

VDI ZRE Publikationen:
Kurzanalyse Nr. 30

Ressourceneffizienz durch
Produktionsplanung und Lean Production

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	6
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1 EINLEITUNG	8
2 MANAGEMENT, PLANUNG UND STEUERUNG DER PRODUKTION	10
2.1 Produktionsmanagement	11
2.2 Produktionsplanung und -steuerung	16
3 LEAN-ANSÄTZE UND GANZHEITLICHE PRODUKTIONSSYSTEME	22
3.1 Toyota Produktionssystem und Lean Production	22
3.2 Ganzheitliche Produktionssysteme	25
3.3 Lean Management	29
4 RESSOURCENEFFIZIENZ IM PRODUKTIONSSYSTEM	31
4.1 Strategien für Ressourceneffizienz	31
4.2 Praxis-Beispiele zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Produktionssystem	35
5 GANZHEITLICHE PRODUKTIONSSYSTEME UND RESSOURCENEFFIZIENZ	40
6 METHODEN ZUR STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ	44
6.1 Gestaltungsprinzip Standardisierung	44
6.1.1 5 S-Methode	44
6.1.2 Prozessstandardisierung	45
6.2 Gestaltungsprinzip Null-Fehler-Prinzip	45
6.2.1 Autonomation	46
6.2.2 Poka Yoke	47
6.2.3 Werker selbstkontrolle	47
6.2.4 Ishikawa-Diagramm	48
6.2.5 Statistische Prozessregelung	48
6.2.6 Six Sigma	48

6.3	Gestaltungsprinzip Visuelles Management	49
6.3.1	Andon	50
6.3.2	Shopfloor-Management	50
6.4	Gestaltungsprinzip Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	51
6.4.1	Ideenmanagement	51
6.4.2	PDCA	51
6.4.3	Zielmanagement	52
6.4.4	Wertstromplanung	53
6.4.5	One-Piece-Flow	54
6.5	Gestaltungsprinzip Pull-Prinzip	54
6.5.1	Nivellierung	55
6.5.2	Kanban	55
6.5.3	Just-in-Time	56
6.6	Gestaltungsprinzip Vermeidung von Verschwendung	57
6.6.1	Verschwendungsbewertung	58
6.6.2	Stoffstromanalyse	59
6.6.3	Materialflusskostenrechnung	59
6.6.4	Total Productive Maintenance	60
7	IMPLEMENTIERUNG GANZHEITLICHER PRODUKTIONSSYSTEME	62
7.1	Phasen der Implementierung	62
7.2	Erreichen einer Verbesserungskultur mit KVP und KATA	65
8	INTEGRATION VON DIGITALISIERUNGSANSÄTZEN IN PRODUKTIONSSYSTEME	69
8.1	Unterstützung der Gestaltungsprinzipien und Lean-Ansätze durch Digitalisierung	69
8.2	Praxisbeispiele	73
9	ENTWICKLUNG EINER UNTERNEHMENSSTRATEGIE	76
10	FAZIT	79
	LITERATURVERZEICHNIS	80

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Zusammenspiel von Produktionsmanagement und Transformationsprozess im Produktionssystem	11
Abbildung 2: St. Galler Management-Modell der 3. Generation	12
Abbildung 3: Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells	17
Abbildung 4: Wesentliche Elemente des Toyota-Produktionssystems	24
Abbildung 5: Prinzipielle Struktur eines Ganzheitlichen Produktionssystems	27
Abbildung 6: Phasen zur Einführung Ganzheitlicher Produktionssysteme	63
Abbildung 7: Die vier Stufen der Verbesserungs-Kata	66
Abbildung 8: Zusammenführen von Lean-, Digitalisierungs- und Ressourceneffizienzstrategie im Produktionssystem	76

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Einfluss der Aufgaben der PPS auf die Ressourceneffizienz	20
Tabelle 2:	Gestaltungsprinzipien und Ressourceneffizienzpotenziale	42
Tabelle 3:	Gestaltungsprinzipien und Ressourceneffizienzpotenziale (Fortsetzung)	43
Tabelle 4:	Methoden zum Gestaltungsprinzip Standardisierung	44
Tabelle 5:	Methoden zum Gestaltungsprinzip Null-Fehler-Prinzip	46
Tabelle 6:	Einordnung der Methode Poka Yoke	47
Tabelle 7:	Methoden zum Gestaltungsprinzip Visuelles Management	50
Tabelle 8:	Methoden zum Gestaltungsprinzip Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	51
Tabelle 9:	Methoden zum Gestaltungsprinzip Pull-Prinzip	55
Tabelle 10:	Methoden zum Gestaltungsprinzip Vermeidung von Verschwendung	58

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

CAD	Computer-Aided Design
CNC	Computerized Numerical Control
CO₂	Kohlenstoffdioxid
ERP	Enterprise-Resource-Planning
GPS	Ganzheitliche Produktionssysteme
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MFKR	Materialflusskostenrechnung
MIT	Massachusetts Institute of Technology
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RE	Ressourceneffizienz
TPM	Total Productive Maintenance
TPS	Toyota Produktionssystem
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

1 EINLEITUNG

Viele Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes stehen vor den Herausforderungen, ihre Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der globalen Konkurrenz zu erhalten und sich langfristig erfolgreich am Markt zu etablieren. Dazu kommt eine steigende Nachfrage der Kundschaft nach einer individuellen Produktion, die eine immer größere Anzahl an Varianten und kleinere Losgrößen zur Folge hat. Ein schnelllebiges Marktumfeld verkürzt die Produktlebenszyklen und erfordert eine schnellere Reaktion auf die veränderte Nachfrage. Wie auch die Covid-19-Pandemie gezeigt hat, können darüber hinaus finanzielle Unsicherheiten oder unerwartete Probleme in der Lieferkette auftreten, an die sich Unternehmen unverzüglich anpassen müssen.

Der Klimaschutz und der effiziente Umgang mit natürlichen Ressourcen wie Material, Energie und Wasser spielen eine immer wichtigere Rolle sowohl im gesellschaftlichen Diskurs als auch im Rahmen der Anforderungen der Kundschaft. Die Unternehmen müssen darauf mit verschiedenen Maßnahmen reagieren.

Ein weiterer Aspekt ist die fortschreitende Entwicklung der Digitalisierung, insbesondere im Produktionsumfeld, die für die Zukunftsfähigkeit der Unternehmen ein zunehmend wichtiger Faktor ist. All diesen Herausforderungen müssen sich Unternehmen stellen und das Ziel verfolgen, das eigene Produktionssystem bestmöglich darauf auszurichten und zu organisieren.

Die Kurzanalyse vermittelt in den Kapiteln 2 und 3 ein Grundverständnis für Produktionsmanagement sowie Produktionsplanung und -steuerung (PPS) im Rahmen eines Produktionssystems. Sie zeichnet nach, wie sich Methoden und Vorgehensweisen, die ursprünglich bei Toyota in Japan entwickelt wurden, weltweit verbreitet haben und Produktionssysteme durch die Umsetzung von Gestaltungsprinzipien produktiver machen können.

In Kapitel 4 werden Strategien vorgestellt, die als Leitlinien für die Steigerung der Ressourceneffizienz im Produktionssystem dienen können. Eine Auswahl an Praxisbeispielen verdeutlicht, wie Unternehmen die Ressourceneffizienz im Produktionssystem verbessern, Kosten reduzieren und gleichzeitig entstehende Auswirkungen auf Umwelt und Klima verringern können.

Anschließend wird in Kapitel 5 vorgestellt, wie Ansätze der Lean Production und Ganzheitlicher Produktionssysteme (GPS) nicht nur die Produktivität positiv beeinflussen können, sondern ebenso dazu beitragen, den Einsatz natürlicher Ressourcen zu reduzieren. Es wird außerdem aufgeführt, inwieweit GPS-Gestaltungsprinzipien auch Ressourceneffizienzstrategien unterstützen können.

In Kapitel 6 werden ausgewählte Methoden der Lean Production und GPS vorgestellt. Sie werden hinsichtlich GPS-Gestaltungsprinzipien sowie der jeweils unterstützten Ressourceneffizienzstrategie klassifiziert.

Empfehlungen für die GPS-Implementierung und Vorgehensweisen bei der Umsetzung einer Verbesserungskultur werden in Kapitel 7 dargelegt.

Da sich eine effiziente Produktion mit Ansätzen zur Digitalisierung im Produktionsumfeld unterstützen lässt, wird in Kapitel 8 vorgestellt, wie Digitalisierung bzw. Industrie 4.0 verschiedene Methoden der Lean Production unterstützen kann. Ausgewählte Beispiele aus der Industrie schaffen einen Transfer in die Praxis.

Abschließend gibt Kapitel 9 einen Einblick in das methodische Vorgehen zur Entwicklung erfolgreicher Unternehmensstrategien mit Hilfe des innovativen Ansatzes Strategie-Design.

2 MANAGEMENT, PLANUNG UND STEUERUNG DER PRODUKTION

Als Produktion wird ein betrieblicher Wertschöpfungsprozess bezeichnet, in welchem Inputfaktoren zu höherwertigeren Outputfaktoren transformiert werden.¹ Für die Produktion von Gütern und Dienstleistungen sind neben technisch-wirtschaftlichen Ressourcen wie Personal, Betriebsmitteln, Kapital und Wissen auch natürliche Ressourcen von Relevanz.² Diese unterteilen sich entsprechend der Richtlinie VDI 4800 Blatt 1 in Rohstoffe, Energie, Wasser, Luft, Fläche bzw. Boden und Ökosystemleistung.³ Wertschöpfende Prozesse finden außerdem in den Lieferketten (Supply Chains) und zunehmend in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken mit spezialisierten Kernkompetenzen der beteiligten Unternehmen statt.⁴

Eine Produktion ist in einem Produktionssystem organisiert und umfasst Transformationsprozesse und verschiedene Lenkungsinstanzen.⁵ Im Rahmen eines Produktionssystems stellt das Produktionsmanagement (vgl. Kapitel 2.1) die Lenkungsinstanz dar.

Die Fertigung oder Transformation ist die ausführende Instanz.⁶ Die im Kapitel 2.2 behandelte Produktionsplanung und -steuerung (PPS) ist ein Teil des sogenannten operativen Produktionsmanagements (vgl. Abbildung 1).⁷

¹ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 2.

² Vgl. Weber, M. und Oberender, C. (2015), S. 9.

³ Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02, S. 14.

⁴ Vgl. Lange, U. und Surdyk, K. (2018), S. 57 – 58.

⁵ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 3.

⁶ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 5.

⁷ Vgl. Siepermann, C. (2018).

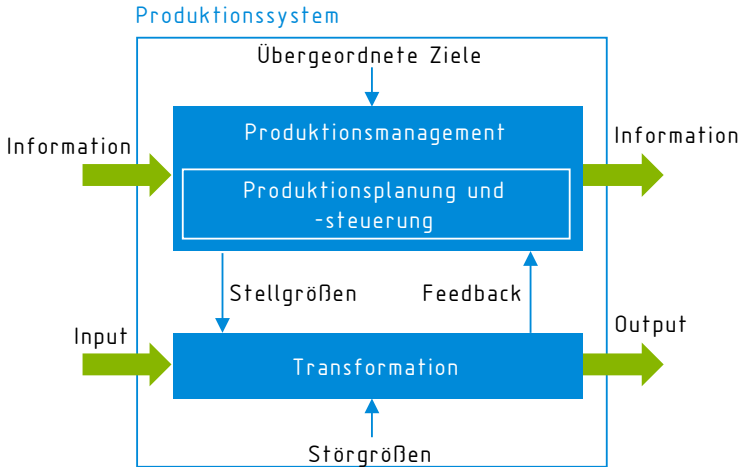


Abbildung 1: Zusammenspiel von Produktionsmanagement und Transformationsprozess im Produktionssystem⁸

2.1 Produktionsmanagement

Um das Produktionsmanagement in den Gesamtkomplex eines Unternehmens mit seinen unterschiedlichen Schnittstellen einordnen zu können, wird im Folgenden das St. Galler Management-Modell der dritten Generation herangezogen. Dieses ist auch unter dem Begriff neues St. Galler Management-Modell bekannt. Das Modell bietet einen auf eine ganzheitliche Betrachtung ausgelegten Ordnungsrahmen für Managementsysteme und deren Problemstellungen.⁹

Abbildung 2 visualisiert das Management-Modell und berücksichtigt die Elemente, die sich im Umfeld eines Unternehmens befinden, beispielsweise Anspruchsgruppen, Umweltsphären und Interaktionsthemen. Darüber hinaus führt es Prozesse, Ordnungsmomente und Entwicklungsmodi als unternehmensinterne Elemente auf.

⁸ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 5.

⁹ Vgl. Offenhammer, A. (2015), S. 131.

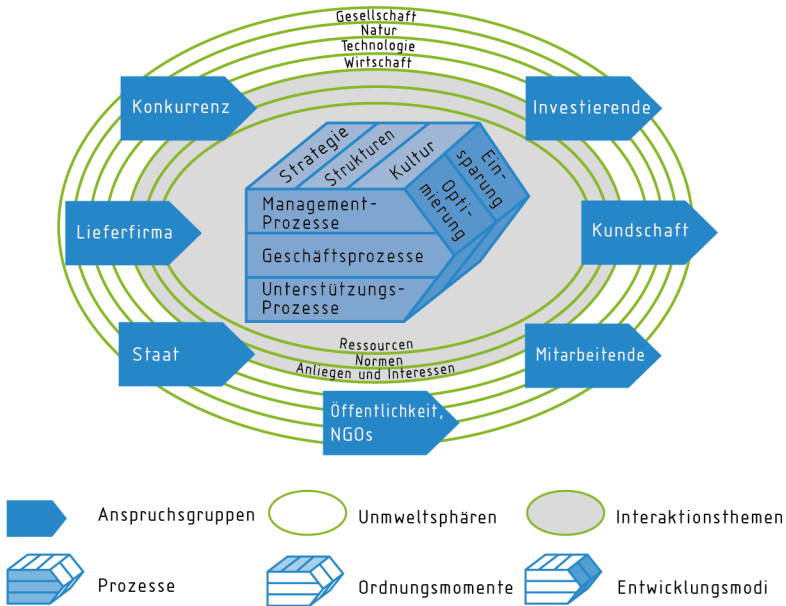


Abbildung 2: St. Galler Management-Modell der 3. Generation¹⁰

Im Rahmen der Managementprozesse kann zwischen normativen, strategischen und operativen Managementprozessen unterschieden werden. Übertragen auf das Produktionsmanagement lässt sich dieses in ein normatives, strategisches und operatives Produktionsmanagement differenzieren.¹¹

Im normativen Produktionsmanagement werden übergeordnete Unternehmensziele, aber auch Prinzipien sowie die Kultur im Unternehmen festgelegt. Übergeordnete Ziele können beispielsweise die Sicherung des Weiterbestehens des Unternehmens durch Gewinnmaximierung oder das Erlangen der Marktführerschaft in einem Technologiebereich sein.¹² Ein weiteres übergeordnetes Ziel im Rahmen des normativen Produktionsmanagements kann auch die Steigerung der Ressourceneffizienz und deren Bedeutung für die zukünftige Unternehmensentwicklung beinhalten.

¹⁰ Vgl. Rüegg-Stürm, J. (2002), S. 22.

¹¹ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 6.

¹² Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 5.

Das strategische Produktionsmanagement hat die Aufgabe, die Umwelt des Produktionssystems zu beobachten und Anpassungen aufgrund sich verändernder Rahmenbedingungen, entsprechend den Zielen und Prinzipien des normativen Produktionsmanagements, in die Wege zu leiten. Neben der strategischen Ausrichtung, z. B. durch die Gestaltung von Aufbau- und Ablaufstrukturen oder das Initiieren strategischer Programme für die Ausgestaltung von Geschäftsprozessen und Leistungssystemen, ist es die Aufgabe des strategischen Produktionsmanagements, ein Bewusstsein für Qualität, Kosten und Zeit zu schaffen.¹³ Die Gestaltung der Aufgaben erfolgt dabei beispielsweise nach den Prinzipien Wertorientierung (klassischer Shareholder-Value-Ansatz), Berücksichtigung der Nachhaltigkeit in der Unternehmensentwicklung oder Wandlungsfähigkeit in einem sich dynamisch und turbulent verändernden Umfeld.¹⁴ Eine Maßnahme zur Steigerung der Ressourceneffizienz, die auf der Ebene des strategischen Produktionsmanagements getroffen wird, kann beispielsweise die Einführung von Lean Management durch die technische Leitung sein.

Die Unternehmensziele, die auf normativer und strategischer Ebene definiert wurden, werden im operativen Produktionsmanagement in produktionsbezogene und messbare Zielgrößen überführt.

Typische Ziele, die sich aufgrund der Anforderungen aus dem Markt ergeben, sind Liefertreue, Lieferzeit und Lieferfähigkeit. Betriebliche Ziele umfassen den effizienten Einsatz von Anlagen, z. B. durch eine möglichst hohe Auslastung oder die Minimierung der Umlaufbestände, und die damit verbundenen Kosten. Im Rahmen des operativen Produktionsmanagements können insbesondere markt- und betriebsseitige Ziele miteinander in Konflikt stehen.¹⁵ Wird beispielsweise im strategischen Produktionsmanagement die Einführung von Lean Management entschieden, steuern Produktionsleitung und Meister*innen im operativen Produktionsmanagement die Umsetzung der einzelnen Methoden unter Berücksichtigung der Zielvorgaben.

¹³ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 12.

¹⁴ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 15.

¹⁵ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 20 – 21.

Die Aufgabe des operativen Produktionsmanagements besteht in der bestmöglichen Positionierung des Produktionssystems, um den geforderten Zielgrößen gerecht zu werden. Der individuelle Betriebspunkt eines Produktionssystems liegt im Spannungsfeld der Zielgrößen maximale Betriebsleistung/Auslastung, maximale Termintreue, minimale Prozess- und Gesamtkosten und minimale Durchlaufzeit.¹⁶ Das operative Produktionsmanagement umfasst im Wesentlichen fünf Kernprozesse:

- (1) Produktionsprogrammplanung
- (2) Auftragsmanagement
- (3) Produktionsbedarfsplanung
- (4) Eigenfertigungsplanung und -steuerung
- (5) Fremdbezugsplanung und -steuerung

Diese finden sich auch in den Aufgaben der PPS (siehe Kapitel 2.2) wieder.¹⁷

Die Ausgestaltung der Kernprozesse des Produktionsmanagements ist abhängig von den unternehmensspezifischen Fertigungstypen. Dabei werden die vier Typen Auftrags-, Rahmenauftrags-, Varianten- und Lagerfertigung unterschieden. Zur Charakterisierung können vier Merkmalsgruppen differenziert werden: Initiierung der Auftragsabwicklungsaktivitäten, Ausführung der Erzeugnisse, Durchführung der Dispositionsmaßnahmen und Abwicklung des eigentlichen Fertigungsprozesses.¹⁸

Die Merkmalsgruppen lassen sich wiederum anhand von zwölf Einzelmerkmalen kategorisieren:¹⁹

- (1) Art der Auftragslösung
- (2) Erzeugnisspektrum

¹⁶ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 21.

¹⁷ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 8 – 9.

¹⁸ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 22.

¹⁹ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 23 – 33.

- (3) Erzeugnisstruktur
- (4) Ermittlung des Erzeugnis- bzw. Komponentenbedarfs
- (5) Auslösung des Sekundärbedarfs
- (6) Beschaffungsart
- (7) Bevorratung
- (8) Fertigungsart
- (9) Ablaufart in der Teilefertigung
- (10) Ablaufart in der Montage
- (11) Fertigungsstruktur
- (12) Änderungseinflüsse der Kundschaft während der Fertigung

Ein wesentlicher Aspekt im Produktionsmanagement ist die Verwaltung von Daten. Folgende Datenarten können dabei unterschieden werden:²⁰

- (1) Stamm- und Bewegungsdaten
- (2) Bestands- und Änderungsdaten
- (3) Anwendungs- und Kontrolldaten

Hinsichtlich der Verwendungsdimension ergeben sich verschiedene Datensätze für die Bereiche Produkt, Produktion, Personal, Kundschaft und lieferndes Unternehmen.²¹ Die Datensätze werden in Nummernsystemen, kategorisiert nach Sach-, Personen- und Auftragsnummernsystemen, verwaltet.²²

²⁰ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 44.

²¹ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 45.

²² Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 50.

2.2 Produktionsplanung und -steuerung

Die PPS ist ein Teilbereich des operativen Produktionsmanagements.²³ Der Begriff Produktionsplanung und -steuerung hatte sich Anfang der 1980er Jahre verbreitet. Er stellte ein übergreifendes Konzept dar, mit dem sowohl die Material- als auch die Zeitwirtschaft der produzierenden Industrie adressiert wurde. Der Arbeitswissenschaftler Rolf Hackstein nahm in seinem Handbuch „Produktionsplanung und -steuerung (PPS): ein Handbuch für die Betriebspraxis“²⁴ den gesamten Produktionsbereich und die indirekt beteiligten Bereiche (z. B. Konstruktion) in den Fokus. Im Laufe der Zeit wurde der PPS-Begriff um weitere betriebliche Bereiche erweitert und umfasst nun neben der Fertigung, Montage und Konstruktion auch den Vertrieb, Einkauf, Versand und die Inbetriebnahme.²⁵

Ein PPS kann in Kernaufgaben, Querschnittsaufgaben und Netzwerkaufgaben differenziert werden (vgl. Abbildung 3). Neben den unternehmensinternen Aufgaben, die sich in den Kern- und Querschnittsaufgaben wiederfinden, spielt das Wertschöpfungsnetzwerk für produzierende Unternehmen eine zunehmende Rolle. Diese Aufgaben werden in den Netzwerkaufgaben abgebildet. Darunter fallen die Netzwerkkonfiguration, die -absatzplanung und die -bedarfsplanung. Die Verwaltung der Daten betrifft sämtliche drei Aufgabenbereiche, da sie alle die entsprechenden Daten nutzen. Zu den Querschnittsaufgaben gehören das Auftragsmanagement, das Bestandsmanagement und das Controlling.²⁶

²³ Vgl. Siepermann, C. (2018).

²⁴ Vgl. Hackstein, R. (1984).

²⁵ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 9.

²⁶ Vgl. Schuh, G. und Stich, V. (2012), S. 29 – 30.

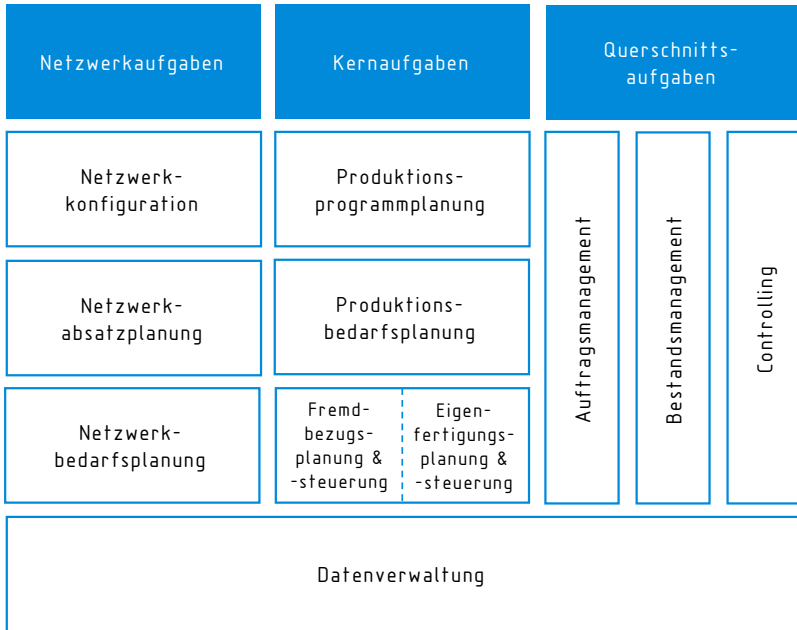


Abbildung 3: Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells²⁷

Das Auftragsmanagement umfasst Aufgaben der Auftragsplanung, -steuerung und -überwachung. Häufig haben produzierende Unternehmen Schwächen beim durchgängigen auftragsbezogenen Informationsfluss. Eine nicht ausreichende Umsetzung des prozessübergreifenden Auftragsmanagements kann dafür die Ursache sein.²⁸ Im Folgenden wird auf die Kernaufgaben der PPS, die Produktionsprogrammplanung, die Produktionsbedarfsplanung, die Fremdbezugsplanung und -steuerung sowie die Eigenfertigungsplanung und -steuerung, näher eingegangen.

Produktionsprogrammplanung

Bei der Produktionsprogrammplanung wird ein Programm für alle herzustellenden Erzeugnisse in einem zeitlich terminierten Planungszeitraum festgelegt, um einen Produktionsplan und einen Rahmenbeschaffungsplan zu erhalten. Dabei setzt sich die Produktionsprogrammplanung aus der

²⁷ Vgl. Schuh, G. und Stich, V. (2012), S. 30.

²⁸ Vgl. Schuh, G. und Stich, V. (2012), S. 60.

Absatzplanung, Primärbedarfsplanung und Ressourcengrobplanung zusammen. Ausgehend von den Anforderungen des Marktes und der durch Absatzstatistiken und -trends zu erwartenden und bereits vorhandenen Aufträge erfolgt die Erstellung eines Absatzplans. Dieser bildet die Grundlage für die Primärbedarfsplanung. Der Primärbedarf ist der Bedarf an Erzeugnissen (verkaufsfähigen Produkten) in Abhängigkeit zur Auftragslage. Dabei wird der Nettoprimärbedarf ermittelt, indem der Lagerbestand vom Bruttoprimärbedarf subtrahiert wird. Der Nettoprimärbedarf fließt dann in die Ressourcengrobplanung ein. Mit Hilfe einer Deckungsrechnung wird ein Abgleich zwischen Ressourcenbedarf und -angebot erstellt.²⁹ Die Bedarfe an Erzeugnissen, Bauteilen oder Komponenten werden nach Art und Menge sowie hinsichtlich des Fertigungstermins oder der Periode grob eingeplant und zu den verfügbaren Ressourcen in Relation gesetzt. Dabei werden als Ressourcen sowohl Material sowie Betriebs- und Hilfsmittel als auch Personal berücksichtigt. Wenn überprüft wurde, ob mit den verfügbaren Ressourcen die Nettoprimärbedarfe realisiert werden können, kann anschließend im Rahmen der Ressourcengrobplanung ein langfristiges Produktionsprogramm festgelegt werden.³⁰

Produktionsbedarfsplanung

Abgeleitet aus dem Produktionsprogramm wird ein Beschaffungsprogramm erstellt. Der Produktionsplan, der das Ergebnis des Produktionsprogramms ist, dient als Informationsgrundlage für die Beschaffungsplanung. Diese hat wiederum die Realisierbarkeit des Produktionsprogramms sicherzustellen und setzt sich aus Sekundärbedarfsermittlung, Durchlaufterminierung und Kapazitätsplanung zusammen. Der Sekundärbedarf beschreibt den Bedarf an Teilen (Einzelteile, Komponenten) für die Herstellung des verkaufsfähigen Produkts. Die Sekundärbedarfsermittlung erfolgt entsprechend der Primärbedarfsermittlung. Durch Subtrahieren der Lagerbestände vom Bruttosekundärbedarf lässt sich der Nettosekundärbedarf bestimmen.³¹ In der Durchlaufterminierung werden sowohl unterschiedliche Fertigungsaufträge als auch – insbesondere interne – Beschaffungsaufträge in einen zeitlichen

²⁹ Vgl. Schuh, G. und Stich, V. (2012), S. 39.

³⁰ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 68.

³¹ Vgl. Schuh, G. und Stich, V. (2012), S. 44 - 45.

Zusammenhang gebracht. Daraus resultieren Ecktermine hinsichtlich der Kapazitäten oder Kapazitätsgruppen. Diese Terminierung erfolgt vorerst unter der Annahme, dass Kapazitäten unbegrenzt verfügbar sind.³² Der letzte Schritt ist die Kapazitätsplanung. Dabei findet eine Gegenüberstellung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot statt. Im Unterschied zur Durchlaufterminierung wird in der Kapazitätsplanung die tatsächliche Kapazitätsbelastung miteinbezogen, welche durch die Bearbeitung verschiedener, um die Kapazitäten konkurrierender Aufträge entstehen.³³

Eigenfertigungsplanung und -steuerung

Auf Grundlage des Eigenfertigungsprogramms wird die Losgrößenrechnung umgesetzt. Diese verfolgt das Ziel, die wirtschaftlich optimalen Losgrößen der Fertigung zu bestimmen und dabei einen Kompromiss zwischen hohen Beständen und Inflexibilität bei höheren Losgrößen sowie hohen Rüstzeiten und -kosten bei kleinen Losgrößen zu finden. Die anschließende Arbeitsgangfeinterminierung ermittelt für die einzelnen Fertigungslose aus den erforderlichen Arbeitsgängen der Fertigung sowie den Bearbeitungs- und Übergangszeiten die Durchlaufzeiten. Mithilfe der Reihenfolgeplanung wird die zielspezifische optimale Zuordnung von Arbeitsgängen auf Maschinen unter Beachtung von Restriktionen und Kapazitäten gewährleistet. Die Verfügbarkeit der Kapazitäten wird über eine Ressourcenfeinplanung sichergestellt.³⁴

Fremdbezugsplanung und -steuerung

Neben dem Eigenfertigungsprogramm ergibt sich aus der Produktionsbedarfsplanung auch das Fremdbezugsprogramm, das als Informationsgrundlage für die Fremdbezugsplanung und -steuerung dient. Liefertermine, Beschaffungsmengen und Anforderungen an die Bereitstellung für Material und Bauteile werden darin bestimmt. Die Fremdbezugsplanung und -steuerung kann bei einer geringen Eigenfertigungstiefe einen wesentlichen Einfluss auf den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens haben.³⁵

³² Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 156.

³³ Vgl. Schuh, G. und Schmidt, C. (2014), S. 158.

³⁴ Vgl. Schuh, G. und Stich, V. (2012), S. 50 – 51.

³⁵ Vgl. Schuh, G. und Stich, V. (2012), S. 57 – 58.

Tabelle 1: Einfluss der Aufgaben der PPS auf die Ressourceneffizienz

Aufgaben-kategorie	Aufgaben	Einfluss auf Ressourcen-effizienz	Beispiel
Netzwerkaufgaben	Netzwerkkonfiguration	mittel	Auswahl des Netzwerks unter Berücksichtigung von Ressourceneffizienzaspekten
	Netzwerkabsatzplanung	mittel	Ressourceneffizienz durch nachfrageorientierte Absatzplanung
	Netzwerkbedarfsplanung	mittel	Ressourceneffizienz durch Ermittlung und Verteilung der Bedarfe im Netzwerk
Kernaufgaben	Produktionsprogrammplanung	hoch	Berücksichtigung von Ressourceneffizienz im Produktionsprogramm
	Produktionsbedarfsplanung	hoch	Ressourceneffizienz durch nachfrageorientierte Bedarfsplanung
	Fremdbezugsplanung und -steuerung	mittel	Ressourceneffizienz durch bedarfsorientierte Materialdisposition
	Eigenfertigungsplanung und -steuerung	hoch	Arbeitsgangplanung unter Berücksichtigung von Ressourceneffizienz
Querschnittsaufgaben	Auftragsmanagement	hoch	Ressourceneffizienz durch transparenten und durchgängigen Informationsfluss
	Bestandsmanagement	hoch	Vermeidung von Ressourcenverschwendung durch effiziente Lagerhaltung
	Controlling	mittel	Informationsbereitstellung zur Ressourceneffizienz des Produktionssystems
Übergreifende Aufgaben	Datenverwaltung	mittel	Erfassung und Datenverwaltung bezüglich Ressourceneffizienz

Tabelle 1 gibt einen Überblick darüber, wie groß der Einfluss einzelner Aufgabenbereiche einer PPS auf die Ressourceneffizienz ist, und zeigt beispielhaft Ansätze in den jeweiligen Bereichen auf.

Für eine detaillierte Ausarbeitung und Umsetzung einer PPS können die Referenzsichten des Aachener PPS-Modells unterstützen. Die vorangegangene Darstellung der Aufgaben ermöglicht die grundlegende Aufgabensicht. Daneben besteht das Aachener PPS-Modell aus drei weiteren Referenzsichten: der Prozessarchitektursicht, der Prozesssicht und der Funktionssicht. Aus der Aufgabensicht lassen sich die einzelnen Prozessschritte für die Prozessarchitektur- und Prozesssicht ableiten. Die Prozessarchitektursicht

ermöglicht Schnittstellen der Aufgaben auf der Ebene des Netzwerks und des Unternehmens. Sie beschreibt auf Netzwerkebene die Verteilung und Koordination von Prozessen und Prozesselementen. In der Prozessreferenzsicht werden die Bereiche der Aufgabenreferenzsicht in eine zeitlich logische Abfolge gebracht und die Auftragsabwicklung inhaltlich detailliert. In der Funktionsreferenzsicht werden Funktionen der PPS abgebildet, die sich aus den drei anderen Referenzsichten ableiten. Aus der Funktionsreferenzsicht leitet sich zudem die Anforderungsbeschreibung für ein IT-System ab, beispielsweise für ein Enterprise-Resource-Planning- (ERP-)System.

3 LEAN-ANSÄTZE UND GANZHEITLICHE PRODUKTIONSSYSTEME

Die Idee der Lean Production leitet sich aus dem Toyota Produktionssystem (TPS) ab. Kapitel 3.1 gibt einen Einblick in die Entwicklung des Systems. Kapitel 3.2 behandelt die Grundlagen Ganzheitlicher Produktionssysteme (GPS) und stellt deren Gestaltungsprinzipien vor. Kapitel 3.3 definiert den Begriff des Lean Managements und verweist auf Entwicklungen von Lean-Ansätzen in weiteren Bereichen des betrieblichen Umfelds.

3.1 Toyota Produktionssystem und Lean Production

Wesentliche Aspekte des TPS reichen zurück zu Sakichi Toyoda und dessen Sohn Kiichiro Toyoda, Gründer der Toyota Motor Corporation. Sakichi Toyoda entwickelte im Jahr 1924 einen automatisierten Webstuhl, der sich bei auftretenden Problemen selbst anhielt. Das Ziel war es, Verschwendung durch fehlerhafte Produkte und damit verbundene zusätzliche Tätigkeiten zu vermeiden. Kiichiro Toyoda verfolgte die Idee der verschwendungsfreien Wertschöpfung in der Zusammenarbeit von Menschen und Maschinen weiter.

Im Jahr 1938 etablierte er das Flussprinzip bei Toyota, abgeleitet von der Funktionsweise einer Förderkette in der Textilproduktion, und gilt damit als Erfinder des Just-in-Time-Konzepts. Daraus entwickelte und etablierte Taiichi Ohno als Produktionsleiter mit starker Unterstützung von Eiji Toyoda, dem Direktor bzw. Geschäftsführer von Toyota, das TPS ab der zweiten Hälfte der 1940er Jahre.³⁶ Ziel war es, die nach dem Zweiten Weltkrieg sehr angeschlagene japanische Automobilindustrie zu retten, aus den Schwächen der damals führenden Automobilhersteller in den USA zu lernen und sie mit einer verbesserten, individuellen Produktion einzuholen.³⁷

Eine zentrale Idee des TPS richtet sich darauf, Verschwendung konsequent zu vermeiden.³⁸ Verschwendungen werden als Hindernisse verstanden, die einen negativen Einfluss auf die Arbeitsprozesse im Unternehmen ausüben.

³⁶ Vgl. Toyota Motor Corporation (2020).

³⁷ Vgl. Dahm, M. H. und Brückner, A. D. (2017), S. 3 – 4.

³⁸ Vgl. Wettengl, S. (2011).

Dazu gehören verschwenderische Aktivitäten (japanisch: Muda), Überlastung (japanisch: Muri) und Unregelmäßigkeiten (japanisch: Mura).³⁹

Das TPS stützt sich auf zwei wesentliche methodische Säulen, Just-in-Time (vgl. Kapitel 6.5.1) und Jidoka oder Autonomation (vgl. Kapitel 6.2). Als Folge der Verwirklichung von Just-in-Time und des daraus resultierenden kontinuierlichen Fertigungsflusses sowie der Autonomation veränderten sich auch die Aufgaben der Mitarbeitenden. Beispielsweise waren diese nun für mehrere Maschinen gleichzeitig verantwortlich, was eine breitere Qualifikation der Mitarbeitenden erforderte. Außerdem war es deren Aufgabe, auftretende Probleme selbst vor Ort zu erkennen und zu lösen sowie die eigenen Prozesse ständig und sukzessive zu verbessern.⁴⁰

Häufig wird das TPS als Haus dargestellt (vgl. Abbildung 4). Neben den Säulen Just-in-Time und Jidoka (Autonomation) stellen die Mitarbeitenden die dritte Säule dar. Vermeidung von Verschwendung und kontinuierliche Verbesserung bilden das Fundament. Das Dach des Hauses ist geprägt von einer starken Orientierung an die Kundschaft und setzt sich aus den übergeordneten Zielstellungen kurze Durchlaufzeiten, niedrige Kosten und hohe Qualität zusammen. Eine weitere Zielstellung ist die Vermeidung gesundheitlicher Beeinträchtigungen, die sowohl die Arbeitssicherheit als auch die Umweltauswirkungen beinhalten.⁴¹

³⁹ Vgl. Kanbanize (2020).

⁴⁰ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 18.

⁴¹ Vgl. Toyota Material Handling (2010), S. 14 – 15.

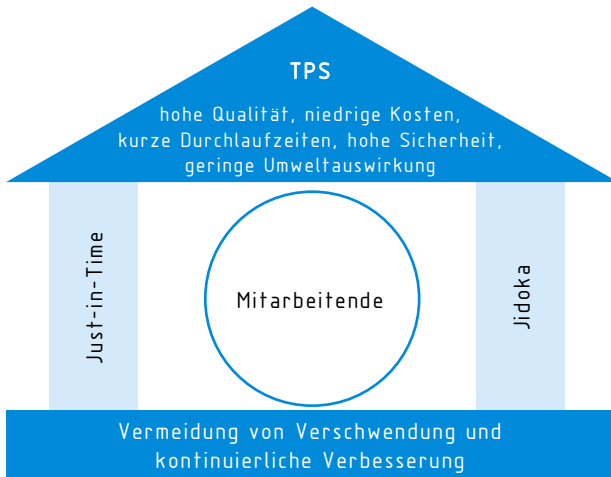


Abbildung 4: Wesentliche Elemente des Toyota-Produktionssystems⁴²

Wissenschaftler*innen des Massachusetts Institute of Technology (MIT) wurden auf das TPS und dessen Methoden aufmerksam und publizierten im Jahr 1990 ihre Studienergebnisse über die besonderen Merkmale des TPS in dem Buch „The Machine That Changed The World: The Story of Lean Production – Toyota’s Secret Weapon in the Global Car Wars That is Revolutionizing World Industry“⁴³. Die deutschsprachige Veröffentlichung erfolgte unter dem Titel „Die zweite Revolution in der Automobilindustrie“^{44, 45}.

Schnell verbreiteten sich die Ergebnisse der Studie und in zahlreichen Industrieunternehmen wurde versucht, das TPS zu übernehmen. Die Unternehmen implementierten dabei in erster Linie einzelne erfolgversprechende Methoden, womit auch entsprechende Erfolge erreicht werden konnten.

Allerdings wurden Methoden häufig nur kopiert und es wurde kein Bewusstsein dafür entwickelt, wie der Weg zu den Lösungen funktioniert. Teilweise wurde die Zielstellung der Lean-Methoden nicht oder falsch verstanden und im Zuge von Rationalisierungsmaßnahmen angewandt. Dies führte

⁴² In Anlehnung an: vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 17.

⁴³ Vgl. Womack, J. P.; Jones, D. T. und Roos, D. (1990).

⁴⁴ Vgl. Womack, J. P.; Jones, D. T. und Roos, D. (1992).

⁴⁵ Vgl. Bertagnolli, F. (2018), S. 203 – 204.

zwangsläufig zu Misstrauen bei den Mitarbeitenden, wodurch sich keine langfristige Verbesserungskultur in den Unternehmen entwickeln konnte.

Es hat sich gezeigt, dass der Erfolg des TPS nicht in der Anwendung einzelner Methoden, sondern in einem aufeinander abgestimmten Gesamtsystem – mit Fokus auf den Nutzen für die Kundschaft – beruht. Aus dieser Erkenntnis heraus und auf Grundlage der Lean-Production-Methoden entwickelte sich der Begriff des GPS.⁴⁶

Ein weiteres wesentliches Erfolgsrezept des TPS liegt darin, dass die Zielstellungen des Unternehmens als Vision gesehen werden und die Mitarbeitenden kontinuierlich nach Verbesserung hin zur Vision Null-Fehler (hohe Qualität), 100 % Wertschöpfung (geringe Kosten) sowie One-Piece-Flow (kurze Durchlaufzeiten) streben.

Eine weitere Zielvision beinhaltet, dass weder Mitarbeitende noch Kund*innen gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die Produkte erleiden. Einen Weg, diese kontinuierliche Verbesserung im Unternehmen und die Zielerreichung methodisch zu verankern, bietet die Toyota-KATA (vgl. Kapitel 7.2).

3.2 Ganzheitliche Produktionssysteme

Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) bauen im Wesentlichen auf den Elementen des TPS und der Lean Production auf und ermöglichen die Integration dieser in die unternehmensspezifische Charakteristik eines Produktionssystems.⁴⁷ Die Richtlinie VDI 2870 Blatt 1 „Ganzheitliche Produktionssysteme – Grundlagen, Einführung und Bewertung“ definiert das GPS als ein „methodisches Regelwerk zur umfassenden und durchgängigen Gestaltung der Unternehmensprozesse“⁴⁸.

Auch wenn die konkrete Ausgestaltung für jedes Unternehmen individuell erfolgt, sind GPS vergleichbar aufgebaut. Die Richtlinie VDI 2870 Blatt 1 zeigt einen einheitlichen Rahmen auf, mit dessen Hilfe Gestaltungsprinzipien sowie die Anwendung spezifischer Methoden und Werkzeuge zu deren

⁴⁶ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 18 – 19.

⁴⁷ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 19.

⁴⁸ VDI 2870 Blatt 1:2012-07, S. 5.

Umsetzung abgeleitet werden können. Auf diese Weise lassen sich die Methoden sowie die Umsetzung der Gestaltungsprinzipien mit den Unternehmenszielen und -prozessen in Verbindung bringen sowie langfristig integrieren.⁴⁹

Abbildung 5 zeigt die prinzipielle Struktur eines GPS. Aus übergeordneten Unternehmenszielen werden Teilziele abgeleitet, die wiederum mit den betroffenen Unternehmensprozessen verknüpft werden. Abhängig vom gewählten Gestaltungsprinzip ergeben sich Methoden und Werkzeuge, die bei der Umsetzung angewandt werden können. Die Richtlinie VDI 2870 Blatt 2 stellt eine Auswahl von Methoden und Werkzeugen vor und unterstützt dabei, für die einzelnen Gestaltungsprinzipien entsprechende Methoden und Werkzeuge auszuwählen.

⁴⁹ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 26 - 27.

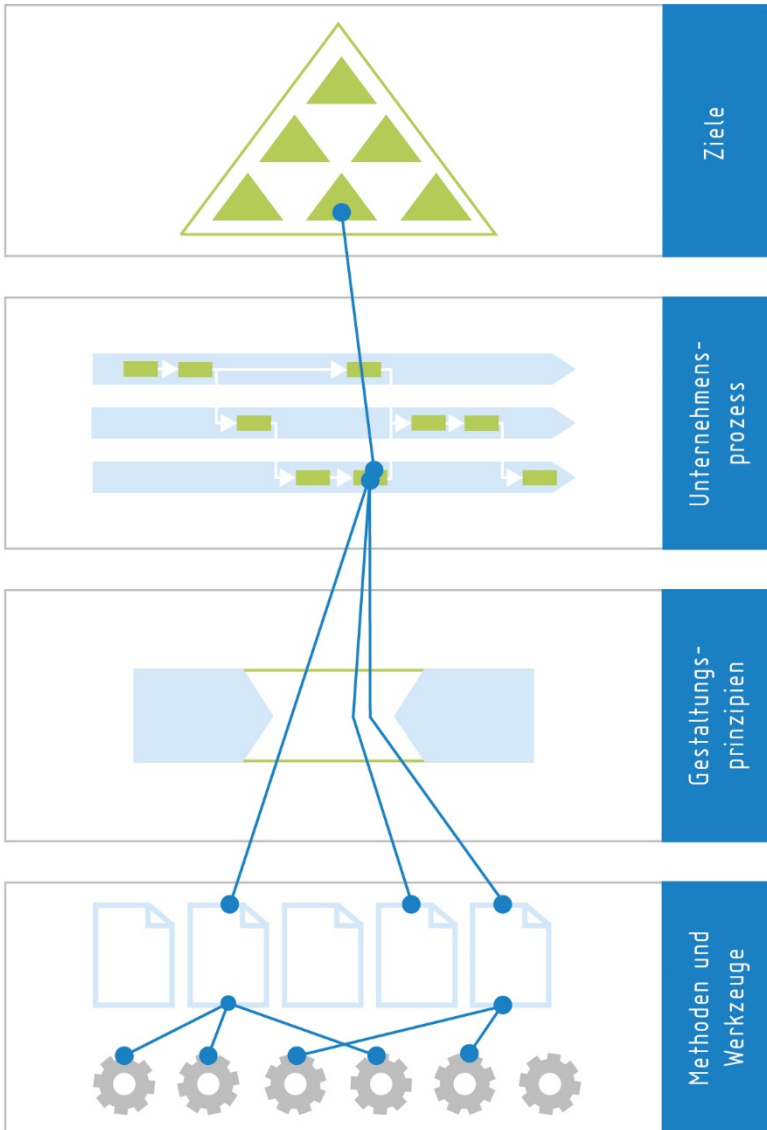


Abbildung 5: Prinzipielle Struktur eines Ganzheitlichen Produktionssystems⁵⁰

Die abgeleiteten Teilziele werden für einzelne Unternehmensbereiche präzisiert. Diese werden wiederum für die Umsetzung in einzelnen für die Zielerreichung relevanten Unternehmensprozessen konkretisiert. Geeignete

Gestaltungsprinzipien für die Umsetzung der Teilziele werden ausgewählt und mit Hilfe passender Methoden und Werkzeuge umgesetzt.⁵¹

Durch die umfassende Verankerung und die ganzheitliche Betrachtung unterschiedlicher Gestaltungsprinzipien und Methoden wird die Basis für ein erfolgreiches GPS geschaffen. Ziel ist es, dass dieses von allen Mitarbeitenden auf den unterschiedlichen Unternehmensebenen verstanden und umgesetzt wird.⁵²

In der Richtlinie werden folgende acht Gestaltungsprinzipien adressiert:⁵³

- (1) **Standardisierung:** Durch die Standardisierung, insbesondere von sich wiederholenden Abläufen und Fertigungsschritten, lassen sich diese verbessern und bestmöglich gestalten. Auf Grundlage des definierten Standards werden Soll- und Ist-Zustand der Prozesse verglichen und hinsichtlich Qualität oder Durchlaufzeiten bewertet.⁵⁴
- (2) **Null-Fehler-Prinzip:** Ein zentrales Gestaltungsprinzip ist das Null-Fehler-Prinzip – die Realisierung einer Produktion ohne jeglichen Ausschuss und Nacharbeit. Da in der Realität aber Fehler nicht gänzlich vermeidbar sind, sollten diese als Chance verstanden werden, Schwachstellen in den Prozessen zu verstehen und daraus Verbesserungen abzuleiten.⁵⁵
- (3) **Fließprinzip:** Mit Hilfe des Fließprinzips wird ein durchgängiger Fluss von Materialien und Informationen entlang der Wertschöpfungskette im Unternehmen realisiert.⁵⁶
- (4) **Pull-Prinzip:** Durch die Gestaltung eines Pull-Prinzips wird eine an der Kundschaft orientierte Produktion ermöglicht. Der Abruf eines

⁵⁰ VDI 2870 Blatt 1:2012-07, S. 10. (Wiedergegeben mit Erlaubnis des VDI e.V.)

⁵¹ Vgl. VDI 2870 Blatt 1:2012-07, S. 10.

⁵² Vgl. VDI 2870 Blatt 1:2012-07, S. 2.

⁵³ Vgl. VDI 2870 Blatt 1:2012-07, S. 13.

⁵⁴ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 67.

⁵⁵ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 80.

⁵⁶ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 96.

Produktes auf Seiten der Kund*innen führt zu einem Impuls zur Produktion bzw. Nachfrage in der jeweils vorgelagerten Prozessstufe.⁵⁷

- (5) **Kontinuierlicher Verbesserungsprozess:** Ein wesentlicher Aspekt der GPS ist das beständige Streben nach Perfektion, welches sich im Gestaltungsprinzip des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses wiederfindet.⁵⁸
- (6) **Orientierung an den Mitarbeitenden und zielorientierte Führung:** Das Gestaltungsprinzip adressiert die Veränderung des Verhaltens der Mitarbeitenden hin zu einer lernenden Organisation, deren Mitarbeitenden das Prinzip der kontinuierlichen Verbesserung voranbringen.⁵⁹
- (7) **Vermeidung von Verschwendung:** Das Gestaltungsprinzip der Verschwendungsvermeidung verfolgt das Ziel, die Wertschöpfung zu erhöhen, indem unnötige nichtwertschöpfende Tätigkeiten (Verschwendung) ausgespart werden.⁶⁰
- (8) **Visuelles Management:** Durch den Einsatz des visuellen Managements im Rahmen der GPS lassen sich Ziele, Prozesse, Leistungen oder Probleme im Unternehmen transparent darstellen. Dabei werden zum einen Abweichungen im Prozesse erfasst und entsprechende Maßnahmen ergriffen. Zum anderen wird die Identifikation der Mitarbeitenden mit deren Aufgaben und dem Umfeld verbessert.⁶¹

3.3 Lean Management

Der Begriff Lean Management steht für „die Gesamtheit der Denkprinzipien, Methoden und Verfahrensweisen zur effizienten Gestaltung der gesamten Wertschöpfungskette industrieller Güter“⁶². Entstanden aus den Prinzipien der Lean Production kann Lean Management als ein übergeordneter Ansatz gesehen werden, der die Denkprinzipien auf indirekte Bereiche überträgt.⁶³

⁵⁷ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 110.

⁵⁸ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 50.

⁵⁹ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 129.

⁶⁰ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 32.

⁶¹ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 150.

⁶² Pfeiffer, W. (1991), S. 2.

⁶³ Vgl. Krauß, M. (2019).

Auch wenn Unternehmensbereiche abseits der Produktion in GPS nicht ausgeschlossen werden, liegt darin der Schwerpunkt.⁶⁴

Für die Implementierung des Lean-Gedankens oder der Prinzipien der GPS in weitere Bereiche haben sich eigene Ansätze und Begriffe entwickelt. Beispielsweise spricht man in Bereichen der Administration von Lean Administration, in der Entwicklung von Lean Development oder bei Ansätzen in den Führungs- und Managementebenen von Lean Leadership.⁶⁵

Die vorliegende Kurzanalyse beschränkt sich in der Betrachtung im Wesentlichen auf das Produktionsumfeld. Auch wenn indirekte Bereiche durchaus große Potenziale zur Verbesserung bieten, sind für den effizienten Einsatz natürlicher Ressourcen insbesondere die Produktion und produktionsnahe Bereiche wie Logistik und Lagermanagement verantwortlich.

⁶⁴ Vgl. VDI 2870 Blatt 1:2012-07, S. 4.

⁶⁵ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 189.

4 RESSOURCENEFFIZIENZ IM PRODUKTIONSSYSTEM

Im betriebswirtschaftlichen Zusammenhang wird der Begriff Ressource häufig weiter gefasst und kann finanzielle, physische, personelle, organisatorische und technologische Ressourcen beinhalten.⁶⁶ Im Folgenden werden unter den Begriffen Ressourcen und Ressourceneffizienz ausschließlich natürliche Ressourcen berücksichtigt. Für die betriebliche Praxis ist hauptsächlich der effiziente Umgang mit den Ressourcen Rohstoffe, Energie und Wasser von Bedeutung. In Kapitel 4.1 werden verschiedene Strategien zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Produktionssystem aufgeführt. Die in Kapitel 4.2 dargestellten Praxisbeispiele verdeutlichen diese beispielhaft und zeigen, wie durch unterschiedliche Maßnahmen des Produktionsmanagements sowohl der Ressourcenverbrauch als auch Kosten reduziert werden konnten.

4.1 Strategien für Ressourceneffizienz

Um die Ressourceneffizienz in der unternehmerischen Tätigkeit zu verbessern, gibt es eine Vielzahl von Ansätzen und Maßnahmen, die einerseits die Fertigungsprozesse und andererseits das angebotene Produkt betreffen können. Die Richtlinie VDI 4800 Blatt 1 „Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien“ gibt einen Überblick über verschiedene produkt- und prozessbezogene Strategien und Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen. Im Folgenden werden ausgewählte Ressourceneffizienzstrategien vorgestellt, die als strategische Leitlinien im Rahmen eines Produktionssystems verfolgt werden können. Diese werden in Kapitel 5 in Bezug zu den GPS-Gestaltungsprinzipien gesetzt.

Fertigungsprozessoptimierung

Um den Ressourcenaufwand bei gleichbleibendem Prozess-Output und konstanter Produktqualität zu reduzieren, kann eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Optimierung der Fertigungsprozesse eingesetzt werden. Insbesondere die Optimierung von Prozessparametern trägt zu signifikanten Einsparungen bei geringen Umsetzungskosten bei.⁶⁷

⁶⁶ Vgl. Schreyögg, G. (1993), S. 112.

⁶⁷ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019b).

Vermindern von geplantem Ausschuss

Das Vermindern von Ausschuss kann zum einen durch die Reduzierung von Materialverschwendung beim Einfahren von Prozessen und zum anderen durch eine Senkung des auftretenden prozentualen Verlusts erfolgen. Umsetzen lässt sich dies durch Anpassungen im Fertigungsprozess oder beim Produkt selbst. Eine höhere Werkstoffausnutzung im Produktionsprozess führt zur Reduktion des Materialbedarfs und des Abfallaufkommens.⁶⁸

Vermindern von geplantem Verlust

Eine weitere Strategie zur besseren Werkstoffausnutzung ist das Vermindern von geplantem Verlust. Dabei werden Maßnahmen unternommen, Materialverlust, der technisch bedingt bei der Formänderung anfällt (z. B. Restgitter beim Stanzen), zu reduzieren. Wie beim Vermindern von Ausschuss kann diese Strategie durch Anpassungen des Fertigungsprozesses oder des Produkts umgesetzt werden und zur Reduzierung des Materialbedarf und des Abfallaufkommens beitragen.⁶⁹

Minimierung des Bearbeitungsvolumens

Durch die Strategie Minimierung des Bearbeitungsvolumens wird nicht nur die Menge des Rohmaterialeinsatzes reduziert, sondern durch das geringere Bearbeitungsvolumen werden zudem der Werkzeugverschleiß verringert und die Belegungszeit der Betriebsmittel verkürzt. Abhängig vom Anwendungsfall lässt sich neben einer Materialeinsparung auch eine Energieeinsparung aufgrund kürzerer Bearbeitungszeiten verwirklichen.⁷⁰

Vermindern von Lagerungsverlusten

Das Vermindern von Lagerverlusten trägt dazu bei, unnötige Material- und Energieaufwände zu vermeiden, welche durch die Entsorgung ungenutzter Produkte, Bauteile sowie Roh- und Hilfsstoffe entstehen. Gründe für

⁶⁸ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019j).

⁶⁹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019k).

⁷⁰ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019g).

Lagerverluste können Überproduktion, Fehlplanung, unnötig hohe Sicherheitsbestände oder ein unzureichendes Lagermanagement sein.⁷¹

Vermindern des Energieverbrauchs

Die Strategie Vermindern des Energieverbrauchs verfolgt das Ziel, den Input an elektrischer Energie und Energieträgern im Unternehmen zu reduzieren, ohne die Qualität und den Prozessoutput negativ zu beeinflussen. Durch die Reduzierung insbesondere fossiler Energieträger können darüber hinaus klimaschädliche Treibhausgasemissionen verringert werden.⁷²

Kreislaufführung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen

Durch eine inner- und überbetriebliche Kreislaufführung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen lassen sich Ressourcen einsparen, die zur Rohstoffextraktion und ursprünglichen Herstellung des Produktionsinputs benötigt werden. Darüber hinaus lassen sich beispielsweise durch die Aufbereitung von Betriebsstoffen oder die Wiederverwendung von Materialverlusten und Ausschussteilen anfallende Abfallströme reduzieren.⁷³

Kreislaufführung von Produkten und Bauteilen

Neben der Kreislaufführung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen kann eine Strategie zur Steigerung der Ressourceneffizienz die Kreislaufführung von Bauteilen oder Produkten darstellen. Durch eine Aufbereitung und erneute Nutzbarmachung von Bauteilen oder Produkten lassen sich Material- und Energieaufwände reduzieren, die für die Herstellung aus den entsprechenden Rohstoffen erforderlich sind.⁷⁴

Materialsubstitution von Hilfs- und Betriebsstoffen

Die teilweise in großen Mengen eingesetzten Hilfs- und Betriebsstoffe bieten großes Potenzial für die Steigerung der Ressourceneffizienz. Eine Substitution kann zur Reduktion der Verbrauchsmengen von Hilfs- und

⁷¹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019l).

⁷² Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019i).

⁷³ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019e).

⁷⁴ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019d).

Betriebsstoffen in der Produktion beitragen bzw. Entsorgungsmengen und damit verbundenen Kosten reduzieren. Es ist wichtig, den gesamten Lebensweg der Betriebsstoffe zu betrachten, um eine ganzheitliche Verbesserung der Ressourceneffizienz sicherzustellen.⁷⁵

Kaskadennutzung von Hilfs- und Betriebsstoffen

Eine weitere Möglichkeit, die Nutzungsdauer von Hilfs- und Betriebsstoffen zu verlängern, ist eine Kaskadennutzung. Dabei werden die Hilfs- und Betriebsstoffe nach der Erstnutzung in einem Anwendungsbereich mit geringeren technischen und qualitativen Anforderungen weitergenutzt. Es werden Material und Energie eingespart, die für die weiteren Anwendungsfälle benötigt würden. Zudem reduzieren sich das Abfallaufkommen und die Aufwände für die Entsorgung.⁷⁶

Planung ressourceneffizienter Fertigungsprozesse

In der Ablaufgestaltung der Fertigungsprozesse können sich durch die Berücksichtigung von Ressourceneffizienzaspekten bereits in der Planung eine Vielzahl von Potenzialen zur Steigerung der Ressourceneffizienz ergeben. Insbesondere bei der Anschaffung und Dimensionierung neuer Anlagen werden Ressourcenverbräuche oftmals langfristig festgelegt. Auch auf operativer Ebene lassen sich durch eine entsprechende Planung Ressourcenverbräuche positiv beeinflussen.⁷⁷

Effiziente Betriebsorganisation

Durch eine effiziente Betriebsorganisation kann der Einsatz von Ressourcen im Unternehmen reduziert werden. Ansätze können vielfältig sein und beispielsweise arbeitsorganisatorische Strukturen oder Kommunikationsstrukturen und -abläufe betreffen. Wenn z. B. Arbeitsabläufe, Produktionsziele oder Qualitätsvorgaben klar definiert und kommuniziert werden, können

⁷⁵ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019f).

⁷⁶ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019c).

⁷⁷ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019h).

Fehlchargen und dadurch Material- und Energieverluste verringert werden.⁷⁸

Qualifikation und Potenzial der Mitarbeitenden

Das Einbringen von Ideen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz sollte nicht nur gefördert, sondern deren Umsetzung auch unterstützt und Erfolge belohnt werden.⁷⁹

4.2 Praxis-Beispiele zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Produktionssystem

Im Folgenden werden Unternehmensbeispiele vorgestellt, die in ihren Produktionssystemen die Verschwendung von Ressourcen identifiziert haben und durch die Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen Ressourcen sowie Kosten einsparen konnten.

Reduzierung der Materialverluste durch abteilungsübergreifende Kompetenz der Mitarbeitenden

Für einen Hersteller von Autoteppichen und Fußmatten für Eingangsbereiche stellten herstellungsprozessbedingte Materialverluste in Höhe von ca. 220.000 Euro jährlich eine nicht unwesentliche Kostenposition dar. Ein abteilungsübergreifendes Team identifizierte im Rahmen einer Stoffstromanalyse (vgl. Kapitel 6.6.2) die größten Materialverluste in Höhe von 200.000 Euro in den Fertigungsprozessen Stanzen und Cutten. Die Umsetzung der Optimierungsideen des Projektteams wurde durch eine externe Firma mit Expertise im Themenfeld Ressourceneffizienz begleitet. Aufgrund der Optimierung von Stanz- und Schneidprozessen konnte der Materialverlust um 17 % reduziert werden, was 18 t Verschnitt im Wert von 40.000 Euro jährlich entspricht. Zusätzlich werden durch diese Maßnahmen neben den Materialkosten auch Kosten durch verlorene Wertschöpfung in fünfstelliger Höhe eingespart, denn durch die Ausschussvermeidung können Arbeits- und Maschinenzeiten wertschöpfend eingesetzt werden.⁸⁰

⁷⁸ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019a).

⁷⁹ Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02, S. 52.

⁸⁰ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 78 – 81.

Reduzierung des Ressourceneinsatzes in der Instandhaltung

Bei einem Hersteller von Befestigungssystemen wurde im Zuge eines abteilungsübergreifenden Verbesserungsprozesses ein neuer Wartungsprozess für Kaltmassivumformanlagen entwickelt. Dieser kann schneller durchgeführt werden und senkt gleichzeitig den Ölverbrauch. Der im Rahmen der Wartung der Umformmaschinen viermal jährlich erforderliche Ölwechsel war konstruktionsbedingt sehr arbeits- und zeitintensiv. Die Reinigung der Maschinen verursachte darüber hinaus hohe Kosten aufgrund eines großen Ölverbrauchs und der langen Stillstandzeiten während der Reinigung.

Ein Umbau und eine damit mögliche Verringerung der Anzahl der bisherigen Ölwannen/Auffangbehälter in den Maschinen reduzierte den Ölbedarf um die Hälfte. Zudem konnten die Reinigungsintervalle auf einmal jährlich reduziert werden. Mit einer speziell angeschafften Zentrifuge kann das Öl gereinigt und wiederverwendet werden. Durch die Anschaffung eines fahrbaren Ölwanens und die Installation von Schläuchen mit Schnellkupplungen kann der Ölwechsel wesentlich schneller als ursprünglich durchgeführt werden. Die Reduzierung des Ölbedarfs durch Ölreinigung und Wiederverwendung spart Ressourcen und senkt die Beschaffungskosten für neues Öl sowie die Entsorgungskosten für Altöl. Da die für einen Ölwechsel benötigte Zeit nur noch 15 Minuten beträgt, konnte die durch Ölwanenreinigung bedingte Stillstandszeit der Maschinen von zehn auf eine Stunde gesenkt werden. Insgesamt beträgt die Kostenreduzierung im Vergleich zum Vorjahr etwa 23 %.⁸¹

Steigerung der Ressourceneffizienz durch ganzheitliche Produktionssteuerung

Bei einem Hersteller von Edelstahlbehältern fallen in der Produktion aufgrund der großen und variierenden Produktvielfalt etwa 35 % an Verschnitt und Ausschuss an. Da die Materialkosten im Unternehmen 50 % der Gesamtkosten betragen, lässt sich ein hohes monetäres Einsparpotenzial vermuten. Um die Material- und Energieflüsse den verursachenden Produkten und Prozessen zuordnen zu können, wurden die Daten verursacherbezogen erfasst

⁸¹ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 134 – 136.

und in ein Materialflussmodell eingetragen. Nach Visualisierung der Materialströme sowie der dazugehörigen Informationsflüsse erfolgte die Implementierung von Mess- und Steuerungsgrößen zur Quantifizierung von Einsparpotenzialen. Um dies umzusetzen, wurde in ein neues Datenerfassungstool in der Produktion investiert. Bereits durch die partielle Umsetzung des Produktionssteuerungsmodells und die ganzheitliche Betrachtung der Produktionsprozesse wurden Einsparungen in Höhe von 5 % beim Materialeinsatz in der Produktion erreicht, was einer Edelmengene im Wert von 400.000 Euro entspricht. Außerdem konnten durch die Umsetzung eines Konzeptes zur Abwärmenutzung bei einem Glühofen jährlich 600 MWh Strom und 10.000 m³ Erdgas eingespart werden.⁸²

Reduzierung des Ressourceneinsatzes durch automatisierte Prozessregelung

Die Oberflächenbehandlung von Traktorkarosserien eines Herstellers für Landtechnik erfordert einen aufwendigen technischen Prozess, bei dem die Metallkarosserien mehrere Schritte im Tauchverfahren durchlaufen. Um zu verhindern, dass sich die Aktivbäder, bestehend aus unterschiedlichen Flüssigkeiten wie Säuren, Lösemitteln und Lacken, vermischen, wird nach jedem Aktivbad ein Reinigungsschritt in einem Spülbad durchlaufen. Der bisherige Prozess sah vor, dass zur Einhaltung der Reinigungsqualität Frischwasser in konstanter Menge basierend auf maximaler Anlagenauslastung kontinuierlich zugegeben wird. Dabei wurde festgestellt, dass aufgrund eines fehlenden Regelkreises weit mehr Wasser als notwendig verwendet wurde. Um den Wasserverbrauch zu senken, wurde in Kooperation mit dem Unternehmen, das die Chemikalien liefert, ein vollautomatischer Regelkreis entworfen, der eine Echtzeitwasseranalyse und Bedarfsberechnung ermöglicht. Mit Hilfe eines Leitwertensors wird nun automatisiert der Verschmutzungsgrad ermittelt und nur noch die Menge an Frischwasser zudosiert, die für das Sicherstellen der Reinigungsleistung erforderlich ist. Der Wasserverbrauch konnte durch die Einführung der sensorbasierten Wassernachdosierung um 30 % reduziert werden. Da das Abwasser bereits vollständig mittels Vakuumdestillationstechnologie aufbereitet und zu einem Großteil der Vorbehandlung wieder zugeführt wird, konnte die Reduzierung des

⁸² Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 146 – 149.

Wasserverbrauchs ebenso die Aufbereitungskosten (Kosten für elektrische Energie und Abfallentsorgung) um ca. 30 % senken. Die Investitionskosten amortisierten sich dadurch schon im ersten Betriebsjahr.⁸³

Steigerung der Ressourceneffizienz durch optimierte Produktions- und Logistikprozesse

Mit schlanken und ressourceneffizienten Prozessen festigte ein Unternehmen, das mechatronische Antriebslösungen herstellt, seine zukünftige Wettbewerbsfähigkeit. Dazu wurden umfangreiche standortübergreifende Materialfluss- und Wertstromanalysen (vgl. Kapitel 6.4.4) durchgeführt. Auf Grundlage der Auswertung und Resultate der Analysen wurden in den Werken die gesamten Produktions- und Logistikprozesse nach Ablauf und Art definiert und elektronische, im ERP-System integrierte Kanban-Regelkreise nach dem Pull-Prinzip (vgl. Kapitel 6.5.2) eingeführt. Alle Produktionsabläufe wurden in Richtung One-Piece-Flow (vgl. Kapitel 6.4.4) umgestellt und eine entsprechende Optimierung der Logistikabläufe vorgenommen. Das Kernelement des neuen Logistikkonzeptes ist ein Teilebereitstellungsort („Supermarkt“) für Kleinladungsträger und Behältertürme, der in das Logistikzentrum integriert wurde. Wird ein Mindestbestand in diesem ‚Supermarkt‘ unterschritten, wird der Materialbestand automatisch mit Teilen aus dem ‚Warenhaus‘ aufgefüllt. Dessen Warenbestand wird vom liefernden Unternehmen selbstständig geregelt, wobei die Bestandsinformationen über eine internetbasierte Plattform übermittelt werden. Durch die Einführung schlanker Produktions- und Logistiksysteme konnten die Bestände trotz gestiegenen Umsatzes reduziert und die Ressourceneffizienz gesteigert werden.⁸⁴

Reduzierung des Ressourceneinsatzes durch Prozessoptimierung und Standardisierung

Bei einem Unternehmen, das Bauteile für die Halbleiterindustrie (Kühlkörper und Gehäuse) herstellt, wurde ein Lean-Production-Team zusammengestellt, welches die Konstruktion der Werkzeuge an Exzenterpressen hinsichtlich des Optimierungspotenzials untersucht hat. Eine daraus

⁸³ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 218 – 221.

⁸⁴ Vgl. Reichert, D.; Cito, C. und Barjasic, I. (2018), S. 118 – 123.

resultierende Verbesserungsmaßnahme war die Standardisierung des Werkzeugformats, um einen einheitlichen Rüstvorgang und eine rüstteilmfreie Bearbeitung umzusetzen. Dies ermöglichte sowohl eine Zeitersparnis beim Rüstvorgang als auch eine Ressourceneinsparung durch einen geringeren Rüst- und Fertigungsausschuss.

Aufgrund der Optimierung der Werkzeuge und Anpassung der Maschinenparameter einer Stanz- und Nibbelmaschine konnte u. a. das Restgitter zwischen den Stanzteilen minimiert werden. Infolge dieser Verschwendungsvermeidung wurde die effektive Materialausnutzung der Metalltafeln und damit die Materialeffizienz um bis zu 60 % gesteigert. Dank der umgesetzten Maßnahmen konnte der jährliche Materialverbrauch an Aluminium und Stahlprofilen um mehr als 14 t gesenkt werden. Die gesamten monetären Einsparungen belaufen sich auf rund 123.000 Euro.⁸⁵

⁸⁵ Vgl. Effizienz-Agentur NRW (2017).

5 GANZHEITLICHE PRODUKTIONSSYSTEME UND RESSOURCENEFFIZIENZ

Wie in Kapitel 2.1 angemerkt, ist im Rahmen des klassischen Produktionsmanagements bzw. der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) die Reduzierung des Ressourceneinsatzes nur eine der Zielgrößen, die für das gesamte Produktionssystem relevant sind. Bereits durch das systematische Gestalten eines Produktionsmanagements bzw. einer PPS können Schwachstellen aufgedeckt und anschließend Ressourcen effizienter eingesetzt werden (vgl. Kapitel 2).

Mit Hilfe der GPS-Gestaltungsprinzipien und Ressourceneffizienzstrategien können insbesondere an diesen Schwachstellen Verbesserungsmaßnahmen angesetzt werden. Produktionssysteme legen den Fokus in der Regel auf Durchlaufzeit, Qualität und Kosten.⁸⁶ Bei der Lean Production und in GPS spielen außerdem die Mitarbeitenden sowie der Fokus auf die Kundschaft eine essenzielle Rolle. Die Steigerung der Ressourceneffizienz verfolgt in erster Linie das Ziel, negative Umweltauswirkungen zu reduzieren und dabei Kosteneinsparungen zu erreichen.⁸⁷

Die Zielstellung, die Qualität zu steigern, kann sich aber auch komplementär auf die Steigerung der Ressourceneffizienz auswirken, wenn z. B. durch eine Verbesserung der Prozessqualität weniger Ausschuss anfällt. Aber ebenso der Ansatz der konsequenten Vermeidung von Verschwendung kann einen positiven Effekt auf den effizienten Einsatz natürlicher Ressourcen haben. Der explizite Blick auf die Ressourceneffizienz kann darüber hinaus zusätzliche Verbesserungspotenziale offenbaren, die sich mit den klassischen Lean-Betrachtungsweisen nicht ergeben hätten.⁸⁸

Wie in Kapitel 3 dargestellt, ist ein wesentlicher Aspekt von Lean Production und GPS die Verbesserung der Produktionsabläufe, die durch unterschiedliche Gestaltungsprinzipien und Methoden verwirklicht werden.

⁸⁶ Vgl. VDI 2870 Blatt 1:2012-07, S. 11.

⁸⁷ Vgl. Bertagnolli, F. (2018), S. 299.

⁸⁸ Vgl. Reichert, D.; Cito, C. und Barjasic, I. (2018), S. 36.

Verschiedene der in Kapitel 3.2 aufgeführten Gestaltungsstrategien können bei der Umsetzung von Ressourceneffizienzstrategien (vgl. Kapitel 4) unterstützen.

Nachfolgende Tabellen stellen die GPS-Gestaltungsprinzipien (vgl. Kapitel 3.2) dar, die zur Steigerung der Ressourceneffizienz beitragen können, und listen Strategien zur Ressourceneffizienz auf, die dadurch unterstützt werden. Des Weiteren werden Methoden der GPS aufgeführt, die sich sowohl für die Umsetzung der Gestaltungsprinzipien als auch Ressourceneffizienzstrategien anwenden lassen.

Die aufgeführten Methoden werden anschließend in Kapitel 6 näher beschrieben. Insbesondere das Gestaltungsprinzip Vermeidung von Verschwendung adressiert die Verbesserung der Ressourceneffizienz in der Produktion. Daher werden die meisten prozessbezogenen Ressourceneffizienzstrategien dadurch unterstützt.

Tabelle 2: Gestaltungsprinzipien und Ressourceneffizienzpotenziale

Gestaltungsprinzip Standardisierung	
RE-Potenzial	Durch Standardisierung werden Abläufe vereinheitlicht und Ressourcenverschwendung durch unsachgemäße Handhabung verringert.
Unterstützende Strategien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Fertigungsprozessoptimierung
Unterstützende Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 5 S ▪ Prozessstandardisierung
Gestaltungsprinzip Null-Fehler-Prinzip	
RE-Potenzial	Ressourcenverschwendung aufgrund Fehlteilproduktion oder erforderlicher Nacharbeit wird verringert.
Unterstützende Strategien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Fertigungsprozessoptimierung ▪ Vermindern des Energieverbrauchs ▪ Vermindern von geplantem Ausschuss und Nacharbeit ▪ Vermindern von geplantem Verlust
Unterstützende Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Autonomation ▪ Ishikawa-Diagramm ▪ Poka Yoke ▪ Six Sigma ▪ Statistische Prozessregelung ▪ Werker selbstkontrolle
Gestaltungsprinzip Visuelles Management	
RE-Potenzial	Auftretende Ressourcenverschwendung (z. B. aufgrund von Prozessfehlern) kann visualisiert und umgehend abgestellt werden.
Unterstützende Strategien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Fertigungsprozessoptimierung ▪ Vermindern des Energieverbrauchs ▪ Vermindern von geplantem Ausschuss und Nacharbeit ▪ Vermindern von geplantem Verlust
Unterstützende Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Andon ▪ Shopfloor Management
Gestaltungsprinzip Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	
RE-Potenzial	Prozesse können kontinuierlich hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs verbessert und angepasst werden.
Unterstützende Strategien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Planung ressourceneffizienter Fertigungsprozesse
Unterstützende Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ideenmanagement ▪ PDCA

Tabelle 3: Gestaltungsprinzipien und Ressourceneffizienzpotenziale (Fortsetzung)

Gestaltungsprinzip Orientierung an den Mitarbeitenden und zielorientierte Führung	
RE-Potenzial	Durch ein bewusstes Verhalten der Mitarbeitenden kann Verschwendung reduziert und die Ressourceneffizienz kontinuierlich verbessert werden.
Unterstützende Strategien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualifikation der Mitarbeitenden ▪ Potenzial der Mitarbeitenden
Unterstützende Methode	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zielmanagement
Gestaltungsprinzip Fließprinzip	
RE-Potenzial	Der Materialfluss wird auf die Fertigung abgestimmt. Lagerbestände und Bestände vor den einzelnen Prozessschritten können reduziert werden.
Unterstützende Strategien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planung ressourceneffizienter Fertigungsprozesse ▪ Vermindern von Lagerungsverlusten
Unterstützende Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wertstromplanung ▪ One-Piece-Flow
Gestaltungsprinzip Pull-Prinzip	
RE-Potenzial	Der Ressourcenbedarf wird auf die Fertigung abgestimmt. Transportwege und Lagerbestände können verringert werden.
Unterstützende Strategien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermindern von Lagerungsverlusten ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Fertigungsprozessoptimierung ▪ Vermindern des Energieverbrauchs
Unterstützende Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Just-in-Time ▪ Kanban ▪ Nivellierung
Gestaltungsprinzip Vermeidung von Verschwendung	
RE-Potenzial	Auftretende Verschwendung von Ressourcen wird systematisch identifiziert und vermieden.
Unterstützende Strategien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planung ressourceneffizienter Fertigungsprozesse ▪ Fertigungsprozessoptimierung ▪ Vermindern von geplantem Ausschuss und Nacharbeit ▪ Vermindern von geplantem Verlust ▪ Minimierung des Bearbeitungsvolumens ▪ Vermindern von Lagerungsverlusten ▪ Vermindern des Energieverbrauchs ▪ Kreislaufführung von Produkten und Bauteilen ▪ Kreislaufführung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen ▪ Materialsubstitution von Hilfs- und Betriebsstoffen ▪ Kaskadennutzung von Hilfs- und Betriebsstoffen ▪ Effiziente Betriebsorganisation
Unterstützende Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Total Productive Maintenance ▪ Verschwendungsbewertung ▪ Stoffstromanalyse ▪ Materialflusskostenrechnung

6 METHODEN ZUR STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ

Im Folgenden werden ausgewählte Methoden in den Grundzügen vorgestellt, die bei der Realisierung der Gestaltungsprinzipien von GPS eingesetzt werden und gleichzeitig die Umsetzung bestimmter Ressourceneffizienzstrategien unterstützen. Tabelle 2 (siehe Seite 42) und Tabelle 3 (siehe Seite 43) zeigen die Ressourceneffizienzpotenziale des jeweiligen Gestaltungsprinzips und die unterstützten Ressourceneffizienzstrategien und Methoden im Überblick.

6.1 Gestaltungsprinzip Standardisierung

Durch das Gestaltungsprinzip Standardisierung werden Abläufe vereinheitlicht. Dadurch kann Ressourcenverschwendung verringert werden, die beispielsweise durch unsachgemäße Handhabung entsteht. In Tabelle 4 werden die im Folgenden dargestellten Methoden und die dadurch unterstützten Ressourceneffizienzstrategien aufgeführt.

Tabelle 4: Methoden zum Gestaltungsprinzip Standardisierung

Methode	Unterstützte RE-Strategie
5S	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Fertigungsprozessoptimierung
Prozessstandardisierung	

6.1.1 5S-Methode

Die Methode unterstützt dabei, den Arbeitsplatz in fünf Schritten systematisch sauber und in Ordnung zu halten. Die Bezeichnung 5S leitet sich aus den japanischen Begriffen für die einzelnen Schritte ab.

- (1) Seiri (Aussortieren): Unnötige Gegenstände am Arbeitsplatz (z. B. stark abgenutzte oder doppelte Werkzeuge) werden aussortiert.
- (2) Seiton (Aufräumen): Eine Grundordnung der benötigten Gegenstände wird hergestellt, gegebenenfalls nach Einsatzhäufigkeit klassifiziert und entsprechend angeordnet.

- (3) Seiso (Sauberhalten): Der Arbeitsplatz, Maschinen und Werkzeuge werden gereinigt und die Durchführung entsprechend festgelegter Reinigungszyklen dokumentiert.
- (4) Seiketsu (Standardisieren): Um die kontinuierliche Durchführung der ersten drei Schritte sicherzustellen, ist die Grundordnung als Standard zu dokumentieren und aufrechtzuerhalten.
- (5) Shitsuke (Selbstdisziplin): Neben der Selbstdisziplin, die Ordnung aufrechtzuerhalten, sollten auch Verbesserungsansätze berücksichtigt und eingebracht werden.⁸⁹

6.1.2 Prozessstandardisierung

Durch die Standardisierung der Prozessabläufe und Arbeitsmethoden lassen sich Abweichungen besser identifizieren und reduzieren. Standardisierte Prozesse können hinsichtlich ihrer Wertschöpfung adäquater bewertet und Schnittstellen geeigneter dargestellt werden. Standards sollten nicht als starr betrachtet, sondern im Sinne der kontinuierlichen Verbesserung regelmäßig angepasst werden.

Es empfiehlt sich eine systematische Vorgehensweise in vier Schritten:

- (1) Analyse der Prozesse
- (2) Festlegung von Prozessstandards
- (3) Dokumentieren und Kommunizieren der Standards
- (4) Durchführung regelmäßiger Prozessaudits⁹⁰

6.2 Gestaltungsprinzip Null-Fehler-Prinzip

Das Null-Fehler-Prinzip reduziert den Ressourcenverbrauch, indem die Produktion von Fehlteilen oder die erforderliche Nacharbeit aufgrund unzureichender Qualität verringert wird. Tabelle 5 zeigt die im Folgenden

⁸⁹ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 9.

⁹⁰ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 13.

dargestellten Methoden und die dadurch unterstützten Ressourceneffizienzstrategien.

Tabelle 5: Methoden zum Gestaltungsprinzip Null-Fehler-Prinzip

Methoden	Unterstützte RE-Strategie
Autonomation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Fertigungsprozessoptimierung ▪ Vermindern des Energieverbrauchs ▪ Vermindern von geplantem Ausschuss und Nacharbeit ▪ Vermindern von geplantem Verlust
Poka Yoke	
Werkerselbstkontrolle	
Ishikawa-Diagramm	
Statistische Prozessregelung	
Six Sigma	

6.2.1 Autonomation

Autonomation oder der japanische Begriff Jidoka steht für eine autonome Automation. Dabei werden Maschinen ohne eine direkte Überwachung durch die Mitarbeitenden betrieben. Im Falle einer Störung wird der auftretende Fehler eigenständig durch die Maschine behoben. Die Mitarbeitenden werden informiert und zur Behebung des Problems hinzugezogen.

Durch die autonome Reaktion auf auftretende Fehler wird die Weitergabe fehlerhafter Produkte vermieden. Autonomation kann mit geringeren Kosten umgesetzt werden und ein Zwischenschritt zur vollständigen Automation sein.⁹¹

⁹¹ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 26.

6.2.2 Poka Yoke

Tabelle 6: Einordnung der Methode Poka Yoke

Methodenname	Poka Yoke
Gestaltungsprinzip	Null-Fehler-Prinzip
Unterstützte RE-Strategien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Fertigungsprozessoptimierung ▪ Vermindern des Energieverbrauchs ▪ Vermindern von geplantem Ausschuss und Nacharbeit ▪ Vermindern von geplantem Verlust

Die Methode zielt auf die Vermeidung (japanisch: yoke) von zufälligen Fehlern (japanisch: poka) ab und versucht, mit vorzugsweise kostengünstigen und kurzfristig umsetzbaren Lösungen Vorgehensweisen oder technische Umsetzungen möglichst gering fehleranfällig zu gestalten.

Ansätze zur Umsetzung von Poka Yoke können beispielsweise sein:

- (1) Umsetzung eines Formschlusses zur exakten Positionierung durch Verwendung von formgleichen Nut-Nase-Verbindungen
- (2) Verwendung von klar ersichtlichen Größen- oder Formunterschieden, falls die Gefahr der Verwechslung besteht
- (3) Unterstützung von Zuordnungen durch Farbcodierungen (z. B. von Behältern oder Schläuchen)⁹²

6.2.3 Werker selbstkontrolle

Die Qualitätskontrolle wird entsprechend der vorgegebenen Prüfanweisung durch die operativen Mitarbeitenden selbst durchgeführt. Damit wird nicht nur das Verantwortungsbewusstsein der Mitarbeitenden gefördert, sondern auch die Weitergabe von fehlerhaften Teilen an die nachfolgenden Bearbeitungsschritte reduziert. Dadurch lässt sich die Prozessqualität verbessern und Ausschuss reduzieren.⁹³

⁹² Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 33.

⁹³ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 42.

6.2.4 Ishikawa-Diagramm

Mit Hilfe eines Ishikawa-Diagramms lassen sich insbesondere in Teamarbeit systematisch die Ursachen bzw. Einflussgrößen einzelner Problemstellungen oder Fehlerursachen analysieren und grafisch darstellen.

Bei der Erstellung des Diagramms kann folgendermaßen vorgegangen werden:

- (1) Formulierung des Problems
- (2) Bestimmung der Ursachenklassen (z. B. Material, Mensch, Maschine, Methode, Milieu)
- (3) Spontanes Benennen und Festhalten von möglichen Ursachen
- (4) Zuweisen der Ursachen in die entsprechenden Ursachenklassen und Ermittlung der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge
- (5) Auswertung der Zusammenhänge sowie Ableitung von Maßnahmen⁹⁴

6.2.5 Statistische Prozessregelung

Mit Hilfe der statistischen Prozessregelung lassen sich qualitätsrelevante Parameter in der Produktion durchgehend statistisch überwachen und bei Bedarf Anpassungen oder Gegenmaßnahmen einleiten. Dadurch kann Ausschuss aufgrund fehlerhafter Produkte vermieden werden.

Zur Umsetzung der statistischen Prozessregelung können Qualitätsregelkarten eingesetzt werden. Messwerte und Zählungen werden grafisch dargestellt und ausgewertet, wodurch das Über- oder Unterschreiten der definierten Toleranzbereiche einfach erkannt und entsprechend eingegriffen werden kann.⁹⁵

6.2.6 Six Sigma

Die Six-Sigma-Methode, die im Rahmen des Qualitätsmanagements angewandt wird, dient zur Prozessverbesserung mit analytischen und

⁹⁴ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 28.

⁹⁵ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 40.

statistischen Verfahren. Ausgehend von den Anforderungen der Kundschaft (intern und extern) werden Produkt- oder Prozessanforderungen definiert, standardisiert und damit das Null-Fehler Prinzip verfolgt. Angestrebt wird eine Fehlerquote von höchstens 3,4 Fehlern pro eine Million Fehlermöglichkeiten und damit eine Reduzierung der Streuung am oder im Prozess.

Die Vorgehensweise erfolgt in fünf Schritten, dem sogenannten DMAIC-Zyklus:

- (1) **Define:** Angestrebter Zielzustand oder Projektziele sowie Problem und Fehlerursachen werden definiert.
- (2) **Measure:** Konkrete Fehler werden definiert und die Auswirkungen gemessen.
- (3) **Analyze:** Die gemessenen Daten werden statistisch analysiert und Kernursachen der Fehler bestimmt.
- (4) **Improve:** Prozessverbesserungen werden ausgewählt, geplant und implementiert.
- (5) **Control:** Nach der Umsetzung werden eine Erfolgskontrolle anhand der anfangs gesetzten Ziele durchgeführt und Kontrollmechanismen für die dauerhafte Sicherstellung der Qualität definiert.⁹⁶

6.3 Gestaltungsprinzip Visuelles Management

Das Gestaltungsprinzip Visuelles Management zielt darauf ab, auftretende Ressourcenverschwendung (z. B. aufgrund von Prozessfehlern) zu visualisieren und umgehend Gegenmaßnahmen einzuleiten. In Tabelle 7 werden die entsprechenden Methoden und die dadurch unterstützten Ressourceneffizienzstrategien aufgeführt.

⁹⁶ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 37.

Tabelle 7: Methoden zum Gestaltungsprinzip Visuelles Management

Methoden	Unterstützte RE-Strategien
Andon	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Fertigungsprozessoptimierung
Shopfloor Management	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermindern des Energieverbrauchs ▪ Vermindern von geplantem Ausschuss und Nacharbeit ▪ Vermindern von geplantem Verlust

6.3.1 Andon

Die Methode Andon (japanisch für Laterne) unterstützt im Fertigungsbereich durch die Visualisierung unterschiedlicher Status oder Betriebsstörungen. Dabei können durch einen Ist-Soll-Wert-Abgleich sowohl einfache Betriebszustände wie „Störung“ oder „keine Störung“ als auch verschiedene Kennzahlen oder Zustände über ein Andon-Board veranschaulicht werden. Durch die Visualisierung lassen sich Betriebsstörungen unverzüglich erkennen. Anschließend können Maßnahmen zur Störungsbeseitigung getroffen und die Fertigung bei Bedarf gestoppt werden. Die Fehlteilproduktion wird dadurch reduziert.⁹⁷

6.3.2 Shopfloor-Management

Ziel des Shopfloor-Managements ist es, dass Führungskräfte regelmäßig in die Produktion gehen und die operativen Mitarbeitenden in die Problemlösung und Zielerreichung einbinden. Das Wissen und die Erfahrung der Mitarbeitenden, die über die Arbeitsplatzsituation im Detail Bescheid wissen, sind entscheidend für eine erfolgreiche Problemlösung. Die Führungskraft übernimmt die Rolle einer coachenden Person, die die Mitarbeitenden bei der Lösungsentwicklung unterstützt und lenkt.

Da die Umsetzung eines Shopfloor-Managements ein neues Führungsverhalten voraussetzt, gibt es keine generelle Vorgehensweise. Diese ist abhängig von der jeweiligen Unternehmenssituation. Prinzipiell sind Coaching-Kompetenzen zu vermitteln, Standards und einheitliche Dokumente zu erarbeiten sowie wertschöpfungsorientierte und kurzzyklische

⁹⁷ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 44.

Kommunikationsprozesse umzusetzen, die sich durch entsprechende Visualisierung unterstützen lassen.⁹⁸

6.4 Gestaltungsprinzip Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Durch das Berücksichtigen der Ressourceneffizienz im Gestaltungsprinzip Kontinuierlicher Verbesserungsprozess werden Prozesse kontinuierlich hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs verbessert. Tabelle 8 zeigt die unterstützten Ressourceneffizienzstrategien und Methoden, die nachfolgend erläutert werden.

Tabelle 8: Methoden zum Gestaltungsprinzip Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Methoden	Unterstützte RE-Strategien
Ideenmanagement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Planung ressourceneffizienter Fertigungsprozesse
Shopfloor Management	

6.4.1 Ideenmanagement

Mit einem Ideenmanagement lässt sich der kontinuierliche Verbesserungsprozess im gesamten Unternehmen unterstützen. Verbesserungsideen und -prozesse können beispielsweise durch intranetbasierte Softwarelösungen transparent gestaltet werden, wodurch insbesondere operativ Mitarbeitende besser eingebunden werden. Aufgrund der systematischen Generierung und Verwaltung von Verbesserungsideen kann die Verschwendung von Ressourcen zielgerichtet reduziert werden.⁹⁹

6.4.2 PDCA

Der PDCA-Zyklus ist eine Methode zur Unterstützung des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses und dient als eingängige Vorgehensweise zum Durchlaufen eines iterativen Problemlösungsprozesses.

Es werden vier Phasen durchlaufen:

⁹⁸ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 47.

⁹⁹ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 59.

- (1) **Plan (Planen):** Nach dem Feststellen des Problems wird in dieser Phase die Umsetzung geplant. Dies beinhaltet die Analyse der Ursachen, die Lösungsfindung und das Erstellen eines Aktionsplans.
- (2) **Do (Durchführen):** Die im Aktionsplan definierten Aktivitäten werden umgesetzt und gegebenenfalls Zwischenergebnisse erhoben.
- (3) **Check (Ergebniskontrolle):** Anhand der festgelegten Ziele und Kennzahlen werden die erreichten Ergebnisse kontrolliert und gegebenenfalls Abweichungen festgehalten.
- (4) **Act (Agieren, Bewerten):** In dieser Phase werden die erreichten Ergebnisse aufbereitet und visualisiert sowie der gesamte Verbesserungsprozess reflektiert. Falls eine weiterführende Prozessverbesserung erforderlich ist, wird der PDCA-Zyklus erneut durchlaufen.¹⁰⁰

6.4.3 Zielmanagement

Die Methode Zielmanagement wird auch mit dem japanischen Begriff Hoshin Kanri bezeichnet und stellt eine transparente Zielsetzung und -vereinbarung dar, welche für jede Ebene im Unternehmen - von der Führung bis zu den Mitarbeitenden - heruntergebrochen wird.

Dabei kann in folgenden Schritten vorgegangen werden:

- (1) Aus der Unternehmensstrategie wird eine begrenzte Zahl an Zielen abgeleitet.
- (2) Für die jeweilige Führungs- oder Prozessebene werden die Ziele in Teilziele untergliedert.
- (3) Die jeweils verantwortlichen Führungskräfte und Mitarbeitenden stimmen sich bezüglich der Teilziele und Zielerreichung ab.

¹⁰⁰ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 61.

- (4) Die Zielerreichung wird kontinuierlich und für alle Beteiligten transparent überprüft und bei Abweichungen werden entsprechende Maßnahmen abgeleitet.
- (5) Durch regelmäßige Feedbackschleifen lassen sich die Zielerreichungsprozesse verbessern und bei Bedarf Anpassungen der Ziele vornehmen.¹⁰¹

6.4.4 Wertstromplanung

Die Methode Wertstromplanung, auch unter dem Begriff Wertstromdesign bekannt¹⁰², ermöglicht eine standardisierte Vorgehensweise bei der Ist-Analyse (Wertstromanalyse) und Gestaltung des Ziel-Wertstromes (Wertstromdesign) unter Berücksichtigung entsprechender Leitlinien. Neben den Material- und Informationsflüssen lassen sich unter anderem Bestände, Durchlaufzeiten und Kapazitätsauslastung analysieren und anschließend optimieren.¹⁰³

Die Vorgehensweise erfolgt in vier Schritten:

- (1) **Auswahl einer Produktfamilie:** Zur Komplexitätsreduzierung wird nur eine Produktfamilie ausgewählt.
- (2) **Erfassen des Ist-Zustands:** Die Material- und Informationsflüsse werden aufgenommen und dargestellt.
- (3) **Entwickeln des Soll-Zustands:** Ausgehend von den Anforderungen der Kundschaft wird der Soll-Zustand gemäß Leitlinien gestaltet.
- (4) **Umsetzen des Soll-Zustands:** Anhand eines Umsetzungsplan werden Maßnahmen vorbereitet, umgesetzt und kontrolliert.¹⁰⁴

¹⁰¹ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 66.

¹⁰² Vgl. Rother, M. und Shook, J. (2015).

¹⁰³ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 76.

¹⁰⁴ Vgl. Rießelmann, J. (2011), S. 2.

6.4.5 One-Piece-Flow

Die Methode One-Piece-Flow beinhaltet die Umsetzung einer Fließfertigung mit der Losgröße 1. Dadurch, dass fertiggestellte Teile direkt an die nächste Bearbeitungsstation weitergegeben werden, wird die Fehlererkennung verbessert und bei auftretenden Störungen kann umgehend eingegriffen werden. Fehlproduktion und Ausschuss lassen sich dadurch reduzieren. Weitere Vorteile sind die Reduzierung von Durchlaufzeiten und Beständen sowie die Möglichkeit einer individuellen Produktion.

Für die Implementierung sollten

- (1) die existierenden Bestände zwischen den Fertigungsschritten nach und nach reduziert werden und
- (2) die Fertigungsprozesse sukzessive angepasst und stabilisiert werden (z. B. durch Beseitigung von Störungen und Anpassung innerbetrieblicher Transportsysteme).

Die Vorgehensweise wird bis zur vollständigen Umsetzung des One-Piece-Flow wiederholt.¹⁰⁵

6.5 Gestaltungsprinzip Pull-Prinzip

Der Ressourcenbedarf kann im Rahmen des Gestaltungsprinzips Pull-Prinzip auf die Fertigung abgestimmt werden. Dadurch lassen sich nicht nur Transportwege und Lagerbestände verringern, sondern auch Fertigungsprozesse hinsichtlich Material- und Energieverbrauch verbessern. Für das Pull-Prinzip anwendbare Methoden sind in Tabelle 9 aufgeführt und werden im Folgenden konkretisiert.

¹⁰⁵ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 71.

Tabelle 9: Methoden zum Gestaltungsprinzip Pull-Prinzip

Methoden	Unterstützte RE-Strategien
Nivellierung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermindern von Lagerungsverlusten ▪ Effiziente Betriebsorganisation ▪ Fertigungsprozessoptimierung ▪ Vermindern des Energieverbrauchs
Just in time	
Kanban	

6.5.1 Nivellierung

Bei einer Nivellierung (japanisch: Heijunka) werden unregelmäßige Aufträge in ein gleichmäßiges Produktionsprogramm mit kleineren Losgrößen überführt. Dadurch lassen sich Auslastungsschwankungen und Durchlaufzeiten reduzieren. Mithilfe der kontinuierlichen Fertigung in kleineren Losgrößen kann flexibler auf die Nachfrage der Kundschaft reagiert werden. Die Verschwendung von Ressourcen aufgrund auftretender Überlastung in der Produktion wird reduziert. Zusätzlich können Bestände an fertigen Produkten minimiert werden. Nachteilig auf den Ressourcenverbrauch kann sich allerdings die höhere Anzahl an Rüstvorgängen auswirken.

Nach der Aufteilung von Fertigungsaufträgen (z. B. eine Woche) in gleiche Tagesmengen erfolgt die Festlegung einer Abarbeitungsreihenfolge, sodass das gesamte Produktionsprogramm pro Tag in einer festen Reihenfolge produziert wird. In einer weiterführenden Glättung können beispielsweise Tagesproduktionen in Schichten aufgeteilt werden, mit der Folge, dass sich das Produktionsprogramm mit noch kleineren Losengrößen wiederholt.¹⁰⁶

6.5.2 Kanban

Kanban unterstützt eine nachfrageorientierte Produktionssteuerung (Pull-Prinzip), die aus einzelnen sich selbst steuernden Regelkreisen aufgebaut ist. Diese Regelkreise setzen sich aus einem teilerzeugenden und teilverbrauchenden Bereich zusammen. Bei einer Teileentnahme durch den verbrauchenden Bereich wird der teilerzeugende Bereich bzw. das liefernde Unternehmen über die Entnahme oder den Teilebedarf über Karten (japanisch: Kanban) bzw. Informationsträger informiert. Durch effiziente

¹⁰⁶ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 92.

Logistikprozesse und eine bedarfsgerechte Produktion lässt sich die Verschwendung von Ressourcen reduzieren.

Zur Implementierung kann folgendermaßen vorgegangen werden:

- (1) Festlegen des Produktionsbereichs und Prüfung der Voraussetzungen für die Einführung einer Kanban-Steuerung
- (2) Planung der Kanban-Regelkreise, die je nach Komplexität durch Simulationen verifiziert werden können
- (3) Einrichten der Auftragsdisposition nach dem Pull-Prinzip, d. h., idealerweise werden die Dispositionsaufträge automatisch durch die Kanban-Steuerung vom letzten Prozessschritt ausgehend an den jeweils vorgelegten Arbeitsbereich übergeben
- (4) Schulung der Mitarbeitenden zu dem Umgang und der Wirkung des Kanban-Systems auf die Arbeitsabläufe
- (5) Inbetriebnahme des Kanban-Systems
- (6) Durchführung einer Anlaufoptimierung, die zwischen der Fertigungssteuerung, den operativen Mitarbeitenden und der Logistikplanung abgestimmt wird; Dokumentation und Analyse der Durchlaufzeiten und des Bestandsniveaus für Verbesserungsansätze
- (7) Nach einer erfolgreichen Anlaufphase kann das Bestandsniveau weiter reduziert werden.¹⁰⁷

6.5.3 Just-in-Time

Durch die Einführung von Just-in-Time können die Logistikprozesse zwischen liefernden Unternehmen (intern und extern) sowie der Kundschaft synchronisiert werden. Material und Bauteile werden in der benötigten Menge und erforderlichen Qualität zum richtigen Zeitpunkt an der entsprechenden Fertigungs- oder Montagestelle angeliefert. Um mögliche Störungen in der Lieferkette zu vermeiden, sind liefernde Unternehmen in

¹⁰⁷ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 85.

räumlicher Nähe von Vorteil. Just-in-Time ist insbesondere für hochwertige Materialien und Bauteile geeignet, da die Lagerhaltung reduziert und mögliche Defekte und Handhabungsfehler vermieden werden können.

Für eine Einführung von Just-in-Time-Logistikprozessen kann folgendermaßen vorgegangen werden:

- (1) Analyse der möglichen Teile
- (2) Bewertung der liefernden Unternehmen hinsichtlich Eignung (mögliche Kriterien: Qualität, Kosten, Zeit)
- (3) Durchführen von Verhandlungen und Vereinbarungen mit den Prozessbeteiligten
- (4) Definition des Ablaufs (z. B. Abrufsystematik, Abstimmung zwischen Kundschaft und liefernden Unternehmen, unterstützende IT-Systeme)
- (5) Umstellung eines liefernden Unternehmens als Pilotprojekt
- (6) Intensive Überwachung der Umstellung
- (7) Ausweitung der Just-in-Time-Prozesse¹⁰⁸

6.6 Gestaltungsprinzip Vermeidung von Verschwendung

Das Gestaltungsprinzip Vermeidung von Verschwendung konzentriert sich explizit darauf, eine auftretende Verschwendung von Ressourcen im Produktionssystem systematisch zu identifizieren und zu vermeiden. Tabelle 10 zeigt die im Folgenden dargestellten Methoden und die dadurch unterstützten Ressourceneffizienzstrategien.

¹⁰⁸ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 84.

Tabelle 10: Methoden zum Gestaltungsprinzip Vermeidung von Verschwendung

Methode	Unterstützte RE-Strategien
Verschwendungsbewertung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planung ressourceneffizienter Fertigungsprozesse ▪ Fertigungsprozessoptimierung ▪ Vermindern von geplantem Ausschuss und Nacharbeit
Stoffstromanalyse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermindern von geplantem Verlust ▪ Minimierung des Bearbeitungsvolumens ▪ Vermindern von Lagerungsverlusten
Materialflusskostenrechnung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermindern des Energieverbrauchs ▪ Kreislaufführung von Produkten und Bauteilen ▪ Kreislaufführung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen
Total Productive Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Materialsubstitution von Hilfs- und Betriebsstoffen ▪ Kaskadennutzung von Hilfs- und Betriebsstoffen ▪ Effiziente Betriebsorganisation

6.6.1 Verschwendungsbewertung

Mit der Methode Verschwendungsbewertung lassen sich wertschöpfende und nicht wertschöpfende Prozesse identifizieren und anschließend die Verschwendung reduzieren. Bei der Durchführung der Methode kann folgendermaßen vorgegangen werden:

- (1) Es finden eine Auswahl und Abgrenzung der zu betrachtenden Arbeitsbereiche sowie Analyse der Bereiche bzw. Prozesse in Bezug auf die sieben Arten der Verschwendung Überproduktion, Bestände, Transport, Wartezeiten, Ausschuss, Bewegung und unnötige Bearbeitungsschritte statt.
- (2) Anhand von Kriterien wie z. B. Ressourcenverbrauch, Kosten oder Zeit werden die auftretenden Verschwendungsarten bewertet.
- (3) Entsprechend der Bewertung wird die Umsetzung weiterer Methoden oder Maßnahmen geplant, um die Verschwendungen zu vermeiden bzw. zu reduzieren.
- (4) Nach erneuerter Priorisierung der Lösungsansätze werden die Reihenfolge der Umsetzung bestimmt und Maßnahmenpläne erstellt.¹⁰⁹

¹⁰⁹ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 108.

6.6.2 Stoffstromanalyse

Mit der Methode der Stoffstromanalyse oder Materialflussanalyse lässt sich der Material- und Energieeinsatz in den einzelnen Produktionsschritten lokalisieren und Entstehungsorte von Abfall, Abwärme sowie Emissionen im Unternehmen können identifiziert werden.

Die Vorgehensweise gliedert sich in folgende sieben Schritte:

- (1) Definition der Zielstellung und der zu analysierenden Parameter, um Bereiche zu priorisieren und den Detaillierungsgrad für die Datenerhebung abzuleiten
- (2) Abgrenzung des Bilanzraumes entsprechend den ausgewählten Prozessabläufen
- (3) Abgrenzung des Bilanzzeitraumes, wie z. B. eines Bilanzjahrs, einzelner Produktionsmonate oder Produktchargen
- (4) Erfassung und Benennung der relevanten Produktionsschritte und Zuordnung zu Darstellungselementen
- (5) Entwurf eines Fließbildes mit qualitativen Stoffströmen, worin Input- und Outputströme in den jeweiligen Schritten qualitativ dargestellt werden und eine Gesamtsicht der Stoffströme im Unternehmen erreicht wird
- (6) Quantitative Erfassung der Input- und Outputströme für die dargestellten Produktionsschritte in Masseinheiten
- (7) Auswertung der Stoffstromanalyse hinsichtlich auffälliger Abfallströme und Materialverluste sowie Identifizieren von Potenzialen zur Steigerung der Ressourceneffizienz¹¹⁰

6.6.3 Materialflusskostenrechnung

Die Methode Materialflusskostenrechnung (MFKR) nach DIN EN ISO 14051 kann dazu verwendet werden, ähnlich wie die Stoffstromanalyse, Material-

¹¹⁰ Vgl. Fresner, J.; Bürki, T. und Sittel, H. H. (2009), S. 70 – 76.

Energie- und Abfallströme im Unternehmen prozessabhängig zu erfassen. Darüber hinaus ermöglicht die Methode eine grundlegend andere Herangehensweise bei der Bewertung der Prozessverluste.

Im Gegensatz zur konventionellen Kostenrechnung unterscheidet die MFKR nach dem Produkt zugeordneten und durch Materialverluste entstehenden Kosten. Die betrachteten Prozesse des Produktionssystems werden in sogenannten Mengenstellen dargestellt. Die Materialinput- und -outputströme an den Mengenstellen werden anschließend verteilt und monetär bewertet.

In der MFKR werden Kosten auf Ebene der Mengenstellen nach Energie, Abfallmanagement und sogenannten Systemkosten unterschieden. Aufgrund der Verteilung der Kosten nach dem Output hinsichtlich des Produkts und der Materialverluste für jede Mengenstelle werden in den Ausschussverlusten, die in einem Produktionsschritt entstehen, auch die entsprechenden Aufwände vorangegangener Schritte berücksichtigt. Durch die Methode können bereits im Rahmen der Datenerfassung Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz identifiziert werden. Bei einer Implementierung im Unternehmen kann die MFKR zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Produktion hinsichtlich auftretender Materialverluste führen.¹¹¹

6.6.4 Total Productive Maintenance

Total Productive Maintenance (TPM) zielt darauf ab, Anlagen und Werkzeuge kontinuierlich instand zu halten. Dabei sind die bedienenden Personen an den Maschinen für die standardisierten und routinemäßigen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen selbst verantwortlich. Die Methode wird häufig als Säulenmodell mit vier bis acht Säulen dargestellt.¹¹² Fünf wesentliche Säulen sind die kontinuierliche Verbesserung der Anlagen, eine autonome, durch die Mitarbeitenden eigenverantwortlich durchgeführte Instandhaltung, die Implementierung einer geplanten Instandhaltung, Schulung und Trainingsmaßnahmen sowie die Umsetzung von Maßnahmen zur Instandhaltungsprävention. Durch TPM kann zum einen eine höhere Anlagenverfügbarkeit erreicht und zum anderen Ressourcenverschwendung

¹¹¹ Vgl. Weber, M. und Oberender, C. (2016), S. 14 – 19.

¹¹² Vgl. Q-Consulting (2020).

durch weniger Ausschuss reduziert werden. Eine wichtige Kennzahl, um maschinen- und prozessabhängige Verluste zu verdeutlichen, ist die Overall Equipment Effectiveness (OEE).¹¹³

Die Einführung von TPM kann in sieben Schritten erfolgen:

- (1) Reinigung der Anlagen
- (2) Ursachen für die Verunreinigungen beseitigen
- (3) Definieren von Standards zur Reinigung, Inspektion und Anlagenwartung
- (4) Training der Mitarbeitenden zu den Inspektions- und Wartungsstandards
- (5) Integration der Instandhaltungsumsetzung in die Produktion
- (6) Umsetzen einer eigenständigen Organisation der Arbeitsplätze
- (7) Einsetzen von eigenverantwortlichen Teams¹¹⁴

¹¹³ Vgl. May, C. und Koch, A. (2008), S. 245.

¹¹⁴ Vgl. VDI 2870 Blatt 2:2013-02, S. 105.

7 IMPLEMENTIERUNG GANZHEITLICHER PRODUKTIONSSYSTEME

Im Folgenden werden die Vorgehensweise bei der schrittweisen Implementierung Ganzheitlicher Produktionssysteme sowie Empfehlungen für die Umsetzung einer Verbesserungskultur mit Hilfe der kontinuierlichen Verbesserung (KVP) und der sogenannten Kata dargestellt.

7.1 Phasen der Implementierung

Die Definition von Aufgaben und die Ableitung von Prozessen (vgl. auch Kapitel 2.2) sind essentiell für die Implementierung bzw. Reorganisation hin zu schlanken bzw. ganzheitlichen Produktionssystemen.

Auch wenn das Ziel eine umfassende Anpassung des Produktionssystems ist, kann es sinnvoll sein, mit einer Methode zu beginnen und weitere Gestaltungsprinzipien mit entsprechenden Methoden Schritt für Schritt im Unternehmen zu etablieren.¹¹⁵ Da die Umsetzung von Einzelmaßnahmen möglicherweise nur zu mäßigem Erfolg führt, sollte eine Optimierung im gesamten Unternehmen angegangen werden.¹¹⁶ Dabei empfiehlt sich eine strukturierte Vorgehensweise z. B. nach der Richtlinie VDI 2870.

Die Einführung erfolgt in den vier Phasen Konzeption, Pilotierung/ Implementierung, Rollout/Übergang und Betrieb (vgl. Abbildung 6).¹¹⁷

¹¹⁵ Vgl. Bertagnolli, F. (2018), S. 208.

¹¹⁶ Vgl. Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten und Vogel-Heuser, B. (2014), S. 87.

¹¹⁷ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 174.

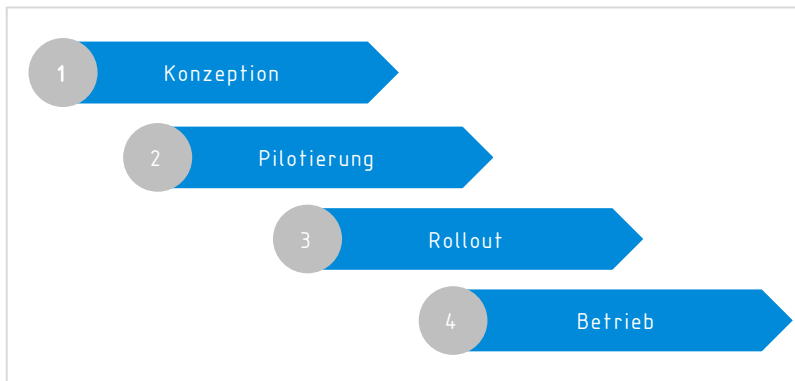


Abbildung 6: Phasen zur Einführung Ganzheitlicher Produktionssysteme¹¹⁸

- (1) **Konzeption:** Nach der Entscheidung auf der strategischen Unternehmensebene, ein GPS einzuführen, sollten alle relevanten Stakeholder (z. B. wichtige liefernde Unternehmen oder der Betriebsrat) einbezogen werden. Eine Analyse der Ist-Situation und die Definition des Zielzustands bilden die Grundlage für die inhaltliche Ausgestaltung des GPS. Dabei werden der Geltungsbereich und die Struktur festgelegt sowie die Gestaltungsprinzipien definiert. Außerdem werden entsprechende Methoden und Werkzeuge ausgewählt. Neben einer Einführungsstrategie sind die Aufbauorganisation mit Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten sowie für den Einführungsprozess geplante Maßnahmen des Change-Managements zu entwickeln.¹¹⁹ Unter Change-Management wird die regelmäßige Anpassung der Unternehmensstrategie und -strukturen aufgrund sich verändernder Rahmenbedingungen verstanden.¹²⁰
- (2) **Pilotierung/Implementierung:** In der Phase der Pilotierung bzw. Implementierung werden ausgewählte Methoden in einzelnen Unternehmensbereichen angewandt, Maßnahmen des Change-Managements eingeleitet und notwendige aufbauorganisatorische Veränderungen umgesetzt. Darüber hinaus sind entsprechende Qualifizierungskonzepte

¹¹⁸ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 174.

¹¹⁹ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 175.

¹²⁰ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon (2018).

auszuarbeiten und Schulungen durchzuführen. Kommunikations- und Feedbacksysteme sind zu implementieren und vorhandene Entlohnungs- sowie Personalentwicklungssysteme gemäß den Zielen des GPS anzupassen. Für eine erfolgreiche Pilotierung ist eine positive Einstellung des Personals ausschlaggebend. Vorbehalte und Widerstände können beispielsweise durch eine transparente und regelmäßige Kommunikation von Fortschritten sowie Schulungen und praktische Lerneinheiten abgebaut werden.¹²¹

- (3) **Rollout/Übergang:** Im Rahmen des Rollouts bzw. Übergangs werden definierte Ziele und die Wahl der eingesetzten Methoden überprüft und die Einführung überall im Unternehmen umgesetzt. Die für die Einführung angepasste Aufbauorganisation wird in der Organisation festgeschrieben. In dieser Phase wird außerdem angestrebt, die implementierten Veränderungen in einzelnen Abteilungen so weit zu etablieren, dass sich die Systeme in der Betriebsphase eigenständig weiterentwickeln können. Unterstützung kann den Mitarbeitenden beispielsweise durch externe Personen oder Planspiele gegeben werden.¹²²
- (4) **Betrieb:** Im Anschluss an den flächendeckenden Rollout folgt die Betriebsphase. Die eingeführten Methoden und Werkzeuge sind den Mitarbeitenden bekannt und werden konsequent angewandt. Es werden kontinuierlich Maßnahmen umgesetzt, welche die Abläufe und Produktionsprozesse verbessern.¹²³

Um Mitarbeitenden das Thema Ressourceneffizienz und Lean Production näherzubringen, wurde beispielsweise im Rahmen des durch die nationale Klimaschutzinitiative geförderten Projekts „RE:Plan“ ein Planspiel für Lean Produktion entwickelt.¹²⁴

¹²¹ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 175 – 176.

¹²² Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 176.

¹²³ Vgl. Dombrowski, U. und Mielke, T. (2015), S. 176.

¹²⁴ Vgl. Hochschule Pforzheim, Institut für Industrial Ecology (2019).

7.2 Erreichen einer Verbesserungskultur mit KVP und KATA

Entscheidend für den langfristigen Erfolg eines GPS ist die Rolle der Mitarbeitenden. Deren Erfahrung und Umsetzung in der täglichen Arbeit bringen die notwendige Balance zwischen Standardisierung und Flexibilisierung.¹²⁵

Insbesondere die Verwirklichungen des Gedankens von Kaizen- bzw. kontinuierlicher Verbesserung (KVP) führen zur Weiterentwicklung des Unternehmens. Der Ursprung von Kaizen liegt keineswegs im Produktionsbereich, sondern ist ein Teil der japanischen Kultur. Der Begriff Zen (japanisch für das Gute/Bessere) lässt sich auf die buddhistische Lebenspraxis, das Streben nach der eigenen Vervollkommnung, zurückführen. In Verbindung mit dem Begriff Kai (japanisch für Wandel/Veränderung) steht Kaizen für das ständige Streben nach Veränderung zum Besseren.¹²⁶

Doch wie lässt sich diese Lebenspraxis oder Einstellung zur Verbesserung in die betriebliche Praxis übertragen?

Häufig werden sogenannte Kaizen- oder KVP-Workshops durchgeführt, in denen Verbesserungsansätze entwickelt werden. Allerdings sollten Ideen und die Motivation der Mitarbeitenden zur Verbesserung auch abseits dieser Workshops entstehen.

Der Forscher Mike Rother hat aus seinen Studien des Toyota Produktionssystems (TPS) die sogenannte Kata abgeleitet. Die Methode kann angewandt werden, um die kontinuierliche Verbesserung im Unternehmen für die Mitarbeitenden zur Gewohnheit zu machen. Der Begriff Kata leitet sich aus dem japanischen Kampfsport ab und steht für eine Übungsroutine, durch welche Bewegungsabläufe erlernt und durch die Wiederholung der festen Abläufe verinnerlicht werden.¹²⁷

Die Toyota-Kata gliedert sich in zwei Bereiche, die Verbesserungs- und die Coaching-Kata.

¹²⁵ Vgl. IG Metall (2008), S. 17.

¹²⁶ Vgl. Zollondz, H.-D.; Ketting, M. und Pfundtner, R. (2016), S. 555.

¹²⁷ Vgl. REFA AG (2020).

Die Verbesserungs-Kata unterstützt die Mitarbeitenden bei der kontinuierlichen Verbesserung der Produktionsprozesse, während die Coaching-Kata Führungskräfte unterstützt, die Mitarbeitenden für die Anwendung der Verbesserungs-Kata und die systematische und eigenständige Lösungsentwicklung zu befähigen.¹²⁸



Abbildung 7: Die vier Stufen der Verbesserungs-Kata¹²⁹

Die Verbesserungs-Kata läuft in den folgenden vier Stufen ab und hilft dabei, ein Ziel systematisch, wissenschaftlich und kreativ zu verfolgen (vgl. Abbildung 7):

- (1) Definition einer Vision bzw. eines Idealzustands, welche als übergeordnete Zielrichtung angestrebt wird
- (2) Erfassen des aktuellen Ist-Zustands, um festzustellen, wie die Prozesse ablaufen
- (3) Festlegen des nächsten Ziel-Zustands, der auf dem Weg zur Erreichung der Herausforderung angestrebt wird
- (4) Tägliches Experimentieren, um den Weg vom IST- zum nächsten Ziel-Zustand Schritt für Schritt zu erreichen; für die schrittweise Vorgehensweise kann die PDCA-Methode eingesetzt werden

¹²⁸ Vgl. Rother, M. (2015), S. 16.

¹²⁹ Vgl. Rother, M. (2015), S. 17.

Häufig liegen der nächste Zielzustand und der Weg dorthin außerhalb der aktuellen Wissensgrenze der Mitarbeitenden. Deshalb ist das schrittweise Experimentieren entscheidend, um Wissen zu erweitern und sukzessive Richtung Ziel-Zustand zu gehen.¹³⁰

Der Idealzustand kann als eine Art Vision gesehen werden, welche die übergeordnete Richtung vorgibt. Bei Toyota ist diese Vision ein Produktionssystem mit null Fehlern, 100 % Wertschöpfung, einem vollständigen One-Piece-Flow und keiner gesundheitlichen Beeinträchtigung von Mitarbeitenden oder Kund*innen durch die Produkte.

Die Coaching-Kata enthält Übungsroutinen, die die Führungskräfte im Unternehmen (coachende Personen) anwenden, um die Verbesserungs-Kata zu vermitteln. Ein Coaching besteht aus den sich wiederholenden Schritten:

- (1) **Sehen:** Ziel ist es, durch Beobachten, Befragen und Zuhören die Denkweise der Lernenden zu verstehen.
- (2) **Vergleichen:** Die coachende Person vergleicht ihre Beobachtungen mit dem gewünschten Muster der Verbesserungs-Kata.
- (3) **Anleiten:** Falls erforderlich, instruiert die coachende Person über notwendige Anpassungen und leitet den*die Lernende*n entsprechend an.¹³¹

Die Coaching-Kata folgt einer Systematik aus fünf Fragen:

- (1) Was ist der Zielzustand?
- (2) Wie ist der aktuelle Zustand?
- (3) Welche Hindernisse gibt es, um den Zielzustand zu erreichen? Welches (eine) Hindernis wird jetzt adressiert?

¹³⁰ Vgl. Rother, M. (2015), S. 17 – 26.

¹³¹ Vgl. Rother, M. (2015), S. 249.

- (4) Was ist der nächste Schritt bzw. das nächste Experiment? Was wird erwartet?
- (5) Wann wird man sehen, was aus diesem Schritt gelernt wurde?

Nach der Frage hinsichtlich des aktuellen Zustands (zweite Frage) empfiehlt es sich, die vorausgegangenen Maßnahmen und Schritte anhand folgender Fragestellungen gemeinsam zu reflektieren:

- (1) Was war im letzten Schritt geplant?
- (2) Was wurde erwartet?
- (3) Was ist tatsächlich geschehen?
- (4) Was wurde gelernt?¹³²

Die Durchführung des Trainings erfolgt in Coaching-Zyklen mit dem Ziel, den Lernenden in der Anwendung der Verbesserungs-Kata im Arbeitsprozess anzuleiten und mit Feedback zu unterstützen.¹³³ Auch für die coachende Person sind sogenannte 2nd Coach-Feedbackgespräch vorgesehen, die dabei unterstützen sollen, Probleme im eigenen Coaching zu reflektieren und dieses zu optimieren.¹³⁴

¹³² Vgl. Rother, M. (2015), S. 262.

¹³³ Vgl. Rother, M. (2015), S. 273.

¹³⁴ Vgl. Rother, M. (2015), S. 298 – 300.

8 INTEGRATION VON DIGITALISIERUNGSANSÄTZEN IN PRODUKTIONSSYSTEME

Mit Ansätzen zur Digitalisierung in der Produktion können Prozessabläufe überwacht, gesteuert und damit effizienter gestaltet werden. Im Folgenden wird vorgestellt, wie durch Digitalisierung bzw. Industrie 4.0 verschiedene Methoden der Lean Production unterstützt werden. Darüber hinaus verdeutlichen ausgewählte Praxisbeispiele aus der Industrie eine mögliche Umsetzung.

8.1 Unterstützung der Gestaltungsprinzipien und Lean-Ansätze durch Digitalisierung

Wissenschaftler*innen der Technischen Universität Braunschweig haben im Rahmen ihrer Forschungsarbeit eine detaillierte Literaturanalyse zu Wechselwirkungen von Industrie 4.0 und GPS durchgeführt. Eines der Ergebnisse: Moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) können GPS leistungsfähiger machen.¹³⁵ Darüber hinaus werden in zwei Dritteln der Veröffentlichungen Lean-Ansätze als Grundlage für Digitalisierung bzw. Industrie 4.0 gesehen.¹³⁶

Wesentliche Prinzipien von Lean Production GPS sind eine Null-Fehler-Produktion und die komplette Vermeidung von Verschwendung. Insbesondere für die Optimierung dieser Prinzipien können Digitalisierungslösungen in bekannte Methoden integriert werden.¹³⁷

Auch wenn Lean-Ansätze in der Regel als Grundlage für Industrie 4.0 gesehen werden oder sich Prozesse dadurch noch verbessern lassen, können auch gegensätzliche Aspekte angeführt werden. Während bei Lean-Ansätzen die ganzheitliche Betrachtung von Mensch, Technik und Organisation im Vordergrund steht, ist bei der Industrie 4.0 der wesentliche Treiber die Technologie. Auch in ihrer grundlegenden Philosophie besteht ein Widerspruch beider Ansätze. Der Lean-Ansatz beruht auf eigenverantwortlicher Problemlösung, respektvollem Umgang und aktiver Entwicklung der

¹³⁵ Vgl. Dombrowski, U.; Richter, T. und Krenkel, P. (2017), S. 1063.

¹³⁶ Vgl. Matt, D. T. (2018), S. 53.

¹³⁷ Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018), S. 10.

Mitarbeitenden. Hingegen fokussiert Industrie 4.0 auf technologische Machbarkeit und Optimierung, welche im besten Fall durch das System selbst erfolgt.

Ergänzen kann Industrie 4.0 die Lean-Ansätze insbesondere durch den möglichen Informationsaustausch zwischen beliebigen Prozessschritten, falls erforderlich in Echtzeit. Dadurch lassen sich Prozesse nicht nur dynamisch und situationsabhängig steuern, sondern auch die kontinuierliche Verbesserung im Unternehmen durch datenbasierte Prognosen oder selbstoptimierende Systeme unterstützen.¹³⁸

Die Digitalisierung und Industrie 4.0 bieten Chancen hinsichtlich der optimierten Umsetzung einzelner Prinzipien und Lean-Methoden. Dadurch lassen sich auch die Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz weiter verbessern.

Unterstützung der Prozessstandardisierung durch Digitalisierung

Eine auf die Kundschaft ausgerichtete Produktion kann hinsichtlich der Erstellung von Standardarbeitsanweisungen aufwändig und fehleranfällig sein. Durch die Digitalisierung lassen sich Vorgaben einfacher modularisieren. Diese können den Mitarbeitenden produktspezifisch digital zur Verfügung gestellt werden. Auch wenn die Implementierung von digitalen Arbeitsanweisungen zunächst einen erhöhten Aufwand bedeutet, reduziert sich dieser in der Bearbeitung der einzelnen Aufträge. Außerdem können durch digitale Werker-Assistenzsysteme Fehler aufgrund veralteter Dokumente verhindert werden. Durch die Verwendung digitaler Assistenzsysteme, wie z. B. Pick-by-Vision, können außerdem Fehlhandlungen und damit die Verschwendung von Ressourcen vermieden werden.¹³⁹

Unterstützung des Visuellen Managements durch Digitalisierung

Eine Digitalisierung des visuellen Managements ermöglicht die unverzügliche Bereitstellung von Informationen zum Prozess am Arbeitsplatz oder an mobilen Geräten. Neben einem einfachen Soll-Ist-Vergleich lassen sich

¹³⁸ Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018), S. 9.

¹³⁹ Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018), S. 12 – 13.

Informationen für Trendanalysen oder zur Prognose von Abweichungen erfassen und visualisieren. Bei auftretenden Problemen im Prozess kann umgehend reagiert oder diesen vorbeugend entgegengewirkt werden. Dadurch lassen sich eine größere Fehlproduktion oder Maschinenausfälle vermeiden und einer Ressourcenverschwendung entgegenwirken. Neben der Möglichkeit für die Mitarbeitenden, unverzüglich visualisierte Prozessinformationen zu erhalten, können auch Führungskräfte auf Grundlage der Daten im Notfall schneller reagieren und ggf. personelle oder finanzielle Ressourcen bereitstellen. Zur Unterstützung des täglichen Shopfloor-Managements und der kontinuierlichen Verbesserung lassen sich digitale Daten darstellen, analysieren sowie Zusammenhänge von auftretenden Abweichungen und Prozessparametern nachvollziehen.¹⁴⁰

Unterstützung der Nivellierung durch Digitalisierung

Durch die digitale Datenerfassung und Vernetzung können digitale Abbilder der aktuellen Auslastung eines Unternehmens erstellt werden. Dadurch lassen sich die Arbeit von dem Vertrieb, die Anpassungsentwicklung und Arbeitsvorbereitung besser aufeinander abstimmen. Gegenüber der Kundschaft können realistischere Terminzusagen gemacht und Umplanungen in der Entwicklung sowie Arbeitsvorbereitung vermieden werden. Fehler und Verschwendung von Ressourcen aufgrund kurzfristiger Umplanungen oder auftretender Überlastung in der Produktion können dadurch reduziert werden. Für einfache individuelle Produkte gibt es die Möglichkeit, durch digitale Produkt-Konfiguratoren und die digital erfasste Auslastung freie Termine zu erfassen, die von der Kundschaft selbst gebucht werden können. Durch die digitale Vernetzung und Erfassung der Auslastung können mögliche Engpässe in spezifischen Produktionsabschnitten frühzeitig erkannt und vermieden werden.¹⁴¹

Unterstützung von Fließ- und Pull-Prinzip durch Digitalisierung

Insbesondere bei auftretenden Liege- und Wartezeiten aufgrund fehlender Informationen kann Digitalisierung dabei unterstützen, den Informationsfluss zu verbessern. Logistikabläufe können durch Digitalisierung flexibler

¹⁴⁰ Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018), S. 14.

¹⁴¹ Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018), S. 15.

gestaltet und Bestände entsprechend der Nachfrage und Lieferverfügbarkeit dynamisch angepasst werden. So können beispielsweise Milkrun-Systeme dynamisch angepasst und durch den Einsatz von elektronischen Kanban-Systemen (eKanban) Bestände reduziert werden. Neben der Reduzierung von Lagerflächen kann sich auch das Risiko einer Ressourcenverschwendung aufgrund von Lagerverlusten minimieren.

Durch die Verwendung digitaler Produktschlüssel besteht die Möglichkeit, dass Produkte an den verschiedenen Arbeitsplätzen identifiziert und entsprechend der Arbeitsanweisung automatisiert konfiguriert werden. Indem das Produkt den Prozess steuert, kann das Fließprinzip im Produktionssystem optimiert werden. Durch die digitale Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette können außerdem Engpässe frühzeitig identifiziert und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden.¹⁴²

Unterstützung von Autonomation durch Digitalisierung

Gegebenenfalls können softwarebasierte Lösungen flexibler eingesetzt werden als Hardwarelösungen, um Fehlhandlungen zu vermeiden. Die digitale Vernetzung von Unternehmensbereichen kann Probleme im Informationsfluss vermeiden, z. B. bei der fehleranfälligen Übertragung von Daten in andere Systeme. Durch die Verwirklichung einer Bauteilidentifikation lassen sich Fehlproduktionen besser nachverfolgen und eingrenzen. Aufgrund der Vernetzung von Prozessdaten wird es möglich, Systeme zu trainieren. Ausschuss und Nacharbeit können reduziert werden, indem Probleme im Vorfeld erkannt werden. Zudem lassen sich Reststandzeiten, z. B. von Werkzeugen, bestimmen und dadurch die Betriebsmittel bestmöglich ausnutzen.¹⁴³

Unterstützung des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses durch Digitalisierung

Die Nachverfolgung und Darstellung des Fortschritts des Umsetzungsprozesses von Verbesserungsmaßnahmen können beispielsweise durch softwarebasierte Aktionspläne gefördert werden. Ein unternehmensinternes Wissensmanagement lässt sich durch Digitalisierung verbessern. So können

¹⁴² Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018), S. 16 – 17.

¹⁴³ Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018), S. 17 – 18.

aufgetretene Probleme und deren erfolgreiche Lösung in Datenbanken digital dokumentiert werden. Mitarbeitende können bei erneutem Auftreten oder ähnlichen Problemstellungen auf diese Informationen zugreifen. Bei Abweichungen im Prozess und auftretenden Defekten können die entsprechenden Prozessdaten analysiert und als Grundlage für die Ursachensuche und Entwicklung von Verbesserungsmaßnahmen genutzt werden.¹⁴⁴

8.2 Praxisbeispiele

Nachfolgend werden Praxisbeispiele vorgestellt, bei denen durch Ansätze der Digitalisierung die Umsetzung von Lean-Methoden unterstützt und dabei die Ressourceneffizienz im Unternehmen verbessert werden konnte.

Reduzierung der Ressourcenverschwendung durch Digitalisierung zur Prozessstandardisierung

Bei der Fertigung individueller Bauteile eines Unternehmens für Chemie-pumpen führte die manuelle Übertragung der Konstruktionsdaten in das Computerized-Numerical-Control-(CNC-)Programm der Werkzeugmaschine zu häufigen Fehlern, welche erst bei der Endmontage festgestellt wurden. Neben Ausschuss zog dies häufig Stillstände der Montagelinie nach sich.

Durch die Entwicklung und Einführung einer neuen Software konnten Konstruktion und Fertigung in einem digitalen Prozess verbunden werden und eine automatisierte Ableitung des CNC-Programms aus den individuellen Konfigurationsdaten wurde ermöglicht. Dadurch konnten fehlerhafte CNC-Programmierungen gänzlich eliminiert werden. Dies führte neben einer erheblichen Zeiteinsparung durch den Wegfall der manuellen Erstellung der CNC-Programme zu einer Reduzierung des Ausschusses und der Montagelinienstillstände. Das Beispiel zeigt, wie das Gestaltungsprinzip der Standardisierung bei individuellen Bauteilen erfolgreich durch Digitalisierung in der Fertigung angewendet werden kann und dadurch eine Ressourceneinsparung bewirkt.¹⁴⁵

¹⁴⁴ Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018), S. 19.

¹⁴⁵ Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018), S. 32.

Reduzierung von Verschwendung durch digitale Informationsverarbeitung im TPM-System

Trotz eines etablierten TPM-Systems kam es in den Instandhaltungsprozessen eines Unternehmens, das Ventile, Ventilinseln und Elektronik herstellt, zur Verschwendung. Um Störungen zu beseitigen, mussten die Mitarbeitenden lange Laufwege zurücklegen. Die Informationsbeschaffung war umständlich und die Suche der Ersatzteile zeitaufwändig. Dies führte zu Verzögerungen und längeren instandhaltungsbedingten Stillstandszeiten.

In einem Kooperationsprojekt zwischen IT und Instandhaltung wurde eine App für Tablets entwickelt, mit der die Mitarbeitenden der Instandhaltung Reparaturanleitungen, Ersatzteillisten und Lagerbestände an Ersatzteilen vor Ort aufrufen und durchsuchen können. Falls notwendig kann die Ersatzteilbeschaffung selbst durchgeführt werden. Mit der mobilen Lösung können hochgerechnet auf ein Jahr ca. 3500 Personen- und Maschinenstunden eingespart werden. Durch die Erfassung sämtlicher Informationen zu Ort und Art der Störung sowie Meldungen zu Zeit und Status der Umsetzung erleichtert das System außerdem die Erfassung und Auswertung von Instandhaltungskennzahlen. Dadurch wird die Arbeit der Mitarbeitenden der Instandhaltung erleichtert. Gründe für Ausfälle lassen sich leichter analysieren und geplante Instandhaltungen situationsabhängig optimieren.¹⁴⁶

Ressourceneffiziente Produktion durch digitalisierten One-Piece-Flow

Ein Hersteller von Automatisierungs-, Handhabungs- und Aufspanntechnik stellte seine Fertigungslinie auf Einzelteilerfertigung (One-Piece-Flow) um, mit dem Ziel, Prozesse schneller und bedarfsgerecht für die Kundschaft zu gestalten, den Lagerbestand zu reduzieren sowie Ausschussteile zu minimieren. Ein Beispiel dafür ist die direkt durch Bestellungen der Kundschaft gesteuerte Einzelteilerfertigungslinie von individuell konfigurierbaren Flächengreifern. Vor der Umstellung wurde die Grundkonfiguration des Greifers standardisiert hergestellt und anschließend gelagert. Dies führte zu hohen

¹⁴⁶ Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018), S. 34.

Beständen, langen Lager- und Lieferzeiten sowie Materialverschwendung bei individueller Anpassung.

Seit der Umstellung auf Einzelteilfertigung kann die Kundschaft die Greifer direkt bei der Bestellung nach ihren Anforderungen in mehr als einer Million Varianten konfigurieren. Jede Produktvariante erhält einen digitalen Produktschlüssel, in dem die Produktionsspezifikationen enthalten sind. Die Zeichnungen der erforderlichen Schaumstoffteile werden zudem als Computer-Aided-Design-(CAD-)Dateien automatisch an die Schneidemaschine übertragen, welche die spezifische Form schneidet. Diese individualisierte Fertigung wurde mit einem intelligenten Kanban-System verknüpft. Mit dieser Flexibilisierung von Fertigung und Lagerung konnte der Lagerbestand fast vollständig eliminiert werden. Trotz einer an die Kundschaft individuell angepassten Produktion in kleinen Losgrößen konnten nicht nur die Materialeffizienz und die Prozesskosten reduziert, sondern auch die Lieferzeiten verkürzt werden.¹⁴⁷ Die Einsparungen belaufen sich beim Schaumstoff auf 2,6 t pro Jahr, was einer Einsparung von 15 t CO₂-Äquivalenten pro Jahr entspricht. Pro Jahr werden außerdem 233 kg Aluminium eingespart, was 7 t CO₂-Äquivalente pro Jahr entspricht.¹⁴⁸

¹⁴⁷ Vgl. Schebek, L.; Kannengießer, J.; Campitelli, A.; Fischer, J.; Abele, E.; Bauerdick, C.; Anderl, R.; Haag, S.; Sauer, A. und Mandel, J. (2017), S. 231.

¹⁴⁸ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017).

9 ENTWICKLUNG EINER UNTERNEHMENSSTRATEGIE

Ziel der Unternehmen sollte es sein, ihre Lean-Ansätze, Digitalisierungsstrategie und Strategie zur Verbesserung der Ressourceneffizienz gemeinsam zu betrachten und diese in die Ausgestaltung des Produktionssystems einfließen zu lassen (vgl. Abbildung 8). Lean-Ansätze, Digitalisierung und die Steigerung der Ressourceneffizienz sollten außerdem in die Unternehmensstrategie eingebettet werden.

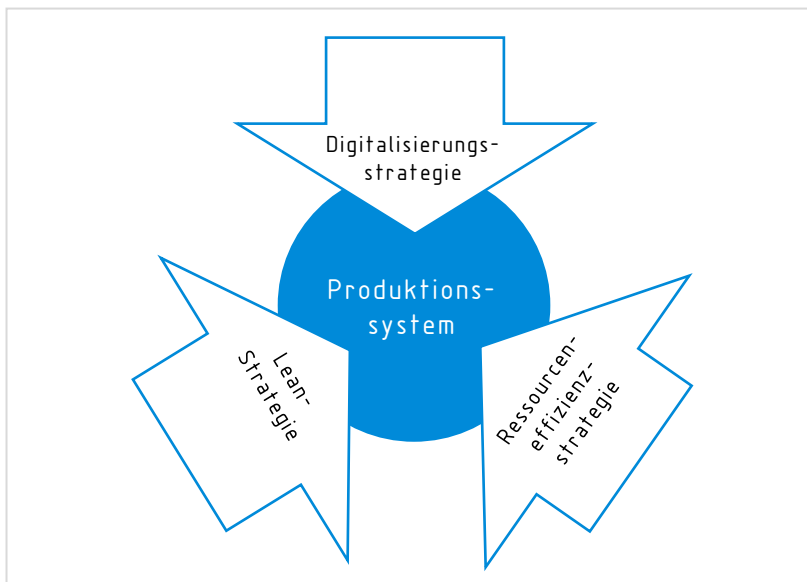


Abbildung 8: Zusammenführen von Lean-, Digitalisierungs- und Ressourceneffizienzstrategie im Produktionssystem

Um langfristig im globalen Wettbewerb erfolgreich zu sein, ist eine ganzheitliche Unternehmensstrategie erforderlich, die die Bedürfnisse der Kundenschaft umfänglich einbezieht und gleichzeitig Digitalisierungsansätze für das eigene Geschäftsmodell berücksichtigt.¹⁴⁹

Aufgrund der sich schnell wandelnden Umwelt reicht es nicht mehr aus, eine Unternehmensstrategie einmal zu beschließen und daran unverändert

¹⁴⁹ Vgl. Walter, S. (2019), S. 8.

festzuhalten. Vielmehr müssen Strategien regelmäßig überprüft und angepasst werden.¹⁵⁰ Eine Möglichkeit, diesen Anforderungen zu begegnen, ist die Anwendung agiler Arbeitsmethoden, in welchen die sich ändernden Rahmenbedingungen von vornherein berücksichtigt werden und damit flexibler auf Veränderungen reagiert werden kann.

Eine Methode zur Strategieentwicklung ist das sogenannte Strategie-Design, dessen Grundgedanke auf dem Design-Thinking-Ansatz basiert. Strategieentwicklung wird als ein ganzheitlich gestalterischer Akt gesehen. Eine Strategie wird als Innovation verstanden, die sich aus einem iterativen, schnellen und ganzheitlichen Zusammenspiel von Analyse (wissensbasiert), Ideenfindung (kreativ) und Umsetzung entwickelt. Ein entscheidendes Prinzip ist dabei die Kollaboration in einem interdisziplinären, möglichst hierarchie-freien Team.¹⁵¹

Analyse

Ansatzpunkte für eine Strategieentwicklung können vorhandene Fähigkeiten im Unternehmen, gute Praxis aus der eigenen, aber auch anderen Branchen, Entwicklungen und Trends im Unternehmensumfeld sowie die Lebenswelten aktueller und potenzieller Kundschaft sein.¹⁵²

Ideenfindung

Die Ideenfindung sollte in interdisziplinären Teams im Rahmen von Strategieworkshops stattfinden. Ein wesentlicher Bestandteil ist ein gemeinsames Eintauchen in die Lebensvorstellung der aktuellen und potenziellen Kundschaft. Der Einsatz von Kreativitätstechniken kann dabei unterstützen, Ideen zu entwickeln. Vielversprechende Lösungen sollten bereits konkretisiert und weiter ausgearbeitet werden, um einen ersten „Strategie-Prototypen“ schon im Workshop zu evaluieren.¹⁵³

¹⁵⁰ Vgl. Walter, S. (2019), S. 17.

¹⁵¹ Vgl. Walter, S. (2019), S. 16 - 18.

¹⁵² Vgl. Walter, S. (2019), S. 18 - 19.

¹⁵³ Vgl. Walter, S. (2019), S. 20 - 21.

Umsetzung

Die Weiterentwicklung einer Strategie erfolgt in Workshop-ähnlichen Formaten mit dem Ziel, die Idee oder die ersten Strategie-Prototypen in Unternehmensbereiche zu übertragen und iterativ zu verbessern. Durch das Einbeziehen der Mitarbeitenden in die Weiterentwicklung der Strategie findet eine Zusammenführung von Strategieentwicklung und -umsetzung statt, wodurch sich eine kontinuierliche Veränderung in der Denk- und Handlungsweise der Mitarbeitenden entwickelt, die Grundlage für einen zukünftigen Unternehmenserfolg ist.¹⁵⁴

¹⁵⁴ Vgl. Walter, S. (2019), S. 22 – 23.

10 FAZIT

Um als Unternehmen langfristig im globalen Wettbewerb erfolgreich zu bleiben, ist ein effizientes Produktionssystem unentbehrlich. Die Umgestaltung zu effizienten, für die Kundschaft individuellen und durch Digitalisierungsansätze optimierten Produktionssystemen bietet eine Chance, sich den zukünftigen Herausforderungen zu stellen. Dabei sollte Ressourceneffizienz in der Ausgestaltung des Produktionssystems berücksichtigt werden – nicht nur, um einen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz zu leisten, sondern auch, um damit positiv zu der Produktionsentwicklung und dem Unternehmenserfolg beizutragen.

Mit Hilfe der GPS-Gestaltungsprinzipien können nicht nur Lean-Ansätze im Unternehmen verwirklicht, sondern gleichzeitig auch die Ressourceneffizienz verbessert werden. Verschiedene in der Kurzanalyse dargestellte Methoden unterstützen bei der Umsetzung in der Praxis. Insbesondere die konsequente Vermeidung von Verschwendung zielt auf eine Verbesserung der Ressourceneffizienz ab und bringt die Zielstellungen eines schlanken und ressourceneffizienten Produktionssystems zusammen.

Die Digitalisierung der industriellen Produktion leistet nicht nur einen Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Wie die vorangegangenen Beispiele gezeigt haben, unterstützen die umgesetzten Maßnahmen zur Digitalisierung auch Lean-Methoden und -Ansätze. Im Zuge der Digitalisierung darf allerdings der Kern des Lean-Gedankens – die Mitarbeitenden – nicht vergessen werden. Ein reines „Sich-Verlassen“ auf die Technik reduziert nicht nur den Erfolg, der durch Lean-Ansätze, Ressourceneffizienzstrategie und Digitalisierung erreicht wird, sondern kann bei auftretenden Systemproblemen falsche Entscheidungen bzw. Maßnahmen zur Folge haben. Ziel sollte es daher sein, dass die Mitarbeitenden die Zusammenhänge der digitalisierten Prozesse verstehen und diese als technische Unterstützung begreifen, um weiterhin eine kontinuierliche Verbesserungskultur zu leben.

Die vorgestellten Methoden und Beispiele zeigen, dass in einem sich immer schneller ändernden Marktumfeld die eigene Unternehmensstrategie regelmäßig überprüft, angepasst und ergänzt werden muss. Dabei können innovative Strategiefindungsmethoden wie Strategie-Design helfen, neue Geschäftsfelder, Produkte und Produktionsmethoden zu entwickeln.

LITERATURVERZEICHNIS

Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten und Vogel-Heuser, B. (2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Springer Fachmedien, Wiesbaden.

Bertagnolli, F. (2018): Lean Management - Einführung und Vertiefung in die japanische Management-Philosophie, Springer Gabler, Wiesbaden, ISBN 978-3-658-13123-4, verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-13124-1>

Dahm, M. H. und Brückner, A. D. (2017): Lean Management im Unternehmensalltag - Praxisbeispiele zur Inspiration und Reflexion, Springer Gabler, Wiesbaden, FOM-Edition, FOM Hochschule für Oekonomie & Management, ISBN 978-3-658-16814-8, verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-16815-5>

Dombrowski, U.; Richter, T. und Krenkel, P. (2017): Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis. In: Procedia Manufacturing, **Volume 11**, S. 1061-1068. ISSN 2351-9789. doi:10.1016/j.promfg.2017.07.217

Dombrowski, U. und Mielke, T., Hg. (2015): Ganzheitliche Produktionssysteme - Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen [online], Berlin, Springer Vieweg, VDI-Buch, ISBN 978-3-662-46163-1, verfügbar unter: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlbkk&AN=1023063>

Effizienz-Agentur NRW (2017): Mit „schlanken“ Methoden den Materialverbrauch reduzieren - Fischer Elektronik GmbH & Co. KG. Effizienz-Agentur NRW, Duisburg [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: https://www.ressourceneffizienz.de/fileadmin/user_upload/Loseblaetter_2017/EFA_Loseblatt_Fischer.pdf

Fresner, J.; Bürki, T. und Sittel, H. H. (2009): Ressourceneffizienz in der Produktion - Kosten senken durch Cleaner Production, Symposion Publishing GmbH, Düsseldorf, ISBN 978-3-939707-48-6.

- Gabler Wirtschaftslexikon (2018):** Change Management [online], 2018 [abgerufen am: 15.12.2020], verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/change-management-28354/version-251986>
- Hackstein, R. (1984):** Produktionsplanung und -steuerung (PPS) – Ein Handbuch für die Betriebspraxis, VDI-Verl., Düsseldorf, ISBN 9783184006105.
- Hochschule Pforzheim, Institut für Industrial Ecology (2019):** Planspiel RE:LEAN [online]. Hochschule Pforzheim, Institut für Industrial Ecology [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: <https://www.replan-spiele.de/planspiele/relean/>
- IG Metall (2008):** Toyota Produktionssystem – TPS – Schafft Toyota die heile Arbeitswelt? Fünf Missverständnisse zurechtgerückt. IG Metall, Frankfurt am Main [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: <https://www.isf-muenchen.de/pdf/IGM-Toyota-Broschuere.pdf>
- Kanbanize (2020):** Die 7 Verschwendungsarten in Lean: Wie Sie Ihre Ressourcen optimieren [online]. Kanbanize [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: <https://kanbanize.com/de/lean-management-de/wert-verschwendung/7-arten-der-verschwendung-nach-lean>
- Krauß, M. (2019):** Lean Management – Definition, Prinzipien und Methoden [online]. In: Maschinenmarkt [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/lean-management-definition-prinzipien-und-methoden-a-813093/>
- Lange, U. und Surdyk, K. (2018):** Ressourceneffizienz in der Wertschöpfungskette. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Kurzanalyse, Nr. 23 [abgerufen am: 16.05.2019], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/publikationen/kurzanalysen/>
- Matt, D. T., Hg. (2018):** KMU 4.0 - Digitale Transformation in kleinen und mittelständischen Unternehmen, Berlin, GITO mbH Verlag, ISBN 978-3-95545-267-4.
- May, C. und Koch, A. (2008):** Overall Equipment Effectiveness (OEE) : Werkzeug zur Produktivitätssteigerung. In: Zeitschrift der Unternehmensberatung: ZUb, 3 (6).

Offenhammer, A. (2015): Strategic legal management. Dissertation, Law & Management. Wissenschaft, ISBN 978-3-7255-7378-3.

Pfeiffer, W. (1991): Lean-Management - zur Übertragbarkeit eines neuen japanischen Erfolgsrezepts auf hiesige Verhältnisse. Überarb. und erg. Fassung, Nürnberg, Forschungsbericht / Forschungsgruppe für Innovation und Technologische Voraussage am Lehrstuhl für Industriebetriebslehre des Fachbereichs Wirtschafts- und Sozialwissenschaften an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Vol. 18.

Q-Consulting (2020): TPM (Total Productive Maintenance) [online] [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: <https://qc-up.de/leistungsangebot/tpm-total-productive-maintenance/>

REFA AG (2020): Das REFA-Lexikon - Kata [online]. REFA AG [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: <https://refa.de/service/refa-lexikon/kata>

Reichert, D.; Cito, C. und Barjasic, I. (2018): Lean & Green: Best Practice - Wie sich Ressourceneffizienz in der Industrie steigern lässt, Springer, Wiesbaden, ISBN 978-3-658-21685-6.

Rießelmann, J. (2011): Wertstromdesign - Faktenblatt: 4/2011, Eschborn [abgerufen am: 15.09.2020], verfügbar unter: <https://static54.rkw-kompetenzzentrum.de/fileadmin/media/publications/2011/Innovation/Faktenblatt/20110101-faktenblatt-wertstromdesign.pdf>

Rother, M. (2015): The Improvement Kata and Coaching Kata Practice Guide [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: http://www-personal.umich.edu/~mrother/Handbook/Practice_Guide.pdf

Rother, M. und Shook, J. (2015): Sehen lernen - Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen, Lean Management Institut, Mühlheim an der Ruhr, Workbooks für Lean Management, ISBN 3-9809521-1-8.

Rüegg-Stürm, J. (2002): Das neue St. Galler Management-Modell - Grundkategorien einer modernen Managementlehre - der HSG-Ansatz, Haupt, Bern, ISBN 978-3-258-06534-2.

Schebek, L.; Kannengießer, J.; Campitelli, A.; Fischer, J.; Abele, E.; Bauerdick, C.; Anderl, R.; Haag, S.; Sauer, A. und Mandel, J. (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 – Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 22.05.2019], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien/>

Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C., Hg. (2017): 100 Betriebe für Ressourceneffizienz - Band 1 - Praxisbeispiele aus der produzierenden Wirtschaft, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, ISBN 978-3-662-53366-6.

Schreyögg, G. (1993): Unternehmensstrategie – Grundfragen einer Theorie strategischer Unternehmensführung. Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Habil.-Schr., 1983. Studienausg. de Gruyter, Berlin, ISBN 3110141361.

Schuh, G. und Schmidt, C. (2014): Produktionsmanagement – Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl., Springer Vieweg, Berlin, VDI-Buch, ISBN 978-3-642-54287-9, verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-54288-6>

Schuh, G. und Stich, V., Hg. (2012): Produktionsplanung und -steuerung 1 [online]. 4., überarbeitete Auflage, Berlin, Springer Vieweg, VDI-Buch, ISBN 978-3-642-25422-2, verfügbar unter: <http://www.springer.com/de/book/978-3-642-25422-2>

Siepermann, C. (2018): Produktionsplanung und -steuerung [online] – Definition: Was ist „Produktionsplanung und -steuerung“? [abgerufen am: 23.07.2020], verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/produktionsplanung-und-steuerung-51585/version-274746>

Toyota Material Handling (2010): Das Toyota Produktionssystem und seine Bedeutung für das Geschäft [abgerufen am: 18.12.2020], verfügbar unter: www.tqu-group.com/we-dokumente/Downloads/ToyotaPS.pdf

Toyota Motor Corporation (2020): Toyota Production System [online] – Company Information Vision & Philosophy. Toyota Motor Corporation [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: <https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/>

VDI 2870 Blatt 1:2012-07: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Ganzheitliche Produktionssysteme - Grundlagen, Einführung und Bewertung, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 2870 Blatt 2:2013-02: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Ganzheitliche Produktionssysteme - Methodenkatalog, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 4800 Blatt 1:2016-02: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017): Material sparen durch Industrie 4.0 bei der Entwicklung und Produktion [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: www.youtube.com/watch?v=QXY80IEk6ag&feature=emb_logo

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019a): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Effiziente Betriebsorganisation. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/unabhaengig/effiziente-betriebsorganisation/

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019b): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Fertigungsprozessoptimierung. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/fertigungsprozessoptimierung

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019c): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Kaskadennutzung von Hilfs- und Betriebsstoffen. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/kaskadennutzung-von-hilfs-und-betriebsstoffen/

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019d): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Kreislaufführung von Produkten und Bauteilen. VDI Zentrum

Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/kreislauffuehrung-von-produkten-und-bauteilen/

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019e): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Kreislaufführung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/kreislauffuehrung-von-roh-hilfs-und-betriebsstoffen/

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019f): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Materialsubstitution von Hilfs- und Betriebsstoffen. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/materialsubstitution-von-hilfs-und-betriebsstoffen/

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019g): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Minimierung des Bearbeitungsvolumens. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/minimierung-des-bearbeitungsvolumens/

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019h): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Planung ressourceneffizienter Fertigungsprozesse. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/planung-ressourceneffizienter-fertigungsprozesse

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019i): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Vermindern des Energieverbrauchs. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/vermindern-des-energieverbrauchs/

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019j): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Vermindern von geplantem Ausschuss und Nacharbeit. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/vermindern-von-geplantem-ausschuss-und-nacharbeit

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019k): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Vermindern von geplantem Verlust. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/vermindern-von-geplantem-verlust/

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019l): Strategien und Maßnahmen - Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online] - Vermindern von Lagerungsverlusten. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 20.07.2020], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/strategien-und-massnahmen/prozessbezogen/vermindern-von-lagerungsverlusten/

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2018): Leitfaden Industrie 4.0 trifft Lean - Wertschöpfung ganzheitlich steigern. VDMA Verlag GmbH, Frankfurt am Main, verfügbar unter: https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26095707/Leitfaden_I40_Lean_1524489604061.pdf

Walter, S. (2019): Strategie Design - Ein ganzheitliches Strategieverständnis für das digitale Zeitalter, Springer Gabler, Wiesbaden, essentials, ISBN 978-3-658-25996-9.

Weber, M. und Oberender, C. (2015): Ressourcenmanagement - Managementsysteme und ihr Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Kurzanalyse, Nr. 13 [abgerufen am: 21.05.2019], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/publikationen/kurzanalysen/>

- Weber, M. und Oberender, C. (2016):** Ressourceneffizienz im Fokus der betrieblichen Kostenrechnung. 2. Auflage. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Kurzanalyse, Nr. 6, verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/publikationen/kurzanalysen/>
- Wettengl, S. (2011):** Taiichi Ohno und die zweite Revolution in der Automobilindustrie [online] [abgerufen am: 20.10.2020], verfügbar unter: <https://wettengl.info/Blog/?p=1133>
- Womack, J. P.; Jones, D. T. und Roos, D. (1990):** The machine that changed the world - The story of lean production ; Toyota's secret weapon in the global car wars that is revolutionizing world industry, Free Press, New York, NY, Business, ISBN 978-0-7432-9979-4.
- Womack, J. P.; Jones, D. T. und Roos, D. (1992):** Die zweite Revolution in der Autoindustrie - Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology. 5. Aufl., Campus-Verl., Frankfurt/Main, ISBN 9783593345482.
- Zollondz, H.-D.; Ketting, M.und Pfundtner, R., Hg. (2016):** Lexikon Qualitätsmanagement - Handbuch des modernen Managements auf Basis des Qualitätsmanagements. 2., komplett überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin, De Gruyter Oldenbourg, Edition Management, ISBN 978-3-486-58465-3.