



Aktualisierung bez. des überarbeiteten Rahmenplans von 2019

535/02-E

Autor: Andreas Stenzel

Rahmenplan: Kapitel 2.1.3

Textband: neues Unterkapitel nach Kapitel 1.3.1

Additive Fertigungsverfahren

Durch den schichtweisen Aufbau der additiven Fertigungsverfahren können Bauteile gezielt in ihrem inneren Aufbau gestaltet werden. Dies führt zu folgenden Vorteilen:

- Steigerung der Qualität und Reduzierung der Prozesszeiten durch Anpassung der Kühlkanäle in Kunststoff-spritzgussformen an die äußere Werkzeugkontur
- Reduzierung des Werkstückgewichtes durch festigkeitsoptimierte Wabenstruktur des Werkstückinnern
- Herstellen von schwierig zu montierenden Baugruppen in einem Herstellschritt ohne aufwändige Fügestellen

Darüber hinaus können natürlich auch Produktänderungen zeitnah umgesetzt werden, da keine Werkzeuge geändert werden müssen. Selbst die Investitionskosten der Anlagen sind, im Vergleich zu klassischen Werkzeugmaschinen, aufgrund deren Komplexität gering. Der große Nachteil der geringen Fertigungsgeschwindigkeit wird durch den bedienerfreien Betrieb teilweise aufgehoben.

Die Verfahrenswahl richtet sich nach folgenden Kriterien:

- Werkstoffauswahl: Kunststoffe (Thermoplaste/Harze) oder Metalle
- technologische Eigenschaften: Festigkeit, Porosität, Temperaturbeständigkeit
- Werkstückgenauigkeit: Toleranzen, Formgenauigkeit, Reproduzierbarkeit

Die selektiven Laserverfahren SLS und SLM eignen sich besonders für die additive Fertigung und werden für Kunststoffe und Metalle eingesetzt. Beim **Selektiven Lasersintern (SLS)** werden feine Kunststoffpulver in einem Bauraum schichtweise aufgetragen (Pulverbett) und gezielt (selektiv) mittels eines Laserstrahls verschmolzen. Pulverbettverfahren benötigen keine Hilfs- bzw. Stützstrukturen am Werkstück, die anschließend entfernt werden müssen.

Damit der Prozess stabil verläuft, ist der Bauraum beheizt und mit Schutzgasen geflutet. Die Anlagen sind komplett geschlossen und können in Büroräumen aufgestellt und betrieben werden. Diese Technologie wird z. B. für die Serienteile im Bereich Umlenkstücke für Kugelumlaufspindeln, Kleinserienfertigung von massiven Kunststoffteilen und beim Ersatzteilmanagement eingesetzt – sie ermöglicht auch eine sofortige Änderung des Bauteils ohne eine Werkzeugänderung.

Bei den Direkten-Metall-Laser-Sintern-Verfahren wird das Metallpulver schichtweise aufgeschmolzen bzw. durch einen Laserstrahl aufgeschweißt. Dabei entsteht beim Pulverbettverfahren, wie beim Einsatz von Kunststoffen, eine gewisse Porosität der Bauteile, die über die Parameter Pulverfeinheit, Auftragsdicke und Laserleistung beeinflusst werden kann. Zum Einsatz kommen Metallpulver mit Korngrößen $> 10 \mu\text{m}$ und verschiedenen Werkstoffen wie Aluminium, Werkzeugstahl, nichtrostende Stähle, Titan und Inconel.

Sollen die Poren komplett vermieden werden, schmilzt man die Metallpulver wie beim Laser-Auftragsschweißen durch einen Laserstrahl in einem Pulver-Düse-System. Während des Auftrags entsteht so ein homogenes Gefüge. Dazu wird beim **SLM-Verfahren (SLM – Selective Laser Melting)**, auch als LMD-Verfahren (LMD – Laser Metal Deposition) bezeichnet, das Pulver mittels Schutzgas dem Laserstrahl zugeführt und geschmolzen. Die flüssigen Tröpfchen werden durch den Gasstrom auf die Werkstückoberfläche gelenkt und bilden dabei die Auftragschicht. Hierbei ist es auch möglich, vorgefertigte Werkstücke nur in bestimmten Bereichen additiv aufzubauen. Aufgrund der flüssigen Phase ergeben sich jedoch größere Toleranzen und höherer Verzug.

Zusammenfassend kann die additive Fertigung als alternative Möglichkeit der seriellen Herstellung komplexer Bauteile betrachtet werden. Ein Ersatz der klassischen



subtrahierenden Verfahren des Spanens und Trennens wird, schon allein wegen der deutlich höheren Kosten und des Zeitaufwands, nur in Randbereichen erfolgen. Ein besonderer Aspekt bei den Metall- und Kunststoffpulvern ist deren feine Struktur, die beim Arbeitsschutz Beachtung erfordert.

Rahmenplan: Kapitel 2.2.2

Textband: Ende Kapitel 2.2

Unter dem größer werdenden Wettbewerbsdruck müssen Unternehmen immer bessere Produkte zu günstigen Konditionen immer schneller auf den Markt bringen. Dies erfordert einen größeren Aufwand in der Planung der betrieblichen Abläufe. Vor allem in den Bereichen Logistik, Materialwirtschaft und der Produktionsplanung ist hier ein großer Abstimmungsbedarf erforderlich.

Die **Logistik** übernimmt die Bewegungs- und Lagerungsvorgänge aller Güter innerhalb der logistischen Kette zwischen dem Beschaffungsmarkt (z. B. Rohstoffe, Zukaufteile) sowie dem Absatzmarkt der fertigen Güter. Sie plant Handhabung, Lagerung, Transport, Verpackung und Verteilen aller Güter sowie der dabei anfallenden Daten. Die **Materialwirtschaft** steuert die Materialbeschaffung, Materialbevorratung sowie Bereitstellung im Unternehmen und sorgt somit für die Basis der Fertigung. Die **Produktionsplanung und Steuerung (PPS)** plant und steuert alle Vorgänge zur Abwicklung der Aufträge, ausgehend von der Angebotsbearbeitung über die Fertigungssteuerung bis hin zum Versand. Ihr Ziel ist die optimale Abwicklung aller Kundenaufträge. Die Planung legt dabei für die neuen Aufträge die Ziele und notwendigen Mittel zum Erreichen fest und schafft somit die Soll-Daten der Fertigung. Die Produktionssteuerung sorgt dafür, dass diese Ziele trotz auftretender Probleme in der Fertigung erreicht werden.

Ein Zielkonflikt entsteht dabei zwischen den Interessen des Betriebs, mit möglichst geringen Stillstandzeiten, hoher Produktionsauslastung sowie geringen Material- und Lagerkosten zu arbeiten, und den Interessen der Kunden, nämlich möglichst schnell und in der benötigten Stückzahl die Ware zu erhalten.

Betrachtet man dabei v.a. die unternehmensinternen Ressourcen (Personal, Material, Betriebsmittel, Hilfsmittel), dann spricht man vom **Enterprise-Resource-Planning (ERP)**. Wird dagegen die unternehmensübergreifende Planung und Steuerung der logistischen Kette betrachtet, so spricht man vom **Supply Chain Management (SCM)**.

Unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit müssen alle Ressourcen eines Unternehmens so abgestimmt werden, dass ein optimales Betriebsergebnis entsteht und alle Produktionsfaktoren zeit- und kostenoptimal eingesetzt werden. Bei der Planung dieser Aufgabe werden heute Softwarelösungen bestehend aus einzelnen Anwendungen (Modulen) angepasst an die Struktur des Unternehmens und der Branche eingesetzt. Sie erleichtern den Einsatz der Produktionsfaktoren und lassen dabei ein Echtzeit-Controlling zu. Neben den kommerziellen Anbietern wie SAP, Oracle, Microsoft gibt es auch Open-Source-Anwendungen zum eigenen Anpassen auf dem Markt.

Damit ein PPS- bzw. ERP-System effektiv eingesetzt werden kann, muss dieses an den Ablauf des Unternehmens angepasst oder aber dessen Prozesse an die Softwareabildung umgestellt werden. In großen Unternehmen werden dazu die Systeme mit teils enormem Aufwand den Strukturen angepasst, um einen optimalen Einsatz zu ermöglichen. Dies ist jedoch bei kleineren und mittleren Unternehmen (KMU) meist aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich, weshalb hier ein modularer Aufbau mit verschiedenen Erweiterungsstufen gewählt wird.

Für die Einführung eines ERP-Systems ist eine gute Planung und Abstimmung der enthaltenen Funktionen notwendig. Mit einem Lastenheft werden die geforderten Funktionen beschrieben und in einer Zeitplanung der Ablauf der Einführung festgelegt. Zudem müssen Mitarbeiter geschult, Testläufe durchgeführt werden und es ist auf eine sichere externe Unterstützung sowie die Pflege der Software zu achten.

Damit ein PPS zum Einsatz kommen kann, müssen viele Daten aus der Produktion erfasst und dem System zur Verfügung gestellt werden. Unter dem Begriff **Betriebsdatenerfassung (BDE)** ist das Erfassen und Bereitstellen von



technologischen Daten, wie Maschinen- oder Qualitätsdaten, sowie organisatorischen Daten, wie Auftragsdaten, Losgröße, Personaldaten (Arbeitszeit), und Materialdaten, wie Lagerbestand, gemeint. Damit dies wirtschaftlich, fehlerfrei und zeitnah erfasst werden kann, setzt man geeignete Geräte und Programme ein. BDE-Systeme unterscheiden sich in folgenden Merkmalen:

- Ort der Datenerfassung: zentral (z.B. Fertigungseingang) oder dezentral an jedem Arbeitsplatz
- Art der Datenerfassung: manuell über Eingabe, halbautomatisch mit Scanner oder vollautomatisch durch Sensoren
- Art der Datenübertragung: offline mittels Datenloggern oder online über WLAN
- Art der Datenverarbeitung: periodische Auswertung der gesammelten Daten oder in Echtzeit (Real Time)

Die Daten werden meist in Form von Strichcodes – ein- und mehrzeilige Barcodes oder Flächencodes wie Data-Matrix-Code, Aztec-Code oder Maxi-Code – aufgedruckt, gestempelt oder gelasert. Sie werden mit Scannern oder Kameralesesystemen erfasst und weitergeleitet.

Elektronische Identifikationssysteme werden in **Flexiblen Fertigungssystemen (FFS)** zur Erkennung der Werkstückträgersysteme (Palletten) und auch zur Standzeitverwaltung der Werkzeuge eingesetzt. Sie sind mit Speicherkarten und -chip, ähnlich der Kreditkarte, ausgestattet und können so große Mengen an Daten erfassen sowie bereitstellen. Sie bilden die Grundlage für I4.0-Lösungen.

PPS-Systeme stellen jederzeit den jeweiligen Auftragsstatus, die wahrscheinliche Fertigstellung sowie die dafür aufgebrauchten Produktionsfaktoren wie Arbeitszeit, Materialeinsatz, Fehleranteile zur Verfügung.

Rahmenplan: Kapitel 2.2.4/2.3.1
Textband: Ende Kapitel 3.1

Bei der **Maschinendatenerfassung (MDE)** steht die wirtschaftliche Nutzung der Maschine, deren Zustand und Energieverbrauch sowie die Stillstandzeiten und deren Ursache im Mittelpunkt. Sie erfasst über Sensoren (z. B. Temperatur eines Spindellagers) den Zustand der wich-

tigsten Einheiten der Produktionsmaschinen. So kann ein zunehmender Verschleiß frühzeitig bemerkt und durch eine geplante Instandhaltung kostenintensive Produktionsausfälle vermieden werden. Die notwendigen Sensoren sind meist vom Hersteller bereits optional an den Maschinen angebaut und deren Signale werden mittels einer Software verwaltet und kontrolliert. Damit große Produktionsanlagen, bestehend aus vielen einzelnen Maschinen unterschiedlicher Hersteller und mit unterschiedlich ausgeprägter MDE, zentral gesteuert und überwacht werden können, bedarf es vernetzter, übergreifender Softwarelösungen – **Maschinendatenerfassungssoftware (MES)**. Diese ermöglichen die gleichzeitige Überwachung und Kontrolle aller Anlagenteile. Sie erfassen sämtliche Ausfallzeiten mit Gründen, zeigen alle Störungen und deren Auswirkungen, die geplanten und fertiggestellten Stückzahlen sowie deren Qualitätslage. So kann an einem Fertigungsleitstand jederzeit grafisch die Soll-Ist-Lage der Produktion mit sämtlichen Kennzahlen der PPS direkt angezeigt oder auch weltweit über das Internet darauf zugegriffen werden. Produktqualität, Produktquantität, die Durchlaufzeiten und der Personaleinsatz werden so dargestellt und es kann bei Störungen sofort entsprechend gegengesteuert werden, womit sich eine wirtschaftlichere Produktion ergibt.

Ein wichtiger Bereich der Maschinendatenerfassung ist der Bereich der **Instandhaltung** der Produktionsmittel. Er soll eine hohe Verfügbarkeit der Betriebsmittel bei geringen Instandhaltungskosten sicherstellen. Um dabei die Produktionsmaschinen optimal zu verwalten, müssen Datenbanken mit den wichtigsten Angaben aufgebaut und gepflegt werden. Neben den Wartungsplänen, den Instandhaltungsaufgaben und den Überwachungskennzahlen werden dabei auch Maschinenhistorien erstellt, um den Zustand und die Kostenübersicht zu erfassen. So können frühzeitig Ersatzbeschaffungen geplant, Maschinenkosten und notwendige Instandhaltungsintervalle ermittelt sowie überwacht werden. Instandhaltungstermine werden automatisch angelegt, überwacht und dokumentiert. Auch Prüf- und Reparaturberichte sowie Freigaben und Einschränkungen der Produktionsmittel werden organisiert.



Kennzahlen der Instandhaltung wie **MTBF – Mean Time Between Failure**, also die durchschnittliche Zeit zwischen Anlagenausfällen zur Produktionsplanung oder die durchschnittliche Reparaturdauer, **MTTR – Mean Time To Repair**, können für jede erfasste Produktionsmaschine ausgegeben und als Basis zur Investitionsplanung herangezogen werden.

OEE – Overall Equipment Effectiveness bezeichnet die Gesamtanlageneffektivität. Durch Reduzieren von Stillständen, Taktverlangsamungen, Rüstzeiten und schlechter Qualität versucht man, sie zu verbessern und dadurch mehr Ausbringung sowie höhere Liefertreue beim Kunden zu erlangen. So lassen sich unproduktive Zeiten an Maschinen und Produktionsmitteln erkennen, analysieren und dokumentieren.

Damit z.B. bei der Variantenmontage oder ähnlichen Fertigungen die Werker unterstützt und damit Fehler vermieden werden, zeigen **Assistenzsysteme** mit entsprechenden Informationen direkt am Arbeitsplatz die durchzuführenden Aufgaben nacheinander mit Texten, Dokumenten, Bildern oder Videos.

Eine Weiterentwicklung stellt **AR – Augmented Reality** dar. Dabei werden über verschiedene Geräte wie Tablets, Smartphones oder spezielle Brillen anhand von QR-Codes (Marker) Informationen am Produkt abgerufen und dem Anwender angezeigt. So können z.B. Reparaturen mithilfe von Videos und Animationen direkt ohne Texte, sprachneutral und online aktualisiert dargestellt werden.

Bei der Fülle der erfassten und notwendigen Daten müssen auch die rechtlichen Anforderungen der **Datenschutzgrundverordnung (DSGVO)** eingehalten werden. Viele erfasste Daten haben personenbezogene Datenanteile wie Arbeitszeit des Werkers, Fehlerhäufigkeit und Leistungsdaten. Es muss dabei sichergestellt sein, dass diese Daten anonym ausgewertet und alle Mitarbeiter, die Zugang dazu haben, entsprechend geschult und unterwiesen sind. Zudem müssen Daten, bevor sie anderen Firmen übergeben werden, um die personenbezogenen Anteile reduziert oder deren Einwilligung eingeholt werden.

Rahmenplan: Kapitel 2.4.2
Textband: Ende Kapitel 4.2

Im Zuge der EU-Harmonisierung der nationalen Regelungen im Bereich der **Abfallwirtschaft** wurden schon früh rechtliche Grundlagen in Form von Gesetzen und Verordnungen gelegt. Dabei wird im Bereich des Umweltschutzes und der Abfallwirtschaft auf Abfallvermeidung, Abfallverwertung und auf die umweltverträgliche Abfallentsorgung großen Wert gelegt. In der Abfallrahmenrichtlinie der EU nimmt die Abfallstrategie und die Vermeidungs- und Recyclingstrategie eine zentrale Stellung ein. Sie beinhaltet die Definition des Abfallbegriffs, der Entsorgungsmaßnahmen, die Pflicht der Erzeuger und Besitzer und die allgemeine Verpflichtung der Mitgliedsstaaten zur Vermeidung, umweltverträglichen Verwertung sowie Beseitigung von Abfällen.

Besondere Regelungen wurden zum Umgang mit gefährlichen Stoffen entwickelt und in nationales Gesetz umgesetzt. Hierzu zählen z. B. schadstoffhaltige Stoffe wie Altöle (PCB), Elektronikprodukte, Altbatterien und Altfahrzeuge.

Im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz wird die **Abfallpyramide** beschrieben, deren oberster Grundsatz lautet, Abfälle zu vermeiden. Erst die untergeordneten Stufen beschreiben Wege zur Wiederverwendung und, falls dies nicht möglich ist, zum Recycling bzw. zur Verwertung oder Deponierung anfallender Abfälle. Dadurch werden die Hersteller aufgefordert, langlebige Produkte zu entwickeln, aber auch Produktionsverfahren mit geringeren umweltrelevanten Emissionen und Immissionen einzusetzen. Das Ziel ist vorrangig die Vermeidung, gefolgt von der stofflichen Verwertung und nur in wenigen Fällen der thermischen Verwertung und Deponierung der Reststoffe.

Im Bereich der **Emissionen** ist die Reduktion des Ausstoßes von Klima-(Treibhaus)gasen wie Kohlendioxid, Schwefeldioxid und Stickoxid bekannt. Die Verpflichtung der Politik, hier eine deutliche Minderung herbeizuführen und die völkerrechtlich vereinbarten Ziele zu erreichen, führten zu weitreichenden Vorgaben im Bereich Gebäudetechnik



(BlmSchG), Gerätetechnik (Energieklassifizierung), Verkehr (Abgasverordnung, Fahrverboten), Energieerzeugung (Energieeinspeisung, erneuerbare Energien) und anderen. Eine weitere Möglichkeit besteht im Handel mit CO₂-Zertifikaten. So können auch emissionsreiche Produktionen ohne technische Änderungen betrieben werden, indem man sich von anderen Produzenten, deren nicht genutzten Zertifikate für Emissionen erkauft. Am Beispiel eines Kraftwerks bedeutet dies, dass eine alte, nicht mehr den Emissionswerten entsprechende Anlage weiterbetrieben wird und man von anderen Erzeugern mit emissionsarmen Anlagen, deren ungenutzte Emissionsmengen erkauft. Dieser Handel mit Zertifikaten soll wirtschaftliche Anreize an die Erzeuger schaffen, in Techniken mit weniger oder gar keinen Emissionen zu investieren. Dabei werden die Gesamtmengen an Emissionen in bestimmten Intervallen neu ermittelt und schrittweise reduziert. So ist es auch aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll, bestimmte Produktionsverfahren oder eingesetzte Werkstoffe durch Alternativen zu ersetzen, um die höheren Kosten der Entsorgung bzw. zusätzlichen Auflagen für den Betrieb einer Anlage zu reduzieren.

Auch der Bereich der **Immissionen** hat Einfluss auf die Wahl der Produktionsprozesse. Im BlmSchG werden im Bereich der Immissionen die Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter geregelt. So kann z. B. die Umstellung des Strahlmittels zur Entfernung von Oxidschichten an gehärteten Teilen von Sand auf Stahlkies oder die Vermeidung von Oxidschichten beim Wärmebehandeln durch Einsatz von Schutzgasen die Immissionen auf die Mitarbeiter bzw. die Anlieger deutlich reduzieren. Die Umstellung von offenen Prozessen in geschlossene Kreisläufe wie in Kühlkreisen kann Erleichterungen in wasserrechtlichen Belangen bringen. Werden hier noch die Immissionen durch Abwärme, Dampf o. Ä. einbezogen, kann sich eine Änderung auf kühlmittelfreie Bearbeitung eventuell lohnen. Auch Immissionen im Bereich Lärm sind v.a. in Mischgebieten häufig ein Grund, Produktionsprozesse zu ändern. Durch die verdichtete Bebauung, den zunehmenden Güterverkehr sowie Diskussionen in der Öffentlichkeit wurden viele Anwohner sensibel auf Lärm.

Ein Problem bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung solcher Entscheidungen stellt jedoch die oftmals unklare politische Entwicklungsrichtung dar. Derzeit sind viele Verbraucher im Bereich des Verkehrs, der Energieträger oder der Verpackungsmaterialien über die Entwicklungsrichtung verunsichert.