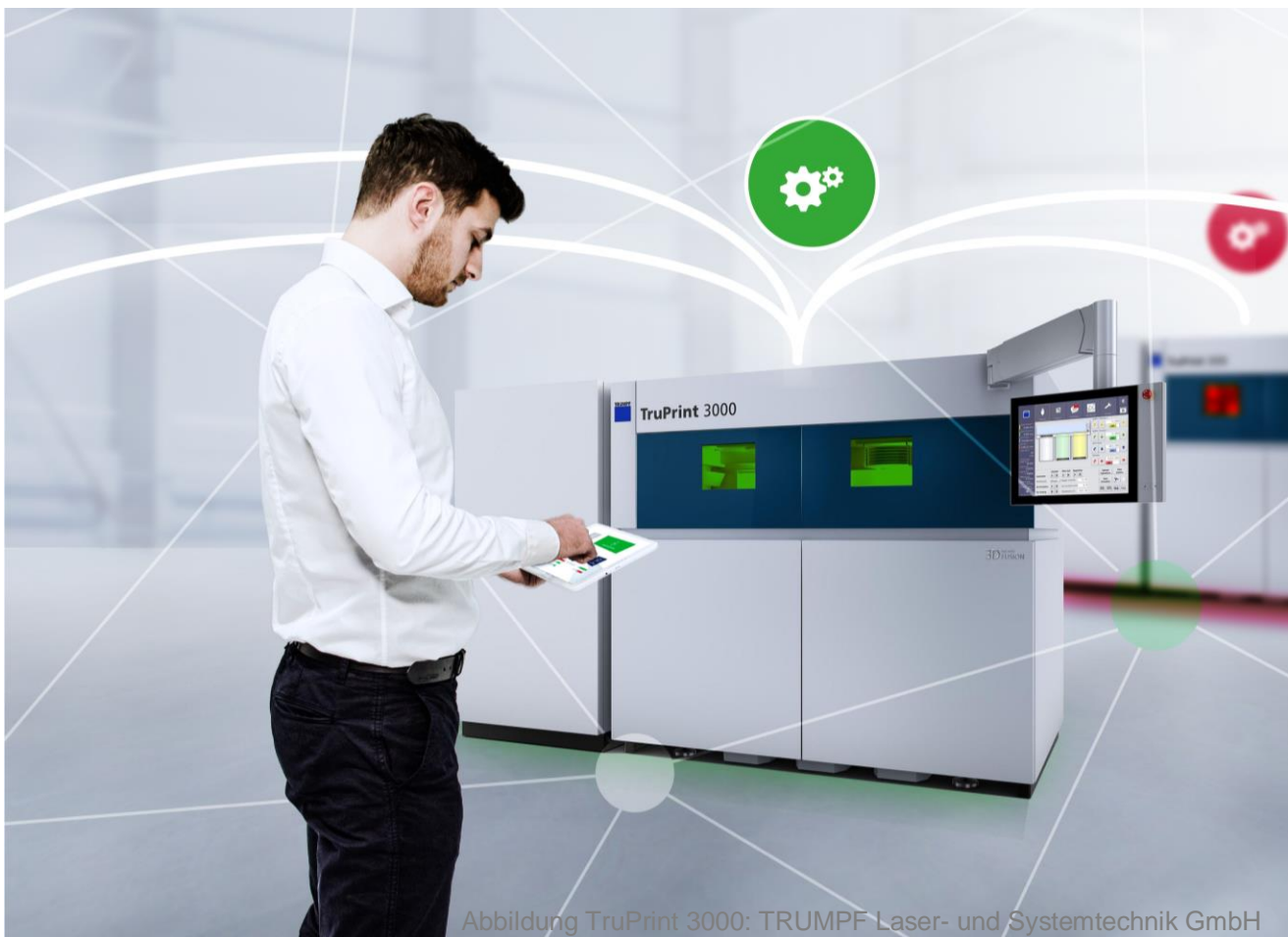


White Paper

Integration der Prozesskette additiver Fertigungsverfahren in bestehende Fabrikstrukturen am Beispiel des Laserstrahlschmelzens



Hintergrund

Die additive Fertigung gilt als innovative Technologie mit hohen jährlichen Wachstumsraten. Dieser Trend zeigt sich auch in einer im Jahr 2019 durchgeführten Studie, bei der die Befragten angaben, dass die additive Fertigung einen signifikanten technologischen Fortschritt verzeichnet, der durch die Integration der Prozesskette additiver Fertigungsverfahren in bestehende

Fabrikstrukturen jedoch erschwert wird ¹. Grund hierfür sind die Vielzahl an zu berücksichtigenden Aspekte, die in Abbildung 1 dargestellt werden.



Abbildung 1: Zu berücksichtigende Aspekte bei der Integration der Prozesskette additiver Fertigungsverfahren in bestehende Fabrikstrukturen

Bei der Anwendung additiver Fertigungsverfahren müssen alle Prozessschritte von der Konstruktion bis hin zur Nachbearbeitung berücksichtigt werden. Für einige Prozessschritte sind in Industrieunternehmen bereits Anlagen und Verfahren (bspw. Fräs- und Drehbearbeitung, Gleit Schleiftechnik) etabliert, die im Hinblick auf eine ökonomisch effiziente Integration der additiven Fertigung genutzt werden können.

Problemstellung

Additive und spanende Fertigungsverfahren unterscheiden sich in einigen Charakteristika grundsätzlich voneinander (vgl. Tabelle 1). Auf der einen Seite stellt dies ein großes Potential dar, die mit der jeweiligen Fertigungsform einhergehenden Einschränkungen zu kompensieren. So kann bspw. ein Dienstleister bei Fertigungsaufträgen mit hohen Stückzahlen weiterhin auf spanende Fertigungsverfahren zurückgreifen, wohingegen bei Aufträgen zur Fertigung von Prototypen, Einzelteilen oder kleinen Losgrößen der Vorteil der hohen Flexibilität von additiven Fertigungsverfahren genutzt werden kann. Auf der anderen Seite gestaltet sich die Integration der additiven Prozesskette in eine bereits bestehende industrielle Fabrikstruktur auch für erfahrene Fabrikplaner als große Herausforderung. Grund hierfür sind insbesondere die zahlreichen und neuartigen Herausforderungen, die mit den gesetzlichen Rahmenbedingungen im Kontext der Arbeitssicherheit, der eingeschränkten Reproduzierbarkeit und dem hohen Anteil manueller Tätigkeiten einhergehen.

¹ Bracht, R.; Pollok, P.; Piller, F.; Marquardt, E. (2019): Das Potenzial der additiven Fertigung: Digitale Technologien im Unternehmenskontext. Auswertung. Befragt wurden 560 VDI-Mitgliedern aus deutschen Unternehmen.

Tabelle 1: Vergleich additive und spanende Fertigung

Additive Fertigung	Spanende Fertigung
<ul style="list-style-type: none">▪ Hoher Anteil manueller Tätigkeiten▪ Eingeschränkte Reproduzierbarkeit und Prozessstabilität▪ Ökonomisch umsetzbare Produktion kleiner Losgrößen▪ Parallele Bauteilfertigung (Unterschiedliche Werkstücke werden simultan gefertigt)▪ Direkte digitale Fertigung	<ul style="list-style-type: none">▪ Hohes Automatisierungspotential▪ Hohe Standardisierung▪ Ökonomisch umsetzbare Produktion großer Losgrößen▪ Serielle Bauteilfertigung (Halbzeuge werden nacheinander referenziert und bearbeitet)▪ Teilweise aufwändige und manuelle Maschinenprogrammierung

Fabrikplanung

Im Hinblick auf die Integration von additiven Fertigungsverfahren kann die grundlegende Vorgehensweise zur Planung von Fabrikstrukturen (vgl. Abbildung 2) angewendet werden. Dabei liegt die Zielsetzung in der Realisierung eines hohen Materialflusses, einer geringen Liegezeit sowie einer gleichmäßigen Auslastung aller Anlagen.

Nach der Definition der Planungsgrundlagen in den Planungsschritten 1 und 2, in der die Ziele und die Projektinitiierung festgelegt werden, erfolgt die Grobplanung, welche als eigentliche Fabrikplanung verstanden werden kann. Diese beginnt mit der Idealplanung, in der zunächst die Produktionsprogramme analysiert sowie Funktionseinheiten und Prozesskopplungen der einzelnen Prozessschritte ermittelt werden. Auf dieser Grundlage wird der Bedarf ermittelt, der anschließend in einen Materialfluss überführt wird. Zusätzlich wird bei der Idealplanung die Gestaltung der Fertigungsform und -struktur optimiert. Die Idealplanung bildet die Grundlage des zweiten Teils der Fabrikplanung – die Realplanung. Dazu gehört die Entwicklung verschiedener Layoutvarianten einschließlich der Planung der Logistik, die anschließend bewertet werden und auf deren Basis eine Vorzugsvariante ausgewählt wird. Diese wird im Planungsschritt 4 detailliert sowie darauffolgend weiter ausgearbeitet und in einer realen Fabrik umgesetzt.

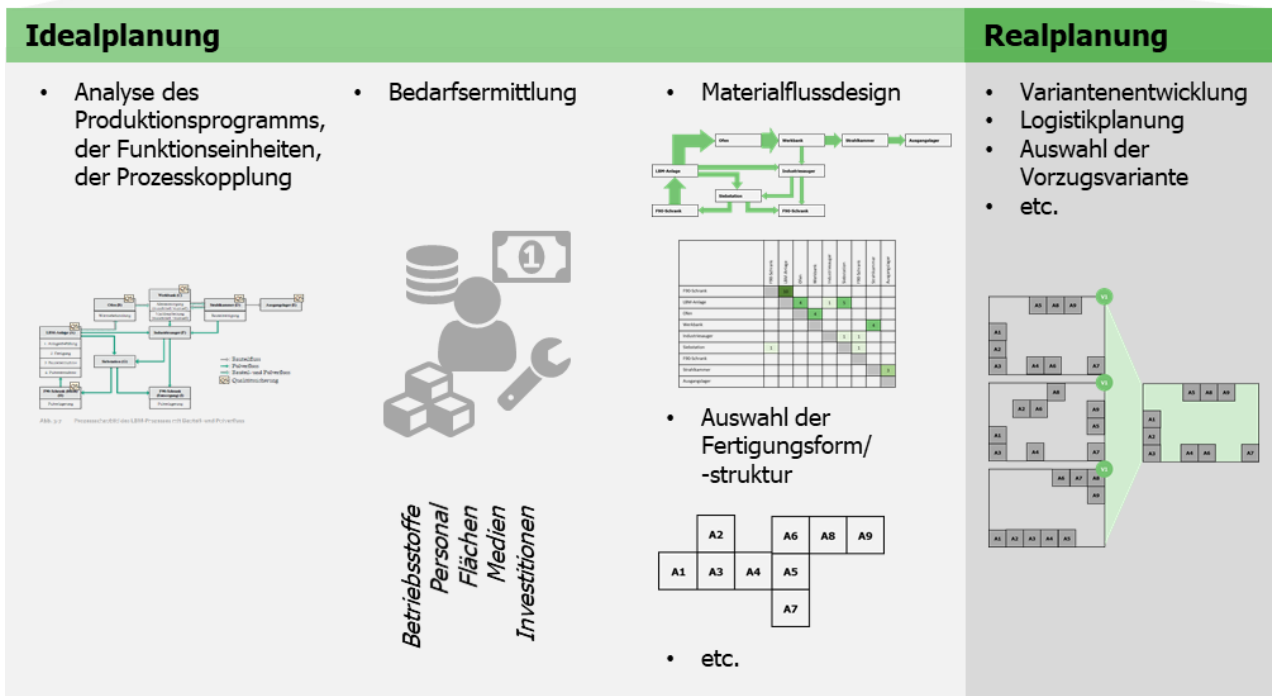
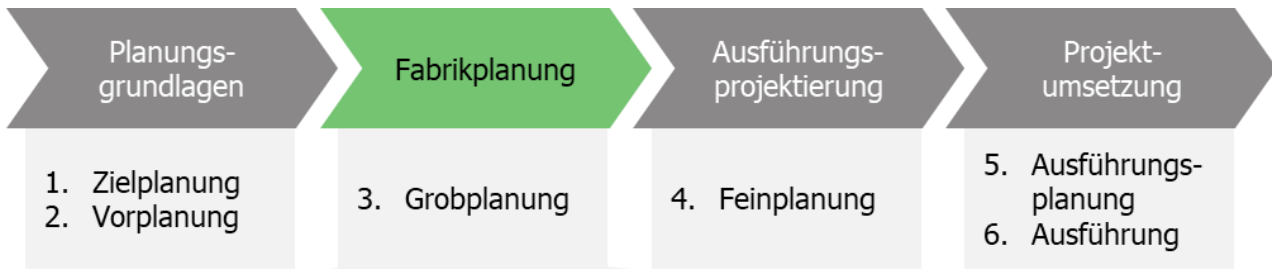


Abbildung 2: Vorgehensweise zur Fabrikplanung, in Anlehnung an [GRU18], [MÖH18]

Fabrikplanung für Prozessketten der additiven Fertigung am Beispiel des Laserstrahlschmelzens

Für das Laserstrahlschmelzen (engl. laser beam melting; LBM), das am häufigsten eingesetzte additive Verfahren zur Fertigung metallischer Bauteile, werden nachfolgend Handlungsempfehlungen im Hinblick auf die Ideal- und die Realplanung gegeben:

Idealplanung

Bei der **Analyse der Produktionsprogramme** und **der Funktionseinheiten** sowie deren **Prozesskopplungen** sind alle LBM-Prozessschritte ausgehend von der Daten- und Prozessvorbereitung über den Fertigungsprozess bis hin zur verfahrensspezifischen und anwendungsspezifischen Nachbearbeitung zu berücksichtigen.

In der anschließenden **Bedarfsermittlung** werden unter anderem Art und Menge der benötigten Betriebsstoffe und Medien (bspw. Inertgase, Prozessgase, Deaktivierungs- und Filtermedien) sowie der Personalaufwand abgeschätzt. Weiterhin werden die benötigten Flächen ermittelt. Bei der Fabrikplanung sind die arbeitssicherheitsrelevanten Richtlinien und Regelungen

sowie gesetzliche Grenzwerte zu berücksichtigen. Insbesondere sollten Flucht- und Rettungswege sowie Wartungszugänge für die Anlagen berücksichtigt werden. Neben der LBM-Anlage werden ein Industriesauger, eine Bandsäge oder Drahterordiermaschine sowie für Metallpulver und Betriebsmittel getrennte Lagerschränke benötigt. Diese pulverbehafteten Prozesse sollten baulich eingehaust werden, um zum einen die Pulververschleppung zu minimieren und zum anderen luftgetragene Emissionen zu begrenzen, vgl. Abbildung 3. Weitere Peripheriegeräte, wie bspw. der Wärmebehandlungs-ofen, sollte nur außerhalb der Einhausung aufgestellt werden, wenn eine vollständige Pulverentfernung von den Bauteilen vor dessen Bestückung sichergestellt werden kann. Die Einhausung ist idealerweise über eine Personenschleuse zu betreten und zu verlassen. Weiterhin ist eine Raumluftechnik zur Realisierung konstanter klimatischer Sollbedingungen sowie zur Absaugung von luftgetragenen Emissionen vorzusehen. Anschließend werden auf Basis der benötigten Peripheriegeräte die Investitionskosten abgeschätzt. Hierfür sind unter anderem auch die Kosten für die verfahrensspezifische Software (bspw. zur Erzeugung der Maschinendaten) einzuplanen.

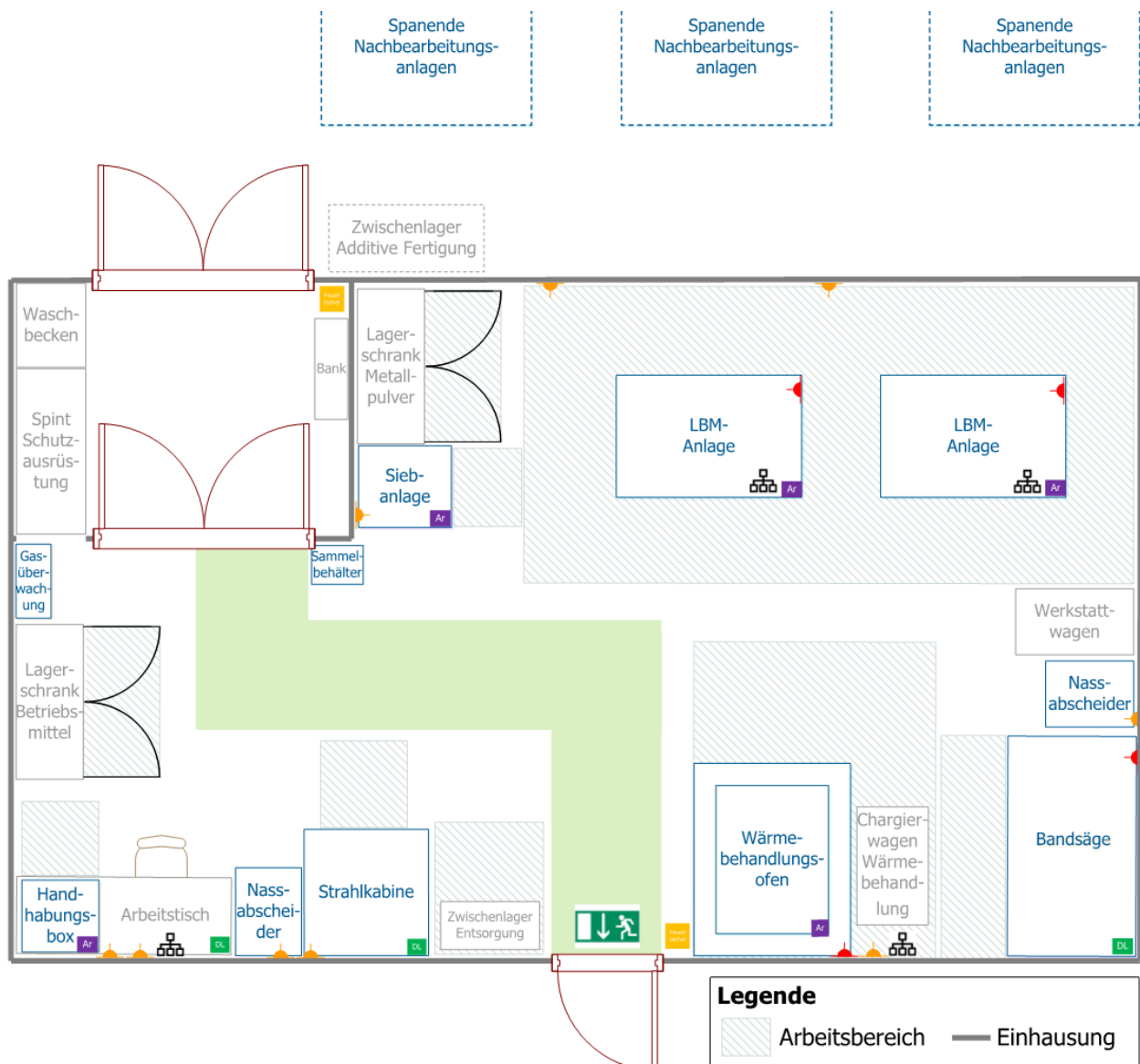


Abbildung 3: Beispielhaftes Fabriklayout der Prozesskette des LBM

Beim **Materialflussdesign** werden kurze Bearbeitungswege sowie eine möglichst hohe Auslastung von Anlagen und Peripheriegeräten angestrebt. Für die Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile sind spanende Nachbearbeitungsanlagen, die, falls sie in einem Unternehmen bereits vorhanden sind, zu verwenden. Die Abtaktung additiver und spanender Fertigung lässt sich bspw. mittels Auftragssteuerung/-management optimieren. Ob in diesem Fall eine zusätzliche spanende Fertigungsanlage (bspw. bei mehreren LBM-Anlagen) benötigt wird, kann mithilfe der Wertstrommethode beantwortet werden.

Ein möglichst nahtloser Übergang zwischen den einzelnen Prozessschritten – insbesondere von additiver Fertigung zur spanenden Bauteilnachbearbeitung – sollte durch die **Auswahl einer geeigneten Fertigungsform/-struktur** realisiert werden. Hierfür ist die eingehauste LBM-Prozesskette, wie in Abbildung 3 ersichtlich, möglichst nahe an den spanenden Bearbeitungsanlagen vorzusehen.

Realplanung

Auf Grundlage der entwickelten Idealplanung werden im Folgenden die Rahmenbedingungen für den spezifischen Fabrikaufbau abgeleitet, um eine Vorlage zur Feinplanung bereitstellen zu können. Zunächst werden **Varianten** unter Berücksichtigung folgender Aspekte **entwickelt**: Neben einem optimalen Materialfluss ist für LBM-Fertigungsstrukturen insbesondere eine Minimierung der Pulververschleppung zwischen der Einhausung und benachbarter Produktionsbereiche über die Bauteile, die Mitarbeitenden sowie die mobilen Einrichtungen von Bedeutung. Hierfür ist bspw. aufgewirbeltes Metallpulver emissionsnah zu erfassen. Das Gruppieren von aufeinanderfolgenden Prozessen und die Minimierung von Logistikwegen sowie die Betriebsmittelversorgung (Inertgas, Strom, etc.) sollten berücksichtigt werden. Besonders sollte zum Schutz der Mitarbeitenden die Emission von Lärm (bspw. bei der Bandsäge) und Wärme (bspw. beim Wärmebehandlungsofen) berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist ausreichend Fläche für Rüst- und Wartungsarbeiten vorzusehen. So kann bspw. ein mobiler Industriesauger für die emissionsnahe Absaugung von Pulveremissionen bei verschiedenen Prozessschritten (Bandsäge, Nachbearbeitung, LBM-Anlage) eingesetzt werden.

Wichtige Faktoren bei der **Logistikplanung** im Bereich der LBM-Fertigungsstrukturen ist die Dimensionierung der Pufferlager in der Einhausung, sowie der Transport zwischen Einhausung und der restlichen Fabrik. Durch eine abschließende Bewertung und verfahrensspezifische Gewichtung relevanter Kriterien der verschiedenen Layoutvarianten kann eine **Vorzugsvariante** ermittelt werden. Hierfür eignen sich unter anderem Bewertungsmatrizen, paarweise Vergleiche oder Nutzwertanalysen.

Ausblick

Wie in Abbildung 2 dargestellt, sind bei der Fabrikplanung ein methodisches Vorgehen anzuwenden und vor- und nachgelagerte Planungsschritte umzusetzen, um die additive Fertigung in ein bestehendes oder neues Fabriklayout zu integrieren. So sind einerseits produktionsstrategische Fragen in der Ziel- und Vorplanung zu berücksichtigen. Beispiele hierfür sind die in Abbildung 1 aufgeführten Aspekte Digitale Infrastruktur, Materialmanagement, Entsorgung und Mitarbeiterqualifikation. Andererseits braucht es bei der Feinplanung die spezifische Kompetenz

zur Beachtung aller Rahmenbedingungen sowie bei der Projektierung der Umsetzung. Hervorzuheben ist die Berücksichtigung aller relevanten Verordnungen und Richtlinien im Kontext der Anwendersicherheit zur Gewährleistung des Schutzes der Mitarbeitenden. Dies ermöglicht eine termingerechte Verfügbarkeit der benötigten Soft- und Hardware, Peripherie, Logistik und Mitarbeiterkapazität. Je detaillierter die Integration der additiven Fertigung zuvor geplant wird, desto effizienter kann die additive Fertigung später genutzt werden. Für die Planung von additiven Fabrikstrukturen ist aufgrund der mangelnden Standardisierung der Prozesse und der spezifischen Charakteristika einzelner additiver Fertigungstechnologien hohes Technologie- und Prozesswissen notwendig, das über externe Beratungsdienstleistungen bezogen werden kann.

Literaturverzeichnis

- [GRU18] Grundig, Claus-Gerold (2018): Fabrikplanung. Planungssystematik - Methoden - Anwendungen. 6., neu bearbeitete Auflage. München: Hanser, Carl.
- [MÖH18] Möhrle, Markus (2018): Gestaltung von Fabrikstrukturen für die additive Fertigung. Berlin: Springer Vieweg (Light engineering für die Praxis).