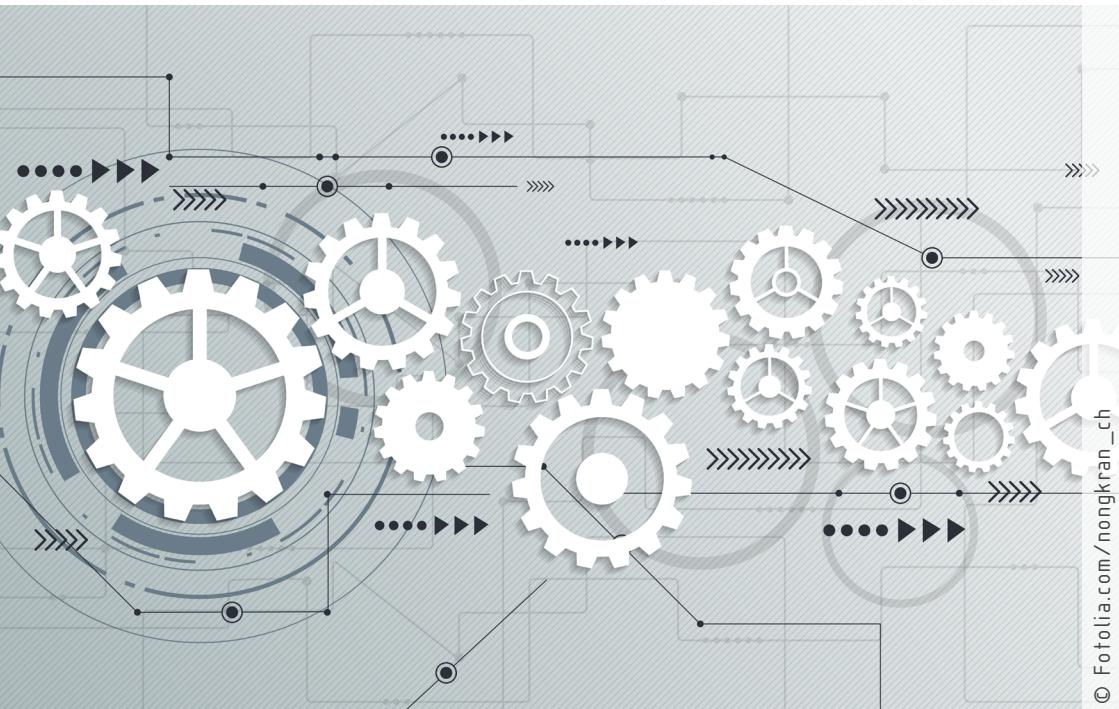


VDI

Zentrum
Ressourceneffizienz

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 23

Ressourceneffizienz in der Wertschöpfungskette



VDI ZRE Kurzanalyse Nr. 23: Ressourceneffizienz in der Wertschöpfungskette

Autoren:

Dr.-Ing. Ulrike Lange, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
Kai Surdyk, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Wir danken Herrn Prof. Holger Rohn, Fachgebiet Life Cycle Management des Fachbereichs Wirtschaftsingenieurwesen der Technischen Hochschule Mittelhessen, für seine fachliche Unterstützung.

Die Kurzanalyse wurde im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit erstellt.

Die Kurzanalysen des VDI ZRE geben einen Überblick über aktuelle Entwicklungen des Themas Ressourceneffizienz in Forschung und industrieller Praxis. Sie enthalten eine Zusammenstellung relevanter Forschungsergebnisse, neuer Technologien und Prozesse sowie Gute-Praxis-Beispiele. Damit verschaffen die Kurzanalysen einem breiten Publikum aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung einen Einstieg in ausgewählte Themenfelder der Ressourceneffizienz.

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bertolt-Brecht-Platz 3
10117 Berlin
Tel. +49 30-27 59 506-0
Fax +49 30-27 59 506-30
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

Titelbild: © nongkran_ch/Fotolia.com

Druck: Bonifatius GmbH, Karl-Schurz-Straße 26, 33100 Paderborn

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

VDI ZRE Publikationen:
Kurzanalyse Nr. 23

Ressourceneffizienz in der
Wertschöpfungskette

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	3
TABELLENVERZEICHNIS	5
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	6
1 EINLEITUNG	8
2 RESSOURCENEFFIZIENZPOTENZIALE IN DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE	10
2.1 Wertschöpfung, Wertschöpfungsstufe und Wertschöpfungskette	10
2.2 Betrachtungsebene Supply Chain	12
2.3 Betrachtungsebene Unternehmen	14
2.4 Betrachtungsebene Produktionsprozess	18
3 RESSOURCENEFFIZIENZMAßNAHMEN IN DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE	21
3.1 Ressourceneffizienzmaßnahmen auf strategischer Ebene	21
3.1.1 Integration der Lieferanten in Unternehmensabläufe	21
3.1.2 Integration von Kunden in Unternehmensabläufe	25
3.1.3 Aufnahme der Ressourceneffizienzthematik in die Unternehmensstrategie	30
3.1.4 Einsatz von Elementen des Lean-Managements	31
3.1.5 Wertschöpfungsstufenübergreifende Mitarbeiter- und Projektteams	34
3.2 Ressourceneffizienzmaßnahmen auf technischer Ebene	37
3.2.1 Simulation durchgängiger Prozessketten	37
3.2.2 Umstrukturierung bestehender Prozessstufen	39
3.2.3 Wertstoffrecycling und Kreislaufführung	42
3.2.4 Condition Monitoring und Predictive Maintenance	45
3.2.5 Gemeinsame Nutzung von Betriebsmitteln (Unternehmenspools)	47
3.2.6 Kaskadennutzung	49

4	DATEN- UND MATERIALFLUSSANALYSEN IN DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE	51
4.1	Verknüpfung von Datenflüssen mit dem durchgängigen Engineering	51
4.2	Materialflussanalyse und rechnergestützte Simulationen	52
4.2.1	Analyse von Materialflüssen nach VDI 2689	52
4.2.2	Simulation von Stoffströmen nach VDI 3633	54
5	AKTUELLE UND KÜNFTIGE WERTSCHÖPFUNGSSTRUKTUREN	57
5.1	Ausgewählte Instrumente von Wertschöpfungsnetzen	57
5.2	Ausblick: Entwicklung digitaler Plattformen	60
6	FAZIT	63
	LITERATURVERZEICHNIS	65

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Betrachtungsebenen der Wertschöpfungskette	12
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Lieferkette	13
Abbildung 3: Wertschöpfungsstufen nach Porter	15
Abbildung 4: Beispielhafte Prozesskette eines Galvanikprozesses	18
Abbildung 5: Integration der Lieferanten	21
Abbildung 6: Kanban-System für die Teilezulieferung durch die externen Lieferanten der Firma J. Schmalz GmbH	23
Abbildung 7: Lieferantenintegration der Schäfer GmbH	25
Abbildung 8: Push-, Pull-Prinzip und Grad der Kundenintegration	28
Abbildung 9: Strategiekreislauf	30
Abbildung 10: Verschwendungsarten im Lean-Management	33
Abbildung 11: Wertschöpfungsstufenübergreifende Mitarbeiter- und Projektteams	35
Abbildung 12: Softwaresystem zur Unterstützung des Produktentstehungsprozesses	38
Abbildung 13: Erweiterung, Austausch und Eliminierung von Prozessstufen	40
Abbildung 14: Schematische Darstellung der internen Kreislaufführung	43
Abbildung 15: Schematischer Aufbau des Condition Monitorings	45
Abbildung 16: Schematischer Aufbau des Predictive Maintenance	46
Abbildung 17: Schema einer Kollaboration mehrerer Firmen mit ausgelagerter Fertigung aus Sicht zweier beteiligter Firmen	48
Abbildung 18: Schematischer Ablauf der Biomassekaskadennutzung	50
Abbildung 19: Ablaufschema einer Materialflussanalyse	53

Abbildung 20: Simulationsablauf	56
Abbildung 21: Wertschöpfungsstrukturen von Supply Chains	57
Abbildung 22: Auswahl von Instrumenten künftiger Wertschöpfungsnetze	58
Abbildung 23: Vernetzung durch digitale Plattformen	61

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Wesentliche Aufgaben der Wertschöpfungsstufen	16
Tabelle 2:	Umsetzung und Potenziale der Lieferantenintegration	22
Tabelle 3:	Fünf Prinzipien des Lean-Managements	32
Tabelle 4:	Beispiele für durchgängige Informationsflüsse zwischen Wertschöpfungsstufen	52
Tabelle 5:	Anwendungsfelder und Nutzungsmöglichkeiten der Simulation	55

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

b2b	Business to business
b2c	Business to consumer
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
CAD	Computer aided design
CAM	Computer aided manufacturing
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CTQ	Critical to quality
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DMAIC	Define-Measure-Analyse-Improve-Control
DoE	Design of Experiments
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
g	Gramm
GiBWert	Gestaltung innovativer Baukasten- und Wertschöpfungsstrukturen (Projekt)
IT	Informationstechnologie
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
kg	Kilogramm
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
LAN	Local area network

ML	Markup language
PET	Polyethylenterephthalat
PDCA	Plan-Do-Check-Act
QFD	Quality funktion deployment
SIPOC	Supplier (Lieferant) - Input (Einsatzfaktoren) - Process (Prozess) - Output (Ergebnisse) - Customer (Kunde)
t	Metrische Tonne
TRIZ	Theorie des erfinderischen Problemlösens
TU	Technische Universität
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
UBA	Umweltbundesamt
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
WLAN	Wireless local area network

1 EINLEITUNG

Eine ressourceneffiziente Produktion zeichnet sich durch einen bewussten Material- und Energieeinsatz aus. Wird der Ressourcenaufwand dadurch gesenkt, können Kosten gespart und Wettbewerbsvorteile generiert werden. Im Produktionsprozess können Ressourceneffizienzmaßnahmen an den verschiedensten Punkten umgesetzt werden. Die Potenziale sind vielfältig.¹ Jedoch bedarf die immer komplexer vernetzte Produktionswirtschaft nicht mehr nur punktueller, sondern auch übergreifender Ressourceneffizienzmaßnahmen, solche, die über Prozesse sowie Betriebs- und Unternehmensgrenzen hinweg wirken.

Gerade überbetriebliche Ressourceneffizienzmaßnahmen können einen vielfach höheren Wirkungsgrad erzielen, wenn Unternehmen ihre Wertschöpfungsketten abstimmen und miteinander kooperieren.² Die Integration der Lieferanten in die unternehmenseigenen Abläufe fördert beispielsweise die Produkt- und Prozessqualität, strafft die Organisation und führt somit zu einer effizienteren Zusammenarbeit.³ Die Integration des Kunden ermöglicht kundenspezifischere Lösungen, die, neben einer höheren Wettbewerbsfähigkeit, in reduzierten Lagerbeständen und somit geringerer Kapitalbindung resultieren können.⁴

Aktuelle Trends, u. a. getragen von der Globalisierung, der Entwicklung neuer Technologien oder der Produktindividualisierung, forcieren ein unternehmerisches Denken, weg von isolierten Gate-to-Gate-Ansätzen hin zu flexiblen Wertschöpfungsstrukturen. Vor dem Hintergrund der digitalen Transformation verstetigt sich dieser Wandel. Die Grenzen eines bewussten Umgangs mit Materialien liegen folgend nicht nur innerhalb der Werkstore: Übergreifende Ressourceneffizienzmaßnahmen zwischen Unternehmen können weitere Einsparpotenziale generieren und darüber hinaus

¹ Siehe branchenbezogene Prozessketten auf www.ressource-deutschland.de/instrumente/prozessketten

² Vgl. Hennicke et al. (2009) in Berg et al. (2014), S. 14 f.

³ Vgl. Helmhold und Terry (2016), S. 92.

⁴ Vgl. Mussbach-Winter (2014), Folie 65.

neue Geschäftsideen, Kooperationen und Wettbewerbsvorteile hervorbringen.

Aber auch innerbetriebliche Verknüpfungen von z. B. Unternehmensbereichen oder Prozessstufen können zu einer Steigerung der Ressourceneffizienz führen. Die Kooperation von Unternehmensbereichen hilft bei der Optimierung von Abläufen und kann zu einem ressourcenschonenden wirtschaftlichen Unternehmenswachstum beitragen. Darüber hinaus unterstützen die Analyse und effiziente Verkettung von Wertschöpfungsstufen im Produktionsprozess eine umfassendere Prozessbeherrschung. Die Verkettung kann dann in Material- und Energieeinsparungen resultieren.

Die vorliegende Kurzanalyse beleuchtet Ressourceneffizienzpotenziale, die über Wertschöpfungs- und Prozessstufen hinweg wirken, und präsentiert Maßnahmen, die diese Potenziale erschließen können. Dazu erfolgt beginnend eine Einordnung der Begriffe Wertschöpfung, Wertschöpfungsstufe und Wertschöpfungskette. Die Kurzanalyse zeigt Potenziale auf, die auf den Betrachtungsebenen Lieferkette, Unternehmen und Produktionsprozess erschließbar sind. Die daraus resultierenden Ressourceneffizienzmaßnahmen besitzen entweder einen eher technischen oder einen eher strategischen Charakter. Diese werden entsprechend der Gliederung präsentiert und über Gute-Praxis-Beispiele und Modellprojekte veranschaulicht. Bevor die vorgestellten Maßnahmen im Kontext der Entwicklung neuer Wertschöpfungsstrukturen zusammengefasst und auf Herausforderungen wie die Weitergabe sensibler Unternehmensdaten eingegangen wird, erfolgt eine Vorstellung von Methoden zur Daten- und Materialflussanalyse. Sie sind ein Schlüssel zur erfolgreichen Umsetzung wertschöpfungsstufenübergreifender Ressourceneffizienzmaßnahmen und unterstützen die Offenlegung unternehmensinterner und unternehmensexterner Input- und Output-Ströme.

2 RESSOURCENEFFIZIENZPOTENZIALE IN DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE

2.1 Wertschöpfung, Wertschöpfungsstufe und Wertschöpfungskette

Der Begriff der Wertschöpfung kann von verschiedenen Sichtweisen aus verwendet werden. Die Wertschöpfung beschreibt aus volkswirtschaftlicher Sicht die erbrachte wirtschaftliche Leistung der einzelnen Wirtschaftsbereiche⁵ und ist Ziel der Wirtschaftstätigkeit.⁶ Aus Sicht der Betriebswirtschaftslehre wird die Wertschöpfung als Beitrag eines Unternehmens zum Volkseinkommen verstanden.⁷ Dieser Beitrag der Wertschöpfung umfasst demnach die Ergebnisse der unternehmensspezifischen, produktiven Tätigkeiten (sowie Dienstleistungen) und ergibt sich aus dem Verkaufspreis eines Produkts abzüglich der Vorleistungen (z. B. Materialeinkauf, Fremdleistungseinkauf).⁸

In der vorliegenden Kurzanalyse wird die **Wertschöpfung** als produktive Tätigkeit verstanden, die einem Gut/Produkt einen höheren Geldwert zuführt. Die Wertschöpfung erfolgt innerhalb einer Wertschöpfungsstufe und entlang einer Wertschöpfungskette.

Die produktiven Tätigkeiten finden in sogenannten Wertschöpfungsstufen statt. Jede Stufe leistet dabei einen Beitrag zur Steigerung der Wertschöpfung. Innerhalb eines Unternehmens sind Wertschöpfungsstufen beispielsweise der Einkauf oder die Produktion.⁹ In einer Lieferkette repräsentieren diese z. B. die einzelnen Lieferanten.

In der vorliegenden Kurzanalyse wird eine **Wertschöpfungsstufe** als Rahmen verstanden, in dem produktive Tätigkeiten erfolgen. Die Wertschöpfungsstufe ist ein Glied der Wertschöpfungskette.

⁵ Vgl. Weizäcker und Horvath (2018).

⁶ Vgl. Haubach (2013), S. 15.

⁷ Vgl. Weizäcker und Horvath (2018).

⁸ Vgl. Teuscher (2011), S. 16.

⁹ Vgl. Bach et al. (2012), S. 4.

Eine Wertschöpfungskette kann als die „Gesamtheit der Prozesse (wie Produktion, Auslieferung u. a.), die zu einer Wertschöpfung führen“¹⁰, beschrieben werden. Die „Gesamtheit der Prozesse“ umfasst dabei die Abfolge der produktiven Tätigkeiten bzw. der Wertschöpfungsstufen, die über Lieferbeziehungen miteinander verbunden sind.¹¹ Darüber hinaus ist die Wertschöpfungskette bzw. Wertkette im ursprünglichen Sinn ein Analyseinstrument aus der Betriebswirtschaftslehre. Die gesamten, strategisch relevanten Tätigkeiten eines Unternehmens zur Erstellung eines Produkts (oder einer Dienstleistung) werden dabei in der Wertschöpfungskette strukturiert dargestellt.¹²

In der vorliegenden Kurzanalyse wird die **Wertschöpfungskette** als die Gesamtheit der produktiven Tätigkeiten bzw. als eine Abfolge von Wertschöpfungsstufen verstanden, die zumeist über Lieferbeziehungen miteinander verbunden sind.

Der Rahmen, in dem eine Wertschöpfungskette betrachtet wird, variiert. Je nach gewünschter Detailtiefe können verschiedene Betrachtungsebenen fokussiert werden (Abbildung 1). Die Betrachtung der Wertschöpfungskette kann beispielsweise

- den gesamten Lebenszyklus bzw. die gesamte Wertschöpfungskette (cradle-to-grave),
- nur eine Lieferkette oder mehrere Lieferketten (Supply Chain, cradle-to-gate),
- nur ein Unternehmen oder
- nur einen Produktionsprozess oder mehrere Produktionsprozesse sowie die dazugehörige Infrastruktur (gate-to-gate) umfassen.

¹⁰ Duden (2018).

¹¹ Vgl. UVK Lucius (2018).

¹² Vgl. Günther (2008), S. 172.

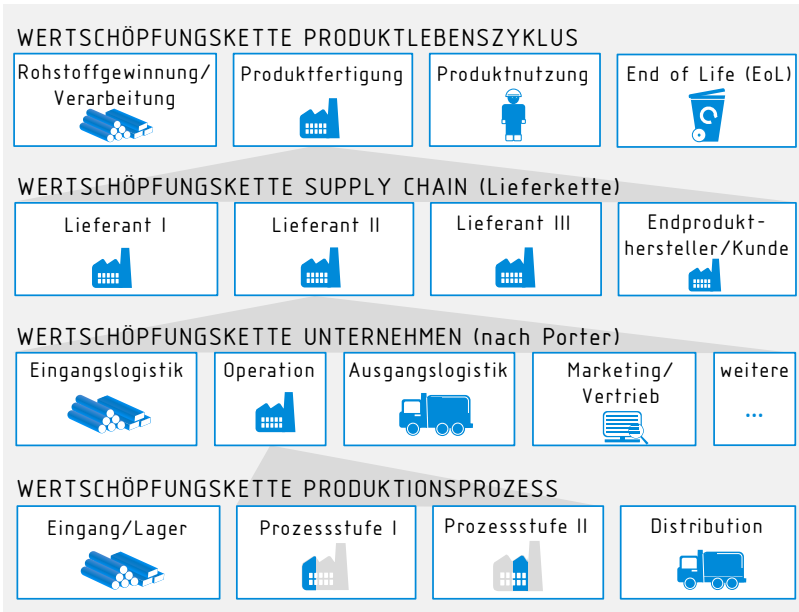


Abbildung 1: Betrachtungsebenen der Wertschöpfungskette

Die hier aufgeführten Betrachtungsebenen Supply Chain, Unternehmen und Produktionsprozess dienen im Weiteren dazu, Beziehungen zwischen den einzelnen Wertschöpfungsstufen (Abbildung 1, weiße Kästen) zu beleuchten und Ressourceneffizienzpotenziale sowie konkrete Maßnahmen aufzuzeigen, die über Wertschöpfungsstufen hinweg erschlossen werden können.

Aufgrund des übergeordneten und komplexen Charakters des Produktlebenszyklus bzw. der gesamten Wertschöpfungskette wird dieser in den folgenden Ausführungen nicht weiter betrachtet.

2.2 Betrachtungsebene Supply Chain

Lieferanten und Zulieferer, Großhandel, Einzelhandel oder Endkunden sind Teil einer Supply Chain. In der Praxis wird diese Lieferkette häufig als Netzwerk wahrgenommen, in dem mehrere Unternehmen über Material-

flüsse miteinander verbunden sind.¹³ Es kann somit auch als ein Netzwerk von Organisationseinheiten beschrieben werden, das über das Zusammenwirken ein Produkt oder eine Dienstleistung erbringt.¹⁴

Um die Lieferkette ressourceneffizient zu optimieren, müssen aus Sicht eines Unternehmens die vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen analysiert und koordiniert werden (Abbildung 2).

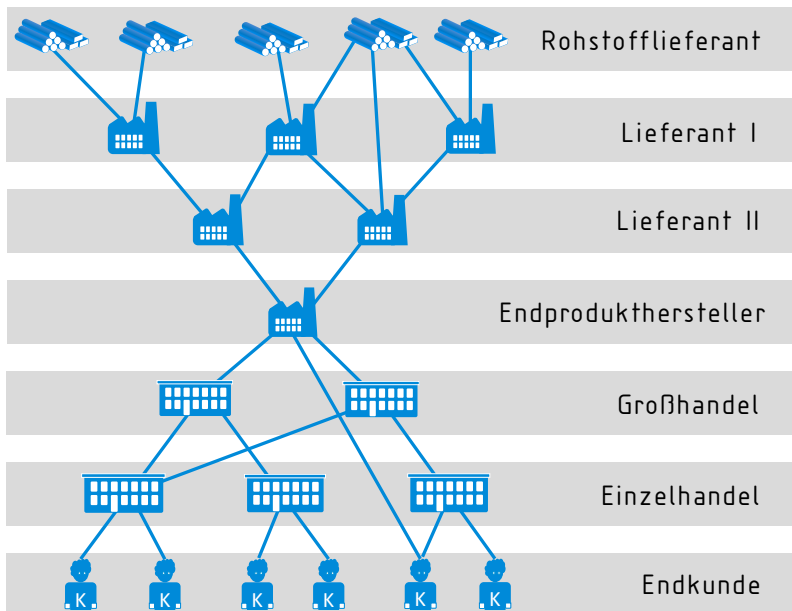


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Lieferkette¹⁵

Durch die Gestaltung dieser wertschöpfungsstufenübergreifenden Absprachen bzw. Kooperationen vor dem Hintergrund der Ressourceneffizienz können Synergieeffekte im Bereich der Ressourceneinsparung genutzt und so die Beschäftigungs- und Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Unternehmen verbessert werden.¹⁶ Die Entscheidung zu einer ressourcenorien-

¹³ Vgl. Busch und Dangelmaier (2002), S. 4.

¹⁴ Vgl. business-wissen (2017a).

¹⁵ In Anlehnung an Busch und Dangelmaier (2002), S. 4.

¹⁶ Vgl. Berg et al. (2014), S. 30.

tierten Kooperation zwischen den Unternehmenspartnern erfolgt oftmals auf strategischer Ebene und kann beispielsweise über die Lieferanten- oder Kundenintegration umgesetzt werden.¹⁷

Wertschöpfungsstufenübergreifende Ressourceneffizienzmaßnahmen auf strategischer Ebene, die unternehmensübergreifend wirken (Kapitel 3.1)

- Integration von Lieferanten in Unternehmensabläufe (Kapitel 3.1.1)
- Integration von Kunden in Unternehmensabläufe (Kapitel 3.1.2)

Beide Maßnahmen werden im Kapitel 3.1 näher erläutert und anhand von Praxisbeispielen und Modellprojekten vertieft. Die Maßnahmen sind dabei nur als eine Auswahl bzw. als nicht abschließend zu verstehen.

2.3 Betrachtungsebene Unternehmen

Die unternehmensinterne Vernetzung von Wertschöpfungsstufen kann durch Ressourceneffizienzmaßnahmen gefördert werden und gleichzeitig Material und Kosten einsparen. Die Umsetzung dieser meist organisatorisch-institutionellen Maßnahmen erfolgt größtenteils auf Management- bzw. strategischer Ebene. Durch eine erfolgreiche Integration des Ressourcenverbrauchs als Stellgröße in Managementansätze können so Optimierungspotenziale erschlossen werden.¹⁸

In einem Unternehmen gibt es nach Porter neun verschiedene Wertschöpfungsstufen.¹⁹ Diese bearbeiten verschiedene Aufgabenfelder und verfolgen unterschiedliche Zielstellungen. Die Gliederung nach Porter ermöglicht eine gezielte Analyse von Stärken und Schwächen in einem Unternehmen

¹⁷ Das Supply Chain Management beinhaltet viele Werkzeuge, die zur Analyse und Organisation der Lieferkette und der Lieferanten angewendet werden können. Im Rahmen dieser Kurzanalyse kann zugunsten des Umfangs nur die Lieferanten- und die Kundenintegration vorgestellt werden. An dieser Stelle sei auch auf die Entwicklung des „Sustainable Supply Chain Management“ verwiesen, über das eine ökologie-, ökonomie- und sozialorientierte Gestaltung der Lieferkette erfolgt.

¹⁸ Vgl. Neugebauer (2014), S. 110.

¹⁹ Vgl. Porter (1985), S. 64.

und ermittelt darauf aufbauend Chancen und Risiken zur Gewinnabschätzung (Abbildung 3).²⁰



Abbildung 3: Wertschöpfungsstufen nach Porter²¹

Diese Übersicht über die Unternehmensgliederung hilft gleichzeitig, wertschöpfungsstufenübergreifende Ressourceneffizienzpotenziale aus der Perspektive des Unternehmens zu ermitteln und Maßnahmen abzuleiten (Abbildung 3). Dies erfordert die Ermittlung der relevantesten Aufgaben je Wertschöpfungsstufe (Tabelle 1). Darüber lassen sich bereits wesentliche Beziehungen zwischen den Stufen feststellen, über die Ressourceneffizienzpotenziale zu erschließen sind.

²⁰ Vgl. Günther (2008), S. 172.

²¹ In Anlehnung an Porter (1985), S. 64.

Tabelle 1: Wesentliche Aufgaben der Wertschöpfungsstufen²²

Wertschöpfungsstufe	Wesentliche Aufgaben (u. a.)
Primäre Aktivitäten	
Eingangslogistik	<ul style="list-style-type: none"> - Wareneingangs- und Warenbestandskontrolle - Materialtransport - Lagerhaltung - Fahrzeugterminierung - Warenrücksendung zum Lieferanten
Operation	<ul style="list-style-type: none"> - Bearbeitung, Fertigung, Montage und Verpackung des Produkts
Ausgangslogistik	<ul style="list-style-type: none"> - Lagerung - Auslieferung an den Kunden
Marketing & Vertrieb	<ul style="list-style-type: none"> - Werbung - Vertrieb - Angebote und Preisgestaltung
Kundenservice	<ul style="list-style-type: none"> - Installation - Instandhaltung - Wartung & Reparatur - Kundens Schulungen
Sekundäre Aktivitäten	
Beschaffung ²³	<p>Strategische Aufgaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beschaffungsmarktforschung - Festlegung über zentrale und/oder dezentrale Beschaffung - Lieferantenanalyse, -bewertung und -auswahl - Erstellung von Beschaffungsportfolios <p>Operative Aufgaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bestandskontrolle - Bedarfsermittlung und Bestellmengenplanung - Lieferantenauswahl
Forschung & Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> - Produktentwicklung - Produktverbesserung - Verfahrensverbesserung
Unternehmensinfrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> - Aktivitäten im Zusammenhang mit der gesamten Wertschöpfungskette wie Geschäftsführung, Rechnungswesen, Controlling und Qualitätskontrolle
Personalwesen	<ul style="list-style-type: none"> - Personalbeschaffung - Ausbildung - Lohnzahlung - Fortbildung/Mitarberschulungen

Grundsätzlich sollte eine Vernetzung zwischen allen Wertschöpfungsstufen im Unternehmen stattfinden. Aufbauend auf den Aufgabenfeldern der Tabelle 1 ist jedoch insbesondere unter den folgenden Wertschöpfungsstufen ein intensiver Austausch zur Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen naheliegend:

²² Vgl. Oehlrich (2010), S. 140 f.

²³ Vgl. Gabler Lexikon (2017).

- Eingangslogistik, Ausgangslogistik und Beschaffung/Einkauf z. B. bezüglich der Materialauswahl, Materialkontrolle bzw. der Einsparung eingesetzter Rohstoffe im Produkt und/oder im Prozess
- Forschung und Entwicklung, Kundenservice und Operation/Produktion z. B. bezüglich der Qualitätskontrolle und Entwicklung von Produktoptimierungen

Gerade bereichsübergreifende Mitarbeiter- und Projektteams können hier ein gebündeltes Know-how bilden, über das Arbeitsweisen, Ziele und Strategien anderer Wertschöpfungsstufen im Unternehmen nachvollziehbar sind. Diese können in die eigenen Tätigkeitsabläufe integriert werden, sodass Fehlentwicklungen frühzeitig erkannt und diesen entgegengewirkt werden können.²⁴ Aber auch klar formulierte Unternehmensziele zum Umgang mit Ressourcen oder das Lean-Management bieten Ansätze, um Ressourceneffizienzpotenziale zu erschließen.

Wertschöpfungsstufenübergreifende Ressourceneffizienzmaßnahmen auf strategischer Ebene, die bereichsübergreifend wirken (Kapitel 3.1)

- Aufnahme der Ressourceneffizienzthematik in die Unternehmensstrategie (Kapitel 3.1.3)
- Einsatz von Qualitäts- und Umweltzertifizierungen (u. a. ISO 14001, EMAS, Ökoprofit)²⁵
- Einsatz von Elementen des Lean-Managements (Kapitel 3.1.4)
- Wertschöpfungsstufenübergreifende Mitarbeiter- und Projektteams (Kapitel 3.1.5)

²⁴ Vgl. Schmidt et al. (2017).

²⁵ An dieser Stelle wird auf die VDI ZRE-Kurzanalyse „Ressourcenmanagement“ verwiesen, die das Qualitäts- und Umweltmanagement ausführlich beschreibt. Die Kurzanalyse kann abgerufen werden unter www.ressource-deutschland.de/publikationen/kurzanalysen.

Die vorgestellten Maßnahmen werden im Kapitel 3.1 näher erläutert und anhand von Praxisbeispielen und Modellprojekten vertieft. Die Maßnahmen sind dabei nur als eine Auswahl bzw. als nicht abschließend zu verstehen.

2.4 Betrachtungsebene Produktionsprozess

Eine Prozesskette ist eine verkettete Abfolge von Fertigungsstufen in einem Produktionsprozess.²⁶ In der industriellen Produktion umfasst diese die Lagerung von Materialien, verschiedene Fertigungsstufen mit Rückführungsoptionen von Produktionshilfsstoffen und Produkten sowie die Ausgangslogistik. Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Prozesskette für einen Galvanikprozess.

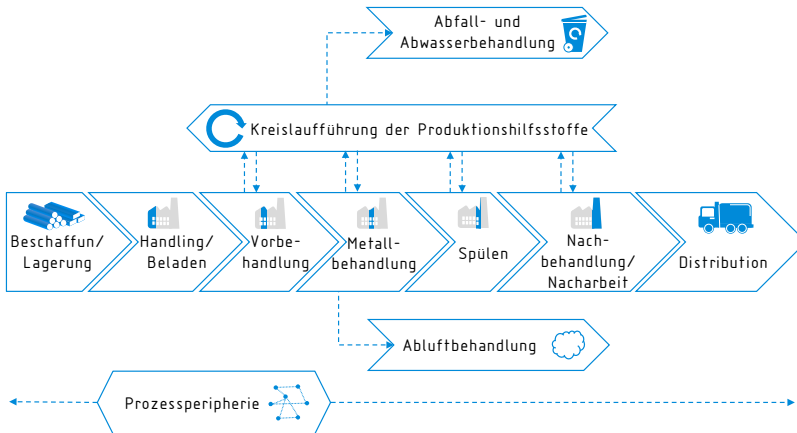


Abbildung 4: Beispielhafte Prozesskette eines Galvanikprozesses²⁷

Insbesondere die Kreislaufführung stellt eine wertschöpfungsstufenübergreifende Ressourceneffizienzmaßnahme dar. So können beispielsweise im dargestellten Galvanikprozess durch die Adsorption eingesetzte Säuren

²⁶ Vgl. Heinemann et al. (2013), S. 268.

²⁷ In Anlehnung an VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017a).

zurückgewonnen und erneut dem Prozess zugeführt werden. Mit dieser Maßnahme lassen sich bis zu 60 % Abreicherungsraten erzielen.²⁸

Solche im Kreislauf fahrenden Prozessflüsse sollten bereits bei der Planung von Prozessketten durch Simulationsverfahren beachtet werden. Auch in schon bestehenden Produktionsprozessen können durch eine Umstrukturierung, z. B. durch die Eliminierung oder den Austausch von Wertschöpfungs- bzw. Prozessstufen²⁹, erhebliche Potenziale erschlossen werden.

Prozesstechnisch ausgelegte Ressourceneffizienzmaßnahmen, die überbetrieblich über Prozessstufen hinweg wirken, umfassen beispielsweise das Condition Monitoring und das Predictive Maintenance, die gemeinsame Nutzung von Betriebsmitteln in Unternehmenspools oder die Kaskadennutzung. Diese Ressourceneffizienzmaßnahmen werden meist auf technischer Ebene umgesetzt und können neben der Material- und Energieeinsparung zu einer optimierten Prozessbeherrschung beitragen.

Wertschöpfungsstufenübergreifende Ressourceneffizienzmaßnahmen auf technischer Ebene (Kapitel 3.2)

- Simulation durchgängiger Prozessketten (Kapitel 3.2.1)
- Umstrukturierung von Prozessstufen (Kapitel 3.2.2)
- Wertstoffrecycling und Kreislaufführung (Kapitel 3.2.3)
- Condition Monitoring und Predictive Maintenance (Kapitel 3.2.4)
- Gemeinsame Nutzung von Betriebsmitteln (Unternehmenspools) (Kapitel 3.2.5)
- Kaskadennutzung (Kapitel 3.2.6)

²⁸ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017a).

²⁹ Auf der Betrachtungsebene eines Produktionsprozesses (Abbildung 1) ist eine Wertschöpfungsstufe mit einer Prozessstufe gleichzusetzen. Zum leichteren Verständnis wird in den folgenden Ausführungen innerhalb der Betrachtungsebene Produktionsprozess von Prozessstufen gesprochen.

Die vorgestellten Maßnahmen werden in Kapitel 3.2 erläutert und durch Gute-Praxis-Beispiele und Modellprojekte vertieft. Die Maßnahmen sind dabei nur als eine Auswahl bzw. als nicht abschließend zu verstehen.

3 RESSOURCENEFFIZIENZMAßNAHMEN IN DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE

3.1 Ressourceneffizienzmaßnahmen auf strategischer Ebene

3.1.1 Integration der Lieferanten in Unternehmensabläufe

Eine Möglichkeit, vorgelagerte Lieferanten zugunsten der Ressourceneffizienz in die eigenen Unternehmensabläufe zu integrieren, ist die Lieferantenintegration – ein Instrument des Lieferantenmanagements (Abbildung 5).

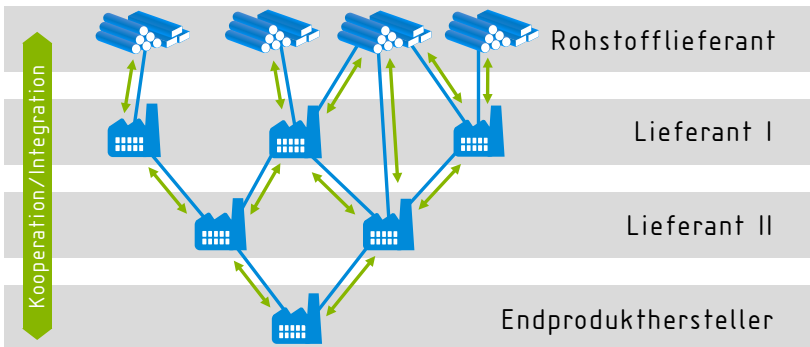


Abbildung 5: Integration der Lieferanten

Die Lieferantenintegration nutzt die Kompetenz externer Partner im eigenen Unternehmen. Die Lieferanten werden in die Unternehmensabläufe eingebunden, indem Prozesse und Systeme synchronisiert werden und so die Effizienz der Zusammenarbeit gesteigert wird.³⁰ Über die Lieferantenintegration können

- die Produkt- und Prozessqualität verbessert,
- die Organisation gestrafft,
- Kostenvorteile realisiert,

³⁰ Vgl. Helmhold und Terry (2016), S. 92.

- die Lieferqualität verbessert (Zuverlässigkeit und Lieferzeit) sowie
- negative Umweltauswirkungen verringert werden.³¹

Neben anderen Ansätzen gibt es nach dem 3-Phasen-Modell drei Strategien, um eine Lieferantenintegration umzusetzen. Je nach Intensität der Kooperation erfolgt diese entweder in die Forschung & Entwicklung, in das Engineering/die Konstruktion oder in die Beschaffung/Produktion/Logistik (Tabelle 2). Das KMU als Lieferant kann hier beispielsweise Anregungen geben, in den einzelnen Wertschöpfungsstufen seines Kunden mitzuwirken. So können Prozesse zwischen den Akteuren optimiert, Ressourceneffizienzpotenziale erschlossen und gleichzeitig die Lieferanten-Kunden-Beziehung gestärkt werden.

Tabelle 2: Umsetzung und Potenziale der Lieferantenintegration³²

Forschung & Entwicklung	Engineering/ Konstruktion	Beschaffung/ Produktion/Logistik
UMSETZUNG		
Der Lieferant wirkt in allen Ebenen des Produktentstehungsprozesses - von der Idee bis zur Fertigung - mit.	Der Lieferant wird in die Problemlösung existierender Produktionsprozesse einbezogen.	Eine enge Koordination und Synchronisation mit dem Lieferanten bezüglich Informationen, Kommunikation und Prozessverlauf werden umgesetzt.
POTENZIALE		
<ul style="list-style-type: none"> - Verkürzung von Design- und Entwicklungszeit - Senken von Design- und Entwicklungskosten - optimierter Materialeinsatz und Materialkostenreduzierung - Steigerung der Produkt- und Prozessqualität - Verbesserung der Zuverlässigkeit und Haltbarkeit der Teile - bessere Ressourcennutzung - Nutzung des Entwicklungs-Know-hows 	<ul style="list-style-type: none"> - frühzeitige Einbindung in Entwicklungsvorhaben - Wissens- und Wettbewerbsvorteile - größere Planungssicherheit - bessere Planung und Nutzung von Ressourcen und Kapazitäten - abgestimmte Schnittstellen in den Softwaresystemen - Nutzung des Konstruktions-Know-hows 	<ul style="list-style-type: none"> - Senken der Beschaffungskosten - Verkürzen von Liefer- und Durchlaufzeiten und Einhalten vereinbarter Liefertermine - größere Flexibilität bei geändertem Bedarf - Zunahme der Versorgungssicherheit - Steigerung der Prozessqualität - höhere Transparenz und schnellere Reaktionszeiten - stabile und standardisierte Versorgungsprozesse - Minimierung der Beschaffungsrisiken - Bildung eines Vertrauensverhältnisses

³¹ Vgl. Schaltegger et al. (2007), S. 169.

³² In Anlehnung an Arnold (2004), S. 37.

Die wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche Lieferantenintegration, insbesondere im Bereich Beschaffung/Produktion/Logistik, ist der durchgängige, IT-basierte Informationsfluss. So kann beispielsweise frühzeitig auf Änderungen in der Planung und Lieferengpässe reagiert werden. Der Lieferant wiederum erhält durch eine Produktionsvorschau Informationen, um die Kapazitäten und die Ressourcen für die kommenden Aufträge abzustimmen.³³ Ein Instrument, das eine Lieferantenintegration unterstützt, ist das Lean Management (Kapitel 3.1.4).

Praxisbeispiel 1: Lieferantenintegration

Die J. Schmalz GmbH, ein Hersteller von Vakuumtechnologien, nutzt ein intelligentes System zur Sicherung der Teilezulieferung. Über das sogenannte Kanban-System, ein Element des Lean-Managements (Kapitel 3.1.4), wird dem Zulieferer per Scan einer Karte mitgeteilt, dass einer der Teilebehälter eines zuzuliefernden Produkts leer ist (Abbildung 6).



Abbildung 6: Kanban-System für die Teilezulieferung durch die externen Lieferanten der Firma J. Schmalz GmbH³⁴

Über eine Webcam kann der Lieferant ein spezielles Board überwachen, das die gescannten Karten aufbewahrt. Jeder grün-gelb-roten Reihe des

³³ Vgl. Arnold (2004), S. 37.

³⁴ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017b).

Boards ist dabei ein Teil für die Produktion zugeordnet (Abbildung 6). In die Fächer werden die gescannten Karten der leeren Behälter von Grün nach Rot aufsteigend eingeordnet. Ist das rote Fach erreicht, wird Nachschub erforderlich. Der externe Partner erhält so Informationen über den Bestand und die Dringlichkeit der Zulieferung. Auf diese Weise treffen im Lager der J. Schmalz GmbH nur die Waren ein, die in der nächsten Zeit zur Produktion benötigt werden.³⁵

Praxisbeispiel 2: Lieferantenintegration

Das Unternehmen Krämer GmbH stellt Holz-Sprossenstehleitern her. Durch Prozessoptimierung konnte eine Steigerung der Produktionsmenge erzielt werden. Dadurch erhöhte sich jedoch gleichzeitig die Ausschussmenge überproportional: Etwa 30 % des eingekauften Holzes gingen durch den Holzzuschnitt verloren. Der Grund für den hohen Ausschuss fand sich in der Qualität des angelieferten Holzes. Dieses gelangte über eine mehrstufige Lieferkette mit asymmetrischer Machtverteilung bis zur Krämer GmbH. Das Unternehmen konnte aufgrund fehlenden Wissens über die gesamte Lieferkette keinen direkten Einfluss auf die am Kettenanfang agierenden Lieferanten nehmen (Abbildung 7).³⁶

³⁵ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017b).

³⁶ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 86 – 89.

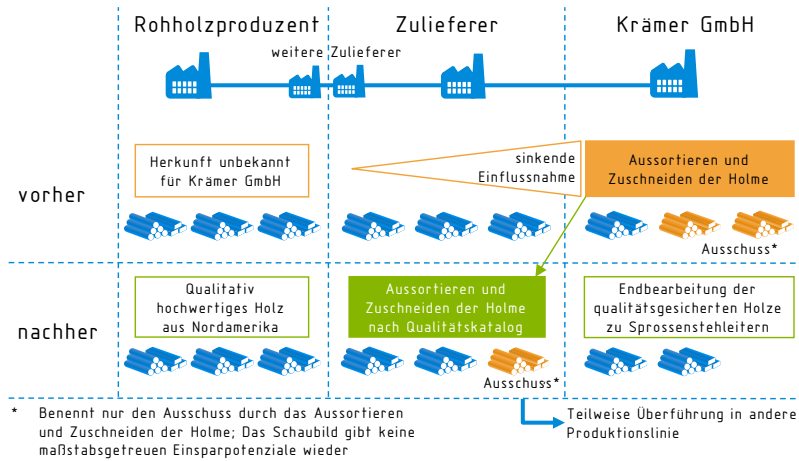


Abbildung 7: Lieferantenintegration der Schäfer GmbH³⁷

Zur Reduktion des Holzausschusses wurde daher der vorgelagerte Lieferant in den Holzbearbeitungsprozess einbezogen. Einerseits wurde ein interner Prüfkatalog über die anzuliefernde Holzqualität erstellt. Andererseits wurde eine Kooperation mit einem Lieferanten eingegangen, der die Holzqualitätskontrolle entsprechend dem Prüfkatalog sowie den Holzzuschnitt und das Auskappen von Fehlstellen im Holz übernimmt. So wurde der Schwerpunkt der Qualitätssicherung vom Ende der Lieferkette in die Mitte verschoben. Der Lieferant besitzt eine stärkere Verhandlungsposition zu den vorgelagerten Rohholzproduzenten, wodurch die Qualitätsansprüche entlang der gesamten Lieferkette kommuniziert und kontrolliert werden können (Abbildung 7). Im Ergebnis konnte die Krämer GmbH rund 32 bis 35 t weniger Ausschussmaterial produzieren. Dies entspricht einem Warenwert von jährlich 48.000 Euro.³⁸

3.1.2 Integration von Kunden in Unternehmensabläufe

Die kundenwunschgenaue Produktherstellung rückt immer weiter in den Fokus von Unternehmen. Der Trend geht weg von Standardprodukten hin

³⁷ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 86 – 89.

³⁸ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 86 – 89.

zu modularisierten und kundenspezifisch konfigurierten Produkten. Die Kunden müssen daher in den Entwicklungs- und Produktionsprozess ihrer beauftragten Produkte einbezogen werden - also als aktiver Wertschöpfungspartner agieren können.^{39, 40}

Ohne eine Integration des Kunden erfolgt eine sogenannte *Produktion auf Lager (made-to-stock)*. Die Produktion ist ausgelegt auf den anonymen Massenmarkt und basiert auf Marktforschungsanalysen und -prognosen. Die Integration des Kunden ist hingegen mit folgenden Optionen möglich (Abbildung 8):⁴¹

- *Erfüllung von Bestellungen (match-to-order)*: Auswahl von existierenden Standardprodukten entsprechend den Anforderungen der Kunden
- *Leistungsbündel auf Bestellung (bundle-to-order)*: Bündeln von existierenden Produkten zu einem kundenspezifischen Produkt
- *Zusammenstellung auf Bestellung (assemble-to-order)*: Zusammenstellung kundenspezifischer Produkter aus standardisierten und vorgefertigten Teilen
- *Produktion auf Bestellung (made-to-order)*: Produktion kundenspezifischer Produkte (einschließlich Komponentenfertigung)
- *Entwicklung auf Bestellung (development-to-order)*: kundenindividuelle Produktentwicklung gefolgt von kundenindividueller Produktion

Je weiter vorn im Wertschöpfungsprozess des Unternehmens der Kunde integriert wird, desto flexibler muss die Produktion an den Kundenbedarf angepasst werden. Die Entwicklung auf Bestellung (development-to-order) hat die höchste Produktionsflexibilisierung zur Folge, die Produktion auf Lager (made-to-stock) die geringste. Es wird im Kontext der Fertigungs-

³⁹ Vgl. Hofbauer (2013), S. 1.

⁴⁰ Im Rahmen der Kundenintegration sei auf die sogenannten Living Labs oder auch Sustainable Living Labs hingewiesen. Dies sind Zentren zum Austausch von (Produkt-)Ideen zwischen Kunden und Unternehmen, so zum Beispiel das Fraunhofer-inHaus-Zentrum.

⁴¹ Vgl. Hofbauer (2013), S. 3.

steuerung zwischen Push- und Pull-Prinzip der Fertigungsorganisation unterschieden.

- Push-Prinzip (drückendes Prinzip): Entlang der Wertschöpfungsstufen des Unternehmens werden eine maximale Auslastung und maximale Losgröße angestrebt. Unabhängig von der tatsächlichen Nachfrage werden Materialien, Teile und Produkte nach einem vorgesehenen Plan durch die Produktionskette ‚gedrückt‘. Ein hundertprozentiges Push-Prinzip entspricht der Produktion auf Lager („made-to-stock“, Abbildung 8).⁴²
- Pull-Prinzip (ziehendes Prinzip): Das Pull-Prinzip richtet sich nach dem tatsächlichen Bedarf des Kunden. Erst nach Auftragseingang werden die benötigten Materialien, Teile und/oder Produkte hergestellt. Ein hundertprozentiges Pull-Prinzip entspricht der Entwicklung auf Bestellung („development-to-order“, Abbildung 8).⁴³

⁴² Vgl. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) (2017a).

⁴³ Vgl. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) (2017b).

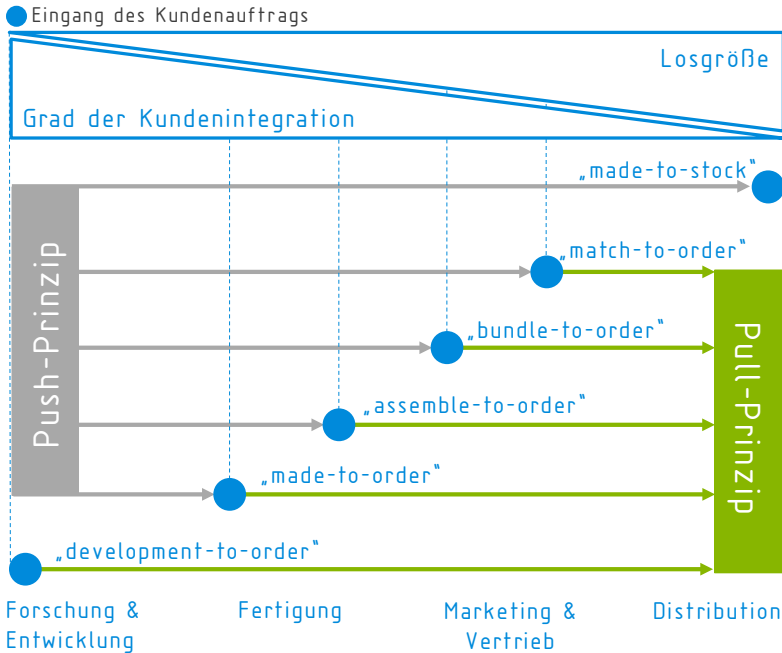


Abbildung 8: Push-, Pull-Prinzip und Grad der Kundenintegration⁴⁴

Das Push-Prinzip (drückendes Prinzip) zeichnet sich durch eine hohe Auslastung und eine kurze Lieferzeit aus. Jedoch können der Anstieg von kundenspezifischen Lösungen und kleineren Bestellmengen zu einer abnehmenden Lieferfähigkeit, größeren Lagerbeständen und somit einer höheren Kapitalbindung, steigenden Logistikkosten, zunehmenden Entsorgungskosten und ungleichmäßiger Produktionsauslastung führen.⁴⁵

Insbesondere für kundenspezifische Lösungen und geringe Losgrößen eignet sich das Pull-Prinzip (ziehendes Prinzip). Der Umfang des Pull-Prinzips, also der auftragsorientierten Produktion, wird dabei durch den Eingangspunkt des Kundenauftrags (made-, assemble-, bundle-to-order etc.)

⁴⁴ In Anlehnung an Hofbauer (2013), S. 11 und Wolff (2016).

⁴⁵ Vgl. Mussbach-Winter (2014), Folie 65.

bestimmt: Ab dem Eingangspunkt des Kundenauftrags gilt das Pull-Prinzip (Abbildung 8, blauer Punkt).⁴⁶

Praxisbeispiel 3: Kundenintegration

Die Wetropa GmbH entwirft individuelle Verpackungen aus Schaumstoff für Kunden in der Automobil- und Elektroindustrie, der Medizin- und Messtechnik sowie für Handwerksbetriebe. Um auch kleinste Losgrößen, wie individuelle Werkzeug- und Kameraverpackungen, möglichst material- und kosteneffizient zu produzieren, hat das Unternehmen eine App entwickelt, mit der der Kunde den Entwicklungsprozess selbst durchführen kann (development-to-order). So kann er die Schaumstoffeinlage und den Transportkoffer individuell an seine Bedürfnisse anpassen. Vorteil der Digitalisierung: Da die Konstruktionsdaten sofort online vorliegen, können – ohne großen Aufwand – mehrere kleinere Aufträge zu einem Produktionsprozess gebündelt werden. Darüber hinaus müssen keine Muster mehr an den Kunden zur Voransicht geschickt werden.

Forschungsprojekt 1: Kundenintegration

Das Forschungsprojekt GiBWert „Gestaltung innovativer Baukasten- und Wertschöpfungsstrukturen“ zielte auf die Entwicklung eines Baukastenentwicklungsprozesses speziell für Maschinen- und Anlagenbauer ab. Über Baukastenstrategien können verschiedene Produktvarianten aus einer möglichst geringen Bausteinanzahl produziert werden (assemble-to-order). Dies ist notwendig, da sich die Variantenvielfalt zu produzierender Maschinen innerhalb von 15 Jahren mehr als verdoppelte. Viele Unternehmen führen Baukastenstrategien bereits intuitiv aus. Das Projekt GiBWert erarbeitete daher einen übergeordneten, strukturierten „Leitfaden zur Baukastengestaltung“.⁴⁷ Ein Unternehmen, welches Baukastensysteme einführte, schätzte, dass sich Kosteneinsparungen in den Bereichen Entwicklung, Beschaffung und Produktion von circa 20 % ergeben.⁴⁸

⁴⁶ Vgl. Wolff (2016).

⁴⁷ Vgl. Fraunhofer (2015).

⁴⁸ Vgl. Industrieanzeiger (2012).

3.1.3 Aufnahme der Ressourceneffizienzthematik in die Unternehmensstrategie

Die Unternehmensstrategie legt die grundsätzliche, langfristige Verhaltensweise gegenüber der Umwelt fest. Sie beschreibt somit den Weg zur Verwirklichung der Unternehmensziele.⁴⁹ Ressourceneffizienz wird auch von kleinen und mittleren Unternehmen in die Unternehmensstrategie integriert - mit steigender Tendenz. Während im Jahr 2011 laut einer Umfrage noch 57 % der befragten Unternehmen Ressourceneffizienz in ihrer Unternehmensstrategie aufführten, stieg dieser Prozentsatz im Jahr 2015 um neun Prozentpunkte auf 66 %.⁵⁰ Diese Entwicklung zeigt zudem, dass eine Unternehmensstrategie nie statisch verläuft, sondern immer an Markt- und Umweltentwicklungen anzupassen ist. Eine Variante einer flexiblen Unternehmensstrategie ist der Strategiekreislauf (Abbildung 9).⁵¹



Abbildung 9: Strategiekreislauf⁵²

⁴⁹ Vgl. Gabler Lexikon (2017).

⁵⁰ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2015a), S. 6.

⁵¹ Vgl. Radner (2013).

⁵² In Anlehnung an Radner (2013) und Günther (2008), S. 14.

Die Unternehmensziele sind ein in der Zukunft angestrebter Zustand von Output-Größen des Unternehmens. Sie konkretisieren die Unternehmensphilosophie und geben die Ausrichtung für konkrete Maßnahmen vor.⁵³ Hier kann bereits zugunsten der Ressourceneffizienz festgelegt werden, dass das wirtschaftliche Wachstum des Unternehmens ressourcenschonend zu erreichen ist. Der effiziente Umgang mit Ressourcen über definierte Maßnahmen kann dabei gleichzeitig zur zentralen Unternehmensstrategie beitragen – der Gewinnmaximierung.

Die Integration von Ressourceneffizienz in die Unternehmensstrategie setzt darüber hinaus klare Signale an potenzielle Kunden. In einer Umfrage im Jahr 2015 gaben 60 % der befragten Unternehmen des produzierenden Gewerbes an, dass Ressourceneffizienz einen hohen Stellenwert bei den Kunden besitzt. Im Jahr 2011 waren es noch 37 %.⁵⁴ Auch an die Mitarbeiter aller Unternehmensebenen, die sich mit den Unternehmenszielen identifizieren, wird so eine eindeutige Botschaft gerichtet und Ressourceneffizienz in das Bewusstsein gerückt. Insbesondere die interdisziplinäre Arbeit zwischen Unternehmensbereichen kann dabei das Unternehmensziel eines ressourcenschonenden wirtschaftlichem Wachstums wesentlich fördern (siehe hierzu Kapitel 3.1.5).

3.1.4 Einsatz von Elementen des Lean-Managements

Das Lean-Management bedeutet schlanke Produktion und wird mehr als eine Geschäftsphilosophie und weniger als reiner Methoden-Werkzeugkasten verstanden.⁵⁵ Im Fokus steht der Mitarbeiter, dessen Denkweise sich auf das Detektieren und Beseitigen von Verschwendungen in Geschäftsprozessen konzentriert.⁵⁶ Es existieren fünf aufeinander aufbauende Lean-Prinzipien (Tabelle 3).

⁵³ Vgl. Günther (2008), S. 12.

⁵⁴ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2015a), S. 12.

⁵⁵ Die Einführung eines Lean-Managements erfolgt auf strategischer Ebene, die praktische Umsetzung der Elemente des Lean-Managements wird auf der technischen Ebene durchgeführt, d. h. im Prozess. Eine klare Differenzierung ist an dieser Stelle nicht möglich.

⁵⁶ Vgl. Pointner und Steinhoff (2016), S. 14.

Tabelle 3: Fünf Prinzipien des Lean-Managements⁵⁷

Prinzip	Inhalt des Prinzips
1. Kundenwert spezifizieren	Zu klären ist, wer der tatsächliche Kunde des Produkts bzw. der Dienstleistung ist und welchen genauen Nutzen dieser von dem Produkt oder der Dienstleistung erwartet. Produkt- bzw. Dienstleistungsaspekte, die nicht zur Befriedigung der Kundenbedürfnisse beitragen, gelten als Verschwendung und sind zu vermeiden.
2. Wertstrom identifizieren	Zu identifizieren sind die genauen Aktivitäten , die in einer Organisation insgesamt getätigt werden, um das Produkt herzustellen. Es werden also alle Prozesse der einzelnen Wertschöpfungsstufen offengelegt und analysiert.
3. Wertefluss erzeugen	Zu implementieren ist ein Fließprinzip (z. B. „One-Piece-Flow“), ein gleichmäßiger Produktionsprozess ohne Wartezeiten entlang aller Wertschöpfungsstufen eines Unternehmens. Grundvoraussetzung sind eine Messbarkeit der Prozessschritte, eine optimale Reihenfolge der Arbeitsprozesse und eine Synchronisation dieser miteinander.
4. Pull-(Zieh-)Prinzip einrichten	Zu steuern sind die Prozesse entsprechend dem Bedarf des Kunden (bedarfsorientierte Produktion). Dieser legt die Zeiten und die Menge bzw. den Umgang der Produktion und Lieferung seines Produkts fest.
5. Perfektion anstreben	Zu implementieren ist ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP-Prozess) . Die Prozesse des Unternehmens sind fortwährend auf Verbesserungspotenziale zu prüfen. Der KVP-Prozess erfolgt auf der Grundlage des Plan-Do-Check-Act-Zyklus (PDCA-Zyklus) , der ohne Unterbrechung immer wieder durchlaufen wird.

Das Lean-Management vermeidet, durch die Anwendung der fünf Prinzipien, verschiedene Arten von Verschwendung. Diese sind entsprechend des Akronyms DOWNTIME systematisiert (Abbildung 10).

Über die Vermeidung von Verschwendung lassen sich entlang der innerbetrieblichen Wertschöpfungsstufen Ressourcen entlang aller damit verbundenen Kosten minimieren. Auf die Energie bezogen, können sich in der Regel Einsparungseffekte von mindestens 20 % ergeben. Eine Studie im Rahmen des Lean & Green Efficiency Award 2012 bestätigte, dass im Schnitt 10 % an Einsparungen ohne Investitionen erzielt wurden. Die Studie zeigte gleichermaßen, dass die in diesem Zuge erfolgreichen Unternehmen in den nächsten drei bis fünf Jahren mit einem Einsparpotenzial von mindestens 20 % bei Ressourcen wie Energie, Wasser und Abfall rechnen. Bei den teilnehmenden Unternehmen entsprach dies einer Reduzierung der Herstellungskosten von mehr als 0,6 %.⁵⁸

⁵⁷ Vgl. Pointner und Steinhoff, S. 18 – 23.

⁵⁸ Vgl. Hofer und Reichert (2013), S. 20 – 22.

D efects (engl.) = Fehler	Verschwendungen durch Nacharbeiten, Verschrottungen und fehlerhafte Informationen
O verproduction (engl.) = Überproduktion	Materialverschwendungen durch Produktion, die über den eigentlichen Bedarf hinausgeht
W aiting (engl.) = Warten	Verschwendungen von Zeit durch Warten auf den nächsten Prozessschritt
N on-utilized Talent (engl.) = nichtgenutztes Mitarbeiterpotenzial	Verschwendungen durch nicht ausgenutzte Fähigkeiten und Know-how der Mitarbeiter
T ransportation (engl.) = Transport	Verschwendungen durch unnötige Bewegungen von Beständen und Informationen
I nventory (engl.) = Bestände	Verschwendungen durch nicht bearbeitete Materialien und Bestände
M otion (engl.) = Bewegung	Verschwendungen durch unnötige Bewegungen von Mitarbeitern
E xtra-processing (engl.) = Blindleistung	Verschwendungen durch quantitative und qualitative Mehrleistung zum Kundenbedarf

Abbildung 10: Verschwendungsarten im Lean-Management⁵⁹

Praxisbeispiel 3: Lean-Management

Die Rhode & Schwarz Messgerätebau GmbH erhielt 2016 den Lean & Green Award für eine nahezu verschwendungsfreie Produktion am Standort Memmingen. In diesem Produktionswerk wird ein ganzheitlicher Lean-Management-Ansatz verfolgt, der den gesamten Standort in die Betrachtungen einbezieht. Die Verknüpfung von effizienter Ressourcennutzung und verschwendungsfreier Produktion wird durch eine konsequente Ausrichtung der Fertigung an den Wertströmen als auch durch die Durchfüh-

⁵⁹ In Anlehnung an Pointner und Steinhoff (2016), S. 31.

rung von Produktökobilanzen erreicht. Über diesen Weg wird schrittweise den festgelegten Zielzuständen nähergekommen.⁶⁰

Praxisbeispiel 4: Lean-Management

Die J. Schmalz GmbH ist ein Hersteller von Vakuumgreifern, also Produkten, die Werkstücke ansaugen, anheben oder festhalten. Die Versorgung der Bauteile in der Produktion ist dabei so organisiert, dass ein Überschuss im Lager sowie an den Arbeitsplätzen vermieden wird. Die Einzelfertigung (One-Piece-Flow) und das abgestimmte Logistiksystem, das nicht nur die Materialströme innerhalb der Produktion, sondern auch die Zulieferer mit Hilfe eines Kanban-Systems intelligent steuert (Kapitel 3.1.1), reduzierten die Lagerbestände um fast 50 %. Pro Jahr können so ca. 200 kg Aluminiumprofil und 2.600 kg Schaumstoff eingespart werden.⁶¹

3.1.5 Wertschöpfungsstufenübergreifende Mitarbeiter- und Projektteams

Eine wesentliche Voraussetzung, um die Ressourceneffizienz im Unternehmen zu steigern, ist die Integration der Mitarbeiter in den Optimierungsprozess (Abbildung 11).

⁶⁰ Vgl. Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG (2016).

⁶¹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017b).

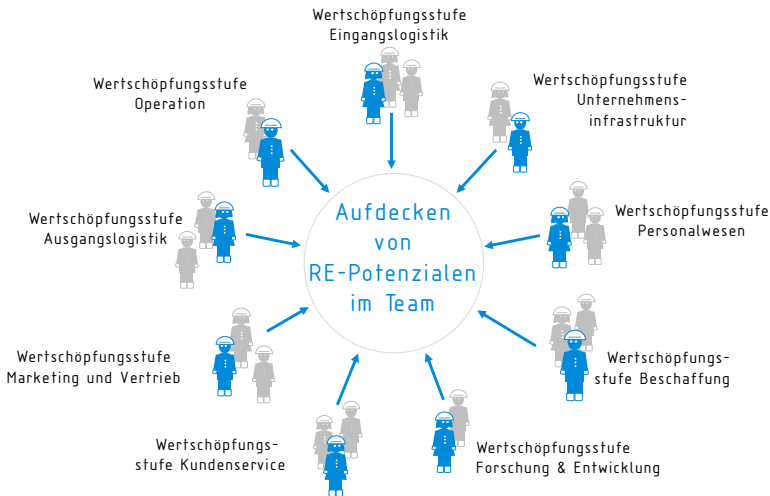


Abbildung 11: Wertschöpfungsstufenübergreifende Mitarbeiter- und Projektteams

Die Mitarbeiterkompetenz ist zudem eine treibende Kraft der Innovationsfähigkeit eines Unternehmens. In gebündelter Form, also in Mitarbeiter- und Projektteams, trägt sie dazu bei, Ressourceneffizienzpotenziale im Unternehmen aufzudecken und gemeinsam Lösungsoptionen abzuleiten

Das Ziel wertschöpfungsstufenübergreifender Mitarbeiter- und Projektteams umfasst die Sensibilisierung und das Verständnis für die Ziele und Aufgaben anderer Bereiche sowie das gemeinsame Analysieren von Schnittpunkten im Wertschöpfungsprozess des Unternehmens. Die verschiedenen Perspektiven z. B. aus produktionstechnischer Sicht, aus der Sicht des Kundenservice oder der Beschaffung fördern einen transparenten Umgang mit dem gesamten Material- und Informationsfluss.

Kritisch ist die Herausforderung, Mitarbeiter mit einem oftmals bereits ausgelasteten Arbeits-Zeit-Verhältnis für eine zusätzliche Projektarbeit aufzustellen. Die zusätzliche Projektbearbeitung zur Ressourceneffizienzsteigerung ist eine kontinuierliche Aufgabe und muss parallel zu den üblichen Alltagsaufgaben bewältigt werden.⁶² Durch eine frühzeitige Abstim-

⁶² Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 78.

mung innerhalb der Mitarbeiter- und Projektteams, z. B. mithilfe eines Simultaneous Engineering, können jedoch die zusätzlichen Aufgabengebiete effizient in die kontinuierlichen Tätigkeiten überführt werden.

Praxisbeispiel 5: Wertschöpfungsstufenübergreifende Mitarbeiter- und Projektteams

Die Laupheimer Kokosweberei GmbH & Co. KG stellt Fußmatten für die Automobilbranche sowie für Eingangsbereiche her. Pro Jahr fallen im Unternehmen rund 220.000 Euro an Materialverlusten an. Durch ein bereichsübergreifendes Team, insbesondere aus den Bereichen Einkauf, Vertrieb, Produktion, Qualitätsmanagement und der Geschäftsführung, wurde der Produktionsprozess kritisch hinterfragt und ein Ist-Stand aus den verschiedenen Sichtweisen herausgearbeitet. Im Ergebnis konnten die Materialverluste im Bereich der Stanzer und Cutter als Hauptursachequelle detektiert werden. Diesen und weiteren Verlustquellen wurde in kontinuierlichen Projekttreffen mit ausgearbeiteten Maßnahmen entgegengewirkt. Die Materialverluste im Fertigungsprozess sanken so um ca. 44.000 Euro. Die intensive Abstimmung zwischen Vertrieb, Einkauf, und Fertigungssteuerung verbesserte die Einplanung von Sonderbestellungen und verringerte die Menge an Ladenhütern. Neben weiteren Maßnahmen konnte die gesamte Wertschöpfung erhöht werden, da durch die Ausschussvermeidung die Arbeits- sowie Maschinenzeiten effizienter genutzt werden konnten.⁶³

Praxisbeispiel 6: Wertschöpfungsstufenübergreifende Mitarbeiter- und Projektteams

Die Festo AG & Co. KG produziert Steuerungs- und Automatisierungstechnik und plante eine Fabrik am Standort Scharnhausen zur Herstellung von Ventilen, Ventilinseln und Elektronik. Ziele der Neuplanung waren u. a. eine intelligente Automation und eine schlanke, nachhaltige sowie umweltbewusste Produktion. Letztere wurde u. a. durch das Teilprojekt „Energie und Umwelt“ bewerkstelligt, das sich aus einer interdisziplinär aufgestellten Arbeitsgruppe mit Mitarbeitern aus den Bereichen Produktion,

⁶³ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 78 – 81.

Gebäudemanagement, Energie und Umweltmanagement sowie Forschung zusammensetzte. Im Ergebnis entstand ein umfassendes Ressourceneffizienzkonzept des Gebäudes und des Produktionsprozesses, das Einsparungen von rund 78.000 Tonnen CO₂-Emissionen prognostizierte. So wird z. B. die Druckluft hocheffizient erzeugt und der Galvanikprozess umgestaltet. Im Fertigungsprozess wird auf Minimalmengenschmierung gesetzt. Ein Monitoring überwacht kontinuierlich den Strom- und Energiebedarf, so dass auf ungewöhnliche Abweichungen zügig reagiert werden kann. Ressourcen können demnach am effizientesten genutzt werden, wenn die Auslegung der Gebäudeinfrastruktur und der Produktionsprozesse aufeinander abgestimmt sind. Die Bildung der Arbeitsgruppe „Energie und Umwelt“ wurde dabei als wesentlicher Grundstein zur Erstellung des übergreifenden Konzepts, aber auch zur Erreichung der Zielstellungen eingeschätzt. In der Zukunft wird das Energie- und Umweltteam die Produktionsbereiche methodisch unterstützen und weitere Maßnahmen zur ressourceneffizienten Produktion umsetzen.⁶⁴

3.2 Ressourceneffizienzmaßnahmen auf technischer Ebene

Im letzten Kapitel wurden Ressourceneffizienzmaßnahmen aus strategischer Sicht betrachtet, d. h. wie ein Unternehmen in einer Lieferkette oder aber intern Ressourcen einsparen kann. Im folgenden Kapitel wird der Fokus auf die technische Ebene gerichtet. So werden Beispiele aufgezeigt, wie im Produktionsprozess selbst Einsparungen möglich sind. Wertschöpfung findet durch die Abfolge von Prozessstufen statt, die ein Produkt auf ein höheres Wertenniveau heben.

3.2.1 Simulation durchgängiger Prozessketten

Der Stofffluss innerhalb eines Betriebs ist meist durch eine Vielzahl an Prozessstufen gekennzeichnet. Jede Prozessstufe beinhaltet Parameter, mit denen die Fertigung gesteuert wird. Die große Anzahl an Parametern ermöglicht es, den Fertigungsprozess sehr präzise anzusteuern, macht diesen aber unflexibel für Änderungen und birgt das Risiko von Wechselwir-

⁶⁴ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 210 – 213.

kungen. Die Einführung neuer Bauteile, Serien oder Produkte oder auch technologische Fortschritte erfordern Veränderungen an Prozessen. Um die Auswirkungen der Änderungen auf Produktionsprozesse absehen zu können und diese möglichst ressourcenschonend zu gestalten, können durchgängige Prozessketten simuliert werden. So lassen sich mit bestimmten Bewertungsfaktoren, wie Bearbeitungszeiten oder Maschinenverfügbarkeiten, komplette Ketten oder Teile analysieren. Ziel der Simulation ist es, durch ein virtuelles Modell Materialströme so abzubilden, dass mögliche Auswirkungen von Änderungen auf den Prozess bewertet werden können. Eine Simulation kann in der Planung, der Realisierung und im Betrieb einer Prozesskette eingesetzt werden.⁶⁵ Entscheidend sind bei einer Simulation die Datengrundlage und -genauigkeit. Bei der Verwendung von Softwaresystemen wird nach Einsatzebenen unterschieden (Abbildung 12).

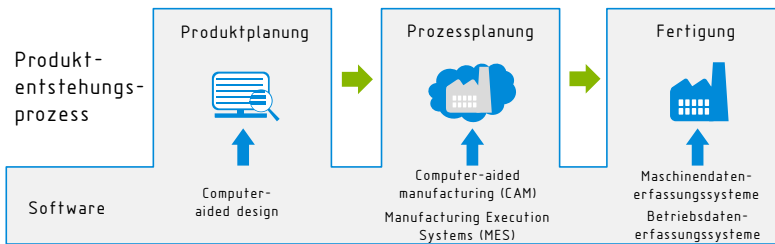


Abbildung 12: Softwaresystem zur Unterstützung des Produktentstehungsprozesses⁶⁶

Entlang des Produktentstehungsprozesses wird an mehreren Stellen Software eingesetzt. In der Produktplanung werden Produkte mit CAD(Computer-aided-design-)Software digital entworfen. Das CAD-Modell kann dann problemlos weiter zur Prozessplanung genutzt werden. Die Fertigungsschritte werden an diesem Bauteil virtuell geplant. Mit CAM-(Computer-aided-manufacturing-)Software lassen sich Bearbeitungsstrategien simulieren und optimieren. Bei der Umsetzung der realen Fertigung wird ein MES (Manufacturing execution system) eingesetzt, das hilft, die Fertigung in Echtzeit zu steuern und zu kontrollieren. Diese drei Systeme können ihre Daten an die jeweils anderen Systeme weiterreichen, die diese

⁶⁵ Vgl. VDI 3633 Blatt 1:2010-12, S. 7.

⁶⁶ In Anlehnung an VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2015).

für die weitere Planung und Optimierung der Fertigungsprozesse verwenden. Auch ist die Rückführung der Daten aus der Fertigung zur Produktplanung möglich, um so bestehende Produkte kontinuierlich zu verbessern.

Praxisbeispiel 7: Simulation durchgängiger Prozessketten

Die Firma Rieber stellt Blechkomponenten für Küchen, aber auch Flugzeugeinrichtungen mittels Tiefziehen, Glühen und Schweißen her. Ca. 35 % des verwendeten Edelstahls fallen durch Ausschuss und Verschnitt als Schrott an. Um den Materialeinsatz zu reduzieren, werden drei methodische Schritte vollzogen: Visualisierung der Materialströme, Visualisierung der dazugehörigen Informationsflüsse und abschließend die Implementierung von Mess- und Steuerungsgrößen zur Quantifizierung von Optimierungspotenzialen. Dafür wurde in ein neues Datenerfassungstool in der Produktion investiert. Das Materialflussmodell wird auf Grundlage der Produktionsdaten aus dem SAP-System von Rieber in Excel berechnet. Hierüber lassen sich dezidiert Fertigungsaufträge, Produktgruppen, Arbeitsplätze und Arbeitsschritte auswerten. Durch die Umsetzung von ersten Prozessoptimierungen, die sich aus der besseren Datenlage ergeben haben, konnte das Unternehmen bereits mindestens 5 % an Material einsparen, was einem Wert von ca. 400.000 Euro entspricht. Diese stellen jedoch nur die Einsparungen in der Umsetzungsphase dar - nach erfolgreicher Implementierung und Auswertung ist davon auszugehen, dass weitere Einsparungen erzielbar sind.⁶⁷

3.2.2 Umstrukturierung bestehender Prozessstufen

Eine Erweiterung, ein Austausch oder eine Eliminierung von Prozessstufen kann einen gesamten Produktionsprozess optimieren (Abbildung 13).

⁶⁷ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 146 – 149.

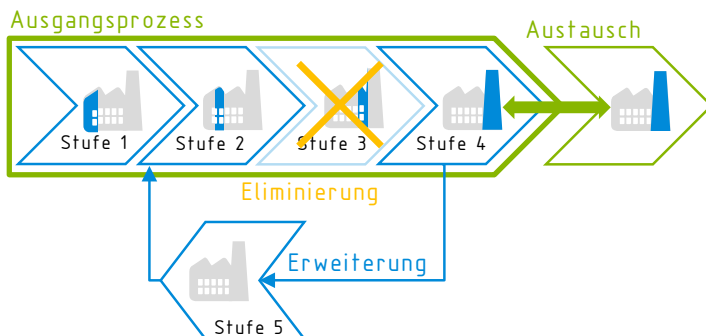


Abbildung 13: Erweiterung, Austausch und Eliminierung von Prozessstufen

Die Erweiterung von Prozessstufen kann den Gesamtprozessverlauf verbessern und gleichzeitig Ressourcen einsparen. Dies geschieht z. B. durch die Kreislaufführung von Reststoffen und Abfällen.

Beim Austausch von Prozessstufen werden einzelne oder mehrere Stufen ersetzt. Stehen neue Technologien oder Fertigungsverfahren zur Verfügung, die ressourceneffizienter produzieren, kann sich eine Investition schnell amortisieren. Hier wird die Prozessstufe beibehalten, nur die Art der Ausführung ändert sich. Eventuell auftretende Inkompatibilitäten mit vor- und nachgelagerten Prozessstufen sind aber zu beachten.

Bei der Eliminierung von Prozessstufen werden neue Technologien in anderen Prozessstufen eingesetzt, die dazu führen, dass auf nachfolgende Stufen komplett verzichtet werden kann. Für einen reibungslosen Ablauf sind die nachgelagerten Prozessstufen genau zu analysieren, so dass sichergestellt wird, dass das Produktionsgut alle Anforderungen an die nachgelagerten Stufen erfüllt.

Praxisbeispiel 8: Erweiterung von Prozessstufen

Die Eduard Merkle GmbH & Co. KG betreibt einen Steinbruch in Michelreishalde. Um die Ausbringung und die Lebensdauer des Kalksteinvorkommens zu steigern, stieß die Firma eine Prozessveränderung an. Die genutzte Kalksteinlagerstätte besteht zum Großteil aus hochreinem Kalk, der jedoch durch natürlich abgelagerte Tonminerale verunreinigt ist. Diese Minerale behindern die Weiterverarbeitung des Kalks, da sie die Farbe, die

chemischen Eigenschaften und die Körnung der Kalkmehle negativ beeinflussen. Ein Vorsieben des Ton-Kalk-Gemisches kann zwar die Tone entfernen, allerdings werden dabei auch 80 % des verwertbaren Kalksteins mit herausgefiltert. Der Kalk ist zusätzlich der Witterung ausgesetzt. Durch die Feuchtigkeit verkleben die Tone im Kalk und eine Trennung wird erschwert. Deshalb wurde eine Spannwell-Siebmaschine installiert, die das Siebgut stark beschleunigt. Das feuchte Gestein kann so durch die Überwindung der Adhäsionskraft des Wassers herausgesiebt werden. Zusätzlich wurde ein Schwerlastsieb durch ein Rollenrost ersetzt, das die Trennung der Fraktionen weiter verbesserte. Dies führte zu einer Reduktion des Abfalls von 20 % auf 10 %. Eine installierte Trockentrommel trennt die restlichen 10 % des Ton-Kalk-Gemischs. Durch die Drehbewegung kann der Ton vom Kalk abgerieben und gelöst werden. Die umgesetzten Maßnahmen erzielten zusammen Einsparungen von ca. 50.000 kWh elektrischer Energie, 20.000 l Dieselkraftstoff und 5 t Sprengstoff pro Jahr.⁶⁸

Praxisbeispiel 9: Austausch von Prozessstufen

Die ElringKlinger AG aus Dettingen/Erms erzielte eine Ressourceneffizienzsteigerung durch den Austausch einer Prozessstufe. Die Firma produziert Dichtelemente aus Metall für die Automobilindustrie. Formdichtringe für Abgasturbolader werden mittels Stanz- und Biegeprozessen hergestellt. Bei diesem Verfahren fallen, bedingt durch die Geometrie der Dichtringe, 90 % Stanzabfall an. Da die verwendete Nickelbasislegierung der Dichtringe zwischen 50 und 500 Euro/kg kostet, wurde der Fertigungsprozess so überarbeitet, dass weniger Stanzabfall resultiert. Hierzu entwickelte die Firma über fünf Jahre ein neues Verfahren, das den Stanzprozess ersetzt. In dem neuen Prozess wird ein schmales Metallband stückweise auf die gewünschte Länge gekürzt, zu einem Ring geformt und verschweißt. Anschließend wird der Ring durch den neuen Rollierprozess in die gewünschte Form gebracht. Zusätzlich wurden Kontrolleinheiten in den neuen Prozess integriert, die das Bauteil direkt nach der Umformung prüfen und ggf. aussortieren. Dies reduziert die Bauteilmenge, die in den folgenden Prozessstufen weiterverarbeitet wird. Durch den Austausch der Prozessstufe

⁶⁸ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 58 – 61.

reduzierte die Firma die Einsatzmenge an Nickelbasislegierungen um ca. 21 t. Zusätzlich resultieren weitere, nicht quantifizierbare Einsparungen in Transport- und Einschmelzprozessen.⁶⁹

Forschungsprojekt 2: Eliminierung von Prozessstufen

Das von der DBU geförderte Projekt „Umweltfreundliche Prozessketten in der Kaltmassivumformung von Abschnitten durch den Verzicht auf nass-chemisch aufgebrauchte Konversionsschichten“ beschreibt die Neuentwicklung von Einschichtschmierstoffen in der Kaltmassivumformung. In diesem Projekt konnte nachgewiesen werden, dass die Nutzung alternativer Schmiermittel die energieintensive und umweltbelastende Prozessstufe der Zinkphosphatbeschichtung unnötig macht. In dieser Prozessstufe werden Schmierstoffträgerschichten aus Zinkphosphat mit reaktiver Seife kombiniert. Dieses Verfahren verbraucht viel Wasser und ist durch einen hohen Chemikalieneinsatz gekennzeichnet. Durch die Komplexität des Verfahrens werden die Bleche erst behandelt und dann zwischengelagert. Zudem müssen die Phosphatierschlämme aufwendig entsorgt werden. Als Alternative wurden Schmierstoffe auf Basis von Molybdändisulfid, Polymer und Salzwachs getestet. Im Rahmen des Projekts konnte gezeigt werden, dass der Schmierstoff auf Molybdändisulfid den Belastungen in mehrstufigen Prozessen sehr gut standhalten kann und ähnliche Ergebnisse erzielt wie Zinkphosphatbeschichtungen. Durch den Einsatz der neuartigen Einschichtschmierstoffe kann auf die Prozessstufe der Zwischenlagerung verzichtet werden. Die Behandlung der Bleche erfolgt im Takt der Anlage. Des Weiteren entfällt die Entsorgung der Phosphatschlämme.⁷⁰

3.2.3 Wertstoffrecycling und Kreislaufführung

Reststoffe, Ausschuss, aber auch Betriebsstoffe fallen produktionsbedingt in verschiedenen Prozessstufen an.⁷¹ Betriebsinterne Recyclingprozesse führen die sogenannten Umlaufmaterialien im Kreislauf (Abbildung 14). Dadurch kann einerseits Material eingespart werden, jedoch müssen ande-

⁶⁹ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 130 - 133.

⁷⁰ Vgl. Ludwig et al. (2016).

⁷¹ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 36.

rerseits weitere Energie und Betriebsmittel zur Aufbereitung der Wertstoffe aufgewendet werden.⁷²

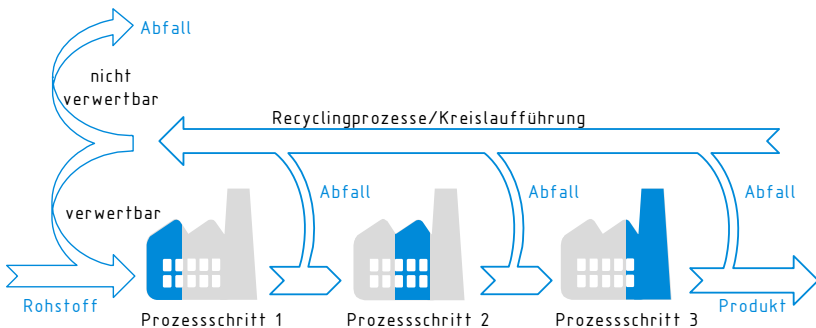


Abbildung 14: Schematische Darstellung der internen Kreislaufführung

Um die Aufwände für die Kreislaufführung so gering wie möglich zu halten, sollten Produktionsprozesse optimiert und die Ausschussquoten gesenkt werden. Nicht vermeidbarer Ausschuss sollte möglichst sortenrein erfasst werden, um die Rückführung in den Produktionsprozess technisch einfach und ressourcenarm zu gestalten. Fehlen entsprechende Kapazitäten im Unternehmen, interne Recyclingprozesse durchzuführen, oder sind die Ausschussmengen so gering, dass sich eine Installation nicht rentiert, kann auf eine betriebsexterne Verwertung zurückgegriffen werden. Zusätzlich kann geprüft werden, ob anliegende Unternehmen die anfallenden Reststoffe wiederum als Ausgangsstoff für deren Produktion einsetzen können.⁷³

Praxisbeispiel 10: Wertstoffrecycling und Kreislaufführung

Die Firma Rhein Chemie Additives, eine Tochter des Lanxess Konzerns, fertigt am Standort Mannheim eine Komponente für die Herstellung von Polycarbonaten. Für die Produktion dieser Komponente wird Phenol als Reaktant in einem Batch-Verfahren eingesetzt. Im Herstellungsverfahren

⁷² Vgl. Liesegang und Sterr (2003), S. 266.

⁷³ Diese Maßnahme wird ausführlicher in der Kurzanalyse „Ressourceneffizienz durch Nullemissionsgewerbegebiet“ beschrieben. Die Kurzanalyse ist abrufbar unter <https://www.ressource-deutschland.de/publikationen/kurzanalysen/>

läuft eine mehrstufige Gleichgewichtsreaktion ab. Hierbei wird das Phenol überschüssig eingesetzt. Es wird mehr Phenol hinzugegeben, als tatsächlich umgesetzt wird. Somit bleiben nach dem Verfahren phenolhaltige Rückstände zurück. Durch die Toxizität der Rückstände ist die Entsorgung in einer Kläranlage nicht zulässig und eine chemische Auftrennung der Rückstände wird durch andere gelöste Stoffe behindert. Die Entsorgung erfolgt daher bisher über eine kostenintensive Sondermüllverbrennung.

Da die Rückstände recycelbar sind, jedoch keine Verfahrenslösungen am Markt verfügbar waren, modifizierte die Firma Rhein Chemie Additives die bestehende Prozessinfrastruktur, ohne zusätzliche Destillationskolonnen zu installieren. Über die umgebauten Verfahren ist es möglich, das Phenol aus dem Abwasser zu trennen und es wieder dem Prozess zuzuführen. Der geschlossene Phenolkreislauf spart jährlich rund 150 t Phenol ein. Zusätzlich entfallen 150 t Abwasser und zwölf Tankzüge, die das zuvor benötigte Phenol geliefert haben. Das entspricht ca. 1000 l Diesel pro Jahr.⁷⁴

Praxisbeispiel 11: Wertstoffrecycling und Kreislaufführung

Die Brugger GmbH stellt Produkte mit Magnetsystemen her. Hierzu zählen Greifereinheiten sowie Dekorations- und Organisationsmagnete. Um die Magnete selbst vor Umwelteinflüssen zu schützen, werden diese mit einem thermoplastischen Elastomer ummantelt. Diese Ummantelung wird firmenintern mittels Spritzguss aufgebracht. Ein Großteil des Kunststoffangusses wird nach dem Spritzgussvorgang entsorgt, nur ein kleiner Teil wird durch eine Kunststoffmühle wieder aufbereitet. Dieser Prozessschritt verursacht eine starke Staubentwicklung und verschlechtert die Materialqualität. Deshalb wurde ein Regranulator installiert, der die Angussreste homogen aufschmilzt und als Strang presst. Der Kunststoffstrang wird dann in gleichmäßiges Granulat zerkleinert, welches problemlos dem Primärmaterial beigemischt werden kann. Mit dieser Maßnahme spart die Firma jährlich ca. 7 t Kunststoff ein. Das entspricht rund 4.200 Euro.⁷⁵

⁷⁴ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 102 – 105.

⁷⁵ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 122 – 125.

3.2.4 Condition Monitoring und Predictive Maintenance

Als „Condition Monitoring“ wird die Zustandsüberwachung von Systemen in Echtzeit verstanden. Die Daten werden im laufenden Betrieb durch Sensoren erfasst, zentral gesammelt und ausgewertet. Durch diese Datenerfassung lassen sich Rückschlüsse auf den aktuellen Betriebszustand der Anlagen ziehen, so dass der laufende Betrieb optimiert werden kann (Abbildung 15).⁷⁶

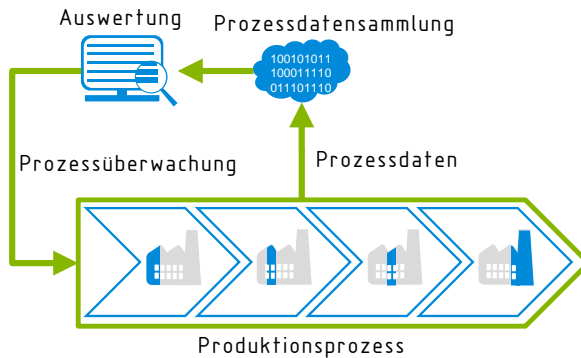


Abbildung 15: Schematischer Aufbau des Condition Monitorings

Die prädiktive Wartung oder „Predictive Maintenance“ geht über das reine Überwachen hinaus und steht für die vorausschauende Wartung technischer Systeme durch den Einsatz von Sensorik und Informationstechnologie.⁷⁷ Hierbei wird durch das Sammeln von Daten und deren Auswertung während des Betriebs auf die Restlebensdauer von Betriebsmitteln und Werkzeugen geschlossen. Wartungsintervalle lassen sich so sehr genau einstellen. Dadurch können unnötige Wartungen durch zu frühes Austauschen vermieden und auch Ausfallzeiten durch defekte und verschlissene Bauteile minimiert werden. Die Datenerfassung wird durch Sensorik an den Maschinen in Echtzeit vorgenommen und durch ein Netzwerk an zentraler Stelle gesammelt. Die Datenauswertung erfolgt durch passende Algorithmen, die in den Daten bestimmte Muster erkennen und somit ein Fehlerbild interpretieren können. Die Fehlerbilder werden dann zur Vor-

⁷⁶ Vgl. Schebek (2017), S. 157

⁷⁷ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2015b), S. 25

her sage von Ausfallzeiten verwendet. Bisher sind die Daten meist nur zur aktuellen Zustandsmessung des laufenden Prozesses eingesetzt worden.⁷⁸

Eine Möglichkeit der Prozessverbesserung besteht auch in der Kooperation mit Maschinenausrüstern, mit denen Produktionsprozesse aufgebaut werden. Dabei kann eine selektive Datenweitergabe langfristig zur Optimierung von Prozessanlagen beitragen (Abbildung 16).⁷⁹

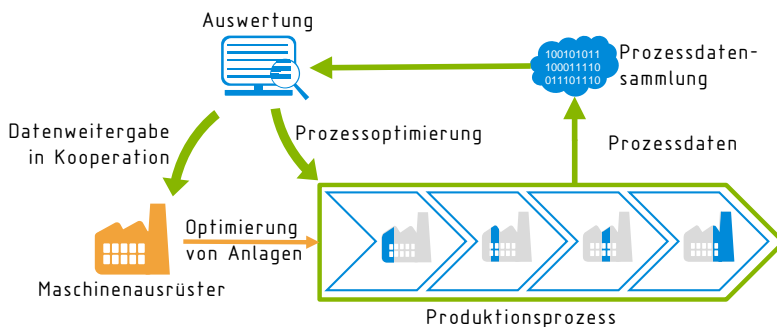


Abbildung 16: Schematischer Aufbau des Predictive Maintenance

Praxisbeispiel 12: Condition Monitoring und Predictive Maintenance

Die Sicos BW GmbH ist eine Ausgründung der TU Stuttgart und des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Die vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg geförderte Firma berät KMU kostenneutral zu den Themen Simulation und Big-/Smart-Data.⁸⁰ Eine Beratungsleistung bestand in der Datenaufbereitung für die Hermle AG. In diesem Fall wurden Zustandsdaten der Maschinen aus zwölf Monaten ausgewertet. Achsenzustände von Bearbeitungszentren wurden begutachtet und in Verfahrprofile gegliedert. Damit ließen sich Potenziale für eine mögliche Fernwartung identifizieren. In einem zweiten Schritt wurden Lernverfahren eingesetzt, die dann mit den Daten unterstützende Vorausagen treffen konnten. Es wurden automatische Datenauswertungen der

⁷⁸ Vgl. Feldmann et al. (2017), S. 3.

⁷⁹ Vgl. Schebek (2017), S. 158.

⁸⁰ Vgl. Karlsruher Institut für Technologie (2017).

Maschinenzustände implementiert, mit deren Hilfe Maschinenausfälle minimiert werden konnten.⁸¹

Praxisbeispiel 13: Condition Monitoring und Predictive Maintenance

Ein Beispiel für die wertschöpfungsstufenübergreifende Kooperation beim Condition Monitoring, das sich an einem Produkt anstelle eines Produktionsprozesses orientiert, ist die Zusammenarbeit zwischen der CMC GmbH und Windparkbetreibern. Hier werden Anlagendaten von Windenergieparks kontinuierlich erfasst und an die Firmenzentrale in Kiel gesendet. Dort werden die Daten gesammelt und ausgewertet. Auftretende Fehler werden durch die Mitarbeiter identifiziert und den Windparkbetreibern gemeldet. Die gesammelten Daten werden außerdem bei geplanten Wartungen herangezogen. Es lässt sich so im Voraus feststellen, ob die Wartung vor Ort durchgeführt werden kann oder im Werk des Instandhalters stattfinden muss. Des Weiteren lassen sich die zu wechselnden Komponenten schon im Vorfeld bestellen, so dass es bei der Wartung nicht zu Verzögerungen kommt. Die Ausfallzeiten konnten durch diese Maßnahmen halbiert werden.⁸²

3.2.5 Gemeinsame Nutzung von Betriebsmitteln (Unternehmenspools)

Die Möglichkeit der gemeinsamen Nutzung von Betriebsmitteln über mehrere Betriebe hinweg bietet ein großes Ressourceneffizienzpotenzial. So lassen sich z. B. Maschinen durch die gemeinsame Nutzung optimal auslasten, da unnötige Stillstandszeiten auf der Seite der bereitstellenden Firma vermieden werden. Die nutzende Seite kann durch das Angebot kurzfristige Schwankungen in der Auftragslage besser abfedern, ohne eine kostintensive Anschaffung neuer Maschinen zu tätigen.

Die gemeinsame Nutzung von Ressourcen wird auch „Sharing/Collaborative Economy“ genannt. Die Idee ist hierbei, dass in einem Zusammenschluss von Firmen keines der Unternehmen einen kompletten

⁸¹ Vgl. SDSC BW (2017).

⁸² Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017c).

Maschinenpark bereitstellt, sondern nur einen Teil der notwendigen Maschinen besitzt. Für Arbeiten, die nicht selbst erledigt werden können, wird dann eine Firma in diesem Netz beauftragt. So lassen sich insgesamt Kosten verringern und die Maschinenauslastung optimieren. In Abbildung 17 ist die Zusammenarbeit schematisch dargestellt. Hierbei lagert Firma A die Produktion teilweise bei den Firmen B, C und D aus. Umgedreht können diese drei Partner Teile ihrer Produktion in Firma A durchführen lassen.⁸³

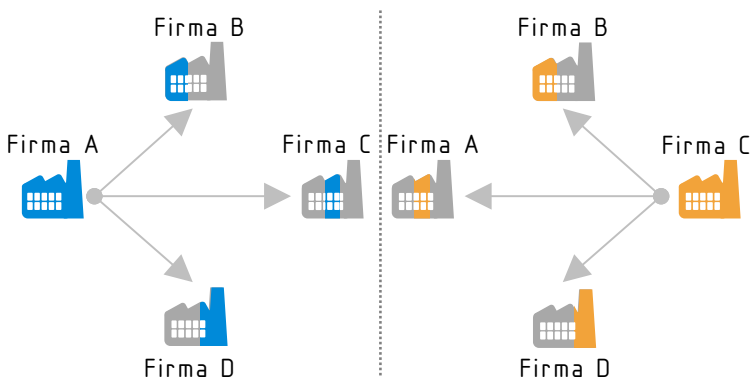


Abbildung 17: Schema einer Kollaboration mehrerer Firmen mit ausgelagerter Fertigung aus Sicht zweier beteiligter Firmen

Praxisbeispiel 14: Gemeinsame Nutzung von Betriebsmitteln

Ein Tischlermeister aus Hildesheim setzt bei der Fertigung von Holzmöbeln auf eine Kooperation mit anderen Unternehmen. Einige der Aufträge können direkt beim Kunden durchgeführt werden. 60 % - 70 % der Aufträge fallen jedoch in den Bereich der Möbelfertigung. Dazu wird eine Werkstatt mit entsprechender Ausstattung benötigt, über die der Tischlermeister nicht verfügt. Über eine Kooperation mit fünf anderen Tischlereien in der Umgebung steht dem Tischlermeister die notwendige Maschinerie zur Verfügung. Bei eingehenden Möbelfertigungsaufträgen werden freie Werkstatt- bzw. Maschinenkapazität der kooperierenden Tischlereien mittels E-Mail oder Telefon abgefragt. Wird eine positive Rückmeldung in einer der

⁸³ Vgl. Christmann (2016).

Tischlereien gegeben, kann sich der Tischlermeister dort einmieten. Die Abrechnung erfolgt dabei mit einem festen Stundensatz. So kann der Tischlermeister seine Kostenbelastung gering halten und hat gleichzeitig eine große Auswahl an unterschiedlichen Maschinen zur Verfügung.⁸⁴ Die kooperierenden Tischlereien profitieren von einer hohen Maschinenauslastung sowie den Mieteinnahmen.

3.2.6 Kaskadennutzung

Die Kaskadennutzung steht für eine Nutzung von Rohstoffen und Produkten in aufeinanderfolgenden Schritten. Ziele der Kaskadennutzung sind die Steigerung der Ressourceneffizienz und die Verringerung des Abfallaufkommens. Rohstoffe und Produkte werden möglichst lange im System gehalten, sodass ein hohes Wertschöpfungsniveau bestehen bleibt. Eine einmalige Umwandlung eines Rohstoffs in ein Endprodukt mit anschließender Verwertung beschreibt dabei eine einstufige Kaskade. Findet eine mehrfache Verwertung der Endprodukte statt, spricht man von einer mehrstufigen Kaskadennutzung.⁸⁵

Üblicherweise findet die Kaskadennutzung im Bereich der Biomasseverwertung ihren Einsatz (Abbildung 18). Verschiedene Arten von Rohstoffen weisen Potenziale für die Kaskadennutzung auf. Hierzu gehören Holz, Papier, biobasierte Kunststoffe und auch Textilien.⁸⁶ So wird Rundholz zunächst zu Vollholz weiterverarbeitet, welches dann wiederum nach der regulären Nutzungszeit zu Spanholz gepresst werden kann. Hieraus lässt sich anschließend Papier gewinnen, das in der vorletzten Kaskadenstufe zu chemischen Produkten umgewandelt wird. Im letzten Schritt erfolgt die energetische Verwertung. Diese kann prinzipiell nach jeder Stufe durchgeführt werden, was die Kaskaden deutlich verkürzt.

⁸⁴ Vgl. handwerk.com (2018).

⁸⁵ Vgl. Kosmol et al. (2012), S. 10.

⁸⁶ Vgl. Kosmol et al. (2012), S. 24.

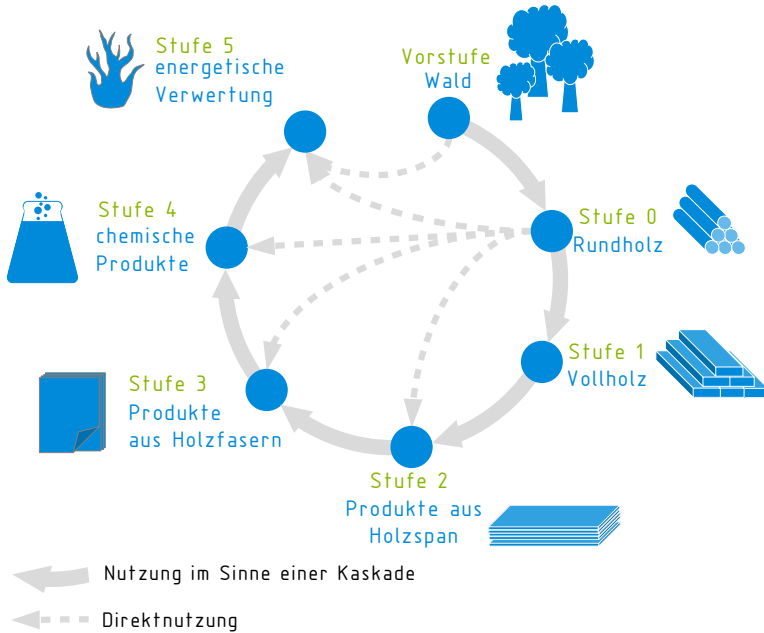


Abbildung 18: Schematischer Ablauf der Biomassekaskadennutzung⁸⁷

Praxisbeispiel 15: Kaskadennutzung

In einem geförderten Projekt des Nova-Instituts für politische und ökologische Innovation aus Hürth wird der Versuch unternommen, Gärreste von Biogasanlagen als Holzprodukte zu nutzen. So wird in dem Modellversuch die Gärmasse zunächst über ein Verfahren von anorganischen Stickstoffbestandteilen befreit. Die gereinigte Gärmasse wird im weiteren Verlauf als Rohstoff für die Produktion von Span- und Faserplatten mit mittlerer oder hoher Dichte verwendet. Die Faserplatten werden dann als Ausgangsmaterial für die Produktion von Laminatfußböden eingesetzt. Der Modellversuch hat gezeigt, dass das Verfahren im Modellfall bis zu 386 t CO₂-Äquivalente pro Jahr einspart.⁸⁸

⁸⁷ In Anlehnung an Höglmeier et al. (2015), S. 335 – 346.

⁸⁸ Vgl. Essel et al. (2015).

4 DATEN- UND MATERIALFLUSSANALYSEN IN DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE

4.1 Verknüpfung von Datenflüssen mit dem durchgängigen Engineering

Das durchgängige Engineering ist neben der vertikalen und der horizontalen Integration⁸⁹ einer der drei Grundpfeiler von Industrie 4.0. Zur wertschöpfungsstufenübergreifenden Vernetzung von Akteuren und Produktionsmitteln ist nicht nur die physische Vernetzung, sondern auch die Verknüpfung der zugehörigen Daten und Datenflüsse verlustfrei zu gewährleisten.⁹⁰ Das durchgängige Engineering ermöglicht diesen schnellen und zielgerichteten Zugriff auf die richtigen Daten zum Zeitpunkt des Bedarfs.⁹¹

Der Datenfluss zwischen Wertschöpfungsstufen kann in drei Klassen eingeteilt werden: den produktbezogenen Datenfluss, den produktionsanlagenbezogenen Datenfluss und den auftragsbezogenen Datenfluss (Tabelle 4).

⁸⁹ Im Sinne von Industrie 4.0 beschreibt die vertikale Integration die Vernetzung von Produktionsmitteln auf allen Unternehmensebenen, während die horizontale Integration die Vernetzung aller Maschinen, Geräte und Mitarbeiter einer Unternehmensebene mit der Wertschöpfungskette, also zwischen Unternehmen, umfasst. (Schebek et al. (2017), S. 19)

⁹⁰ Vgl. Drumm et al. (2016), S. 2.

⁹¹ Vgl. Process (2016).

Tabelle 4: Beispiele für durchgängige Informationsflüsse zwischen Wertschöpfungsstufen⁹²

Daten- und Informationsfluss		Vorteile
Beispiel für den PRODUKTBEZOGENEN DATENFLUSS		
von der Produktentwicklung	zum Anlagenbau	<ul style="list-style-type: none"> - frühzeitige Auswahl und Adaption geeigneter Produktionsverfahren - Absicherung von in der Produktentwicklung spezifizierter Eigenschaften - Abbildung von Produktionsschritten auf Basis der Produkt(linien)daten
Beispiel für den PRODUKTIONSANLAGENBEZOGENEN DATENFLUSS		
vom Anlagenbau	zum Lieferanten von Anlagenbauteilen	<ul style="list-style-type: none"> - gewerkübergreifende Passfähigkeit der Anlagenbauspezifikationen wird sichergestellt - erleichterte Abnahme der Anlagenspezifikationen
Beispiel für den AUFTRAGSBEZOGENEN DATENFLUSS		
vom Vertrieb	zur Produktionsplanung (operativ) und zur Produktion	<ul style="list-style-type: none"> - Überprüfen der Kundenwünsche auf verfügbare Produktionskapazitäten - Umsetzen der Kundenwünsche ohne Informationsverlust und ohne Zeitverzug - genaue Kapazitätsplanung durch Informationen der Auftragslage

Zwischen den Wertschöpfungsstufen eines oder mehrerer Unternehmen sowie zwischen Kunden und Unternehmen werden über das durchgängige Engineering Dateninformationen optimiert übermittelt. Eine Voraussetzung dafür sind gleiche Dateiformate, um eine Übertragungskompatibilität zu gewährleisten. Das AutomationML (Automation Markup Language) ist beispielsweise ein solches Dateiformat und wurde als freier Standard für die Speicherung und den Austausch von Anlagenplanungsdaten entwickelt.⁹³

4.2 Materialflussanalyse und rechnergestützte Simulationen

4.2.1 Analyse von Materialflüssen nach VDI 2689

Die Ermittlung von wertschöpfungsstufenübergreifenden Ressourceneffizienzpotenzialen bedarf einer Analyse der Material- und Stoffströme entlang der betrachteten Wertschöpfungskette (Abbildung 1). Änderungen am Produktionsablauf und -standort, Änderungen in Produktionsprozessen, hohe Kosten und Probleme der Lagerhaltung sowie der Materialbeschaf-

⁹² Vgl. Drumm et al. (2016). S. 5 – 8.

⁹³ Vgl. AutomationML (2018).

fung können über eine Materialflussanalyse zugunsten einer Ressourcenoptimierung detektiert und analysiert werden. Kennwerte, die in einer Materialflussanalyse dazu untersucht werden, sind Produkte, Mengen, Flächen/Wege, Abläufe/Sequenzen, Kosten und Zeiten.⁹⁴

Nach dem Festlegen einer Zielstellung erfolgt eine Materialflussanalyse in acht Schritten. Als Ergebnis resultieren verschiedene Lösungen, von denen die günstigste Lösung gewählt wird. Diese ist umzusetzen und mit der ursprünglichen Zielstellung abzugleichen (Abbildung 19).



Abbildung 19: Ablaufschema einer Materialflussanalyse⁹⁵

Methoden, um den Materialfluss zu analysieren und Daten zu erfassen, sind u. a. die 7W-Methode und der Einsatz von Materialflussmatrizen. Bei der 7W-Methode werden anhand von sieben Fragewörtern (was, woher, wohin, warum, wie oft, wie viel, wie lange) Objekte im Materialfluss beschrieben und katalogisiert. Materialflussmatrizen verknüpfen alle Betriebsbereiche und die jeweilige Materialflussintensität mit anderen Unter-

⁹⁴ Vgl. VDI 2689: 2010-05, S. 3.

⁹⁵ In Anlehnung an VDI 2689: 2010-05, S. 6.

nehmensbereichen. Die so erfassten Daten können dann auf Betriebspläne übertragen werden, um den Materialfluss als konkrete Darstellung zu erhalten. Die VDI 2689 enthält darüber hinaus Checklisten, mit denen wichtige Angaben zur Materialflussplanung aus den allgemeinen Unternehmensdaten abgeleitet werden können.⁹⁶

4.2.2 Simulation von Stoffströmen nach VDI 3633

Eine rechnergestützte Simulation hilft, die wachsende Komplexität der Produktion und des Warenverkehrs sowie die zusätzlich steigenden Anforderungen an die Produkt- und Prozessqualität zu modellieren bzw. zu berücksichtigen. Simulation bedeutet das Modellieren eines dynamischen, technischen Systems, um daraus Rückschlüsse auf ein reales System überführen zu können. So können ohne große Investitionen Lösungen für Problemstellungen in simulierten Modellen betrachtet, durchprobiert und vor der Realisierung auf eine Machbarkeit getestet werden.⁹⁷

Die Simulation kann entlang der gesamten Wertschöpfungs- bzw. Lieferkette, also unternehmensintern und -übergreifend, angewendet werden. Der Einsatz erfolgt in der Planungs-, der Realisierungs- sowie in der Betriebsphase von Prozessen (Tabelle 5).

⁹⁶ Vgl. VDI 2689: 2010-05, S. 11 – 12.

⁹⁷ Vgl. VDI 3633 Blatt 1: 2010-12, S. 3.

Tabelle 5: Anwendungsfelder und Nutzungsmöglichkeiten der Simulation⁹⁸

Anwendungsfelder	Nutzungsmöglichkeiten
Planungsphase	Sicherung und Optimierung von Prozessen
Vorhandene Anlagen	Verbesserung bestehender Anlagen durch die Optimierung der Ausbringung und Identifizierung von Schwachstellen, Untersuchung des Einflusses von sich verändernden Variablen auf den laufenden Prozess
Neu geplante Anlagen	Nachweis des Funktionskonzeptes der Anlage, Optimierung der Anlagendimensionierung
Realisierungsphase	Einfahren der Anlage und Vorbereitung der Mitarbeiter
Leistungstest	Überprüfung der Anlagenleistung bei systematischer Erhöhung der Auslastung bis zur Kapazitätsgrenze
Variabilitätsprüfung	Erprobung des Systemverhaltens durch Verändern von Prozessparametern und Systemzuständen im Betrieb, Anforderungsänderungen bei der Aufbauphase der Anlage
Mitarbeiterschulung	Einarbeitung der Mitarbeiter an der Anlage und Training für den Fall des Eintretens von Störungen und Notfällen
Betriebsphase	Bewertung der Auswirkungen von Ablaufvarianten und Störfällen auf die Anlage
Variantenuntersuchung	Untersuchung des operativen Betriebsablaufes bei Modifikation von Produkten
Notfalluntersuchung	Testen der Auswirkung, die Notfälle oder Sofortmaßnahmen auf den laufenden Prozess haben
Variantenprüfung	Analyse von möglichen Änderungen der Produktvarianten für zukünftige Auftragsabwicklung

Der Ablauf einer Simulation lässt sich in drei Phasen gliedern: die Vorbereitungsphase (Punkt 1 - 3), die Handlungsphase (Punkt 4) und die Auswertungsphase (Punkt 5 - 6). Vor der Simulation muss die eigentliche Problemstellung klar formuliert werden, um eine geeignete Aufgabe und Zielstellung abzuleiten (Abbildung 20).

⁹⁸ Vgl. VDI 3633 Blatt 1: 2010-12, S. 6 - 9.

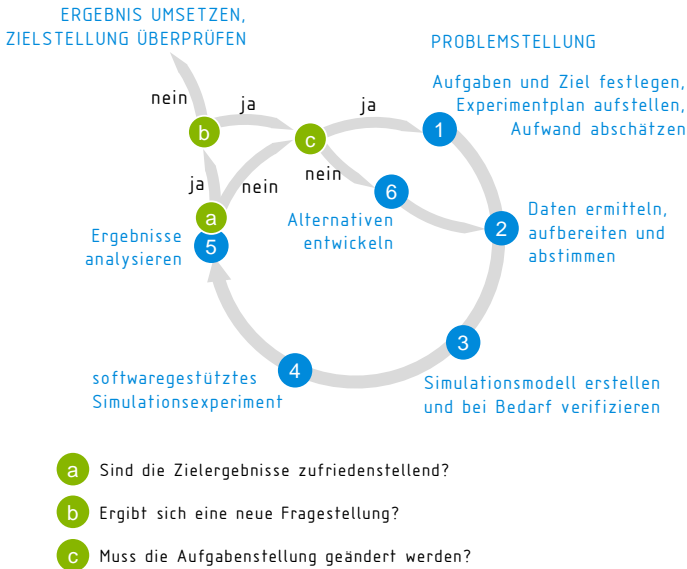


Abbildung 20: Simulationsablauf⁹⁹

Die Simulation bzw. Modellierung dient dem Aufbau eines vereinfachten Modells des abzubildenden Systems. Dieses Modell wird auf die notwendigen Prozessschritte reduziert. Der Detaillierungsgrad des Modells trägt maßgeblich zum Umfang der Simulation bei, daher sollte genau geprüft werden, welche Prozessparameter notwendig sind. Die Vorteile der Simulation liegen in der gezielten Prozessoptimierung ohne Unterbrechung des laufenden Betriebs als auch in einer schnellen Einarbeitung von Mitarbeitern in neue Systeme.

⁹⁹ In Anlehnung an VDI 3633 Blatt 1: 2010-12, S. 19.

5 AKTUELLE UND KÜNFTIGE WERTSCHÖPFUNGSSTRUKTUREN

5.1 Ausgewählte Instrumente von Wertschöpfungsnetzen

Der Wandel weg von ursprünglichen Supply Chains (lineare Lieferketten) hin zu Wertschöpfungsnetzen ist hoch aktuell.¹⁰⁰ Getragen von der Globalisierung, dem Aufkommen neuer Technologien in verkürzten Zeitabständen und der Produktindividualisierung wird sich dieser Trend auch in Zukunft verstärken. Unternehmen mit unbeweglichen Produktionsbedingungen müssen sich in absehbarer Zeit zu einem gewissen Grad an die flexiblen Wirtschaftsstrukturen anpassen (Abbildung 21).¹⁰¹

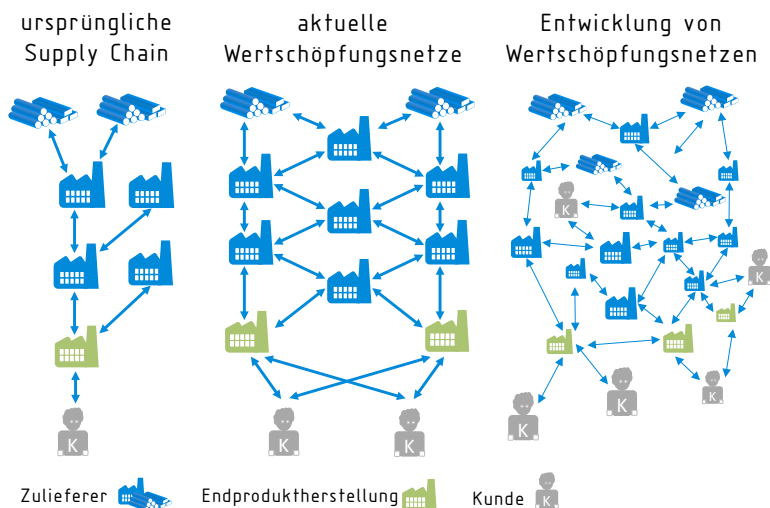


Abbildung 21: Wertschöpfungsstrukturen von Supply Chains¹⁰²

Verschiebungen entlang der Wertschöpfungskette und eine steigende Komplexität der Wertschöpfungsstrukturen konnten in den letzten Jahren in vielen Branchen beobachtet werden. Die Kernkompetenzen von Unter-

¹⁰⁰ Vgl. Walther (2010), S. 1 – 4.

¹⁰¹ Vgl. Schellmann (2012), S. 9.

¹⁰² In Anlehnung an Ammer et al. (2015).

nehmen gestalten sich immer spezialisierter, sodass die kleinteiligen Wertschöpfungsstrukturen genutzt und ein intensiver Austausch zwischen den Wertschöpfungsstufen forciert werden muss.¹⁰³ Wertschöpfungsnetze werden als ein „Netz von Unternehmen definiert, in dem unternehmensübergreifend Leistungen mit der Absicht zur Gewinnerzielung erstellt werden“¹⁰⁴. Die notwendige Interaktion von Unternehmen erschließt dabei weitere Ressourceneffizienzpotenziale, Kosteneinsparungen und Wettbewerbsvorteile, wie die Beispiele in Kapitel 3 gezeigt haben. In diesen Beispielen werden Instrumente eingesetzt, die eine Verknüpfung von Wertschöpfungsstufen ermöglichen bzw. den Wandel hin zu Wertschöpfungsnetzen forcieren. In Abbildung 22 werden die in Kapitel 3 aufgeführten Instrumente zusammengefasst, sind jedoch nicht als abschließend zu verstehen (mittlerer Kasten).



Abbildung 22: Auswahl von Instrumenten künftiger Wertschöpfungsnetze¹⁰⁵

¹⁰³ Vgl. Kaiser (2018), S. 60.

¹⁰⁴ Schellmann (2012), S. 9.

¹⁰⁵ In Anlehnung an Bernardy (2017), Folie 8.

Insbesondere die Technologiecluster der Industrie 4.0 bilden wesentliche Enabler, um die Instrumente künftiger Wertschöpfungsnetze weiterzuentwickeln und zu optimieren (Abbildung 22, oberer Kasten). Beispielsweise wird im Rahmen des Predictive Maintenance die Prozessfähigkeit (von Produktionsprozessen) anhand von Echtzeitdaten kontrolliert. Durch den Einsatz von Sensorik resultieren für die Ist-Zustandsmessung schnellere, akkuratere und umfangreichere Datensätze, die gleichzeitig zur Optimierung der Anlage genutzt werden können (Kapitel 3.2.4).

Industrie 4.0 bedeutet die Verbindung der digitalen Welt des Internets mit den konventionellen Prozessen und Diensten der produzierenden Wirtschaft.¹⁰⁶ Die sechs Technologiecluster als Grundlage zur Umsetzung von Industrie 4.0 sind folgendermaßen charakterisiert (Abbildung 22):¹⁰⁷

- **Aktorik:** Manipulation eines betrachteten Systems durch Hard- oder Software (z. B. durch Roboter)
- **Datenverarbeitung und -analyse:** Generierung von Informationen und Wissen aus Daten (z. B. durch Auswertungssoftware)
- **Sensorik:** Datenerzeugung und Datenerfassung (z. B. durch Sensoren)
- **Übertragungstechnologien:** Übermittlung von Rohdaten (z. B. LAN und WLAN-Netze)
- **IT-Infrastruktur:** Grundversorgung zum Austausch, zur Speicherung und zum Transport von Informationen und Wissen (z. B. durch Clouds)
- **Mensch-Maschine-Schnittstelle:** Interaktion und explizite Kommunikation zwischen Mensch und Maschine (z. B. durch Tablets oder Smartphones)

Diese Technologiecluster der Industrie 4.0 und aufbauend darauf die Instrumente zur Verknüpfung von Wertschöpfungsstufen können in ihrer

¹⁰⁶ Vgl. BMWi (2015), S. 7 in Schebek et al. (2017), S. 18.

¹⁰⁷ Vgl. Bernardy (2017), Folie 8.

Gesamtheit oder aber auch in Einzelanwendungen die notwendigen Charakteristika von Wertschöpfungsnetzen gewährleisten. Dazu zählen u. a. Flexibilität, Beschleunigung, Transparenz, ein dezentraler Aufbau von Lieferketten, eine Auftragsindividualisierung und eine Kreislaufführung von Materialien. Hier finden sich gleichzeitig wesentliche Ansatzpunkte, um noch ungenutzte Ressourceneffizienzpotenziale zu erschließen und künftig im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft zu produzieren.

5.2 Ausblick: Entwicklung digitaler Plattformen

Vor dem Hintergrund der Industrie 4.0 werden digitale Plattformen ein zentraler Bestandteil zukünftiger Wertschöpfungsstrukturen. Sie bilden eine neue Variante zur Vernetzung von Unternehmen und deren Wertschöpfungsstufen.

Eine steigende Anzahl von Märkten funktioniert mittlerweile zweiseitig: Kundengruppen werden durch eine oder mehrere digitale Plattformen miteinander vernetzt.¹⁰⁸ Digitale Plattformen werden als „internetbasierte Foren für digitale Interaktionen und Transaktionen“ beschrieben.¹⁰⁹ Zu den bekanntesten Beispielen im b2c-Bereich zählen u. a. Amazon oder Alibaba.

Über die digitale Transformation in der Industrie hält diese Entwicklung auch Einzug in den b2b-Bereich. Hier werden sich u. a. für kleine und mittlere Unternehmen in Zukunft neue Wirtschaftsstrukturen entwickeln. Gerade in der Produktion können digitale Plattformen die Kunden-Anbieter-Konstellationen grundlegend verändern und gleichzeitig neue Geschäftsmodelle erschließen (Abbildung 23).¹¹⁰

¹⁰⁸ Vgl. Baums (2015), S. 15.

¹⁰⁹ Vgl. BMWi (2017), S. 21

¹¹⁰ Vgl. Engelhardt et al. (2017), S. 9.

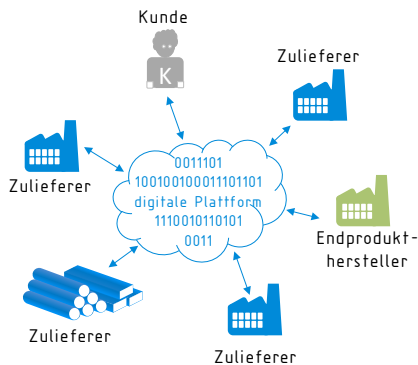


Abbildung 23: Vernetzung durch digitale Plattformen

Unternehmen wird empfohlen, sich mit der Entwicklung digitaler Plattformen zu beschäftigen, da die Schnittstelle zwischen unternehmensinternen und -externen Bereichen zukünftig vermehrt durch diese bedient wird.¹¹¹ Laut einer Umfrage des Bitkom e.V. im Jahr 2017 gaben über 50 % der befragten Unternehmen an, den Begriff digitale Plattform nicht zu kennen. Von den Industrieunternehmen, die mit dem Begriff der digitalen Plattformen vertraut sind, schätzten rund zwei Drittel das Thema als nicht relevant für den künftigen Betrieb des eigenen Unternehmens ein. Dabei wird prognostiziert, dass sich digitale Plattformen in fast jeder Branche etablieren werden.¹¹² Der Grund für die stete Weiterentwicklung digitaler Plattformen liegt in deren Vorteilen:¹¹³

- Digitale Plattformen senken Transaktionskosten, da ein Austauschort zwischen Nachfrager und Anbieter geschaffen wird.
- Digitale Plattformen erzeugen starke Netzwerkeffekte.
- Sie ermöglichen eine Flexibilisierung der Produktion (Stichwort Losgröße 1) und
- sie bilden die Grundlage für ein effizientes Innovationsmanagement.

¹¹¹ Vgl. Engelhardt et al. (2017), S. 10.

¹¹² Vgl. Streim und Meinecke (2018).

¹¹³ Vgl. Baums (2015), S. 17.

Über digitale Plattformen, also neue Wertschöpfungsstrukturen zwischen Unternehmen, können Ressourceneffizienzpotenziale erschlossen werden. Die Chancen sowie Hemmnisse werden aktuell noch in der Fachwelt diskutiert und erforscht.

Insbesondere der Schutz sensibler Unternehmensdaten steht im Fokus. Die Datensicherheit muss im Rahmen der zunehmenden Vernetzung durch Industrie 4.0 neu organisiert werden. Technologien, die ein sicheres Datenhandling versprechen, sind u. a. die Blockchain. Verschlüsselte Datenblöcke werden hier in einer parallel gespeicherten Datenbank hintereinandergelegt.¹¹⁴ Ein anderes System ist beispielsweise die IND²DUCE-Technologie, die vom Fraunhofer IESE und Fraunhofer IOSB, der TU München und weiteren Unternehmen entwickelt wurde. Über diese Technologie werden Sicherheitsrichtlinien definiert, die die Zugriffsrechte auf Informationen genau bestimmen.¹¹⁵ Diese Datensicherheitssysteme sind insbesondere für die Entwicklung der Instrumente wie das Predictive Maintenance, Condition Monitoring (Kapitel 3.2.4), das Lean Management (Kapitel 3.1.4) oder der Kunden- und Lieferantenintegration (Kapitel 3.1.1 und 3.1.2) wichtig.

Etablieren sich diese IT-basierten Sicherheitsmethoden, ermöglicht dies, die Vorteile digitaler Plattformen sowie anderer Instrumente von Industrie 4.0 zu nutzen. Gleichzeitig können dadurch Maßnahmen zur effizienten Nutzung von Ressourcen adressiert werden, die zusätzlich Kosten optimieren und damit die Wertschöpfung erhöhen können.

¹¹⁴ Vgl. Jung und Schmitz (2016).

¹¹⁵ Vgl. Jung und Schmitz (2016).

6 FAZIT

Ressourceneffizienzmaßnahmen entlang der Wertschöpfungskette können große Einsparpotenziale erschließen. Akteure, die ihre Produktionen aufeinander abstimmen und Kooperationen bilden, können ihren Material- und Energieeinsatz senken, Kosten reduzieren und zusätzlich Wettbewerbsvorteile oder sogar neue Geschäftsideen generieren.

Die Kurzanalyse zeigt, dass Ressourceneffizienzmaßnahmen, die über Wertschöpfungsstufen hinweg umgesetzt werden, einen hohen Wirkungsgrad erzielen können. In Lieferketten kann beispielsweise die Integration der Lieferanten in Unternehmensabläufe die Produkt- und Prozessqualität fördern und den Organisationsablauf straffen. Zudem können spezielle Anforderungen an die zuliefernden Kooperationspartner kommuniziert und kontrolliert werden. Ein Unternehmen reduzierte durch die Abstimmung mit dem Lieferanten so den Ausschuss der eigenen Produktion. Die Einsparungen beliefen sich auf rund 48.000 Euro pro Jahr.¹¹⁶

Auch die Integration der Kunden spielt eine immer wichtigere Rolle. Kundenspezifisch konfigurierbare Produkte werden künftig zunehmend stärker gefordert sein. Die Produktion hin zur Losgröße 1 und damit die Umsetzung einer flexiblen, auf den Kundenwunsch ausgerichteten Produktherstellung sind für künftige Unternehmensabläufe zu beachten. Hier kann die Entwicklung von Baukastensystemen hilfreich sein. Dadurch ist es möglich verschiedene Produktvarianten aus einer möglichst geringen Bausteinanzahl herzustellen. Ein Unternehmen schätzte, dass sich so rund 20 % Kosteneinsparungen in den Bereichen Entwicklung, Beschaffung und Produktion ergaben.¹¹⁷

Die unternehmensübergreifende Kooperation ist ein zentraler Bestandteil von Ressourceneffizienzmaßnahmen, die über Wertschöpfungsstufen hinweg wirken. Auch innerhalb einer Firma können solche Kooperationen zwischen Unternehmensbereichen Ressourceneffizienzpotenziale aufzei-

¹¹⁶ Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 89 – 99.

¹¹⁷ Vgl. Industrieanzeiger (2015).

gen. Werden bereichsübergreifende Mitarbeiter- und Projektteams gebildet, kann bestehendes Know-how gebündelt und können insbesondere Schnittstellen zwischen den Bereichen analysiert werden. Ein Beispiel eines Unternehmens zeigte, dass ein bereichsübergreifendes Mitarbeiter- bzw. Projektteam in der gemeinsamen Analyse der Unternehmensabläufe Ressourceneffizienzpotenziale in Höhe von ca. 44.000 Euro erkannte.

Die Prozessanalyse ist neben der Kooperation eine wesentliche Voraussetzung für übergreifende Maßnahmen entlang der Wertschöpfungskette. Software zur Simulation durchgängiger Prozessketten unterstützt hierbei die Datenerfassung. Über die gemessenen und ausgewerteten Daten kann der Produktionsprozess in Echtzeit analysiert und darauf aufbauend optimiert werden. In einem Unternehmen resultierte die Prozessanalyse durch ein neues Datenerfassungstool in Einsparungen von ca. 400.000 Euro.

Insbesondere Elemente der Digitalisierung, wie z. B. Predictive Maintenance, Smart Factories oder Cloud-Computing, verstetigen den Wandel hin zu neuen Wertschöpfungsstrukturen. Hier liegen Ressourceneffizienzpotenziale, die über eine digitale Interaktion von Unternehmen erschließbar sind. Die Entwicklungen im Bereich Industrie 4.0 erfolgen schnell, sodass Unternehmen diese kontinuierlich verfolgen und eigene Umsetzungsstrategien festlegen sollten. Beispielsweise werden im b2b-Bereich digitale Plattformen immer interessanter, da die Schnittstelle zwischen unternehmensinternen und -externen Bereichen durch diese bedient werden kann.¹¹⁸

Die Kurzanalyse zeigt, dass die Verknüpfung von Wertschöpfungsstufen eine wichtige Maßnahme ist, um Material und Kosten einzusparen. Gleichzeitig vollzieht sich ein genereller wirtschaftlicher Wandel hin zu neuen, komplexeren Wertschöpfungsstrukturen. Unternehmen, insbesondere KMU als Teil der Wertschöpfungskette, können diesen stattfindenden Strukturwandel nutzen, um von weiteren, über Wertschöpfungsstufen hinweg erschließbaren Ressourceneffizienzpotenzialen zu profitieren.

¹¹⁸ Vgl. Engelhardt et al. (2017), S. 10.

LITERATURVERZEICHNIS

Ammer, C. und Stolte, P. (2015): White Paper Vernetzte Wertschöpfung. Die Automobilbranche im Wandel – von der produzierenden zur Dienstleistungsindustrie [online]. T-Systems Enterprise Services GmbH [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: http://www.automotiveit.eu/wp-content/uploads/2009/08/WhitePaper_Vernetzte-Wertschoepfung-ps.pdf

Arnold, B. (2004): Strategische Lieferantenintegration. Springer Fachmedien, Wiesbaden.

AutomationML (2018): AutomationML e.V. [online]. AutomationML e.V. c/o IAF [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.automationml.org/o.red.c/home.html>

Bach, N.; Brehm, C.; Buchholz, W. und Petry, T. (2012): Wertschöpfungsorientierte Organisation: Architekturen – Prozesse – Strukturen. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.

Baums, A. (2015): Analyse – Was sind digitale Plattformen? [online]. Kompendium Industrie 4.0 [abgerufen am 24. Jan. 2018], verfügbar unter: <http://plattform-maerkte.de/wp-content/uploads/2015/10/Kompendium-I40-Analyserahmen.pdf>

Berg, H.; Bliesner, A.; Scabell, C.; Schmitt, M. und Seibt, A. (2014): RessourcenKooperation – Handreichung des Qualifizierungskonzepts [online]. Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie gGmbH, Wuppertal [abgerufen am 11. Jan. 2018], verfügbar unter: https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/ResKo_Handreichung_Qualifizierung.pdf

Bernardy, A. (2017): CyberKMU2: Effizienter und Effektiver zur Smart Factory mit dem CPS-Konfigurator. Vortrag 8. Aachener Informationsmanagementtag 2017.

BMWi (2015): Industrie 4.0 und digitale Wirtschaft [online]. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi], Berlin [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=3

BMWi (2017): Weissbuch Digitale Plattformen – Digitale Ordnungspolitik für Wachstum, Innovation, Wettbewerb und Teilhabe [online], Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [abgerufen am 25. Jan. 2018], verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/weissbuch-digitale-plattformen.pdf?__blob=publicationFile&v=8

Busch, A. und Dangelmaier, W. (2002): Integriertes Supply Chain Management. Springer Fachmedien, Wiesbaden.

business-wissen.de (2017a): Supply Chain Management und die Zusammenarbeit mit Lieferanten [online]. business-wissen.de [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.business-wissen.de/premium/supply-chain-management-und-die-zusammenarbeit-mit-lieferanten/>

Christmann, B. (2016): Sharing Economy - Tauschkultur für die Industrie [online]. In: MaschinenMarkt, Vogel Business Media GmbH & Co.KG [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/tauschkultur-fuer-die-industrie-a-541805/index2.html>

Drumm, O.; Eckardt, R.; Fay, A.; Gutermuth, G.; Krumsiek D.; Löwen, U.; Makait, T.; Mersch, T.; Schertl, A.; Schindler, T.; Schleipen, M.; Schröck, S. (2016): Durchgängiges Engineering in Industrie 4.0-Wertschöpfungsketten [online]. VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: https://m.vdi.de/fileadmin/user_upload/6032_PUB_TW_GMA_Statusreport_Durchgaengiges_Engineering_Internet.pdf

Duden (2018): Wertschöpfungskette [online]. Duden [abgerufen am 26. April 2018], verfügbar unter: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Wertschoepfungskette>

Engelhardt, S.; Wangler, L. und Wischmann, S. (2017): Eigenschaften und Erfolgsfaktoren digitaler Plattformen [online]. Autonomik Industrie 4.0 [abgerufen am 24. Jan. 2018], verfügbar unter: https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/autonomik-studie-digitale-plattformen.pdf?__blob=publicationFile&v=9

Essel, R.; Breitmayer, E.; Carus, M.; Pfmeter, A. und Bauermeister, U. (2015): Stoffliche Nutzung lignocellulosehaltiger Gärprodukte für Holzwerkstoffe aus Biogasanlagen [online]. Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Jan. 2015 [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <http://bio-based.eu/ecology/>

Feldmann, S.; Lässig, R.; Herweg, O.; Rauen, H. und Synek, P. (2017): Predictive Maintenance – Service der Zukunft – und wo er wirklich steht [online], Roland Berger, VDMA und Deutsche Messe [abgerufen am 17. Jan. 2018], verfügbar unter: https://www.vdma.org/documents/105806/17180011/1494926802913_VDMA_Predictive_Maintenance_deutsch.pdf/1ebbb093-739e-43ff-a30a-2a75e7aa1c22

Fraunhofer (2015): Leitfaden zur Baukastengestaltung [online]. Fraunhofer Verlag [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.bookshop.fraunhofer.de/buch/Leitfaden-zur-Baukastengestaltung/246547>

Gabler Lexikon (2017): Beschaffung [online]. Gabler Wirtschaftslexikon, Springer Gabler [abgerufen am 12. Jan. 2018], verfügbar unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/72967/beschaffung-v9.html>

Günther, E. (2008): Ökologieorientiertes Management – Um-(weltorientiert) Denken in der BWL. Lucius & Lucius Verlag, Stuttgart.

handwerk.com (2018): Teilen statt besitzen – Der Werkstatt-Vagabund [online]. Schlüter Verlagsgesellschaft mbH & Co.KG [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.handwerk.com/archiv/teilen-statt-besitzen-der-werkstatt-vagabund-150-64-85623.html>

Haubach, C. (2013): Umweltmanagement in globalen Wertschöpfungsketten: Eine Analyse am Beispiel der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.

Heinemann T. und Thiede S.; Herrmann C. (2013): Handlungsfeld Bewertung von Energie- und Ressourceneffizienz in industriellen Prozessketten. In: Herrmann, C.; Pries, H.; Hartmann, G. (eds) Energie- und ressourceneffiziente Produktion von Aluminiumdruckguss. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Helmhold, M. und Terry, B. (2016): Lieferantenmanagement 2030 – Wertschöpfung und Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in digitalen und globalen Märkten. Springer Gabler, Wiesbaden.

Hennicke, P.; Kristof, K. und Dorner, U. (2009): Ressourcensicherheit und Ressourceneffizienz – Wege aus der Rohstoffkrise. Policy Paper zu Arbeitspaket 7 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung (MaRes), Paper 7.3.

Hofbauer, G. (2013): Customer Integration, Prinzipien der Kundenintegration zur Entwicklung neuer Produkte [online]. Technische Hochschule Ingolstadt, Okt. 2013 [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: https://www.thi.de/fileadmin/daten/Working_Papers/thi_workingpaper_26_hofbauer.pdf

Hofer, M. und Reichert, D. (2013): Lean- und Green-Verschwendung kombiniert minimieren [online]. Maschinen Markt, 30. Sep. 2013, Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg [abgerufen am: 17. Jan. 2018], verfügbar unter: <http://files.vogel.de/vogelonline/vogelonline/issues/mm/2013/040.pdf>

Höglmeier, K.; Weber-Blaschke, G. und Richter, K. (2015): Evaluation of Wood Cascading, in Sustainability Assessment of Renewables-Based Products: Methods and Case Studies (eds J. Dewulf, S. De Meester and R. A. F. Alvarenga), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.

Industrieanzeiger (2012): Mit System zum Produktbaukasten [online]. Industrieanzeiger, Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://industrieanzeiger.industrie.de/technik/entwicklung/mit-system-zum-produktbaukasten/>

Jung, C. und Schmitz, P. (2016): Industrie 4.0 - So schützen Unternehmen ihre Daten [online]. Security Insider, Vogel IT-Medien GmbH, Augsburg [abgerufen am 14. Mai 2018], verfügbar unter: <https://www.security-insider.de/so-schuetzen-unternehmen-ihre-daten-a-565432/>

Kaiser, O. (2018): Ressourceneffizienz in der Holzmöbelindustrie. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Berlin.

Karlsruher Institut für Technologie (2017): Sicos BW Group [online]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT) [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: https://www.irm.kit.edu/2057_2064.php

Kosmol, J.; Kanthak, J.; Herrmann, F.; Golde, M.; Alsleben, C.; Penn-Bressel, G.; Schmitz, S. und Gromke, U. (2012): Glossar zum Ressourcenschutz [online]. Umweltbundesamt, 17. Jan. 2012 [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4242.pdf>

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) (2017a): Push-Prinzip [online]. Technische Universität München [abgerufen am 24. April 2018], verfügbar unter: http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=P&title=Push-Prinzip

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) (2017b): Pull-Prinzip [online]. Technische Universität München [abgerufen am 24. April 2018], verfügbar unter: http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=P&title=Pull-Prinzip

Liese, G. und Sterr, T. (2003): Industrielle Stoffkreislaufwirtschaft im regionalen Kontext: Betriebswirtschaftlich-ökologische und geographische Betrachtungen in Theorie und Praxis. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Ludwig, H.; Zang, S.; Oehler, O.; Holz, J.; Venzlaff, H. und Ostrowski, J. (2016): Umweltfreundliche Prozessketten in der Kaltmassivumformung von Abschnitten durch den Verzicht auf nasschemisch aufgebrauchte Konversionsschichten [online]. Deutsche Bundesstiftung Umwelt [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-30738.pdf>

Mussbach-Winter, U. (2014): Konzepte und Methoden des Supply Chain Management - Kapitel 3 - Supply Chain Design [online]. Vorlesungsunterlagen des Heinz Nixdorf Instituts, Universität Paderborn [abgerufen am 11. Jan. 2018], verfügbar unter: https://www.hni.uni-paderborn.de/fileadmin/Fachgruppen/Wirtschaftsinformatik/Lehre/Moduluebersicht/W2332_02_Konzepte_und_Methoden_des_SCM/SoSe14/W2332-02_3_SCM_Design_SS2014.pdf

Neugebauer, R. (2014): Handbuch Ressourcenorientierte Produktion. Carl Hanser Verlag, München, Wien.

Oehrich, M. (2010): Betriebswirtschaftslehre - Eine Einführung am Businessplan-Prozess. Verlag Franz Vahlen, München.

Pointner, T. und Steinhoff, F. (2016): FAQ Lean Management. Symposion Publishing GmbH, Düsseldorf.

Porter, M.E. (1985): Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. The Free Press, New York.

Process (2016): Industrie 4.0 - Durchgängiges Engineering [online]. Webinar Engineering/Anlagenbetrieb veröffentlicht am 10.01.2016 von Endress+Hauser Messtechnik GmbH + Co. Kg auf Process - Chemie - Pharma - Verfahrenstechnik [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.process.vogel.de/industrie-40-durchgaengiges-engineering-v-34943-12277/>.

Radner, B. (2013): Unternehmensstrategien - vom Schattendasein zum Erfolgs-Garanten [online]. Buchalik Brömmekamp [abgerufen am 17. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.buchalik-broemmekamp.de/blog/193-unternehmensstrategien-vom-schattendasein-zum-erfolgs-garanten>

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG (2016): Rohde & Schwarz gewinnt Lean & Green Management Award 2016 [online]. Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG [abgerufen am 17. Jan. 2018], verfügbar unter: https://cdn.rohde-schwarz.com/de/general_35/press_material_1/10_25_08_16_lean_green_award/PR_Lean__Green_Award_Memmingen.pdf

Schaltegger, S.; Herzig, C.; Kleiber, O.; Klinke, T. und Müller, J. (2007): Nachhaltigkeitsmanagement im Unternehmen [online]. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: http://www2.leuphana.de/umangement/csm/content/nama/downloads/pdf-dateien/publikationen-download/studie_2007_downloadversion.pdf

Schebek, L; Kannengießer, J.; Campitelli, A.; Fischer, J.; Abele, E.; Baurdick, C.; Anderl, R.; Haag, S.; Sauer, A.; Mandel, J.; Lucke, D.; Bogdanov, I.; Nuffer, A.-K.; Steinhilper, R.; Böhner, J.; Lothes, G.; Schock, C.; Zühlke, D.; Plociennik, C.; Bergweiler, S. (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf

Schellmann, H. (2012): Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz. Herbert Utz Verlag, München.

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

SDSC BW (2017): Unternehmensvorstellung Hermle – besser fräsen [online], Smart Data Solution Center Baden Württemberg [abgerufen am 18. Jan. 2018], verfügbar unter: <http://www.sdsc-bw.de/hermle>

Streim A. und Meinecke, C. (2018): Mehrheit hat noch nie etwas von digitalen Plattformen gehört [online]. Pressemitteilung bitkom e.V. [abgerufen am 25. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Mehrheit-hat-noch-nie-etwas-von-digitalen-Plattformen-gehört.html>

Teuscher, H. (2011): Betriebswirtschaft: Einführung in die Problemstellungen und Lösungskonzepte der Betriebswirtschaftslehre. 2. Auflage, Compendio Bildungsmedien AG, Zürich.

Toutenburg, H. und Knöfel, P. (2009): Six Sigma Methoden und Statistik für die Praxis. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

UVK Lucius (2018): Wertschöpfungsstufe [online]. UVK Verlagsgesellschaft GmbH [abgerufen am 26. April 2018], verfügbar unter: <http://www.uvk-lucius.de/generalmanagement/gl/wertschoepfungsstufen.htm>

VDI 2689: 2010-05: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Leitfaden für Materialflussuntersuchungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 3633 Blatt 1: 2010-12: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2015a): Status quo der Ressourceneffizienz im Mittelstand [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 17. Jan. 2018], verfügbar unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/Studie_VDI_ZRE_Status_quo_Ressourceneffizienz_2015.pdf

VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2015b): Material- und Energieeffizienzpotenziale durch den Einsatz von Fertigungsdatenerfassung und -verarbeitung [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Berlin [abgerufen am 17. Jan. 2018], verfügbar unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/2015-VDI-ZRE-Kurzanalyse-10-Datenmonitoring.pdf

VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017a): Galvanik [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 12. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/instrumente/prozessketten/galvanik/>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017b): Perfekter Materialstrom im Schwarzwald [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 17. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.tv/themen/allgemeines/perfekter-materialstrom-im-schwarzwald/>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017c): Windenergie - Condition Monitoring [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 17. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.tv/themen/erneuerbare-energien/windenergie-condition-monitoring/>

Walther, G. (2010): Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke - Überbetriebliche Planung und Steuerung von Stoffströmen entlang des Produktlebenszyklus. Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden.

Wezsäcker, R. und Horvath, M. (2018): Wertschöpfung [online]. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH [abgerufen am 26. April 2018], verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/wertschoepfung-50306/version-273526>

Wolff (2016): Push oder Pull? Produktion Lean steuern [online]. Supply Chain Management, Blog von Schmid & Wolff, Management Consultants, Herrenberg [abgerufen am 17. Jan. 2018], verfügbar unter: <http://www.scm-blog.de/2016/05/push-oder-pull-produktion-lean-steuern/>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bertolt-Brecht-Platz 3
10117 Berlin
Tel. +49 30-2759506-0
Fax +49 30-2759506-30
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE