

Automatisierung, Lean Production, Materialfluss

# Das Injektionsprinzip

Effizienzsteigerung durch Kombination von Lean und innovativer Materialflusstechnik

M. Schneider, S. Kaspar, C. Beer

Die Anwendung der Prinzipien einer auf dem Toyota-Produktionssystem basierenden „Lean Production“ hilft Verschwendung zu vermeiden und Prozesse effizienter zu gestalten. Dabei kann innovative Materialflusstechnik einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die Intralogistik noch weiter zu verbessern. Der Fachartikel stellt das „Injektionsprinzip“ vor, welches auf Lean-Prinzipien basiert und autonome Transportroboter als „Enabler-Technologie“ nutzt.

## The injection-principle

The implementation of lean principles based on the Toyota Production System help to reduce waste and create more efficient processes. Innovative material handling technologies can make a big contribution to improve intralogistics. This paper illustrates the injection-principle which is based on lean principles and uses autonomous robotic carriers as enabling technology.

Prof. Dr. Markus Schneider, M. Eng. Stefan Kaspar  
Kompetenzzentrum PuLL (Produktion und Logistik Landshut)  
Am Lurzenhof 1, D-84036 Landshut  
Tel. +49 (0)871 / 506-637 oder -622  
Fax +49 (0)871 / 506-506  
E-Mail: markus.schneider@haw-landshut.de  
oder stefan.kaspar@haw-landshut.de  
Internet: www.p-u-l-l.de

Christian Beer  
Servus Intralogistics GmbH  
Dr. Walter Zumbel Str. 2, A-6850 Dornbirn  
Tel. +43 (0)5572 / 22000-300  
Fax +43 (0)5572 / 22000-9300  
E-Mail: christian.beer@servus.info  
Internet: www.servus.info

## 1 Einleitung

Viele Unternehmen erreichen mit Lean Production beachtliche Produktivitätssteigerungen. Die auf dem Toyota-Produktionssystem (TPS) basierende Philosophie verfolgt eine strikte Prozessorientierung. Dabei gilt die Leitlinie „erst organisieren, dann investieren“ beziehungsweise „erst Prozess, dann Technik“ [1]. Jedoch gibt es neue Technologien – etwa „intelligente“ Schwarmroboter –, welche das Potential haben, prozessorientierte Strukturen zu unterstützen sowie die Intralogistik mittels völlig neuer und hocheffizienter Prozesse zu revolutionieren. Ihre Kenntnis und der zielgerichtete Einsatz ermöglichen grundlegend neue Ansätze der Prozessgestaltung. Einer davon ist das in diesem Beitrag vorgestellte „Injektionsprinzip“, bei welchem Material in kleinen Mengen mittels autonomen Transportrobotern direkt am benötigten Platz angeliefert wird. Dies ermöglicht eine Reduzierung von Handlungsvorgängen, geringere Bestände, einen beschleunigten Materialfluss, Flächeneinsparungen sowie deutlich kürzere Laufwege.

## 2 Konventioneller Lean-Ansatz

Bild 1 zeigt einen konventionellen nach Lean-Kriterien geplanten Produktionsbereich mit dezentralen Supermärkten, in Form von Durchlaufregalen, an den einzelnen Maschinen. Der Maschinenbediener entnimmt die benötigten Teile aus dem jeweiligen Supermarktregal, in dem sämtliche Varianten vorhanden sind. Die leeren Behälter werden anschließend auf eine Rückführung in die Regale zurückgelegt und rutschen nach außen [2]. Der Behälter ist das Basiselement der Steuerung. Der leere Behälter beziehungsweise die daran befestigte Kanban-Karte signalisiert für den Logistiker einen Auftrag. Es

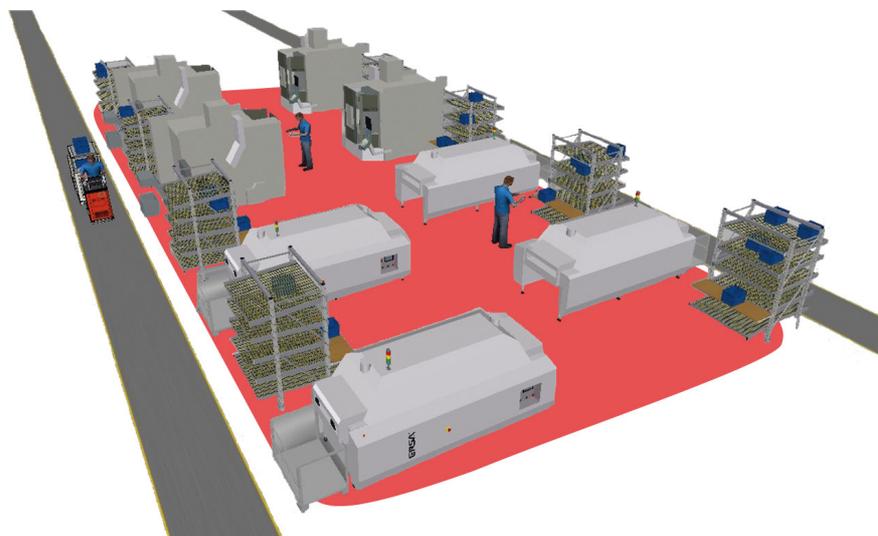
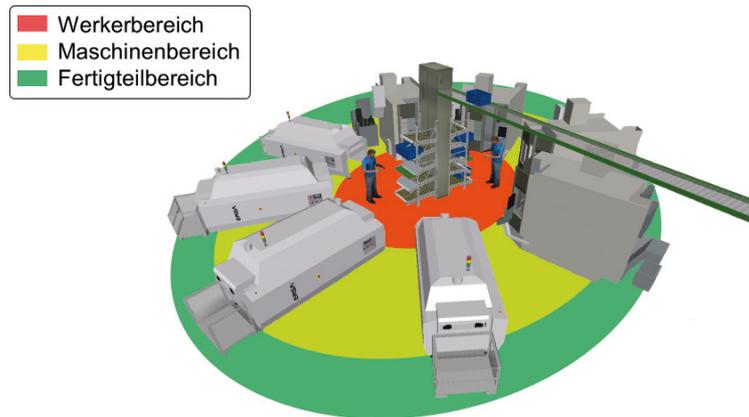


Bild 1. Layout bei konventionellem Prozessablauf mit dezentralen Supermärkten



**Bild 2. Das „Injektionsprinzip“ – Layout mit Peripherie-Ebenen**

kann ein ziehender, verbrauchsgesteuerter Prozess (pull) aufgebaut werden. Konkret bedeutet dies, der Logistiker, in diesem Fall der Routenzug, dreht nach einem festen getakteten Zeitplan seine Runden. Dabei entnimmt er von außen die leeren Behälter. In der nächsten Runde, wird das zuvor angeforderte Material angeliefert. Der Routenzug selbst versorgt sich aus einem zentralen Lager.

Diese Lösung bietet eine Vielzahl von Vorteilen, beispielsweise geringe Bestände, wenige Leerfahrten sowie eine Synchronisation von Materialverbrauch und -anlieferung. Sie benötigt aber dezentrale Supermarktregale an den Transportwegen sowie eine durchgängig besetzte Logistik und bedingt lange Laufwege bei der Mehrmaschinenbedienung.

### 3 Injektionsprinzip

#### 3.1 Bestehende Prinzipien

Die acht systemischen Grundprinzipien – Takt, Fluss, Pull, Synchronisation, Standard, Stabilität, Integration und Perfektion – beschreiben die grundlegende Ausrichtung eines Lean Production Systems [3]. Um diese Grundprinzipien umzusetzen und das Ziel einer verschwendungsfreien Produktion zu erreichen existieren in der Literatur eine Vielzahl an Prinzipien. Diese wurden im Landshuter Produktionssystem in Form von Gestaltungs- und Handlungsprinzipien systematisiert [4, 5]. Mehrere dieser Gestaltungsprinzipien haben Einfluss auf das im Folgenden erläuterte Injektionsprinzip. Hier sind etwa die Mehrmaschinenbedienung, verbauortnahe Anlieferung oder auch chaku-chaku zu nennen. Das Letztergenannte bedeutet, dass ein Mitarbeiter mehrere ansonsten selbständige Anlagen beschickt und somit fast ausschließlich den Teiletransport übernimmt. Auch das Chirurg-Krankenschwester-Prinzip, welches eine konsequente räumliche Trennung von Materialentnahme und -versorgung vorschreibt, wird berücksichtigt [6, 7].

#### 3.2 Theoretischer Ansatz

Die Grundidee des Injektionsprinzips ist, Material nicht großflächig von außen anzuliefern, sondern möglichst nah am Verbauort in kleinen Mengen in den Produktionsbereich einzubringen, zu „injizieren“. Übertragen auf die Praxis bedeutet dies, Material von oben direkt an den benötigten Platz in der Mitte von mehreren laufwegoptimiert angeordneten

Maschinen bereitzustellen. Somit wird die Richtung des Materialflusses umgedreht. Die Materialbereitstellung erfolgt nicht von außen sondern von innen, von wo aus das Material nach außen abfließt. Das genau zu diesem Zeitpunkt benötigte Material wird in kleinen Mengen angeliefert (siehe 6R der Logistik). Während ein Routenzug außen herum fährt und dort Wege und Haltestellen benötigt, wird der Transport beim Injektionsprinzip mittels moderner Materialflusstechnik an der Hallendecke entlang geführt. Am Boden wird nur der Abgabepunkt in Form eines Behälteraufzugs benötigt. Dadurch können die Maschinen näher aneinander platziert werden. Aufgrund der Schnelligkeit und Reaktionsfähigkeit des Systems entfallen die Supermarktregale. Leere Behälter werden über den Behälteraufzug wieder in das System zurückgegeben und zur Leergutstation transportiert.

**Bild 2** visualisiert den Ansatz des Injektionsprinzips, aufgeteilt in die drei Peripherie-Ebenen: Werkerbereich, Maschinenbereich und Fertigteilbereich. Der Maschinenbediener bekommt sämtliches Material aus dem Ausgabeturm in der Mitte bereitgestellt und befüllt die Maschinen. Der Werkerbereich, indem sich der Maschinenbediener die überwiegende Zeit aufhält, kann im Vergleich zur konventionellen Lösung (Bild 1) deutlich verkleinert werden. Dies führt zu einer enormen Verkürzung der Laufwege bei der Mehrmaschinenbedienung.

#### 3.3 Enabler-Technologie: Autonome Transportroboter

Gemäß dem Grundsatz „erst Prozess dann Technik“ sollen Prozesse effizient gestaltet werden, anstatt ineffiziente Prozesse durch den Einsatz von Technik zu verbessern. Jedoch werden neue Technologien, die den Lean-Gedanken unterstützen, als Enabler benötigt um das Injektionsprinzip umzusetzen. Innovative Transportroboter, welche als dezentrale Schwarmroboter agieren, können hier einen wesentlichen Beitrag leisten.

Mit dem „Servus System“ können beispielsweise alle betriebsinternen Logistikprozesse – von Wareneingang über Lager, Büro, Produktion, Montage oder Kommissionierung bis zu Warenausgang in einen effizienten, schnittstellenlosen Fließprozess integriert werden. Kernstück ist der intelligente und autonome Transportroboter „Servus ARC3“ (Autonomous Robotic Carrier), welcher sich grundlegend von einem herkömmlichen Shuttle unterscheidet (**Bild 3**). Individuell konfiguriert nach Größe, Leistung oder Lademittel kann der ARC nahezu alles transportieren. Dies reicht von einfachen Kar-



**Bild 3. Schematische Darstellung des „Servus ARC3“ (Autonomous Robotic Carrier)**

tons, Boxen und Tablaren bis hin zu Schüttgut oder kundenspezifischen Werkstücken bis 50 kg. Ausgestattet mit modernen Technologien wie ABS (Antiblockiersystem), ESP (Elektronisches Stabilisierungssystem) und Energiemanagement mit Energierückgewinnung, ist der ARC ein zuverlässiges und wartungsarmes High-Tech Produkt. Die im ARC integrierten Lademittel ermöglichen selbständiges Be- und Entladen links oder rechts entlang der Strecke.

Das System funktioniert ähnlich wie ein Taxiunternehmen. Über Hochfrequenz-Funktechnologie bekommt der ARC seine Aufträge von der Zentrale, welche direkt an die Kundensoftware angebunden ist, erledigt diese selbständig und immer auf dem kürzesten Weg. Durch modulare Komponenten kann das System nach dem Baukastenprinzip mit Lager- und Schienelementen flexibel und platzsparend gestaltet werden. Assistenten, wie Heber oder Weichen, erlauben eine einfache Anbindung dezentraler Lagerorte, Montage- oder Kommissionierplätze in verschiedenen Etagen oder Gebäuden.

**4 Praxisbeispiel Montageautomaten**

**4.1 Ausgangssituation**

Das Injektionsprinzip wurde bei der Planung einer automatisierten Montage bei der Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG angewendet. Die Ausgangssituation verhält sich folgendermaßen: ein Mitarbeiter bedient mehrere Montageautomaten, welche unstrukturiert angeordnet sind.

Neben Prüf- und Rüsttätigkeiten müssen je 5–9 „Rütteltöpfe“ pro Maschine regelmäßig mit neuen Teilen befüllt werden. Für jede Maschine ist ein Supermarktregal vorhanden, in welchem sämtliche Teile bereitgestellt werden. Dabei ist meist ein Bestand für mehrere Schichten vor Ort. Das Supermarktregal wird aus einem Zentrallager befüllt. Während die Produktion im 3-Schicht Betrieb arbeitet ist die Logistik nur einschichtig besetzt, weshalb zu jedem Zeitpunkt ausreichend Bestände in den Supermarktregalen vorhanden sein müssen. Bei den Teilen handelt es sich fast ausschließlich um sehr kleine Teile in Kleinladungsträgern (KLT).

**4.2 Konzept und Verbesserungen**

Bei der Konzeptentwicklung wurden verschiedene Varianten mittels einer Prozessbewertungsmatrix (**Bild 4**) verglichen. Neben der Aufnahme sämtlicher Prozessschritte des Ist-Ablaufs erfolgte eine Zuordnung von Kapazitäten (Personalaufwand beziehungsweise Fläche) zu den einzelnen Schritten und Lagerhaltungsstufen. Beim Personalaufwand wurde nochmal nach den drei Bereichen Wareneingang (grün), Intralogistik/Transport (gelb) und Maschinenbediener (blau) unterschieden. Des Weiteren wurde auch für das Injektionsprinzip ein Prozessablauf erstellt und Daten ermittelt.

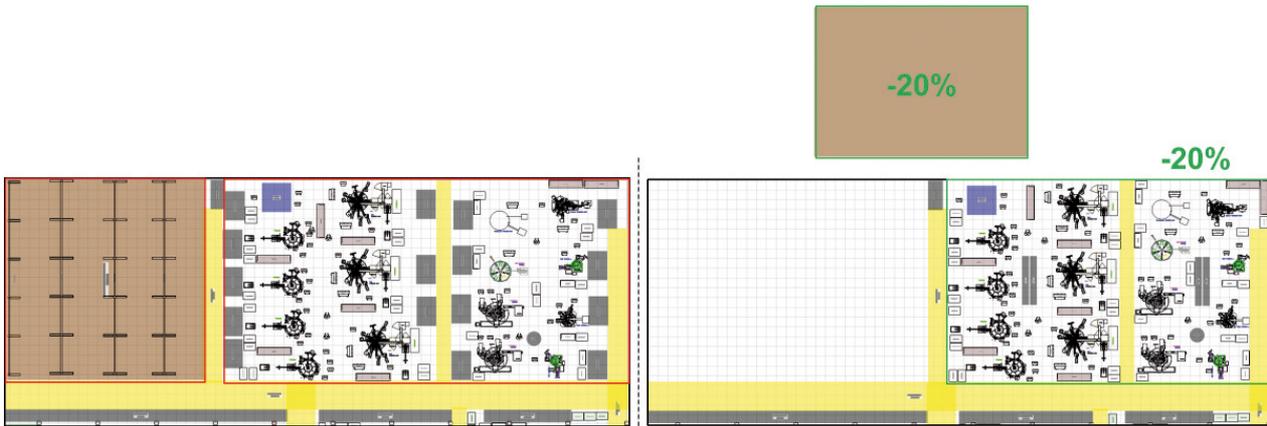
Wie der in Bild 4 dargestellten Prozessbewertungsmatrix zu entnehmen ist, ist das Injektionsprinzip ein ganz neuer Ansatz mit großen Potentialen. In der Prozessbewertungsmatrix ist deutlich die Verringerung der Handlungsschritte und

Materialbereitstellung Montageautomaten													Personenaufwand	Fläche
	Wareneingang	Einlagern	WE-Lager	Auslagern	Vereinzelung	Beladung Transportmittel	Automatisiertes Zentrallager	Transport	Entladung Transportmittel	Supermarktregal	Entnahme	Befüllung Automat	Personenaufwand	Fläche
<b>IST-Ablauf</b>	Personal (grün)	Personal (grün)	m <sup>2</sup>	Personal (grün)	Personal (grün)	Personal (gelb)		Personal (gelb)	Personal (gelb)	m <sup>2</sup>	Personal (blau)	Personal (blau)		
<b>Injektionsprinzip</b>	Personal (grün)				Personal (grün)	Personal (grün)	Transportroboter (schwarz)	Transportroboter (schwarz)	Transportroboter (schwarz)		Personal (blau)	Personal (blau)	↓ -20%	

**Legende**

- Personal
- Transportroboter
- x** Ist-Personalaufwand
- Sinkender Aufwand
- =** Gleichbleibender Aufwand
- m<sup>2</sup>** Lagerfläche

**Bild 4. Prozessbewertungsmatrix (Daten anonymisiert)**



**Bild 5. Layout mit Supermarktregalen (links) sowie Injektionsprinzip (rechts)**

somit die Verschlangung des Prozesses zu erkennen. Direkt nach Wareneingang findet die Vereinzelung statt. Die KLTs werden in das System eingespeist, welches diese in einem automatisierten Zentrallager puffert und zur richtigen Zeit an die jeweilige Arbeitsstation liefert. Das schwarze Quadrat in Bild 4 zeigt einen Transportroboter, der die jeweiligen Prozessschritte übernimmt. Neben dem Wegfall von Handlungsschritten oder deren Übernahme durch den Transportroboter verringert sich aufgrund der verkürzten Wege der Aufwand bei der Entnahme der Behälter durch den Maschinenbediener.

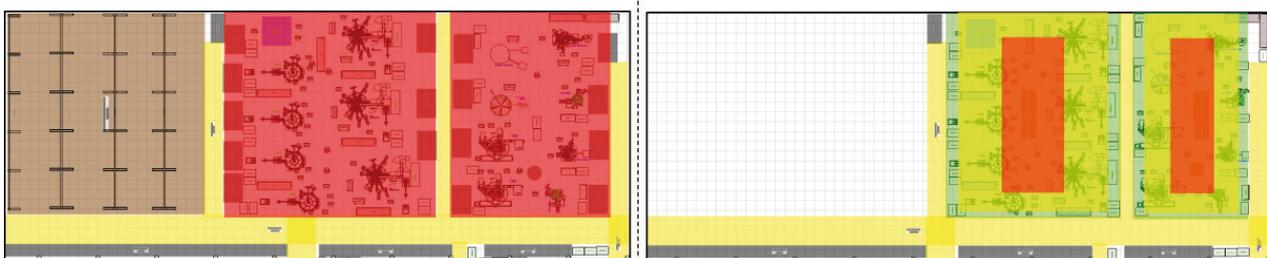
Die Supermarktregale können entfallen. Stattdessen wird ein Mini-Kanban eingeführt. An jedem der Rütteltöpfe der Maschinen steht der nächste Behälter bereit. Füllt der Mitarbeiter diesen in den Rütteltopf, gibt er den leeren Behälter in das Materialflusssystem ein. Dies generiert den Auftrag für die nächste Lieferung. Dabei kann auf einem Touchpad ausgewählt werden, ob die gleichen Teile wieder geliefert werden sollen (Kanban) oder zum Beispiel aufgrund eines anstehenden Rüstvorgangs andere Teile benötigt werden. Dies wird durch die Reaktionsfähigkeit des Systems und die ständige Verfügbarkeit rund im die Uhr, im Gegensatz zu der nur einschichtig besetzten Logistik, ermöglicht.

### 4.3 Layout und Planungsergebnis

Auch das Layout wurde bis zu einem gewissen Detaillierungsgrad für beide Varianten geplant. **Bild 5** zeigt eine Variante mit dem Ist-Prozess mit Supermarktregalen (links) an den Maschinen und die Variante des Injektionsprinzips (rechts).

Die Flächeneinsparung von 20 % im Produktionsbereich durch den Wegfall der Supermarktregale und die neue Art der Materialbereitstellung in der Mitte einer Maschinengruppe ist deutlich zu erkennen. Auch die benötigte Lagerfläche (in Bild 5 braun dargestellt) ist durch die hochverdichtete Lagerung in dem automatisierten Lager um circa 20 % geringer. Zudem wird das Lager in ein anderes Gebäude in den ersten Stock verlegt. Dieser Raum wäre sonst nicht praktikabel zu nutzen. Die größere Entfernung und die unterschiedlichen Ebenen können durch den Einsatz des Transportroboters und dessen Geschwindigkeit und Reaktionsfähigkeit vernachlässigt werden. Somit wird zusätzliche, wertvolle Fläche in der Produktion frei.

Da die Schienen am Beispiel des Servus Systems an der Hallendecke entlang führen, muss das Material zukünftig nicht mehr von außen bereitgestellt werden, sondern kann ohne zusätzlichen Platzbedarf von oben in der Mitte der Maschinengruppen angeliefert werden. Der dort stehende Aufzug besitzt auf zwei Seiten Ausgabemöglichkeiten. Der jeweilige Maschinenbediener muss zukünftig Material nicht mehr vom Rand seines Bereiches holen, sondern bewegt sich die meiste Zeit nur noch im rot dargestellten, deutlich verkleinertem Werkerbereich (**Bild 6**). Somit sind kürzest mögliche Wege und eine reibungslose Mehrmaschinenbedienung möglich. Nur bei Störungen, Umrüstvorgängen oder ähnlichem muss er in den gelben Maschinenbereich. Und nur hin und wieder müssen im grünen Fertigteilebereich Tätigkeiten, wie etwa ein Behälterwechsel für Fertigprodukte, durchgeführt werden. Dadurch kann eine Verkürzung der Laufwege um über 50 % erreicht werden.



**Bild 6. Werkerbereich (rot) im Layout mit Supermarktregalen (links) und Injektionsprinzip (rechts)**

## 5 Fazit

Um effiziente Abläufe zu erhalten, muss zuerst der Prozess richtig gestaltet werden. Jedoch hat sich gezeigt, dass innovative Materialflusstechnik, insbesondere autonome Transportroboter als intelligente Schwarmroboter, einen wesentlichen Beitrag dazu leisten die Effizienz der Intralogistik weiter zu verbessern. Dabei dient die Technologie als Enabler um neue, weiterentwickelte Prinzipien umzusetzen. Dadurch können deutliche Flächeneinsparungen erzielt werden. Des Weiteren können Bestände weiter reduziert, höhere Umschlagsraten und ein beschleunigter Materialfluss mit weniger Handlungsschritten umgesetzt sowie Laufwege in der Produktion reduziert werden.

Auch wegen der hohen Flexibilität wird der Lean-Gedanke unterstützt. Die Aufzüge, die als Abgabepunkte dienen, kön-

nen verhältnismäßig einfach an eine andere Position umgezogen werden. Durch den Einsatz von zusätzlichen Transportrobotern oder Aufzügen ist eine hervorragende Skalierbarkeit gegeben. Auch die Erweiterung des Lagers, gegebenenfalls auch an verschiedenen Orten im Werk, ist möglich.

Das Injektionsprinzip eignet sich in besonderem Maße für Unternehmen mit gewachsenen und kleingliedrigen Werksstrukturen, welche einen hohen logistischen Aufwand bedingen. Es können mehrere Gebäude verbunden werden. Somit verlieren diese Strukturen, Entfernungen oder Transporte über den Hof ihre Bedeutung als Aufwandstreiber. Im beschriebenen Praxisprojekt ist beispielsweise angedacht, in zwei weiteren Ausbaustufen weitere Bereiche des Werks anzubinden. □

### Literatur

[1] Liker, J.; Meier D.: Praxisbuch – Der Toyota Weg. München: FinanzBuch-Verlag 2008

[2] Rother, M.; Harris, R.: Kontinuierliche Fließfertigung organisieren – Praxisleitfaden zur Einzelstück-Fließfertigung für Manager, Ingenieure und Meister in der Produktion. Lean Management Institute, Aachen, 2006

[3] Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie – Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Berlin: Springer-Verlag 2010

[4] Schneider, M.; Ettl, M.: Referenz-Produktionssystem für die systematische Einführung von Lean Production. Industrie Management 29 (2013) H. 1, S. 33–38

[5] Schneider, M.; Ettl, M.; Schubel, A.: PPS-Systeme: Die wahren Bedürfnisse von KMUs – Das Landshuter Produktionssystem (LPS): Clean Production Teil 2. Industrie Management 29 (2013) H. 2, S. 43–48

[6] Schneider, M. (Hrsg.): Prozessmanagement und Ressourceneffizienz – Der Weg zur nachhaltigen Wertschöpfung. Landshut: Lean Media Verlag 2013

[7] Erlach, K.: Wertstromdesign – Der Weg zur schlanken Fabrik. Berlin: Springer-Verlag 2007