend, müssen die folgenden Prozessschritte festgelegt und in kontrollierter Weise ausgeführt und ihre Prüfung und Dokumentation muss definiert werden:

- 1) **Daten-Backup und Archivierung:** Backup der Protokolle/Aufzeichnungsdaten nach dem Abschluss des Produktionsdurchlaufs;
- 2) **Systembereinigung:** Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands der Maschine für den nächsten Produktionsdurchlauf (siehe 6.4 und Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele);
- 3) **anschließende systemabhängige Verarbeitung** zur Vorbereitung auf den nächsten Produktionsdurchlauf;
- 4) **Aushärtungsumgebung**, die den Empfehlungen des Materiallieferanten entsprechen sollte;
- 5) **anwendungsspezifische Nachbearbeitung:** Diese Norm legt nicht alle Spezifikationen oder Empfehlungen für die Nachbearbeitung gedruckter Elemente fest (z. B. automatische oder manuelle Glättung von Oberflächen), sondern dient als rein informative Zuordnung (siehe Abschnitt A.1) der Druckprozesse. Die in der Endbearbeitung üblicherweise angewendeten Verfahren inklusive Versand sind zum größten Teil genormt. Die entsprechenden normativen Dokumente sind anwendbar, siehe Tabelle D.1 in Anhang D für spezifische Prozessbeispiele.

Somit lässt sich dieses Dokument als Grundlage für den AC-spezifischen Prozess heranziehen und mit einem beliebigen Qualifizierungsstandard für anschließende Schritte erweitern. Die Qualitätssicherung muss über den gesamten Konstruktionsprozess erfolgen.

6.7 Prozessqualifizierung

Das Hauptziel der Prozessqualifikation des AC-Prozesses besteht in der Festlegung reproduzierbarer produktbezogener Indikatoren. Sie beinhaltet die Prüfung von Referenzprobekörpern in statistisch signifikantem Umfang, die die zu qualifizierende Prozesskette durchlaufen haben. Die Prozessqualifizierung des AC-Prozesses bildet somit die Grundlage sowohl für die Identifizierung reproduzierbarer Parameter als auch für die Bewertung der aktuellen Prozessqualität, wie durch die laufende Qualitätssicherung festgelegt. Die produktionsbegleitenden Proben dienen nicht nur der quantitativen Bestimmung von Materialeigenschaften, sondern vielmehr einem qualitativen Vergleich mit einem im Vorfeld bestimmten Toleranzbereich auf der Grundlage des Standorts und der Dispersionsparameter der Materialeigenschaften, um die Vergleichspräzision der Prozessergebnisse zu verifizieren.

Die in 6.1 bis 6.7 festgelegten Prozessschritte müssen aufeinanderfolgend festgelegt und ihre Prüfung und Dokumentation muss definiert werden. Die festgelegte Dokumentation sollte für alle AC-relevanten Arbeitskräfte auf der Baustelle verfügbar sein. Dies beinhaltet üblicherweise:

- 1) **Parametersatz:** Die für die Qualifizierung ausgewählten Prozessparameter müssen festgelegt, eindeutig bezeichnet und dokumentiert werden. Änderungen der Prozessparameter erfordern eine Requalifizierung;
- 2) **Kennwerte/Probekörper:** Sind Kennwerte für den konventionellen Werkstoff in Normen festgelegt, müssen diese Kennwerte anhand von Probekörpern nach den normativen Anforderungen ermittelt werden;
- 3) **Anzahl der Proben/Produktionsdurchläufe:** Die Anzahl der Probekörper und Produktionsdurchläufe muss in statistisch relevanter Weise ausgewählt werden und sollte mit den Überwachungslösungen für den Bauprozess abgestimmt sein;
- 4) **Positionierung/Ausrichtung:** Die Anordnung und Ausrichtung der Versuchsproben muss entsprechend den Umständen des AC-Systems und dem Anwendungsbereich ausgewählt werden (z.B. die z-Höhensonden);

- 5) **Datenweitergabe:** Bei Datentransfer über mehrere Softwareprogramme ist eine Qualifizierung der Datenverarbeitung durchzuführen.

7 Qualitätssicherung

7.1 Allgemeines

Die Qualitätssicherung des gesamten AC-Prozesses berücksichtigt alle in Bild 8 dargestellten Elemente. Erwägungen für die Produktion und Prüfung vor Ort oder ortsfern und die Lieferung müssen bei der Bestimmung der Qualitätssicherung berücksichtigt werden.

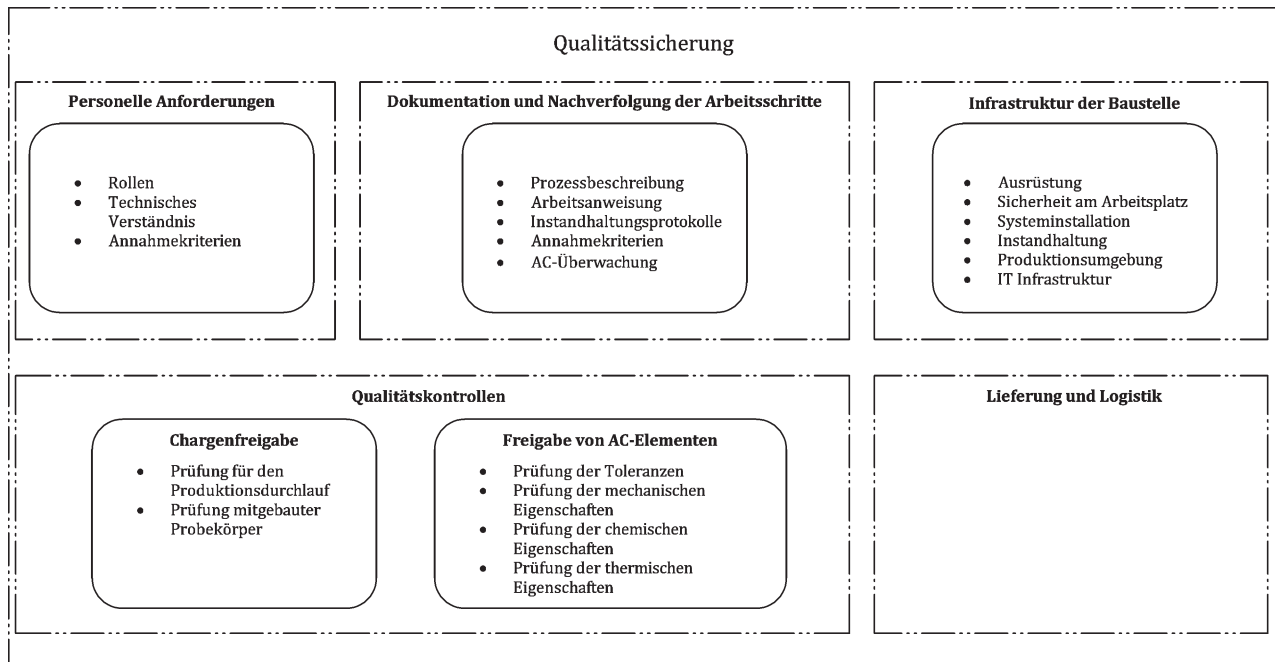


Bild 8 — Elemente der Qualitätssicherung

7.2 Personelle Anforderungen

Die Rollen des Personals müssen für alle Bereiche der AC sorgfältig festgelegt und dokumentiert werden. Das Personal muss entsprechend seiner Aufgabe qualifiziert sein. Die Qualifizierungsprotokolle müssen für das gesamte AC-Personal aufbewahrt werden.

Die Rollen im additiven Prozess sind:

- CAD-, CAM- und CAE-Ingenieure;
- Bau-, Statik-, Material- und Maschinenbauingenieure mit AC-Kenntnissen;
- Maschinenbediener;
- Prüfpersonal (für die zerstörungsfreie Prüfung);
- AC-Qualitätssicherungsspezialist;
- Gesundheits- und Sicherheitsbeauftragter (*gemeinsame oder besondere Verantwortung*).

Die Verantwortlichkeiten dieser Rollen umfassen die Instandhaltung der Systeme, die Implementierung und Einhaltung der Arbeitssicherheitsvorkehrungen, die Prozessqualifizierung und interne (oder externe) Inspektion der erforderlichen Qualitätsberichte in einem oder mehreren zufällig ausgewählten Tätigkeits-Audits.

Die Dokumentationsprüfung sollte mit nachweisbarem technischem Verständnis der spezifischen Anforderungen des AC-Prozesses durchgeführt werden. Dies beinhaltet: Kenntnis der aktuell verfügbaren AC- und Konstruktionsnormen sowie umfassende Fachkenntnis der relevanten Prozesskategorie und ihrer Qualitätssicherungsaspekte.

ANMERKUNG Der Anwendungsbereich der Dokumentationsprüfung umfasst die Inspektion der digitalen und physischen Produktionsschritte.

Abnahmekriterien in Bezug auf technologie- und materialspezifische Kriterien müssen von geeignetem technischem Personal als Teil der in Abschnitt 4 aufgeführten Qualitätssicherungsaspekte festgelegt werden.

7.3 Dokumentation und Nachverfolgung der Arbeitsschritte

Die Dokumentation des AC-Prozesses ist erforderlich, um die qualitätsgesicherten Prozesse zu überprüfen. Die Anforderungen an die direkte AC-Umgebung beinhalten die folgenden produktionsnotwendigen Spezifikationen:

- 1) **Prozessbeschreibung:** Beschreibung aller relevanten Prozesse entlang der **Produktions**-Prozesskette (siehe Bild 2).
- 2) **Arbeitsanweisung:** Verfahrensanweisung für die Durchführung aller relevanten manuellen Aktivitäten an den jeweiligen Stationen. Fehleranfällige Schritte, die für die Qualität von Bedeutung sind, müssen hervorgehoben werden, sofern anwendbar, einschließlich der entsprechenden Parameter.

BEISPIEL 1 Reinigung des Systems/der Systeme.

BEISPIEL 2 Dokumentation der versionierten, qualifizierten Maschinenparameter je durchgeführtem Produktionsdurchlauf.

- 3) **Instandhaltungsprotokolle:** Instandhaltungsprozesse und Intervalle sowie Maschinenkalibrierung.

Regelmäßige Vermessung der Komponenten mit einem direkten Einfluss auf den Druckprozess (z. B. Geschwindigkeit der Druckmaschine, Kalibrierung der Vorschubrate des Druckkopfes) in einer für die Anwendung geeigneten Weise und in geeigneten Intervallen.

Reinigungsarbeiten müssen nach dem systemspezifischen Instandhaltungsplan durchgeführt werden. Instandhaltungs- und Instandsetzungsaktivitäten müssen für den verwendeten Maschinentyp entsprechend den Spezifikationen des Herstellers für die Inspektion und Instandhaltung ausgeführt werden. Dies gilt sowohl für die Häufigkeit der durchzuführenden Wartungsarbeiten als auch für die Zuständigkeiten für die notwendigen Tätigkeiten. Täglich, wöchentliche und monatliche Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten im Rahmen des Bauauftrags müssen von dem Eigentümer/Betreiber des AC-Systems durchgeführt werden, dessen Implementierung in geeigneter Weise geprüft werden muss.

- 4) **Abnahmekriterien:** festgelegte und in Bezug genommene Methodologie, um den implementierten Teilprozess zu bewerten. Die einzelnen Kontrollpunkte entlang der gesamten Prozesskette erfordern eine Entscheidungsfindungsgrundlage. Diese muss dem Personal bekannt und für dasselbe leicht zugänglich sein:
 - a) Die Kompatibilität der Prüfeinrichtungen muss überprüft werden;
 - b) Dokumentation bezüglich der Produktion der produktionsbegleitenden Proben, Prüfberichte, Fehlerbericht;
 - c) Dokumentierter Nachweis der Materialqualität;