

VDI

Zentrum
Ressourceneffizienz

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 25

Ressourceneffizienz im industriennahen Handwerk



VDI ZRE Kurzanalyse Nr. 25: Ressourceneffizienz im industrienahen Handwerk

Autorin:

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

Wir danken Frau Dr. Linda Meyer-Veltrup und Herrn Walter Pirk, Konsortialleitung Kompetenzzentrum Digitales Handwerk am Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik an der Leibniz Universität Hannover (HPI), für ihre 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: © shime02/PantherMedia

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

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

VDI ZRE Publikationen:
Kurzanalyse Nr. 25

Ressourceneffizienz im
industrienahen Handwerk

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
TABELLENVERZEICHNIS	5
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	6
1 EINLEITUNG	8
2 INDUSTRIENAHES HANDWERK	10
2.1 Einordnung des industrienahen Handwerks	10
2.2 Wirtschaftliche Entwicklungen des Handwerks	13
3 RESSOURCENEFFIZIENZPOTENZIALE IM INDUSTRIENAHEN HANDWERK	16
3.1 Ressourceneffizienz durch eine optimierte Produktionsinfrastruktur	19
3.1.1 Optimieren der Druckluft	20
3.1.2 Einführen eines Werkzeugmanagements	24
3.1.3 Optimieren von Lagerung und Logistik	28
3.2 Ressourceneffizienz durch Digitalisierungsstrategien und Maßnahmen	31
3.2.1 Durchgängige Datenintegration	37
3.2.2 Virtuelle Produktentwicklung	40
3.2.3 Ortungs- und Lokalisierungssysteme	42
3.2.4 Cloud Computing	43
4 GUTE-PRAXIS-BEISPIELE IM INDUSTRIENAHEN HANDWERK	46
4.1 Praxisbeispiele im Bereich Produktionsinfrastruktur	46
4.2 Praxisbeispiele im Bereich Digitalisierung	49
5 FAZIT	53
LITERATURVERZEICHNIS	55

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Prozentuale Verteilung der Handwerksbetriebe am gesamten Betriebsbestand lt. Unternehmensregister	13
Abbildung 2: Umsätze in Mrd. Euro und Anzahl der Beschäftigten im Handwerk	14
Abbildung 3: 4M-Checkliste	17
Abbildung 4: Ablauf der 5S-Methode	26
Abbildung 5: Chance und Risiko der Digitalisierung für Handwerksbetriebe	31
Abbildung 6: Virtuelle Techniken im Handwerk	40
Abbildung 7: Auswahl geeigneter Cloud Services für das Handwerk	44

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Gewerbegruppen und -zweige nach Destatis 2018	12
Tabelle 2:	Umsatzentwicklungen je Gewerbe­gruppe (Angaben von befragten Handwerksbetrieben in Prozent)	15
Tabelle 3:	Art der geplanten Investitionen im Handwerk	15
Tabelle 4:	Ausgewählte Ressourceneffizienzmaßnahmen im Betrieb	18
Tabelle 5:	Fertigungsnahe und fertigungsferne Bereiche der Produktionsinfrastruktur	20
Tabelle 6:	Maßnahmen zur Lageroptimierung	30
Tabelle 7:	Elf Maßnahmen der Digitalisierung und ihr Ressourceneffizienzpotenzial	34
Tabelle 8:	Chancen und Barrieren einer durchgängigen Datenintegration	37
Tabelle 9:	Vor- und Nachteile von ERP-Systemen	38
Tabelle 10:	Chancen und Barrieren einer virtuellen Produktentwicklung	40
Tabelle 11:	Chancen und Barrieren von Tracking-Systemen	42
Tabelle 12:	Chancen und Barrieren von Cloud Computing	44

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AR	Augmented Reality
BIM	Building Information Modeling
BW	Baden-Württemberg
CO₂	Kohlenstoffdioxid
DHKW	Druckluft-Heiz-Kraftwerk
DIHK	Deutscher Industrie- und Handelskammertag
DL	Dienstleistung
DMS	Dokumentenmanagementsystem
ERP	Enterprise Resource Planning
HWK	Handwerkskammer
HwO	Handwerksordnung
IHK	Industrie- und Handelskammer
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
Kfz	Kraftfahrzeug
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
kWh	Kilowattstunden
NFC	Near Field Communication
NRW	Nordrhein-Westfalen
PSS	Produkt-Service-System
QR-Code	Quick Response Code
RE	Ressourceneffizienz
RFID	Radio-Frequency Identification

UVV	Unfallverhütungsvorschriften
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
VR	Virtual Reality
3D	dreidimensional
4M-Methode	Mensch - Maschine - Material - Methode
5S-Methode	Sortieren - Sichtbare Ordnung - Sauberkeit - Standardisieren - Selbstdisziplin
ZDH	Zentralverband des Deutschen Handwerks e.V.

1 EINLEITUNG

Das Handwerk ist ein wesentlicher Träger des Mittelstands und damit der deutschen Wirtschaft. Der Handwerkssektor besteht aus verschiedenen, teils materialintensiven Gewerbezweigen. Hier können branchenübergreifend sowie branchenspezifisch Ressourceneffizienzpotenziale erschlossen, also Material sowie Energie eingespart und Kosten gesenkt werden.

Die Merkmale des Handwerks bedingen eine ressourceneffiziente Produktion bereits von Grund auf: Traditionell beschäftigen Handwerksbetriebe qualifizierte Fachkräfte, stellen individualisierte Produkte mit hoher Qualität her, führen Reparaturen durch und legen durch einen regionalen Auftragsradius kurze Wege zurück.¹ Dies spart Energie und Material. Dennoch wird geschätzt, dass sich viele Entscheidungsträger kleinerer und mittlerer Handwerksbetriebe der Vorteile von Ressourceneffizienz, also insbesondere der Kosteneinsparungen und der damit verbundenen Wettbewerbsvorteile, noch nicht bewusst sind.

Das Ziel der vorliegenden Kurzanalyse ist es, dem industrienahen Handwerk² Ideen und Anregungen hinsichtlich der Möglichkeiten einer ressourceneffizienten Produktion zu geben und eventuell vorhandene Informationslücken durch vorgestellte Maßnahmen sowie durch Verweise auf weitere Beratungshilfen zu schließen.

Dazu werden nach einer kurzen Einführung (Kapitel 2) Ressourceneffizienzmaßnahmen in der Produktionsinfrastruktur präsentiert (Kapitel 3.1). Diese Maßnahmen können branchenübergreifend angewandt werden und sind nicht spezifisch auf ein Gewerbe zugeschnitten. Insbesondere die Themen Druckluft (Kapitel 3.1.1), Werkzeugmanagement (Kapitel 3.1.2) sowie die Optimierung von Lagerung und Logistik (Kapitel 3.1.3) werden detaillierter betrachtet.

¹ Vgl. ZDH (2012), S. 1.

² Im Rahmen dieser Kurzanalyse zählen zum industrienahen Handwerk Großbetriebe mit einem hohen Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad, die Roh- und Zwischenprodukte ver- bzw. weiterverarbeiten.

Folgend wird der Zusammenhang zwischen Digitalisierungsmaßnahmen und Ressourceneffizienz dargelegt (Kapitel 3.2). Hier werden insgesamt elf Maßnahmen und deren Ressourceneffizienzpotenzial vorgestellt. Davon werden die für das industrienaher Handwerk besonders interessanten Maßnahmen der durchgängigen Datenintegration (Kapitel 3.2.1), der virtuellen Produktentwicklung (Kapitel 3.2.2), der Ortungs- und Lokalisierungssysteme (Kapitel 3.2.3) sowie des Cloud Computing (Kapitel 3.2.4) nochmals detaillierter beleuchtet und Hinweise für die Einführung der Instrumente im Unternehmen gegeben.

Für beide Bereiche, Produktionsinfrastruktur und Digitalisierung, werden abschließend Gute-Praxis-Beispiele präsentiert, die Ressourceneffizienzmaßnahmen erfolgreich umgesetzt haben (Kapitel 4).

Die in der Kurzanalyse aufgezeigten Ressourceneffizienzpotenziale, die insbesondere durch optimierte Betriebsabläufe und eine Digitalisierung von Geschäftsprozessen erzielt werden, können dabei auch für Betriebe über das industrienaher Handwerk hinaus interessant sein und Denkanstöße liefern.

2 INDUSTRIENAHES HANDWERK

2.1 Einordnung des industrienahen Handwerks

Das Handwerk versteht sich als eine Betriebsform, die im Wesentlichen Tätigkeiten „per Hand“ ausführt und darüber eine Wertschöpfung erzielt. Der Begriff Handwerk als solches ist nicht durch ein Gesetz festgelegt, wird jedoch in der Handwerksordnung (Gesetz zur Ordnung des Handwerks, HwO) in drei Gruppen gegliedert: zulassungspflichtige Handwerke (Anlage A mit 41 Gewerbezweigen, HwO), zulassungsfreie Handwerke (Anlage B, Abs. 1 mit 53 Gewerbezweigen, HwO) und handwerksähnliche Gewerbe (Anlage B, Abs. 2 mit 57 gelisteten Gewerbezweigen, HwO). Für zulassungspflichtige Handwerke gilt die Meisterpflicht, für zulassungsfreie Handwerke und handwerksähnliche Gewerbe muss eine derartige Qualifikation nicht nachgewiesen werden. Zunehmend sollen für diese Betriebsformen jedoch ebenso fakultative Meisterprüfungen angeboten werden.³

Abzugrenzen ist das Handwerk u. a. von der Industrie. Je nach Einordnung erfolgt ein Eintrag entweder in die Handwerkskammer (HWK) oder in die Industrie- und Handelskammer (IHK).⁴ Die Beurteilung der jeweiligen Zuordnung erfolgt über „das Gesamtbild des jeweiligen Betriebs auf Grund des aktuellen Entwicklungsstands und der jeweiligen Branchenüblichkeit“⁵ anhand der Abgrenzungskriterien

- Grad der technischen Betriebsausstattung,
- Grad der Arbeitsteilung/Spezialisierung,
- Grad der fachlichen Qualifikation der Mitarbeiter,
- Grad des Mitwirkens des Betriebsinhabers im handwerklichen Bereich,
- Betriebsgröße und Fertigungsart.⁶

³ Vgl. DIHK (2017), S. 3.

⁴ Es gibt auch Mischbetriebe, die sowohl eine IHK- als auch HWK-Zugehörigkeit haben. Diese Betriebsform wird im Weiteren nicht explizit betrachtet. Dabei können vorgestellte Ressourceneffizienzmaßnahmen dennoch auf solche Mischbetriebe zutreffen.

⁵ DIHK (2017), S. 4.

⁶ Vgl. DIHK (2017), S. 5.

Die industrielle Fertigung zeichnet sich durch einen umfangreichen Maschineneinsatz in der Produktion aus, der die eigentlichen wertschöpfenden Tätigkeiten durchführt – betreut durch den Mitarbeiter. Im Gegensatz zur industriellen Fertigung begleitet der Meister oder Geselle im Handwerk das zu fertigende Bauteil i. d. R. entlang der gesamten Prozesskette. Zwar erfolgt ebenfalls eine Arbeitsteilung, jedoch ist der Grad im Handwerk weniger stark ausgeprägt als in der Industrie. So werden in der Industrie Personen für einzelne Prozessschritte herangezogen, für die sie über eine spezielle Qualifikation verfügen, sie benötigen jedoch keine tiefer gehenden Kenntnisse hinsichtlich der gesamten Prozesskette. Zwischen Handwerk und Industrie unterscheidet sich des Weiteren der Grad der Einbindung des Betriebsinhabers in die Produktion. Im Handwerk arbeitet der Betriebsinhaber mitunter in der Produktion mit und hat in jedem Fall die gesamte Prozesskette im Blick, sodass er bei Bedarf auf diese einwirken und Änderungen umsetzen kann. Das ist aufgrund der kleineren Betriebsgröße (örtlicher Wirkungskreis, geringe Anzahl von Beschäftigten, bspw. bis zu 20 Mitarbeiter etc.⁷) und der Fertigungsart (Kleinserienfertigung bis Einzelstückfertigung) möglich.

Die vorliegende Kurzanalyse beleuchtet das Ressourceneffizienzpotenzial im industrienahen Handwerk. Eine Einteilung des Handwerks nimmt die Fachserie 4 Reihe 7.2 „Produzierendes Gewerbe – Unternehmen, tätige Personen und Umsatz im Handwerk“ des Statistischen Bundesamtes vor. Darin werden die Handwerke sieben verschiedenen Gewerbegruppen zugeordnet.⁸

Gewerbegruppen nach dem Statistischen Bundesamt

- I - Bauhauptgewerbe
- II - Ausbaugewerbe
- III - Handwerke für den gewerblichen Bedarf
- IV - Kraftfahrzeuggewerbe

⁷ Vgl. DIHK (2017), S. 5.

⁸ Destatis (2018), S. 7.

V - Lebensmittelgewerbe

VI - Gesundheitsgewerbe

VII - Handwerke für den privaten Bedarf

Der industrienaher Charakter eines Handwerkergewerbes wird im Rahmen dieser Kurzanalyse bestimmt durch die Bearbeitung und/oder Weiterverarbeitung von Rohstoffen oder Zwischenprodukten, einen gewissen Grad an Mechanisierung bzw. Automatisierung und eine höhere Anzahl Mitarbeiter. In Tabelle 1 sind je Gewerbegruppe einige Gewerbebezüge gelistet, die unter diese für die vorliegende Kurzanalyse getroffene Eingrenzung des industrienahen Handwerks fallen können.

Tabelle 1: Gewerbegruppen und -zweige nach Destatis 2018⁹

Gewerbegruppen und -zweige		
zulassungspflichtiges Handwerk Anlage A der Handwerksordnung		zulassungsfreies Handwerk Anlage B Abschnitt 2 der Handwerksordnung
I - Bauhauptgewerbe		
• Maurer und Betonbauer	• Wärme-, Kälte- und Schallschutzisolierer	• Betonstein- und Terrazzohersteller
II - Ausbaugewerbe		
• Ofen- /Luftheizungsbauer	• Installateur und Heizungsbauer	• Rollladen- und Sonnenschutztechniker
• Elektrotechniker		
III - Handwerke für den gewerblichen Bedarf		
• Metallbauer	• Informationstechniker	• Behälter- und Apparatebauer
• Chirurgiemechaniker	• Elektromaschinenbauer	• Drucker
• Feinwerkmechaniker	• Kälteanlagenbauer	• Schneidwerkzeugmechaniker
		• Feinoptiker
		• Galvaniseure
		• Metallbildner
IV - Kraftfahrzeuggewerbe		
• Karosserie- und Fahrzeugbauer		-
• Zweiradmechaniker		
• Kraftfahrzeugtechniker		
V - Lebensmittelgewerbe		
• Bäcker		• Müller
• Fleischer		• Brauer und Mälzer
VI - Gesundheitsgewerbe		
• Zahntechniker		-
• Orthopädietechniker		
VII - Handwerke für den privaten Bedarf		
• Boots- und Schiffbauer		• Drechsler
		• Uhrmacher

⁹ Vgl. Destatis (2018), S. 102.

2.2 Wirtschaftliche Entwicklungen des Handwerks

Im Jahr 2017 zählte das Handwerk knapp eine Million eingetragene zulassungspflichtige und zulassungsfreie Betriebe. Davon konnten rund 57 % den zulassungspflichtigen Gewerben, 25 % den zulassungsfreien und ca. 18 % den handwerksähnlichen Gewerben zugeordnet werden. In Summe entspricht das einem Anteil von rund 27 % am Gesamtbetriebsbestand in Deutschland (Abbildung 1).¹⁰

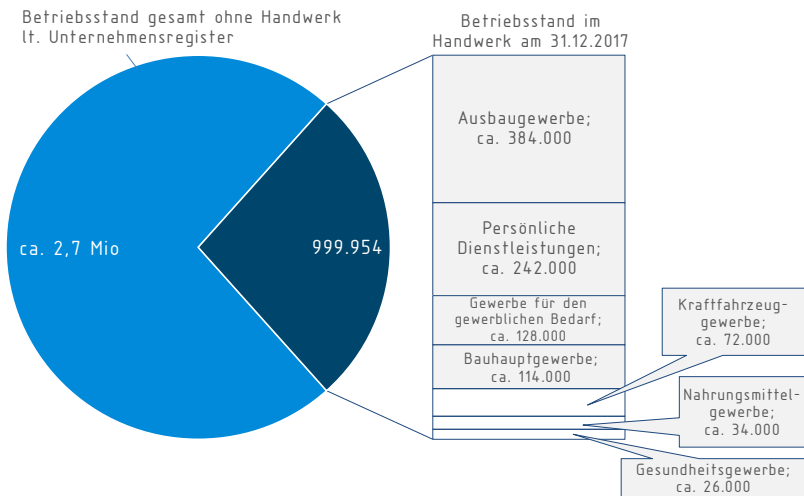


Abbildung 1: Prozentuale Verteilung der Handwerksbetriebe am gesamten Betriebsbestand lt. Unternehmensregister¹¹

Rund 38 % der Handwerksbetriebe sind dem Ausbaugewerbe zugeordnet, während knapp ein Viertel zum Bereich persönliche Dienstleistungen, ca. 13 % zum Handwerk für den gewerblichen Bedarf und ca. 11 % zum Bauhauptgewerbe zählen. Zum restlichen Anteil von insgesamt 13 % gehören Betriebe des Kraftfahrzeuggewerbes (7 %), des Nahrungsmittelgewerbes (3 %) und des Gesundheitsgewerbes (3 %).

¹⁰ Vgl. ZDH (2018a).

¹¹ In Anlehnung an ZDH (2018a).

In den gesamten Handwerksbetrieben arbeiteten 2017 rund 5,5 Millionen Beschäftigte (Abbildung 2). Dies entspricht einer Beschäftigungsquote von ca. 12,4 % aller Erwerbstätigen in Deutschland. Im Vergleich zum Jahr 2003 sank die Anzahl um annähernd 350.000 Beschäftigte, stieg aber im Vergleich zum Allzeittief im Jahr 2010 um rund 114.000 Beschäftigte. Konjunkturprognosen sagen voraus, dass im gegenwärtigen Auftragsboom die Personalnachfrage weiter steigen und sich ein Wettbewerb um Fachpersonal verstärken wird.¹²

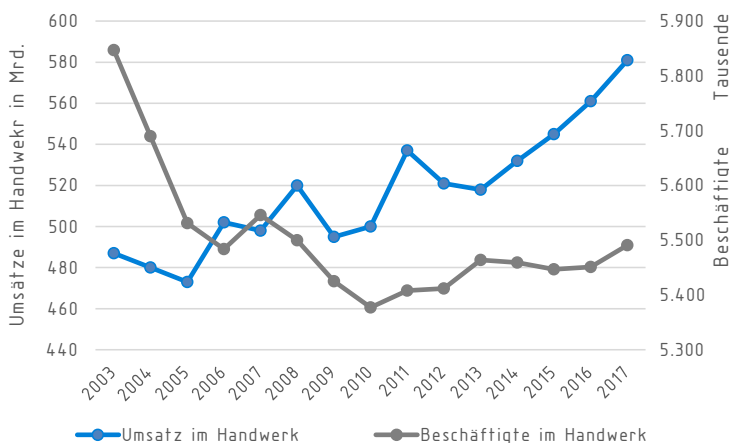


Abbildung 2: Umsätze in Mrd. Euro und Anzahl der Beschäftigten im Handwerk¹³

Der Umsatz im Handwerk erhöhte sich ab dem Jahr 2013 stetig und belief sich im Jahr 2017 auf rund 581 Milliarden Euro. Dies entspricht im Vergleich zum Jahr 2016 einer Steigerung um 19 Milliarden Euro (Abbildung 2).

Die Wirtschaftslage wird auch im Jahr 2018 als sehr gut eingeschätzt. So konnte in fast allen Gewerbegruppen im Vergleich zum Vorjahr 2017 ein Umsatzzuwachs verzeichnet werden, während nur noch jeder zehnte Befragte von Umsatzeinbußen berichtete (Tabelle 2).¹⁴

¹² Vgl. Bretz (2018), S. 8 und ZDH (2018b), S. 14.

¹³ In Anlehnung an ZDH (2018a).

¹⁴ Vgl. Bretz (2018), S. 5.

Tabelle 2: Umsatzentwicklungen je Gewerbegruppe (Angaben von befragten Handwerksbetrieben in Prozent)¹⁵

Gewerbe	Umsatz gestiegen			Umsatz stabil			Umsatz gesunken		
	2017	2018	Differenz	2017	2018	Differenz	2017	2018	Differenz
Bauhauptgewerbe	29,4	43,6	+ 14,2	58,6	49,8	- 8,8	11,4	4,5	- 6,9
Ausbaugewerbe	35,4	41,2	+ 5,8	55,2	52,9	- 2,3	7,5	4,2	- 3,3
Metallhandwerk	34,6	32,8	- 1,8	52,0	55,0	+ 3,0	12,6	8,4	- 4,2
Kfz-Handwerk	29,5	31,1	+ 1,6	57,4	49,6	- 7,8	12,4	14,3	+ 1,9
Nahrungsmittelhandwerk	41,2	37,5	- 3,7	38,2	45,8	+ 7,6	20,6	14,6	- 6,0
Personenbezogene DL	42,3	44,9	+ 2,6	40,4	42,9	+ 2,5	17,3	10,2	- 7,1
Sonst. Handwerk	34,3	50,0	+ 15,7	47,8	42,0	- 5,8	14,9	8,0	- 6,9

DL: Dienstleistungen; Umsatzangaben in Prozent; Differenz in Prozentpunkten; Sonst. Handwerk: u. a. Gebäudereiniger, Raumausstatter, Schornsteinfeger etc.

Der steigende Umsatz bzw. die gute Geschäftslage wirkt sich positiv auf das Investitionsklima in der Handwerksbranche aus. Im Jahr 2018 wurde die höchste Investitionsbereitschaft mit knapp 60 % von befragten Betrieben festgestellt.¹⁶ Die gesamte Investitionsbereitschaft wird nochmals untergliedert in Erweiterungsinvestitionen, Rationalisierungsinvestitionen und Ersatzinvestitionen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Art der geplanten Investitionen im Handwerk¹⁷

Art der Investition	Investitionsklima		
	2017	2018	Differenz
Erweiterungsinvestition	51,3	49,3	- 2,0
Rationalisierungsinvestition (Kostenreduzierung, Produktivitätssteigerung)	14,8	17,8	+ 3,0
Ersatzinvestition	60,0	59,9	- 0,1

Gerade die Rationalisierungsinvestitionen sind um drei Prozentpunkte gestiegen. Hierzu zählen Investitionen in Maßnahmen zur Kostenreduzierung oder Steigerung der Produktivität. Ressourceneffizienzmaßnahmen zielen u. a. durch die Verringerung des Ressourcenaufwands, des Energieeinsatzes und einhergehend der Kosten auf diese Rationalisierung im Unternehmen ab.

¹⁵ In Anlehnung an Bretz (2018), S. 5.

¹⁶ Vgl. Bretz (2018), S. 16.

¹⁷ In Anlehnung an Bretz (2018), S. 15.

3 RESSOURCENEFFIZIENZPOTENZIALE IM INDUSTRIENAHEN HANDWERK

Ressourceneffizienz kann einerseits durch Energieeinsparungen und andererseits durch Materialeinsparungen erreicht werden. Im Handwerk haben Studien bereits das Effizienzpotenzial von Energieeinsparmaßnahmen untersucht und aufgezeigt.¹⁸ Dennoch erschließt eine Materialeinsparung weitere nicht zu unterschätzende Effizienzpotenziale. Im produzierenden Gewerbe umfassen die Materialkosten mit rund 40 bis 45 % den größten Anteil in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Auch für das industrienahе Handwerk können ähnliche Kostenverteilungen vermutet werden. Die Umsetzung von Ressourceneffizienzmaßnahmen ermöglicht es hier, entscheidende Kosteneinsparungen zu erzielen.

Einfache Methoden können bereits ohne weitere Hilfestellungen durchgeführt werden, um einen Status quo der ressourceneffizienten Betriebsführung zu ermitteln und erschließbare Effizienzpotenziale aufzudecken.

Ein Hilfsmittel, um Ressourceneffizienzpotenziale im Betrieb zu erkennen, ist die Anwendung sogenannter Ressourcenchecks. Über Fragebögen, die Betriebsmitarbeiter/-leiter selbst ausfüllen, wird der Grad der ressourceneffizienten Gestaltung des Betriebs ermittelt und ein erster Überblick über mögliche Einsparpotenziale im Unternehmen oder in Gebäuden gegeben. Gleichzeitig werden entsprechende Maßnahmen und Methoden vorgestellt, mit deren Hilfe der Ressourcenverbrauch gesenkt und die Materialeffizienz gesteigert werden kann (u. a. Ressourcenchecks des VDI ZRE).¹⁹

Ein weiteres Hilfsmittel ist beispielsweise die 4M-Checkliste, die der japanischen Methode *Kaizen* entspringt. *Kaizen* ist ein „aus Japan stammendes, auf einer Philosophie der ewigen Veränderung beruhendes Konzept der Unternehmensführung, das darin besteht, einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess in Gang zu halten“²⁰. Die 4M-Checkliste bietet dabei ein einfaches Hilfsmittel bei der Suche nach Optimierungs- bzw. Ressourceneff-

¹⁸ Vgl. Runst (2016).

¹⁹ Vgl. Ressourcenchecks VDI ZRE : www.ressource-deutschland.de/instrumente/ressourcenchecks

²⁰ Duden (2018).

fizienzenpotenzialen im Betrieb. Sie bildet ohne großen Aufwand den Ist-Zustand des Betriebs ab und zeigt aktuelle Probleme im Ablauf auf (Abbildung 3).

4M – CHECKLISTE	
 <p>MENSCH (Mitarbeiter/in)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Befolgt er/sie die Standards? - Ist seine/ihre Arbeitseffizienz akzeptabel? - Denkt sie/er problembewusst? - Hat sie/er Verantwortungsbewusstsein? - Ist sie/er ausreichend qualifiziert? - Hat sie/er genügend Erfahrung? - Ist der Arbeitsplatz für sie/ihn geeignet? - Ist sie/er verbesserungswillig? - Bemüht sie/er sich um gute zwischenmenschliche Beziehungen? - Ist sie/er gesund? 	 <p>MASCHINE (Anlagen)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erfüllt sie die Produktionsanforderungen? - Erfüllt sie die Prozessanforderungen? - Ist sie richtig geölt (geschmiert)? - Reicht die Inspektion aus? - Führen mechanische Probleme häufig zum Maschinenstillstand? - Verursacht sie irgendwelche ungewöhnlichen Geräusche? - Ist das Maschinenlayout richtig? - Reicht die Zahl der Maschinen (Anlagen) aus? - Ist alles in der richtigen Ordnung?
 <p>MATERIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gibt es irgendwelche Abweichungen im Volumen? - Gibt es irgendwelche Abweichungen in der Qualität? - Ist es die richtige Marke? - Weist es Verunreinigungen auf? - Ist die Höhe des Umlaufs richtig? - Wird Material in irgendeiner Form verschwendet? - Ist der Materialtransport der richtige? - Wird ausreichend auf den Umlauf geachtet? - Ist das Materiallayout geeignet? - Ist der Qualitätsstandard ausreichend? 	 <p>(Arbeits-)METHODE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gibt es geeignete Arbeitsstandards? - Wurde der Arbeitsstandard angehoben? - Ist die Methode sicher? - Gewährleistet die Methode ein gutes Produkt? - Ist die Methode effizient? - Ist die Abfolge der einzelnen Arbeitsschritte sinnvoll? - Ist die Aufstellung richtig? - Passen Temperatur und Feuchtigkeit? - Sind Beleuchtung und Ventilation ausreichend? - Gibt es genügend Kontakte zum vor- und nachgelagerten Prozess?

Abbildung 3: 4M-Checkliste²¹

Ressourceneffizienzpotenziale lassen sich aber auch mit einem detaillierten Blick auf Unternehmensbereiche erkennen. Diese können beispielsweise grob in Produktgestaltung, Fertigung und Montage sowie Betriebsorganisation gegliedert werden.²² Je Bereich lassen sich so die Abläufe genauer

²¹ In Anlehnung an Imai (1992), S. 277 – 278 aus Sonntag (2013), S. 3.

²² Sonntag (2013), S. 4.

analysieren und weitere auf die Unternehmensbereiche zugeschnittene Ressourceneffizienzmaßnahmen ableiten.

In Tabelle 4 werden den genannten Unternehmensbereichen bereits Ressourceneffizienzmaßnahmen und Strategien zugeordnet, die u. a. in der VDI 4800, Blatt 1 zusammengetragen wurden. Diese bilden einen gewissen Grundbestand an möglichen Maßnahmen ab, sind jedoch nicht als abschließend zu verstehen.

Tabelle 4: Ausgewählte Ressourceneffizienzmaßnahmen im Betrieb²³

Produktgestaltung	Fertigung und Montage	Betriebsorganisation
<ul style="list-style-type: none"> • ressourceneffiziente Auswahl von Werkstoffen/Ersetzen von Materialien • Anwenden einer Miniaturisierung und einer Leichtbauweise • sparsam gestalten durch z. B. fertigungsgerechtes oder recyclinggerechtes Produktdesign (z. B. durch Standardisierung) • nachhaltig gestalten über eine Verlängerung der technischen Produktlebensdauer • Sicherstellen der Reparierbarkeit des Produkts • sparsame bzw. ressourceneffiziente Gestaltung der Verpackung • Kunden in den Produktentwicklungsprozess integrieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimieren des Fertigungsprozesses und Sicherstellen der Prozesssicherheit (u. a. optimierter Maschineneinsatz, optimierte Druckluft, optimierte Rohrleitungs- und Pumpensysteme etc.) • das Ausgangsbearbeitungsvolumen des Materials eines herzustellenden Bauteils minimieren • Einsatz von ressourceneffizienten Hilfs- und Betriebsstoffen • Verminderung von geplantem Verlust (z. B. Späne) und Ausschuss (z. B. Ausschuss bei Anfahrprozessen) • Verminderung von Verlust, der durch Nacharbeit entsteht • Materialien im Kreislauf führen bzw. wieder- oder weiterverwenden/Kreislaufführungssystem 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimieren der Lagerhaltung • Einbindung von Mitarbeitern/Mitarbeiterqualifikation • Einsatz von Kennzahlen zur Dokumentation des Prozessablaufs • Erstellen von eindeutigen und vollständigen Produktdokumentationen • Erstellen von detaillierten Arbeitsanleitungen • effiziente Reinigung • effizienter Transport • optimierte Kälte-/Wärmetechnik • effiziente Gebäudehülle/Gebäudeinfrastruktur • Umsetzen eines Werkzeugmanagement

Neben den gelisteten Ressourceneffizienzmaßnahmen ist die Digitalisierung ein weiterer, wesentlicher Enabler für Ressourceneffizienz im Betrieb und wird für das Handwerk zu einer unverzichtbaren Komponente werden. Im Jahr 2017 hat laut einer Umfrage jeder vierte Handwerksbetrieb Digitalisierungsmaßnahmen umgesetzt und mehr als ein Viertel der Befragten plante, im Jahr 2018 in Digitalisierungsmaßnahmen zu investieren.²⁴

²³ Vgl. Sonntag (2013), S. 4 und VDI 4800, Blatt 1, S. 17.

²⁴ Vgl. Barthel (2018), S. 2.

Eine Studie untersuchte den Zusammenhang zwischen Digitalisierungsmaßnahmen und der betrieblichen Ressourceneffizienz. Es konnte festgestellt werden, dass durch diese Maßnahmen betriebliche Ressourcen eingespart werden, v. a. in Form verringerter Fehlerraten, von Ausschuss- und Abfallmengen sowie eingesparter elektrischer Energie. Diese Materialeinsparungen werden jedoch beim Einsatz digitaler Technologien in den meisten Fällen noch als ein Nebeneffekt wahrgenommen und somit kaum in Form eines Datenmonitoring dokumentiert. Diese Informationen, die darüber jedoch gewonnen bzw. ausgewertet werden könnten, bieten auch für Handwerksbetriebe Möglichkeiten zur Identifizierung und Realisierung weiterer Ressourceneffizienzpotenziale im Unternehmen.²⁵

Im Folgenden werden einige der in Tabelle 4 gelisteten Ressourceneffizienzmaßnahmen (Kapitel 3.1) sowie Wirkungen auf die betriebliche Ressourceneffizienz durch Digitalisierungsmaßnahmen (Kapitel 3.2) näher beleuchtet.

3.1 Ressourceneffizienz durch eine optimierte Produktionsinfrastruktur

Da das Handwerk ein großes Spektrum an verschiedenen Branchen bzw. Gewerbearten umfasst, werden in der vorliegenden Kurzanalyse die Maßnahmen, die grob zur Produktionsinfrastruktur gezählt werden können, behandelt. Ressourceneffizienzmaßnahmen in der Produktionsinfrastruktur betreffen die Produktionsperipherie, die zu einem Großteil in jedem Betrieb gleichermaßen zu finden ist und zudem einen nicht zu vernachlässigenden Teil der Kosten im Betrieb verursacht.

Die Produktionsinfrastruktur kann grundsätzlich in einen fertigungsnahen und einen fertigungsfernen Teil unterschieden werden. Tabelle 5 zeigt exemplarisch einige der zur Produktionsinfrastruktur gehörenden Teilbereiche. Die fertigungsnahen Bereiche unterstützen dabei den Fertigungsprozess direkt, während die fertigungsfernen Bereiche entweder indirekt

²⁵ Vgl. Schebek et al. (2017).

am Produktionsprozess beteiligt sind oder beispielsweise die Gebäudeinfrastruktur/Gebäudehülle oder die Logistik betreffen.

Tabelle 5: Fertigungsnahe und fertigungsferne Bereiche der Produktionsinfrastruktur

Fertigungsnahe Bereiche	Fertigungsferne Bereiche
<ul style="list-style-type: none"> • Druckluft (Kapitel 3.1.1) • Pumpen/Rohrleitungen • Werkzeugmanagement (Kapitel 3.1.2) • Kreislaufführungssystem • Aktuatoren • elektrische Antriebstechnik • Steuerungstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> • Lagerhaltung und Transport (Kapitel 3.1.3) • Beleuchtung • Wärme-/Kältetechnik • Klimatisierung • Gebäudehülle/Gebäudeinfrastruktur • Mitarbeiterbindung • Wassersysteme

Die im Folgenden erläuterten Ressourceneffizienzaspekte der in Tabelle 5 mit der jeweiligen Kapitelnummer markierten Bereiche können branchen- bzw. gewerbeübergreifend eingesetzt werden. Für Informationen spezifischerer Ressourceneffizienzmaßnahmen (Tabelle 4) sei auf die Internetseiten des VDI ZRE (hier auch mit besonderem Verweis auf die Kurzanalyse „Ressourceneffizienz durch Maßnahmen in der Produktentwicklung“²⁶) sowie weitere Ressourceneffizienzplattformen als auch auf Ansprechpartner der Handwerkskammern verwiesen.²⁷

3.1.1 Optimieren der Druckluft

Im industrienahen Handwerk kann der Druckluftanteil vom Gesamtenergieverbrauch bis zu 20 % betragen. Durch Effizienzmaßnahmen wird geschätzt, dass das Einsparpotenzial an Energie bei rund 30 % bis 50 % liegt.²⁸ Oftmals wird jedoch die Optimierung von Druckluftanlagen nicht ausreichend beachtet, sodass vermeidbare Kosten für den Betrieb entstehen. Die Gründe für einen hohen Energieverbrauch sind vielfältig. Zu ihnen zählen u. a.²⁹

²⁶ VDI ZRE, Kurzanalyse Nr. 20 „Ressourceneffizienz durch Maßnahmen in der Produktentwicklung“: www.ressource-deutschland.de/publikationen/kurzanalysen

²⁷ u. a.: VDI ZRE: www.ressource-deutschland.de, Effizienzagentur NRW: www.ressourceneffizienz.de; Umwelttechnik BW: www.umwelttechnik-bw.de; Hessen Trade & Invest: www.technologieland-hessen.de/ressourceneffizienz; sowie Anhang 8.4 des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms II.

²⁸ Vgl. energieeffizienz-im-Betrieb (2018).

²⁹ Vgl. BayLFU (2004), S. 3 ff.

- falsche Dimensionierung der Kompressoren,
- hohe Leerlaufzeiten des Kompressors (im Leerlauf arbeitet der Kompressor trotz fehlender Verwendung aufgrund von Leckagen),
- Leckagen,
- falsch eingestelltes Druckniveau und Druckverluste in der Leitung durch ungünstige Verlegung der Leitungsrohre,
- fehlende regelmäßige Wartung und Instandhaltung sowie
- fehlende Wärmerückgewinnung.

In Abhängigkeit der Kompressorenlaufzeit tragen Energiekosten einen Anteil von 60 % bis 80 % an den Gesamtkosten für Druckluftanlagen.³⁰ Wird eine Druckluftanlage effizient betrieben, können hier hohe Kostensparpotenziale erzielt werden. Um einen ersten Status quo des Betriebsstands der Druckluftanlage zu erhalten, können bspw. folgende checklistenartige Fragen durch Betriebsmitarbeiter beantwortet werden.

Checklistenfragen Druckluftanlage³¹

- 1) Kennen Sie den Energieverbrauch Ihrer Druckluftanlage?
- 2) Kennen Sie den Bedarfsdruck Ihrer Druckluftanlage?
- 3) Verfügen Ihre Druckluftanlagen über Laufzeitähler?
- 4) Kennen Sie die Laufzeiten Ihrer Kompressoren und notieren Sie diese jährlich oder monatlich?
- 5) Setzen Sie technisch optimierte Kompressoren nach dem Stand der Technik ein?
- 6) Nutzen Sie die durch die Druckluftherzeugung entstehende Abwärme?
- 7) Verwenden Sie beim Einsatz mehrerer Kompressoren unterschiedlicher Leistung eine übergeordnete Steuerung zur optimierten Auslastung der eingesetzten Kompressoren?
- 8) Verwenden Sie bei Anlagen mit großen Verbrauchsschwankungen ausreichend dimensionierte Druckluftspeicher?

³⁰ Vgl. BayLfU (2004), S. 2.

³¹ Vgl. VDI ZRE (2018a).

- 9) Kennen Sie die Möglichkeiten einer Ultraschallprüfung für nicht wahrnehmbare Leckagen im Druckluftnetz?
- 10) Werden Querschnittsverringerungen insbesondere an Kupplungen und Ventilen vermieden?
- 11) Weisen Ihre Rohrleitungen Ablagerungen wie Korrosionsrückstände, Ölablagerungen etc. auf?
- 12) Entspricht die Druckdifferenz zwischen Verbraucher und Betriebsdruck ca. 1 bar?
- 13) Haben Sie bereits einen Anlagenvergleich/ein Benchmark durchgeführt?
- 14) Haben Sie schon einmal mögliche Alternativen zur Druckluft überprüft?

Zeigen sich mit der Beantwortung der Fragen erste Optimierungspotenziale, können verschiedene Maßnahmen umgesetzt werden, um den Druckluftanlagenbetrieb sparsamer zu gestalten.

Dokumentation und Überwachung des Druckluftnetzes

Die Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen im Druckluftnetz setzt eine Dokumentation des Verteilungsnetzes voraus. Hierzu zählen die Beschreibung von Streckenabschnitten, Rohrlängen, Rohrdurchmessern, Anschlussstellen usw.³²

Des Weiteren sollte der Bedarfsdruck ermittelt werden. Dieser ergibt sich aus der Summe des benötigten Drucks für den Verbraucher sowie dem zusätzlichen Druck für Druckverluste im System. Letzterer sollte im Normalfall bei Maschinen 1 bar nicht übersteigen, bei Werkzeugen 1,5 bar. Werden über Messungen jedoch höhere Druckverluste festgestellt, ist der Betrieb des Druckluftsystems nicht effizient und sollte Optimierungsmaßnahmen unterliegen.³³

Basierend auf der Dokumentation des Druckluftnetzes, der Messung des Bedarfsdrucks sowie weiterer Parameter sollten die Druckluftverluste regelmäßig ermittelt werden. Dadurch können Leckagen zwischen Druckverteilternetz und Verbrauchern, z. B. an Armaturen oder Kupplungen, direkt

³² Vgl. VDI ZRE (2018a).

³³ Vgl. VDI ZRE (2018a) und BayLfU (2004), S. 5.

an Verbrauchern oder im Rohrnetz entdeckt und repariert werden. Die Messung bzw. Ortung kann beispielsweise mithilfe von Ultraschallmessgeräten, mittels akustischer Wahrnehmung von Zischlauten oder über Durchflusssensoren (kalorimetrische Strömungssensoren) durchgeführt werden. Letztere sind mit geringem Installationsaufwand montierbar und ermöglichen eine automatische Messwerteerfassung und -analyse sowie eine IT-basierte Darstellung der Ergebnisse. Mithilfe dieser Technologien lassen sich Verlustmengen durch die Lokalisation von Leckagen reduzieren.^{34, 35}

Eine weitere Möglichkeit, die sich aus der Überwachung des Druckluftnetzes ergibt, umfasst die Ermittlung von Bereichen, die nur periodisch genutzt werden. Hier bietet sich eine zeitlich begrenzte Abkopplung vom Druckluftnetz durch Zonenventile an.³⁶

Rückgewinnung der entstehenden Wärme

Die für die Druckluftbereitstellung aufgewandte elektrische Energie wandelt sich durch den Kompressormotor zu 90 % in Wärme um. In Abhängigkeit von der Kühlungsart, der Kompressorbauart und den Betriebsparametern wie Leistungs- und Temperaturniveau kann die erzeugte Wärme ausgekoppelt und beispielsweise zur Raumlüfterwärmung, Warmwasserheizung oder Brauchwassererwärmung eingesetzt werden.³⁷ Eine einfache Wärmenutzung ist die Öffnung des Kompressorraums, sodass anliegende Räume mit der entstehenden Wärme erwärmt werden können (Raumlüfterwärmung).³⁸ Über ein Kanalsystem kann die Wärme den entsprechenden Räumen zugeführt werden, wobei die Wärmezufuhr durch temperaturgesteuerte Klappen im Kanalsystem regelbar ist.³⁹

Alternativen zum klassischen Druckluftsystem

Neue Geschäftsmodelle („Nutzen statt Besitzen“) im Bereich Druckluft ermöglichen mittlerweile den Kauf von einem Kubikmeter Druckluft anstel-

³⁴ Vgl. VDI ZRE (2014), S. 9 ff.

³⁵ Vgl. VDI ZRE (2018b).

³⁶ Vgl. VDI ZRE (2018a).

³⁷ Vgl. VDI ZRE (2018a) und BayLfU (2004), S. 6.

³⁸ Vgl. BayLfU (2004), S. 6.

³⁹ Vgl. Mader GmbH & Co. KG (2018).

le eines zu installierenden Druckluftsystems. Diese sogenannten ergebnisorientierten Produkt-Service-Systeme (PSS) basieren auf einem leistungsorientierten Vertrag mit dem Kunden, wobei die Abrechnung je genutztem Kubikmeter Druckluft erfolgt. Hierbei hat der Kunde weder Investitionskosten noch Betriebs- und Wartungskosten zu tragen, sondern kann seinen Druckluftbedarf nutzungsgerecht beziehen und bezahlen.⁴⁰

Eine andere, produktbezogene Alternative ist das Druckluft-Heiz-Kraftwerk (DHKW). Hierbei wird die Druckluft nicht durch elektrische Energie, sondern durch Gas erzeugt. Nach dem Wirkprinzip eines Blockheizkraftwerks wird durch einen gasbetriebenen Verbrennungsmotor industriell nutzbare Wärme erzeugt. Als Nebenprodukt fällt durch einen über eine Kupplung gleichzeitig betriebenen Schraubenverdichter Druckluft an (bis zu 13 bar). Die Druckluft kann somit ohne elektrische Energie erzeugt werden, wodurch die Betriebskosten bis zu 60 % gesenkt werden können.⁴¹

3.1.2 Einführen eines Werkzeugmanagements

Gerade im täglichen Geschäft von Handwerksbetrieben wird eine Vielzahl von Werkzeugen und anderen Hilfsmitteln eingesetzt. Durch eine fehlende Organisation und Ordnung der Werkzeuge und Hilfsmittel können hierbei Fehler auftreten, die zu Produktivitätsverlusten führen. Gründe dafür sind u. a.⁴²

- Anhäufung von unregelmäßig gebrauchten, abgenutzten oder doppelten Werkzeugen und weiteren Hilfsmitteln,
- Vermischung bzw. gemeinsame Lagerung von weniger häufig und häufig genutzten Werkzeugen und weiteren Hilfsmitteln,
- unsaubere Arbeitsplätze und
- fehlende Kontinuität von Sortierungs- und Aufräum Tätigkeiten.

Gepflegte und geeignete sowie geordnete Werkzeuge und Hilfsmittel tragen dazu bei, Fehlerquoten, Ausschüsse und hohe Verbräuche zu reduzie-

⁴⁰ Vgl. VDI ZRE (2017a), S. 27 und Kaeser Kompressoren Se (2018).

⁴¹ Vgl. energiewerkstatt (2018) und altAIRnative GmbH (2018).

⁴² Vgl. Sonntag (2013), S. 7.

ren und gleichzeitig die Produktnutzungsdauer zu verlängern (Tabelle 4).⁴³ Um dies zu erreichen, eignet sich die Umsetzung eines Werkzeugmanagements. Für die Ermittlung der aktuellen Integration eines Werkzeug- und Hilfsmittelmanagements im Betrieb können bspw. folgende checklistenartige Fragen durch Betriebsmitarbeiter beantwortet werden.

Checklistenfragen Werkzeugmanagement⁴⁴

- 1) Wissen Sie, wie Sie durch ein Werkzeugmanagement Ihre Werkzeug- und Produktionskosten senken können?
- 2) Werden Werkzeuge an zentraler Stelle ausgegeben und gesammelt?
- 3) Verwenden Sie Technik zur Nachverfolgung von Werkzeugen?
- 4) Ist Ihr Werkzeugmanagement mit anderen Betriebsbereichen vernetzt?
- 5) Sind an den Arbeitsplätzen/Lagerplätzen Markierungen für die jeweiligen Werkzeuge vorhanden?
- 6) Erfassen Sie die Werkzeugnutzung?

Zeigen sich mit der Beantwortung der Fragen erste Optimierungspotenziale, können verschiedene Maßnahmen umgesetzt werden, um das Werkzeugmanagement effizienter zu gestalten.

Anwenden der 5S-Methode

Die 5S-Methode ist ebenfalls ein Bestandteil der japanischen Methode Kaizen und nicht als eine einmalige Aufräumaktion zu verstehen, sondern vielmehr als kontinuierlicher Verbesserungsprozess. Bei der 5S-Methode handelt es sich um einen fünfstufigen Prozess, der in eine systematische Verbesserung der Werkzeugorganisation⁴⁵ einführt und diese standardisiert (Abbildung 4).⁴⁶

⁴³ Vgl. Sonntag (2013), S. 7.

⁴⁴ Vgl. VDI ZRE (2018a).

⁴⁵ Die 5S-Methode kann ebenso für die kontinuierliche Verbesserung der Arbeitsplatzorganisation eingesetzt werden. In der vorliegenden Kurzanalyse wird der Fokus jedoch auf das Management des Werkzeugs gelegt.

⁴⁶ Vgl. Kaizen Institute (2018).

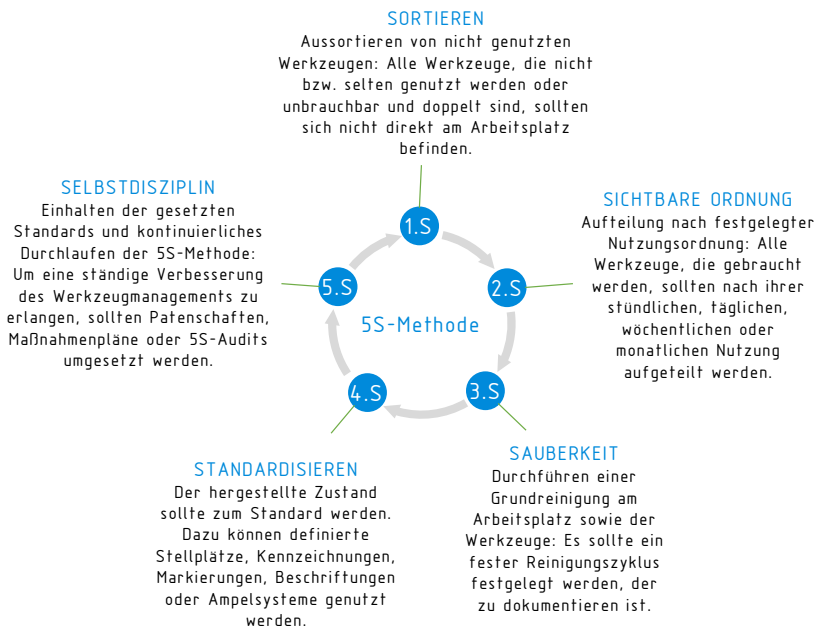


Abbildung 4: Ablauf der 5S-Methode⁴⁷

Die Durchführung der 5S-Methode bietet diverse Vorteile. Sie führt zu einer erhöhten Sicherheit am Arbeitsplatz, fördert die Transparenz und die Einbindung der Mitarbeiter bzw. steigert ihr Qualitätsbewusstsein, reduziert Verschwendungen und verbessert die Produktivität. Zudem ist die Methode branchen- und gewerbeübergreifend einsetzbar.⁴⁸

Werkzeuglagerung an zentraler Stelle

Eine umfangliche Werkzeugkontrolle wird ermöglicht durch eine Werkzeuglagerung an einer zentralen Stelle im Betrieb (Regalsystem, Fächersystem etc.), bestenfalls in zentraler Hallen-/Werkstättenlage, um gleiche Mitarbeiterwege sicherzustellen. Jedes gelagerte Werkzeug sowie der Lagerungsort in der zentralen Stelle sollten mit einer Nummerierung versehen werden, um eine schnelle Suche zu gewährleisten und eine Dokumentation

⁴⁷ In Anlehnung an Sonntag (2013), S. 7 und Kaizen Institute (2018).

⁴⁸ Vgl. Kaizen Institute (2018).

des Lagerbestands zu erleichtern. Hierzu bietet sich auch eine Anwendung von Trackingsystemen zur Werkzeugverfolgung an (siehe nächster Unterpunkt).

Über die Entnahme und Rückgabe der Werkzeuge durch die Mitarbeiter wird eine Werkzeuglagerung am Arbeitsplatz gerade bei Nichtnutzung vermieden und eine Übersicht über den Werkzeugbestand geschaffen. So können bei voranschreitendem Verschleiß der Werkzeuge automatisch Nachschub angefordert sowie Verbrauchsstatistiken angelegt und so genaue Werkzeugkosten ermittelt werden.⁴⁹

Durch die geschaffene Übersicht können zudem Standardwerkzeuge ermittelt und festlegt werden. Dies kann mitunter zu Rabatten bei Werkzeugzulieferern führen, da hierdurch der Bezug von höheren Mengen bei einem Lieferanten möglich ist. Gleichzeitig werden so Transportaufwendungen eingespart.

Trackingsysteme zur Werkzeugverfolgung

Zur besseren Organisation von Werkzeugen können Trackingsysteme eingesetzt werden. Darüber können der Aufenthaltsort, der Ladezustand und bei Maschinen auch die Wartungsnotwendigkeit und Verfügbarkeit abgerufen werden. Die Anwendung eines solchen Trackingsystems kann bereits für einen Handwerksbetrieb mit acht bis zehn Mitarbeitern rentabel sein.⁵⁰ Die Zielgruppe umfasst hierbei insbesondere Handwerksbetriebe, die Maschinen, Elektrogeräte, Spezialwerkzeuge etc. einsetzen.⁵¹

Es werden von den jeweiligen Anbietern unterschiedliche Systeme angeboten. Der Unterschied ist jeweils in der Trackingtechnologie zu finden, die von Barcode über die preisintensivere RFID-Technologie bis zur Nutzung

⁴⁹ Vgl. EnBle (2010), S. 95.

⁵⁰ Vgl. Klebig (2016).

⁵¹ Vgl. handwerk-magazin (2017).

von Nahfeldkommunikation (Near Field Communication, NFC) via Smartphone reicht (siehe auch Kapitel 3.2.3).⁵²

3.1.3 Optimieren von Lagerung und Logistik

Eine optimierte Lagerhaltung und eine effiziente Logistik können Verluste, Zeit und damit Betriebskosten sparen. Gerade Lagerschäden an Werkzeugen, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie (Zwischen-)Produkten sowie Schäden an diesen durch unnötige Transportwege und Zwischenlagerungen verursachen kostenintensive Ausschüsse im Betrieb. Gründe für diese Verluste sind u. a.⁵³

- schlechte Lagerbedingungen durch Feuchtigkeit, Schädlinge, Hitze, Kälte oder Rost,
- fehlende Lagerorganisation bzw. fehlendes Lagermanagement (Überschreiten von Verfallsdaten von Hilfs- und Betriebsstoffen, übervolle und ungeordnete Lager, Schäden an Gütern durch unsachgemäße Lagerung),
- fehlende direkte Transportwege und daher notwendige Zwischenlagerungen,
- fehlende optimierte Routenplanung zur Belieferung von Kunden und
- fehlende konsequente Wartung und Instandhaltung von Transportmitteln und Lagerräumen.

Um Ausschüsse durch die genannten Verlustquellen zu reduzieren, bietet es sich an, kleine und aufgeräumte Lager zu betreiben und einen abgestimmten und ungehinderten Materialfluss zu gewährleisten.⁵⁴ Folgende checklistenartige Fragen können aufzeigen, inwieweit solche Optimierungen in einem Betrieb bereits umgesetzt sind.

⁵² Ein Vergleich von verschiedenen Technologien verschiedener Anbieter kann unter folgendem Link nachvollzogen werden: www.handwerk-magazin.de/loesungen-zur-werkzeug-und-maschinenverwaltung/383/1518/download

⁵³ Vgl. Sonntag (2013), S. 9.

⁵⁴ Vgl. Sonntag (2013), S. 9.

Checklistenfragen zu optimierter Lagerung und Logistik⁵⁵

- 1) Sortieren Sie Lagerbestände nach Verfallsdatum?
- 2) Erfolgt eine regelmäßige Überprüfung der Lagerbestände?
- 3) Nutzen Sie digitalisierte Abläufe um das Lager zu verwalten?
- 4) Vermeiden Sie bei Möglichkeit Verpackungen?
- 5) Begrenzen Sie das Verpackungsvolumen auf das Mindestmaß, das zur Erhaltung der erforderlichen Sicherheit und Hygiene des verpackten Produkts und zu dessen Akzeptanz für den Verbraucher angemessen ist?
- 6) Werden Verpackungen mehrfach genutzt? Nutzen Sie Mehrwegsysteme wie Boxensysteme oder Europoolpaletten?
- 7) Vermeiden Sie unnötige Transporte durch Prozess- und Wegeoptimierung?
- 8) Führen Sie eine regelmäßige Wartung der innerbetrieblich genutzten Fahrzeuge durch (Reifendruck, Schmierung etc.)?
- 9) Wird die Bremsenergie in der Fördertechnik (Regalbediengeräte Gabelstapler etc.) zurückgewonnen?
- 10) Nutzen Sie anfallende Abwärme oder Prozesswärme zur Temperierung von Lagerbereichen?
- 11) Verwenden Sie Durchlaufregale?

Zeigen sich mit der Beantwortung der Fragen erste Optimierungspotenziale, können verschiedene Maßnahmen umgesetzt werden, um das Werkzeugmanagement effizienter zu gestalten.

Lageroptimierung und Lagermanagement

Um eine Lageroptimierung durchzuführen, ist wiederum die bereits vorgestellte 5S-Methode anwendbar (Kapitel 3.1.2). Hierüber lässt sich eine systematisch entwickelte Grundordnung schaffen, die durch einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess erhalten und weiterentwickelt wird. So kann beispielsweise überlagertem Produktionsmaterial entgegengewirkt, d. h. der Lagerbestand verringert und gebundenes Kapital gesenkt werden.

⁵⁵ Vgl. VDI ZRE (2018a).

Eine Lageroptimierung ist auch mithilfe externer Unternehmen denkbar. Ein Unternehmen hat eine Lageroptimierung entwickelt, dessen Grundelement die Trennung von Standard- und Kommissionsmaterial entlang des gesamten Betriebsablaufs ist. Durch weitere Optimierungselemente (kleine Auswahl dargestellt in Tabelle 6) können so die Kapitalbindung, Suchzeiten und Leerläufe gesenkt, Betriebsabläufe geglättet und Tätigkeiten produktiver gestaltet werden.⁵⁶

Tabelle 6: Maßnahmen zur Lageroptimierung⁵⁷

Problem	Lösung
Kürzlich geliefertes Material wird durch Mitarbeiter gesucht	Einrichten von definierten Plätzen zur Materialannahme, bspw. eine Arbeitsplatte im Anlieferungsbereich, auf der das Material bis zur Einordnung an einem festgelegten Lagerort aufbewahrt wird.
Vermischung von Materialien, Werkzeugen und Maschinen am Lagerort verursacht hohe Suchzeiten	Aufbau eines Standard-Artikellagers, sodass Material und Werkzeug von Maschinen getrennt werden. Die Ausnahme bilden Materialien, die an Maschinen gebunden sind. Diese werden neben die festgelegten Lagerorte der Maschinen platziert.
Fehlbestände verursachen Suchkosten und zusätzliche Beschaffungsfahrten	Definition des gebräuchlichen Materialstamms und Dokumentation des Bestands u. a. durch digitale Technologien oder Artikellisten, um einen zeitgerechten Bestellvorgang in die Wege zu leiten.

Digitalisierungsmaßnahmen (siehe Kapitel 3.2) unterstützen eine Lageroptimierung maßgeblich. Gerade bei der Lagerung von Standardmaterial vereinfachen sich Betriebsabläufe in Handwerksbetrieben durch die Digitalisierung. Eine Möglichkeit bietet die Nutzung von QR-Codes, die an Lagerregalen angebracht sind. Der hinterlegte Link des QR-Codes verweist auf das entsprechende Produkt, das in der Datenbank des Lieferanten hinterlegt ist. Mit dem Smartphone des Mitarbeiters können die QR-Codes erfasst und damit eine Bestellung beim Lieferanten ausgelöst werden. Solche Bestellvorgänge können zudem automatisiert werden, wenn zusätzlich optische Sensoren installiert sind.⁵⁸

⁵⁶ Vgl. Paulus-Lager (2018a).

⁵⁷ Vgl. Paulus-Lager (2018b).

⁵⁸ Vgl. Guthardt (2018).

3.2 Ressourceneffizienz durch Digitalisierungsstrategien und Maßnahmen

Die Digitalisierung verschiedener Prozesse und Technologien schreitet branchenübergreifend stark voran. Auch im Handwerk werden digitale Technologien vermehrt genutzt, um beispielsweise Geschäftsprozesse zu verbessern, neue Kundenkreise zu erschließen, Datenschutz und Cybersicherheit zu gewährleisten, Technologien und Produktionsprozesse zu optimieren oder neue Geschäftsfelder zu erschließen. Laut einer Umfrage begreifen rund 23 % der Handwerksbetriebe die Digitalisierung als Chance, nur rund 6 % als Risiko (Abbildung 5).⁵⁹

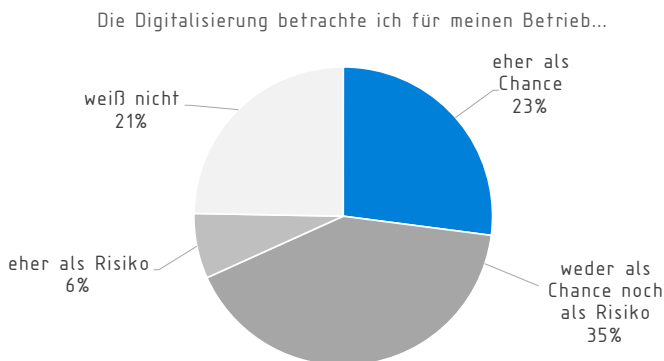


Abbildung 5: Chance und Risiko der Digitalisierung für Handwerksbetriebe⁶⁰

Der Großteil der Handwerksbetriebe sieht die Digitalisierung weder als Chance noch als Risiko bzw. kann keine Einschätzung zum Thema Digitalisierung vornehmen (56 %). Hier wird deutlich, dass die Möglichkeiten, die sich durch die digitale Transformation ergeben, noch weiter kommuniziert werden müssen. Aber auch, wenn die Digitalisierung eher als Chance angesehen wird, gibt es weitere Gründe, die aus Sicht der Handwerksbranche

⁵⁹ Vgl. Barthel (2018), S. 2 und 7.

⁶⁰ In Anlehnung an Barthel (2018), S. 8.

einer Beschäftigung mit dem Thema bzw. Investitionen in Digitalisierungsmaßnahmen entgegenstehen. Dazu zählen⁶¹

- fehlende personelle und zeitliche Ressourcen im Betrieb,
- fehlender Nutzen/Mehrwert für Kunden und Betrieb,
- fehlende Gewährleistung der IT-Sicherheit,
- lückenhafte Versorgung mit Breitbandanschlüssen,
- fehlende Mitarbeiterkompetenz oder
- fehlende Förderprogramme.

In Abhängigkeit der handwerklichen Tätigkeit können jedoch die Vorteile von Digitalisierungsmaßnahmen zur positiven Entwicklung des Betriebs bzw. des Geschäftsfelds beitragen. Die bereits genannten Bereiche (verbesserte Geschäftsprozesse, Erschließung neuer Kundenkreise etc.) können so optimiert oder erweitert werden durch beispielsweise⁶²

- Zeit-, Ressourcen- und dadurch Kostenersparnisse,
- wachsende Dienstleistungs- und Serviceangebote,
- die Erschließung neuer Märkte und
- Produktivitätssteigerungen.

Gerade die Einsparung von Ressourcen kann zu einer erheblichen Senkung der Betriebskosten führen. Digitalisierungsmaßnahmen, die beispielsweise Technologien und Produktionsprozesse optimieren oder Lieferanten und Kunden effizienter in den eigenen Betriebsablauf integrieren, können zu Material-, Energie- und Kostenersparnissen führen und damit die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen.⁶³ Ressourceneffizienz wird dabei durch u. a. verringerte Fehlerraten, Ausschuss- und Abfallmengen sowie eingesparte elektrische Energie erzielt.

⁶¹ Vgl. Barthel (2018), S. 10.

⁶² Vgl. Blank (2018), S. 5.

⁶³ Vgl. VDI ZRE (2017b), S. 21 ff. und 37ff.

Um einen ersten Status quo des digitalen Betriebsstands zu erhalten, können beispielsweise folgende checklistenartige Fragen durch Betriebsmitarbeiter beantwortet werden:

Checklistenfragen digitalisierter Handwerksbetrieb⁶⁴

- 1) Wird die IT-Infrastruktur in Ihrem Betrieb kontinuierlich aktualisiert und an den Stand der Technik angepasst?
- 2) Nutzen Sie digitale Technologien, um Arbeitseinsätze zu planen und zu koordinieren?
- 3) Werden Prozesse in Ihrem Betrieb durch digitale Technologien dokumentiert?
- 4) Nutzen Sie zur Produktion Ihrer Produkte Technologien wie den 3D-Druck, Robotik oder Datenbrillen?
- 5) Sind Ihre Anlagen, Maschinen und Geräte in Ihrem Betrieb miteinander vernetzt?
- 6) Haben Sie über digitale Technologien Ihr Angebotsspektrum erweitert?
- 7) Nutzen Ihre Mitarbeiter mobile Endgeräte wie Smartphones oder Tablets?
- 8) Nutzen Sie Cloud-Technologien in Ihrem Betrieb?
- 9) Nutzen und analysieren Sie anfallende Daten aus Betriebsprozessen, um darüber die Produktherstellung und Dienstleistungserbringung zu optimieren? Nutzen Sie dabei Echtzeitdaten?
- 10) Nutzen Sie bspw. Smartphones oder Tablets, um Informationsflüsse wie Zeiterfassung, Werkzeugverwaltung oder Bautagebuch aufzunehmen?
- 11) Sind Lieferanten über IT-Systeme in den Leistungserstellungsprozess eingebunden?

Je nach Produktangebot oder Dienstleistungserbringung eines Betriebs können verschiedene Digitalisierungsmaßnahmen helfen, Effizienzpotenziale zu erschließen. Eine Studie, die den Zusammenhang zwischen Ressourceneffizienz und Industrie 4.0 untersuchte, ermittelte elf grundlegende Maßnahmen der digitalen Transformation und leitete das daraus resultierende Ressourceneffizienzpotenzial ab (Tabelle 7).⁶⁵

⁶⁴ Vgl. Bedarfsanalyse Handwerk (2019); (Den vollständigen Digitalisierungsscheck können Sie auf der Internetseite www.bedarfsanalyse-handwerk.de durchführen.).

⁶⁵ Vgl. Schebek et al. (2017), S. 77.

Tabelle 7: Elf Maßnahmen der Digitalisierung und ihr Ressourceneffizienzpotenzial⁶⁶

Maßnahme	Beschreibung	RE-Potenzial
1) Vernetzung von Sensoren und Aktoren	Sensoren und Aktoren dienen der kontinuierlichen Sammlung von Daten, um diese zur Prozess-/Betriebsanalyse und zur Prozess-/Betriebsoptimierung auszuwerten.	Grundvoraussetzung für RE, erfasste Daten erzeugen Prozess- und Betriebstransparenz
2) Einsatz digitaler Objektgedächtnisse	Physische Objekte (Maschinen) ausgestattet mit Datenspeicher, der Daten sammelt und speichert, die direkt und in Echtzeit an der Maschine/am Produkt abrufbar sind.	direkte Zuordnung des Ressourcenverbrauchs zum Produkt führt zu Prozesstransparenz
3) dezentrale Steuerung	Ein intelligentes Werkstück hat Kenntnisse über seine Eigenschaften und enthält abrufbare Informationen über seine Fertigungsweise und das Ziel der Fertigung. Es kann so seinen eigenen Produktionsprozess steuern.	dezentrale Produktion verringert Fehlproduktionen
4) Maßnahmen zur Werkerunterstützung und Assistenz	Assistenzsysteme, z. B. mobiler Endgeräte, können Werker in ihren Tätigkeiten in der Fertigung unterstützen. Softwaresysteme können die Gestaltung des Produktionsprozesses auf Basis der vernetzten Infrastruktur und der Auswertung der verfügbaren Sensorik optimieren.	genaue Anweisungen vermeiden Fehlproduktionen und Ausschuss und fördern effiziente Materialnutzung
5) dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung	Zusammenwirken von mind. zwei Systemen mit minimalem Arbeitsaufwand herstellen, ändern oder auflösen. Unabhängig voneinander agierende Anlagenteile können leicht um neue/veränderte Anlagenteile ergänzt werden.	Abschalten von nicht genutzten Anlagenteilen führt zu besserer Prozessauslastung
6) Ortungs- und Lokalisierungssysteme (Kapitel 3.2.3)	Durch Lokalisierungssysteme sind Maschinen/Werkzeuge in Produktionsstätten ortbar. Auch gefertigte Produkte können lokalisiert werden und sind entlang der Wertschöpfungskette verfolgbar.	Vermeiden von Verlust von Produkten/Werkzeugen/Maschinen, Einsparen von Transportwegen
7) Zustandsüberwachung	Betriebszustände von Anlagen und Prozessen werden kontinuierlich analysiert sowie Abweichungen markiert und gemeldet. Unerwartete Systemausfälle können so vermieden werden.	Einsatz von Verschleißteilen bis zur Nutzungsgrenze, Beheben von untypischen Prozessfehlern
8) prädiktive Wartung	Maschinenfehler (z. B. Maschinenausfälle oder Störungen) können noch vor deren Auftreten entdeckt werden. Instandhaltung oder frühzeitige Reparaturen können so Maschinen- oder Prozessausfälle vermeiden.	Identifikation von frühzeitigem Verschleiß, Beheben untypischer Fehler, Vermeiden von Fehlproduktionen
9) durchgängige Datenintegration (Kapitel 3.2.1)	Der einheitliche Zugriff auf Datenstrukturen im gesamten Betrieb ermöglicht die ganzheitliche Betrachtung von Fertigung und Auftragsplanung. Voraussetzung dafür ist eine vertikale Integration (von der Fertigung bis zum Management) von Enterprise Resource Planning Systemen (ERP-Systemen).	erfasste Daten erzeugen Prozess- und Betriebstransparenz und dienen der Betriebs-/Prozessoptimierung
10) virtuelle Produktentwicklung (Kapitel 3.2.2)	Im Computer wird ein digitales, dreidimensionales Produktmodell entworfen. Es kann beliebig modifiziert, getestet und durch Simulationen optimiert werden. Mittels 3D-Druck können Prototypen des Entwurfs kostengünstig erzeugt werden.	materialarme Prototypenoptimierung und -fertigung
11) Cloud Computing (Kapitel 3.2.4)	Einzelne Arbeitsbereiche (z. B. Programme, Softwarepakete, Speicherplatz, Rechenkapazität) werden nicht mehr auf der Festplatte, sondern über das Internet oder lokale Netzwerke (der Cloud) bereitgestellt.	Energieeinsparungen und Administrationsabbau durch Verlagerung der Rechenleistung

RE - Ressourceneffizienz; Prozess- und Betriebstransparenz kann Ineffizienzen aufzeigen, die durch entsprechende Optimierungsmaßnahmen zur Einsparung u. a. von Material und Energie führen.

⁶⁶ Vgl. Schebek et al. (2017), S. 77 und S. 147 – 164.

Die Integration der vorgestellten Maßnahmen in betriebliche Abläufe kann dabei zu Ressourceneinsparungen führen. Einige Betriebe haben von bis zu 25 % an Material- und Energieeinsparungen berichtet.⁶⁷

Auf Basis einer Studie der Handwerkskammer Thüringen, die den Digitalisierungsgrad und die Potenziale ermittelte, wurden die häufigsten Anwendungen von Maßnahmen im Handwerk zusammengefasst und sind untenstehend aufgelistet.⁶⁸ In Zusammenhang mit Tabelle 7 kann so bereits ein allgemeines Ressourceneffizienzpotenzial abgeleitet werden, welches in Handwerksbetrieben erschlossen wird:

- Anwenden eines Dokumentenmanagementsystem (DMS, datenbankgestützte Ablage und Verwaltung von elektronischen Dokumenten im Betrieb),
- Einsatz von Building Information Modeling (BIM) für die optimierte digitale Planung von Bauprojekten,
- Verwendung von Enterprise Resource Planning Systemen (ERP-Systeme) über Softwarelösungen zur bedarfsgerechten Planung, Steuerung und Optimierung von Betriebsabläufen (Kapital, Personal, Betriebsmittel etc.),
- Einsatz von Systemen zur digitalen und mobilen Zeiterfassung, die mit ERP-Software gekoppelt werden,
- Einsatz von branchenspezifischen Warenwirtschaftssystemen, die Waren- und Materialströme im Geschäftsprozess des Betriebes abbilden,
- Einsatz von Programmen für den digitalen Workflow zum Optimieren und Automatisieren von Arbeitsabläufen,
- Einsatz von digitalen Bautagebüchern für die Baustellendokumentation.

➔ **gelistete Anwendungen zählen zu Maßnahme 9: Durchgängige Datenintegration (Tabelle 7)**

⁶⁷ Vgl. Schebek et al. (2017), S. 188.

⁶⁸ Vgl. Mulatz (2017).

- Einsatz von Software für 3D-Technologien
- ➔ **gelistete Anwendung zählt zu Maßnahme 10: Virtuelle Produktentwicklung** (Tabelle 7)
- Einsatz cloudbasierter, sicherer Datenspeicher
- ➔ **gelistete Anwendung zählt zu Maßnahme 11: Cloud Computing** (Tabelle 7)

Der Großteil der bereits in Handwerksbetrieben umgesetzten Maßnahmen lässt sich der „Durchgängigen Datenintegration“ (Maßnahme 9, Tabelle 7) zuordnen. Auf diese Weise wird die Wertschöpfungskette des Handwerksbetriebs, also vom Kundenauftrag, dem Einkauf, der betrieblichen Leistungserbringung über den Verkauf bis hin zum Service, transparenter gestaltet. Darauf aufbauende Optimierungsmaßnahmen können zu Ressourceneinsparungen führen. Auch cloudbasierte Lösungen sowie der Einsatz einer virtuellen Produktentwicklung werden in einigen Branchen des Handwerks bereits angewendet.⁶⁹

In den folgenden Kapiteln wird detaillierter auf die durchgängige Datenintegration (Kapitel 3.2.1), die virtuelle Produktentwicklung (Kapitel 3.2.2) und das Cloud Computing (Kapitel 3.2.4) eingegangen, die branchenübergreifend umgesetzt werden können. Zudem wird die Maßnahme 6, Tabelle 7 „Ortungs- und Lokalisierungssysteme“ beleuchtet (Kapitel 3.2.3). Hier haben sich ebenfalls bereits gängige Praxislösungen für das Handwerk etabliert. Für Informationen weiterer, branchenspezifischer Digitalisierungsmaßnahmen und künftiger Trends (u. a. prädikative Wartung, Zustandsüberwachung oder die Vernetzung von Sensoren und Aktoren) sei auf die Internetseiten des Kompetenzzentrums Digitales Handwerk sowie weitere Ressourceneffizienzplattformen als auch auf Ansprechpartner der Handwerkskammern verwiesen.⁷⁰

⁶⁹ Vgl. Mulatz (2017).

⁷⁰ u. a.: Kompetenzzentrum Digitales Handwerk, VDI ZRE; Effizienzagentur NRW: www.ressourceneffizienz.de; Umwelttechnik BW: www.umwelttechnik-bw.de; Hessen Trade & Invest: www.technologieland-hessen.de/ressourceneffizienz; sowie Anhang 8.4 des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms II.

3.2.1 Durchgängige Datenintegration

Die durchgängige Datenintegration ermöglicht einen einheitlichen Datenzugriff auf unterschiedliche Datenquellen und -formate im Betrieb (Tabelle 8). Die Analyse und Auswertung dieser Daten können Ineffizienzen im Betrieb aufzeigen, die über Optimierungsmaßnahmen behoben werden können.

Tabelle 8: Chancen und Barrieren einer durchgängigen Datenintegration⁷¹

Voraussetzungen	Herausforderungen	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Vorhandensein von Schnittstellen zum Datenaustausch • Datenaufbereitung und Sammlung erfolgen zweckmäßig • Vorhandensein einer Datenmanagementstruktur • Übersichts-/Informationsmodell über Datenherkunft zur Abbildung und Konsolidierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Schnittstellenkompatibilität • Komplexität durch uneinheitliche Datenformate und -strukturen • Erfassen und Verarbeitung immenser Datenmengen • Datenqualitätskontrolle • Datensammlung aus unterschiedlichen Betriebsbereichen erfordert hohen operativen Aufwand • Echtzeitanforderung muss erfüllt sein • Anforderungen an die Sicherheit müssen gewährleistet sein • Datensilos sind aufzulösen und zu vermeiden • Skalierbarkeit des Systems 	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebsbereiche werden vernetzt und führen zu einheitlichen (Daten) Systemen • Informationen können einheitlich betrachtet und ausgewertet werden • Datenrückverfolgbarkeit ist gewährleistet • Prozesse werden transparent • datenbasierte Entscheidungen können getroffen werden • Einsparung von Zeit • Reduzierung von Fehlern

Sogenannte Enterprise Resource Planning-Systeme (ERP-Systeme) nutzen die durchgängige Datenintegration, um den einheitlichen Zugriff auf Daten zu gewährleisten. So können betriebliche Produktionsfaktoren wie Werkstoffe, Kapital, Betriebsmittel, Arbeit und Personal effizient geplant, gesteuert und kontrolliert werden.⁷² Entsprechend ist ein ERP-System aus verschiedenen Modulen aufgebaut. Dazu gehören die Module Beschaffung/Materialwirtschaft, Produktion, Vertrieb, Forschung und Entwicklung, Anlagenwirtschaft, Personalwesen, Finanz- und Rechnungswesen, Controlling usw. Je nach Betriebsgröße und den notwendigen Bedürfnissen der Betriebe kann eine Auswahl der genannten Module vorgenommen werden.⁷³ Am Markt finden sich zahlreiche Herstellerlösungen für ERP-Systeme.⁷⁴ Diese lassen sich grundsätzlich in kostengünstigere Open-

⁷¹ Vgl. Schebek et al. (2017), S. 160.

⁷² Vgl. ERP-SYSTEM.online (2018a).

⁷³ Vgl. Vahrenkamp und Siepermann (2018).

⁷⁴ Vgl. ERP-SYSTEM.online (2018b) oder handwerk-magazin (2017).

Source-Lösungen, Cloud-Lösungen oder On-Premise-Lösungen unterscheiden (Tabelle 9).

Tabelle 9: Vor- und Nachteile von ERP-Systemen⁷⁵

Vorteile	Nachteile
OPEN-SOURCE-LÖSUNGEN: ⁷⁶ Open-Source-Lösungen sind frei zugängliche Softwareprogramme, für die keine Lizenzgebühren anfallen. Der Quellcode ist durch den Benutzer kostenlos modifizierbar und kann an die Bedürfnisse des Betriebs angepasst werden.	
<ul style="list-style-type: none"> • kostengünstig, Kosten fallen für Wartung, Schulungen, Support etc. an • lizenzfreier, an eigene Bedürfnisse anpassbarer Quellcode; die Skalierbarkeit ist gewährleistet • alle Mitarbeiter können auf die Software zugreifen; keine Limitierung durch Einzelplatzlizenzen • überschaubare Funktionalität führt zu einfacher Umsetzung 	<ul style="list-style-type: none"> • überschaubare Funktionalität, mitunter können nicht alle Bedürfnisse eines Betriebs abgedeckt werden • Performance und Zuverlässigkeit können im Vergleich zu lizenzierten ERP-Softwarelösungen geringer sein • IT-Spezialist kann für die Änderungen im Quellcode nötig sein • kein Haftungsanspruch bei Problemen
CLOUD-LÖSUNGEN: Das ERP-System funktioniert als Interneth Lösung bzw. ist webbasiert. Der Anbieter stellt dem Kunden die nötige Hardware zur Verfügung und ist für Wartungsarbeiten, Reparaturen und Updates zuständig. Der Betrieb bezahlt für diese Leistungen eine monatliche Kostenpauschale und muss über eine Internetverbindung sowie einen Web-Browser verfügen.	
<ul style="list-style-type: none"> • die webbasierte Lösung ermöglicht einen uneingeschränkten Datenzugriff von jedem Ort aus • Kosten sind durch die zu leistende Pauschale genau kalkulierbar • Administrationsabbau und Energieeinsparung durch Verlagerung der IT-Infrastruktur und des IT-Fachpersonals • geringer Aufwand bei Inbetriebnahme 	<ul style="list-style-type: none"> • kein Datenzugriff bei fehlender Internetverbindung • Gewährleistung der Datensicherheit sensibler Unternehmensdaten muss sichergestellt sein • ausreichende Performance für flüssige Prozesse muss sichergestellt sein • Abhängigkeit von ERP-Anbieter ist gegeben (siehe Kapitel 3.2.2, Cloud Computing)
ON-PREMISE-LÖSUNGEN: Das On-Premise-System wird als Software auf dem betriebs-eigenen Server installiert und bedarf einer Lizenzierung. Der Betrieb benötigt dazu eigene Hardware sowie ein eigenes Rechenzentrum.	
<ul style="list-style-type: none"> • einmaliger Kostenpunkt durch Kauf der Softwarelizenz • eigene Verantwortung für Betrieb und Datensicherheit des ERP-Systems • kontinuierliche Skalierung möglich • Unabhängigkeit vom ERP-Anbieter gewährleistet 	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Aufwand und hohe Kosten beim Einführen des ERP-Systems und beim Aufbau der nötigen Infrastruktur • Wartung, Reparaturen etc. müssen selbst durchgeführt werden • Mitarbeiter müssen eigens geschult und qualifiziert werden • kein Haftungsanspruch bei Problemen

⁷⁵ In Anlehnung an ERP-SYSTEM.online (2018c) und ERP-SYSTEM.online (2018d).

⁷⁶ Anmerkung: Open-Source-Lösungen sind eher handwerksfern, werden aber vollständigshalber mit aufgeführt.

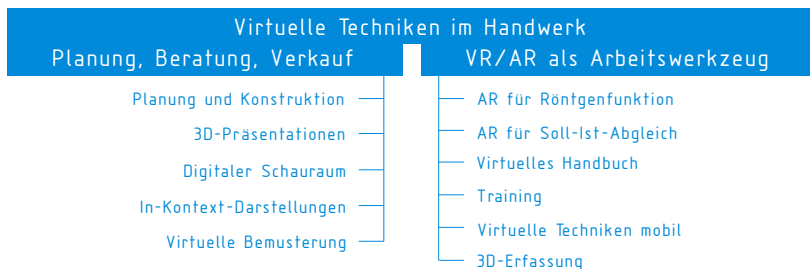
Vor der Auswahl und Inbetriebnahme ist zu prüfen, ob alle technisch-fachlichen, rechtlichen, wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Anforderungen durch einen ERP-Anbieter gewährleistet werden. Moderne ERP-Systeme sollten dabei über folgende Kriterien verfügen:⁷⁷

- Integrierte Systeme: ERP-Systeme schließen möglichst alle für den Betrieb notwendigen Funktionen (Module) ein; die Dateneingabe, die Datenspeicherung und die Datenausgabe erfolgen aus möglichst einer Datenbank.
- Skalierbarkeit/Modularisierung: die notwendigen Funktionen für den Betrieb sind flexibel erweiterbar oder reduzierbar.
- Mobilität: Der sichere Zugriff auf die Betriebsdaten ist von jedem Ort aus möglich, die grafische Darstellung des ERP-Systems ist für mobile Endgeräte optimiert.
- Web-basierte Oberfläche: Der Zugriff auf Unternehmensdaten mit beliebigen Endgeräten über eine im Internet zugängliche Seite ist möglich.
- Sicherheit: ERP-Systeme verfügen über sichere Infrastrukturen wie eine stark individualisierte Rechtestruktur, die bspw. Massendownloads von Kundendaten verhindern (bei Cloud-Diensten).
- Datensicherung: Die Sicherung der Daten bei Cloud-Diensten erfolgt in Echtzeit und an verschiedenen Rechenzentren (Georedundanz), die Daten werden automatisch gesichert und archiviert, bei On-Premise-Diensten sind Backup-Lösungen integriert.
- Automatisierung: Das ERP-System bildet die Workflows des Betriebs ab, die Workflows können koordiniert, verschlankt und automatisiert werden.
- Internationalität: Das ERP-System ist in mehreren Sprachen, mindestens in Englisch, anwendbar.
- Benutzerfreundlichkeit: Das ERP-System ist intuitiv bedienbar.

⁷⁷ Vgl. Esseling (2018).

3.2.2 Virtuelle Produktentwicklung

Virtuelle Techniken (Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) etc.) unterstützen Handwerksbetriebe in den Bereichen Planung, Beratung, Verkauf sowie in ihren Arbeitstätigkeiten (Abbildung 6).



VR-Virtual Reality/AR-Augmented Reality

Abbildung 6: Virtuelle Techniken im Handwerk⁷⁸

Insbesondere durch die Planung und Konstruktion bzw. die virtuelle Produktentwicklung können Ressourceneffizienzpotenziale erschlossen werden. Abweichungen bzw. Fehlkonstruktionen können über softwaregestützte Simulationen erkannt und behoben, individuelle Kundenanforderungen erfüllt und eine höhere Produktqualität erreicht werden. So verringern sich eine Weiterverarbeitung fehlerhafter Produkte und damit unnötige Materialeinkäufe.⁷⁹

Tabelle 10: Chancen und Barrieren einer virtuellen Produktentwicklung⁸⁰

Voraussetzungen	Herausforderungen	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Vorhandensein einer adäquaten Dateninfrastruktur und eines Datenmanagements • Mitarbeiter-Know-how • hohe Rechenleistungen • Prozess- und Projektdaten müssen zugänglich sein 	<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeiter müssen geschult werden • ein Produktdatenmanagement ist erforderlich • hohe Softwarekosten müssen kalkuliert werden 	<ul style="list-style-type: none"> • wenig konstruktive Änderungen im späteren Produktentwicklungs- und Herstellungsprozess • hohe Produktqualität • additive Fertigung statt subtraktiver Fertigung • Prozessoptimierung im Bereich Freigabe bzw. Änderungen

⁷⁸ In Anlehnung an Runde (2016).

⁷⁹ Vgl. Schebek et al. (2017), S. 162.

⁸⁰ Vgl. Schebek et al. (2017), S. 162.

Im industrienahen Handwerk werden 3D-Technologien insbesondere in den Gewerbezweigen Hörakustik, Orthopädietechnik sowie Zahntechnik bereits eingesetzt. Auch in der Feinmechanik und im technischen Modellbau findet die Technologie zunehmend Einzug.⁸¹ Typische Einsatzfelder für 3D-Druck-Verfahren umfassen⁸²

- die Generierung von Prototypen aus Computermodellen für die Nutzung im Designprozess (Rapid Prototyping),
- die Herstellung von Spezialwerkzeugen, Vorrichtungen, Gussformlingen und maßgeschneiderten Produktionshilfsmitteln (Rapid Tooling),
- die Fertigung von Unikaten oder Einzelanfertigungen auf Basis digitaler Computermodelle (Rapid Manufacturing),
- die Kleinstserienfertigung von Werkstücken mit Option zur individuellen Modifikation (Customizing) sowie
- die Herstellung von Ersatzteilen auf Abruf (On-demand-Fertigung).

Für Handwerksbetriebe resultieren durch den 3D-Druck neue Möglichkeiten, um Produkte an den Kundenbedarf anzupassen, schneller zu produzieren oder Ersatzteile auf Abruf herzustellen. Dadurch können Kosten beispielsweise für die Material- und Produktlagerung eingespart und Wettbewerbsvorteile durch ein individuelles Eingehen auf Kundenwünsche erschlossen werden.

Aktuell stehen Handwerksbetriebe noch vor den Herausforderungen hoher Anschaffungs- und Betriebskosten, geringerer produzierter Produktmengen oder fehlenden Know-hows im softwaregestützten Konstruieren mit 3D-Daten. Dennoch wird geschätzt, dass bis zum Jahr 2030 knapp die Hälfte der Handwerksbetriebe den 3D-Druck im Unternehmen integriert hat.⁸³ Hier bietet es sich an, bereits vorhandene Qualifizierungsangebote von Handwerkskammern und Kompetenzzentren wahrzunehmen.

⁸¹ Vgl. Meyer-Veltrup (2018).

⁸² Vgl. VDI ZRE (2019).

⁸³ Vgl. Meyer-Veltrup (2018).

3.2.3 Ortungs- und Lokalisierungssysteme

Ortungs- und Lokalisierungssysteme (Tracking-Systeme) ermöglichen eine leichtere Organisation und Zuordnung von Produkten, Werkzeugen oder Maschinen. Gerade (Zwischen)Produkte können durch die Tracking-Systeme entlang der gesamten Wertschöpfungskette verfolgt oder Werkzeuge bei Verlust, z. B. auf Baustellen, geortet werden. Zudem ist es möglich, bei Auftragseingang ein Fahrzeug mit dem geringsten Anfahrtsweg zu bestimmen und zu überprüfen, ob alle notwendigen Werkzeuge für den Auftrag im Fahrzeug zur Verfügung stehen. Materialverluste sowie unnötige Transporte können so durch einen transparenten Transport- und Materialfluss vermieden werden (Tabelle 11).⁸⁴

Tabelle 11: Chancen und Barrieren von Tracking-Systemen⁸⁵

Voraussetzungen	Herausforderungen	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Markierung der zu lokalisierenden Objekte • Sende- und Empfangseinheiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl der geeigneten Tracking-Systeme • Echtzeitfähigkeit der Tracking-Systeme muss gewährleistet sein 	<ul style="list-style-type: none"> • optimierte Vorgänge entlang des gesamten Betriebsablaufs sowie der Lieferkette/transparente Materialflüsse • Verringerung von Fehlern und ineffizienten Prozessen/Betriebsabläufen • Tracking von Bauteilen und Maschinen • Verringerung der Lagerhaltung • Diebstahlsicherung • Vereinfachung von Rückrufaktionen

Tracking-Systeme können natürliche Ressourcen einsparen und sind vielfältig einsetzbar. Für das Handwerk eröffnen sich so zahlreiche Möglichkeiten wie⁸⁶

- das Management und das Tracken von verlorenen oder auf der Baustelle vergessenen Werkzeugen,
- das weltweite Orten von beispielsweise Baucontainern, da oftmals als Netzwerk das Mobilfunknetz genutzt wird,

⁸⁴ Vgl. SBZ (2016).

⁸⁵ In Anlehnung an Schebek et al. (2017), S. 156.

⁸⁶ Vgl. SBZ (2016).

- das Verfolgen von Flottenfahrzeugen zur Erleichterung des Auftragsmanagements sowie die Überprüfung des Werkzeugbestands im Fahrzeug oder
- das Installieren von elektronischen Zäunen, über die ein Alarm ausgelöst wird, wenn ein Werkzeug außerhalb der Betriebszeiten das Gelände verlässt (Diebstahl).

Es gibt bereits Lösungen, die zusätzlich Datenblätter von Baumaschinen hinterlegen können und somit rechtzeitig an online eingetragene Prüfintervalle, beispielsweise die Unfallverhütungsvorschriften-Prüfung (UVV-Prüfung), erinnern.⁸⁷ Bei Großunternehmen werden schon Werkzeuge erprobt, die erzeugte Werkzeugdaten komplett auslesen. Hierüber lassen sich Aussagen über Fehlermeldungen und geleistete Betriebsstunden tätigen und damit Hinweise für eine vorausschauende Wartung geben (Tabelle 7, Maßnahme 8). Gerade durch die prädikative Wartung können Maschinenstillstände um bis zu 70 % verringert und rund 30 % an Kosten eingespart werden. Es wird geschätzt, dass in Zukunft solche Systeme auch in kleineren Betrieben Anwendung finden.⁸⁸

3.2.4 Cloud Computing

Cloud Computing verlagert IT-Prozesse von den eigenen Betriebsrechnern mit entsprechender Software auf externe Server. Das Netzwerk, das für diese sogenannten Cloud Services typischerweise genutzt wird, ist das Internet. Der Zugriff auf die in der Cloud hinterlegten Daten und Anwendungen kann über ein internetfähiges Endgerät (z. B. Tablet oder Smartphone) mit ausreichender Netzanbindung erfolgen. So wird für den Nutzer der Datenaustausch vereinfacht und der Administrationsaufwand, z. B. der Verwaltungsaufwand für Softwareprodukte, reduziert (Tabelle 12).⁸⁹

⁸⁷ Vgl. Hansel (2017).

⁸⁸ Vgl. Hansel (2017).

⁸⁹ Vgl. Schebek et al. (2017), S. 163.

Tabelle 12: Chancen und Barrieren von Cloud Computing⁹⁰

Voraussetzungen	Herausforderungen	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • zuverlässige Breitbandinternetverbindung • Datensicherheit • Rechtssicherheit • Cloud-Dienste und IT-Infrastruktur müssen miteinander möglichst nahtlos zusammenarbeiten bzw. interagieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Gewährleistung der Datensicherheit sensibler Unternehmensdaten • ausreichende Performance für flüssige (stabile) Prozesse • Herstellen von Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit • ausreichende Netzabdeckung insbesondere in ländlichen Gebieten 	<ul style="list-style-type: none"> • verbesserte Energie- und Ressourceneffizienz durch optimierte Auslastung von IT-Kapazitäten • dynamischer Zugriff auf IT-Kapazitäten • Abrechnung nach flexiblen Bezahlmodellen • geringer Administrationsaufwand • mobile Verfügbarkeit und Verfügbarkeitsgarantie durch Cloud-Anbieter • Verlagerung langfristiger Investitionen zu operationalen Kosten

Es gibt bereits eine Vielzahl handwerksspezifischer Cloud Services. Um die Vorteile von Cloud Services umfänglich nutzen zu können, bedarf es im Vorhinein einer fachlichen, rechtlichen, wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Überprüfung der am Markt verfügbaren Auswahl. Dafür wurde speziell für Handwerksbetriebe ein Leitfaden entwickelt, der bei der Entscheidung für einen passenden Cloud Service unterstützen soll (Abbildung 7).⁹¹

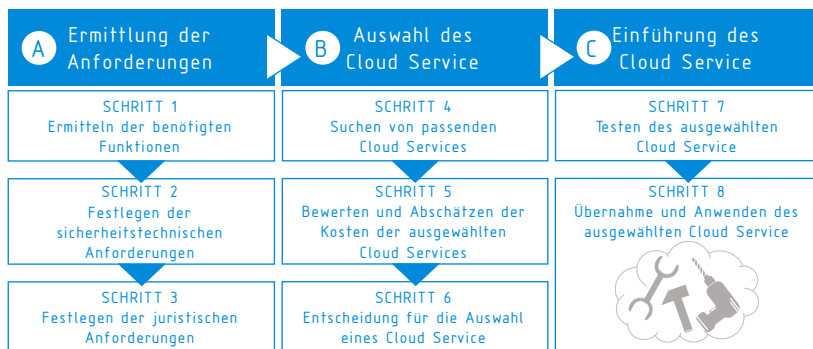


Abbildung 7: Auswahl geeigneter Cloud Services für das Handwerk⁹²

Schritt 1 stellt die Funktionen und Schnittstellen fest, die durch die Cloud-Anwendung abgedeckt werden müssen. Es wird hierbei also geprüft, welcher Serviceumfang des Cloud Computing für den Betrieb erforderlich ist.

⁹⁰ Vgl. Schebek et al. (2017), S. 163.
⁹¹ Vgl. Christmann et al. (2014), S. 9.
⁹² In Anlehnung an Christmann et al. (2014), S. 11.

Über die sicherheitstechnischen Anforderungen wird im Schritt 2 festgelegt, welche Daten für den Geschäftserfolg wichtig sind, die durch den Cloud Service durchgehend verfügbar und ausreichend geschützt werden müssen (keine Systemausfälle, kein Zugriff durch Dritte etc.). Im Schritt 3 wird ermittelt, welche betrieblichen Anforderungen an die Vertragsgestaltung (Anwendung deutschen Rechts, Sicherung von personenbezogenen Daten innerhalb der EU, Vorhandensein einer Zertifizierung wie Trusted Cloud oder ISO 27001 etc.) wesentlich sind. Entsprechend der Festlegung aus Schritt 1 bis 3, werden in Schritt 4 passende Cloud Services gesucht. Diese Auswahl unterliegt im Schritt 5 einer strukturierten Analyse der Kosten. Über den Kostenvergleich von Investitionskosten und laufenden Kosten aller Alternativen sowie der gegenwärtigen Standardlösung im Betrieb wird im Schritt 6 eine Entscheidung zugunsten eines Cloud Service getroffen. Dieser wird dann im Schritt 7 unter realistischen Bedingungen im Betrieb getestet. Nachdem auftretende Probleme gelöst sind und der Service vom Betrieb als positiv bewertet wurde, erfolgt die Übernahme. Hier wird der Cloud Service konfiguriert, alle Daten werden importiert und sämtliche Mitarbeiter, die den Cloud Service nutzen, geschult.⁹³

Nach einer ausgiebigen Überprüfung und Festlegung von „Aufgaben, Kosten, Verfahren zur Verfügbarkeit, Datenverarbeitung, Datenspeicherung, Datenschutz, Datensicherheit sowie Datenherausgabe bei Vertragsende“⁹⁴ ermöglicht die Nutzung von Cloud Services somit einen flexibleren Betriebsablauf und eine optimierte Auslastung von IT-Kapazitäten.⁹⁵

⁹³ Vgl. Christmann et al. (2014), S. 11 – 27.

⁹⁴ Fischer (2018), S. 33.

⁹⁵ Vgl. Schebek et al (2017), S. 163.

4 GUTE-PRAXIS-BEISPIELE IM INDUSTRIENAHEN HANDWERK

Das folgende Kapitel stellt Praxisbeispiele aus dem Handwerk vor, die durch Ressourceneffizienzmaßnahmen Material, Energie sowie CO₂-Emissionen einsparen konnten. Die Praxisbeispiele umfassen dabei alle Aspekte der Produktionsinfrastruktur (Kapitel 3.1) sowie der Digitalisierung (Kapitel 3.2) und fokussieren nicht nur auf die vorgestellten Themen der Kapitel 3.1.1 bis 3.1.3 sowie der Kapitel 3.2.1 bis 3.2.4.

4.1 Praxisbeispiele im Bereich Produktionsinfrastruktur

Gute-Praxis-Beispiel 1: rabe Innenausbau GmbH

Branche:	Ausbaugewerbe, Gruppe II: Innenausbau
Maßnahme:	Installation einer Holzspanbrikettierungsanlage und einer Holzpelettheizung
Ergebnis:	Verringerung des Heizölverbrauchs um rund 90 %

Die Firma rabe Innenausbau GmbH führt die Planung, Konzeption, Fertigung und Montage von Inneneinrichtungen für private Haushalte als auch gewerbliche Kunden durch. Der familiengeführte Betrieb setzt Ressourceneffizienzmaßnahmen bereits bei der Planung und Konstruktion ihrer Produkte um. Dazu gehören die Beachtung von qualitativ hochwertigen Materialien für eine Langlebigkeit und Beständigkeit der zu verbauenden Produkte. Neben einer energieeffizienten Beleuchtung und einem emissionsarmen, modernen Fuhrpark konnte der Betrieb die anfallenden Holzspanabfälle zum Beheizen der Produktionshallen und Büroräume nutzen. Dazu wurde eine neue Holzbrikett-Heizanlage installiert, die die Holzspäne thermisch verwertet. Über die Heizung der Räume und Produktionshallen konnte das Unternehmen den Heizölverbrauch um rund 90 % senken.⁹⁶

⁹⁶ Vgl. rabe Innenausbau (2018).

Gute-Praxis-Beispiel 2: Orthopädie-Schuhtechnik-Schwarzenberg GmbH

Branche:	Handwerke für den privaten Bedarf, Gruppe VII: Schuh-technik
Maßnahme:	Einsatz schadstoffarmer Materialien, Einsatz von Blockheizkraftwerken, Nutzung von Regenwasser, Einsatz von Photovoltaikanlagen, Verwertung des Restleders
Ergebnis:	Verringerung des Energieaufwands, Abfallvermeidung durch Weiterverwendung des eingesetzten Materials

Die Orthopädie-Schuhtechnik-Schwarzenberg GmbH ist ein Hersteller von orthopädischen Schuhen. Das in Sachsen angesiedelte Unternehmen ist bereits 2004 aufgrund seiner betriebsinternen Umweltmaßnahmen in die Umweltallianz Sachsen aufgenommen worden. Zu den durchgeführten Maßnahmen gehören u. a.:⁹⁷

- Einsatz von zwei Blockheizkraftwerken und einer Photovoltaikanlage zur Eigennutzung, überschüssige Energie wird ins Netz eingespeist,
- Nutzung des Regenwassers zur Bewässerung der Außenanlagen,
- anfallendes Restleder aus der Schuhherstellung wird für die Produktion kleinerer Produkte und Werbeartikel genutzt, dazu gehören Schlüssel-taschen oder Anhänger,
- Einsatz von schadstoffarmen Materialien wie ungiftigen Klebstoffen,
- eingesetzte Klebstoffe werden in Gefahrenwerkstoffschränken aufbe-wahrt, um die entstehenden Dämpfe nicht ungehindert in die Arbeits-räume austreten zu lassen,
- Schleifmaschinen sind in einem separaten Raum aufgestellt, um über eine spezielle Absaugung die Schleifstäube sofort abzutransportieren.

⁹⁷ Vgl. Orthopädie-Schuhtechnik-Schwarzenberg GmbH (2018).

Gute-Praxis-Beispiel 3: Druckerei Vettters GmbH & Co. KG

Branche:	Handwerke für den gewerblichen Bedarf, Gruppe III: Druckerei
Maßnahme:	Installation einer regenerativen Abgasreinigungsanlage
Ergebnis:	101 Tonnen CO ₂ -Einsparungen von pro Jahr, gesenkte Betriebskosten von 26.520 €

Die Druckerei Vettters produziert im sächsischen Radeburg Bücher, Broschüren, Prospekte, Magazine etc. Das im Unternehmen eingesetzte Druckverfahren ist der Heatset-Rollenoffsetdruck. Als Prozessenergie wird hierbei Erdgas verwendet. Es dient zur Trocknung der Farben auf den Papierbahnen und zur Feuerung der thermischen Verbrennungsanlage. In letzterer wird die entstehende Abluft aus der Trocknung vorgewärmt und folgend in einer Brennkammer unter der Zuführung von Erdgas verbrannt. Hierbei gilt, je geringer der Schadstoffgehalt in der Abluft, desto höher die Zuführung.⁹⁸

Die thermische Verbrennungsanlage wurde im Zuge einer Teilnahme am Ökoprofit-Projekt gegen eine regenerative Abgasreinigung ausgetauscht. Diese schaltet bei genügend Eintrag der brennbaren Schadstoffe auf einen autothermen Betrieb um und benötigt kein Erdgas zur Zuführung.⁹⁹ So konnte das Unternehmen rund 530.000 kWh pro Jahr einsparen. Das entspricht rund 100 Tonnen CO₂-Emissionen und 26.000 €.

Weitere Maßnahmen, die das Unternehmen zur Einsparung von Material und Energie umsetzte, umfassten u. a.:¹⁰⁰

- Einsatz eines energiesparsamen, drehzahlgeregelten Druckluftkompressors mit VDS-Motor,
- Einsatz eines IT-basierten Mess-Regelung-Steuerungs-Systems zur Regelung der Betriebstechnik.

⁹⁸ Vgl. Umweltpakt Bayern (2003).

⁹⁹ Vgl. Umweltallianz Sachsen (2019).

¹⁰⁰ Vgl. Rilke et al. (2009).

4.2 Praxisbeispiele im Bereich Digitalisierung

Gute-Praxis-Beispiel 4: Lungmetall OHG

Branche:	Handwerke für den gewerblichen Bedarf, Gruppe III: Metallverarbeitung
Maßnahme:	Vollständige Vernetzung der Produktionsanlagen (durchgängige Datenintegration)
Ergebnis:	Flexibilisierung der Produktion, höhere Auslastung der Maschinen, geringere Ausfallzeiten und Fehlproduktionen, Zustandsüberwachung von Maschinen führt zum Einsatz von Verschleißteilen bis zur Nutzungsgrenze

Die Lungmetall OHG stellt Serien- und Einzelanfertigungen für den Anlagen- und Maschinenbau her. Die in der Produktion eingesetzten Maschinen unterschiedlichen Alters stammten von zumeist unterschiedlichen Herstellern. So konnten die Produktionsprozesse und -abläufe schwer aufeinander abgestimmt, analysiert und optimiert werden und blieben intransparent.

Das Unternehmen mit 30 Mitarbeitern zielte auf die Installation einer integrierten, digitalen Prozessplattform ab, die eine durchgängige Datenintegration ermöglicht. Zusammen mit dem Kompetenzzentrum Digitales Handwerk wurden bestehende Geschäftsprozesse modelliert und neu gestaltet und anschließend durch passende Werkzeuge und bestehende Lösungen digitalisiert.

Im Ergebnis wurden Mitarbeiter, Maschinen und IT-Systeme miteinander auf der internen Prozessplattform vernetzt. Dem Unternehmen ist es möglich, den Produktionsprozess transparent zu gestalten und durch in Echtzeit gewonnene Daten Ausfallzeiten zu reduzieren. Zudem erfolgt eine Zustandsüberwachung (Maßnahme 7, Tabelle 7) über Sensoren (Maßnahme 1, Tabelle 7), die auf anstehende Wartungs- und Instandhaltungsservices hinweisen.¹⁰¹

¹⁰¹ Vgl. Krause und Lung (2018).

Gute-Praxis-Beispiel 5: LIGNEUS GmbH

Branche:	Ausbaugewerbe, Gruppe II: Innenausbau
Maßnahme:	Digitalisierung der Betriebsprozesse, 3D-Konstruktion von Bauteilen, Barcode-versehene Bauteile
Ergebnis:	geringere Fehlproduktionen und Fehlerquoten, durchgängiger Informationsfluss erzeugt Transparenz und zeigt Optimierungspotenziale auf, hohe Bearbeitungsqualität, Verkürzung der Durchlaufzeiten

Die LIGNEUS GmbH bietet für den Handel und teilweise für Messeauftritte individualisierte Inneneinrichtungen an. Um die Herstellung effizienter zu gestalten, wurden bereits im Jahr 2008 erste Maßnahmen umgesetzt. Dazu gehörte ein Werkzeug- und Arbeitsplatzmanagement, welches die Prozessabläufe strukturierte und verschlankte (Kapitel 3.1.2).

Weiterführend wurden die Prozesse Schritt für Schritt digitalisiert. Mittlerweile nimmt das Unternehmen Kundenanforderungen über einen digitalen Bauplan auf. Voraussetzung dafür ist die 3D-Konstruktion der Bauteile. Daraus folgen automatisiert die erforderlichen Maschinenprogramme, wodurch die folgenden Prozessabläufe bereits optimal aufeinander abgestimmt sind. Jedes Bauteil verfügt über einen Barcode, der Informationen hinsichtlich der folgenden Arbeitsschritte enthält (digitales Objektgedächtnis, teilweise dezentrale Steuerung, Maßnahme 3 und 4, Tabelle 7).

Aus der digitalisierten Produktion mit einem durchgängigen Informationsfluss folgt ein Herstellungsprozess mit sehr geringer Fehlerquote, hoher Transparenz und Bearbeitungsqualität. So können Fehlproduktionen vermieden und dadurch Material sowie Energie eingespart werden. Zudem ermöglicht die Prozesstransparenz, weitere Optimierungspotenziale zu erkennen und zu erschließen.¹⁰²

¹⁰² Vgl. Goedecke und Erhardt (2018).

Gute-Praxis-Beispiel 6: Rakowski Dienstleistungen GmbH

Branche:	Handwerke für den gewerblichen und privaten Bedarf, Gruppe III und VII: Entsorgungs- und Reinigungsdienstleistungen
Maßnahme:	Digitalisierung von Betriebsprozessen (durchgängige Datenintegration)
Ergebnis:	optimierte Routenplanung der Einsatzfahrzeuge, schlankere und effizientere Administrationsvorgänge, Ansätze eines papierlosen Büros

Die Rakowski Dienstleistungen GmbH verfügt über einen großen Fuhrpark, da das Dienstleistungsangebot von Maschinen- und Anlagenreinigungen über Kanalreinigungen bis zur Abfallentsorgung reicht. Daraus ergeben sich verschiedenste Betriebsprozesse, die eine umfangreiche Planung, Koordinierung und Administration erfordern.

Um die Betriebsprozesse schlanker und effizienter zu gestalten, stellte der Betrieb von einer papierbasierten Prozessabwicklung auf eine digitale Datenerfassung um. Die Geschäftsleitung entwickelte zusammen mit dem Kompetenzzentrum Digitales Handwerk und der Handwerkskammer Halle eine an den Betrieb angepasste Software, mit der die Betriebsprozesse Schritt für Schritt digitalisiert wurden. Die Angestellten erhielten mobile Endgeräte, über die eine Datenübertragung in Echtzeit zwischen Fahrer und Buchhaltung möglich ist. Es wurde dabei darauf geachtet, dass die Eingabemasken den ehemaligen Papierbelegen ähnelten, um für die Mitarbeiter einen einfachen Einstieg in die Maßnahme zu gewährleisten. Die Kunden des Betriebs können bei Interesse gleichfalls die Software nutzen. So kann die integrierte Datenübertragung ebenso schlank und effektiv auch über die Betriebsgrenzen hinaus erfolgen.

Durch die Digitalisierungsmaßnahme konnte der Betrieb, neben eingespartem Papier durch schlankere Administrationsvorgänge, die Routenplanung optimieren. Durch die transparenten Prozesse kann die Planung von ver-

fügbaren Fahrern und Mengen präzise erfolgen und ineffiziente Fahrtwege können dadurch eingespart werden.¹⁰³

¹⁰³ Vgl. Goedecke (2018).

5 FAZIT

Die Handwerksbranche verzeichnet seit 2013 steigende Umsätze. Die Auftragslage wird aktuell als sehr gut eingeschätzt, sodass insbesondere in Rationalisierungsmaßnahmen vermehrt investiert wird. Hierzu zählen Investitionen zur Steigerung der Produktivität, die u. a. durch Ressourceneffizienzmaßnahmen realisiert werden können. Durch die resultierenden Material- und Energieeinsparungen können Kosten in Handwerksbetrieben gesenkt und somit Wettbewerbsvorteile generiert werden. Die Kurzanalyse zeigt dem industrienahen Handwerk Möglichkeiten und Maßnahmen, ressourceneffizient zu produzieren, und soll als Anregung bzw. Denkanstoß dienen, Material- und Energieeinsparungen als nachhaltiges, aber insbesondere wirtschaftliches Instrument zu betrachten.

Als branchenübergreifender Ansatzpunkt zur Optimierung des Material- und Energieaufwands wird die genauere Betrachtung der Produktionsinfrastruktur empfohlen. Gerade die effizientere Gestaltung von z. B. Druckluftsystemen, dem Werkzeugmanagement oder der Lagerung und Logistik kann Einsparpotenziale im Betrieb generieren. So kann der Energieverbrauch wesentlich gesenkt werden, wenn das Druckluftnetz bspw. kontinuierlich überwacht wird oder alternative Druckluftsysteme wie das Druckluft-Heiz-Kraftwerk installiert werden. Auch ein geordnetes Werkzeug-Handling, beispielsweise durch die 5S-Methode, verringert die Anhäufung von unregelmäßig gebrauchten, abgenutzten oder doppelten Werkzeugen und erhöht so die Werkzeugnutzungsdauer.

Die Digitalisierung steht aktuell im Fokus von Handwerksbetrieben. Im Jahr 2017 investierte jeder vierte Handwerksbetrieb in Digitalisierungsmaßnahmen. Größtenteils werden Maßnahmen zur Vernetzung der Betriebs- und Prozessabläufe umgesetzt, um diese transparenter zu gestalten. Dies hat einen positiven Einfluss auf die Ressourceneffizienz. Transparente Betriebs- und Prozessabläufe, also die Aufnahme von u. a. ressourcenrelevanten Daten, decken Ineffizienzen auf, die über Ressourceneffizienzmaßnahmen behoben werden können. Gerade sogenannte ERP-Systeme helfen dabei, die Betriebsabläufe umfassend darzustellen und darauf aufbauend Optimierungspotenziale zu erschließen. So können beispielsweise Ausschuss- und Abfallmengen reduziert oder elektrische Energie eingespart

werden. Neben Tracking-Systemen zur Lokalisierung und Mengenüberwachung von Fahrzeugflotten und Werkzeugbestand werden künftig auch die Technologien des 3D-Druck, die Zustandsüberwachung oder die prädikative Wartung von Maschinen und Werkzeugen eine immer wichtigere Rolle in Handwerksbetrieben spielen. So können materialarme Prototypen und Produkte hergestellt, eine Sammlung und Auswertung von Ressourcendaten in Echtzeit vorgenommen und Maschinen bzw. Werkzeuge bis zur Verschleißgrenze ausgelastet werden. Aktuell sind diese Technologien noch vornehmlich in Großkonzernen vorzufinden, jedoch wird die technologische Entwicklung das Vordringen dieser in die Betriebsabläufe kleinerer Unternehmen und Betriebe vorantreiben und weitere Möglichkeiten zur Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen offenlegen.

LITERATURVERZEICHNIS

altAIRnative GmbH (2018): DHKW – Druckluftherzeugung ohne Strom [online]. altAIRnative GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.altairnative.de/dhkw-druckluftheizkraftwerk-druckluftherzeugung-ohne-strom>

Barthel (2018): Was hat das Handwerk von der Digitalisierung? [online]. brand eins Medien AG [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.brandeins.de/magazine/brand-eins-wirtschaftsmagazin/2017/fortschritt/was-hat-das-handwerk-von-der-digitalisierung>

BayLfU (2004): Druckluft im Handwerk [online]. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.druckluft-effizient.de/downloads/dokumente/druckluft-im-handwerk-lfu.pdf>

Bedarfsanalyse Handwerk (2019): Bedarfsanalyse digitales Handwerk [online]. Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik an der Leibniz Universität Hannover (HPI) [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://bedarfsanalyse-handwerk.de/VBqj5q/form/3>

Blank (2018): Digitale Chancen [online]. Zentralverband des Deutschen Handwerks (ZDH) [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: https://handwerkdigital.de/site/assets/files/1267/informationsbroschure_digitale_chancen.pdf

Bretz (2018): Wirtschaftslage und Finanzierung im Handwerk 2017/18 [online]. Verband der Vereine Creditreform e.V. [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: https://www.creditreform.de/fileadmin/user_upload/crefo/download_de/news_termine/wirtschaftsforschung/wirtschaftslage-handwerk/analyse_HW-2018.pdf

Christmann, C. et al. (2014): Auswahl von vertrauenswürdigen Cloud Services für das Handwerk – Erweiterter Leitfaden mit Hintergrundinformationen für Experten [online]. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Fraunhofer Verlag, [abgerufen am 21.01.2019], verfügbar unter: http://www.cloudwerker.de/pdf/CLOUDwerker_Leitfaden_Langfassung_Onlineversion.pdf

Destatis (2018): Unternehmen, tätige Personen und Umsatz im Handwerk 2016 [online]. Statistisches Bundesamt [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter:

<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UnternehmenHandwerk/Handwerkszaehlung/UnternehmenPersonenUmsatz.html>

DIHK (2017): Leitfaden Abgrenzung [online]. Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V. [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter:

[https://www.rhein-](https://www.rhein-neckar.ihk24.de/blob/mai hk24/recht/downloads/3638148/bbb1ba95782d5efd62e4273642550704/Leifaden-Abgrenzung-Handwerk-data.pdf)

[neckar.ihk24.de/blob/mai hk24/recht/downloads/3638148/bbb1ba95782d5efd62e4273642550704/Leifaden-Abgrenzung-Handwerk-data.pdf](https://www.rhein-neckar.ihk24.de/blob/mai hk24/recht/downloads/3638148/bbb1ba95782d5efd62e4273642550704/Leifaden-Abgrenzung-Handwerk-data.pdf)

Duden (2018): Kaizen [online]. Bibliographisches Institut GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter:

<https://www.duden.de/rechtschreibung/Kaizen>

energieeffizienz-im-Betrieb (2018): Heimlicher Kosten-Fresser: Druckluft [online]. vPRESS. GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter:

<http://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/energiesparen-unternehmen/druckluft-kosten-senken.html>

energiwerkstatt (2018): Druckluft-Wärme-Kraftwerk [online]. Energiwerkstatt Gesellschaft für rationelle Energie mbH & Co. KG [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter:

<https://www.kaeser.de/produkte/betreibermodell-sigma-air-utility/>

Enßle (2010): Toolmanagement – Werkzeuge und Prozesse als Schlüssel für eine effiziente Produktion [online]. Dr.-Ing. Dipl.-Gwl. Magnus Enßle [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter:

<https://www.springerprofessional.de/toolmanagement-werkzeuge-und-prozesse-als-schluessel-fuer-eine-e/3294092>

ERP-SYSTEM.online (2018a): Einführung [online]. ERP-system online [abgerufen am 21.01.2019] verfügbar unter: <https://www.erp-system.online/#start>

ERP-SYSTEM.online (2018b): Welche sind die besten ERP-Hersteller? [online]. ERP-system online, [abgerufen am 21.01.2019] verfügbar unter: <https://www.erp-system.online/#erp-hersteller>

ERP-SYSTEM.online (2018c): ERP als Open-Source-Lösung – Eine Alternative zu kostenpflichtiger Business-Software? [online]. ERP-system online, [abgerufen am 21.01.2019], verfügbar unter: <https://www.erp-system.online/#open-source-erp>

ERP-SYSTEM.online (2018d): ERP in der Cloud vs. On-Premise-Software – Welche Vor- und Nachteile bieten beide Business-Lösungen? [online]. ERP-system online, [abgerufen am 21.01.2019], verfügbar unter: <https://www.erp-system.online/#cloud-vs-on-premise>

Esseling, H. (2018): Zehn Merkmale eines modernen ERP-Systems [online] hagel IT-Services GmbH, [abgerufen am 21.01.2019], verfügbar unter: <https://www.hagel-it.de/it-dienstleistungen/zehn-merkmale-eines-modernen-erp-systems.html>

Fischer, A. (2018): Digitalisierung praktisch gestalten – Das 111-Ideenbuch fürs Handwerk. G+F Verlags- und Beratungs- GmbH, 1. Auflage 2018, ISBN 978-3941038-21-9, Forbach.

Goedecke, U. (2018): Spielräume für weiteres Wachstum. Mobil und transparent durch flexible Softwarelösung [online]. Kompetenzzentrum Digitales Handwerk [abgerufen am 28.01.2019], verfügbar unter: <https://handwerkdigital.de/site/assets/files/1848/rakowski.pdf>

Goedecke, U. und Erhardt, D. (2018): 3-D-Konstruktion der Bauteile: Noch mehr Qualität durch digitalisierte Abläufe [online]. Kompetenzzentrum Digitales Handwerk [abgerufen am 28.01.2019], verfügbar unter: https://handwerkdigital.de/site/assets/files/1084/10_faktsheet_lungmetall_web-1.pdf

Guthardt (2018): So befreien sich Handwerker von Zeitfressern [online]. Deutsche Handwerkszeitung, Holzmann Medien GmbH & Co. KG, 19.06.2018 [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/so-befreien-sich-handwerker-von-zeitfressern/150/3101/373175>

handwerk-magazin (2017): Lösungen zur Werkzeug- und Maschinenverwaltung [online]. Holzmann Medien GmbH & Co. KG [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.handwerk-magazin.de/loesungen-zur-werkzeug-und-maschinenverwaltung/383/1518>

Hansel, S. (2017): Maschinen, die mitdenken [online]. handwerk-magazin, Holzmann Medien GmbH & Co. KG [abgerufen am 28.01.2019], verfügbar unter: <https://www.handwerk-magazin.de/maschinen-die-mitdenken/150/4/343341>

IHK24 (2018): Die Abgrenzung zum Handwerk erklärt [online]. Industrie- und Handelskammer Rhein-Neckar [abgerufen am: 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.rhein-neckar.ihk24.de/recht/wirtschaftsrecht/gewerberecht/Handwerksrecht/handwerk-nicht-handwerk/938754>

Kaesar Kompressoren Se (2018): Betreibermodell: SIGMA AIR UTILITY [online]. KAESER KOMPRESSOREN SE [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.kaeser.de/produkte/betreibermodell-sigma-air-utility/>

Kaizen Institute (2018): Über S5[online]. KAIZEN Institute GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://de.kaizen.com/wissens-center/was-bedeutet-5s.html>

Klebig (2016): Wissen, wo der Hammer hängt [online]. handwerk-magazin, Holzmann Medien GmbH & Co. KG [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.handwerk-magazin.de/maschinen-tracking-wissen-wo-der-hammer-haengt/150/4/328109>

Krause, C. und Lung, M. (2018): Digitale Prozessplattform - Maximale Effizienz entlang der Wertschöpfungskette durch Echtzeit-Verfügbarkeit von Maschinendaten [online]. Kompetenzzentrum Digitales Handwerk [abgerufen am 28.01.2019], verfügbar unter: https://handwerkdigital.de/site/assets/files/1084/10_faktsheet_lungmetall_web-1.pdf.

Mader GmbH & Co. KG (2018): Kompressor-Abwärme nutzen [online]. Mader GmbH & Co. KG [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.mader.eu/drucklufttechnik/waermerueckgewinnung/kompressor-abwaerme-nutzen>

Meyer-Veltrup, L. (2018): 3D-Druck verändert ganze Branchen [online]. HPI Hannover im handwerk-magazin, Holzmann Medien GmbH & Co. KG [abgerufen am 31.01.2019], verfügbar unter: <https://www.handwerk-magazin.de/3d-druck-aendert-ganze-branchen/150/4/365369>

Mulatz, R. (2017): Die Potenziale der Digitalisierung [online]. handwerk-magazin, Holzmann Medien GmbH & Co. KG [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.handwerk-magazin.de/die-potenziale-der-digitalisierung/150/4/352245>

Müller, K. (2013): Strukturentwicklung im Handwerk [online]. Wirtschaftsdienst – Journal of Economic Policy [abgerufen am 09.10.2019], Verfügbar unter: <https://www.springerprofessional.de/strukturentwicklungen-im-handwerk/5343560?searchResult=3.Handwerk&searchBackButton=true&abEvent=detailLink>

Orthopädie-Schuhtechnik-Schwarzenberg GmbH (2018): Umweltschutz [online]. Orthopädie-Schuhtechnik-Schwarzenberg GmbH, [abgerufen am 28.01.2019], verfügbar unter: <https://ost-szb.de/umweltschutz/>

Paulus-Lager (2018a): So funktioniert die Lageroptimierung mit dem Paulus-Lager [online]. Paulus-Lager GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.paulus-lager.de/paulus-lager/lagerhaltung/>

Paulus-Lager (2018b): Geld sparen und Zeit gewinnen – 50 Tipps zur Lageroptimierung von Bauhandwerksbetrieben [online]. Whitepaper Paulus-Lager GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://www.paulus-lager.de/wp-content/uploads/2018/02/50-Tipps-Lageroptimierung-Whitepaper.pdf>

rabe innenausbau (2018): nachhaltigkeit [online]. Rabe-Innenausbau GmbH, [abgerufen am 28.01.2019], verfügbar unter: <https://www.rabe-innenausbau.de/wir/#c3810>

Rilke et al. (2009): Das Handwerk macht mit! Einfach besser sein als Andere [online]. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Geschäftsstelle Umweltallianz Sachsen [abgerufen am 28.01.2019], verfügbar unter: https://hwk-chemnitz.de/fileadmin/user_upload/modul-pressemitteilungen/SMUL_FL_Handwerk_151009.pdf

Runde, C. (2016): Virtuelle Techniken im Handwerk – VDC-Whitepaper [online]. Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach, [abgerufen am 31.01.2019], verfügbar unter: <https://www.vdc-fellbach.de/fileadmin/assets/Publikationen/Whitepaper/2016-VDC-Whitepaper-Virtuelle-Techniken-im-Handwerk.pdf>

Runst (2016): Energiekosten, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit im Handwerk [online]. Volkswirtschaftliches Institut für Mittelstand und Handwerk an der Universität Göttingen [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <http://www.ifh.wiwi.uni-goettingen.de/sites/default/files/ifh%20gbh-7%202016.pdf>

SBZ (2016): Automatisierung statt Kugelschreiber [online]. Sanitär.Heizung.Klima Magazin, Alfons W. Gentner Verlag GmbH & Co. KG, [abgerufen am 28.01.2019], verfügbar unter: <https://www.sbz-online.de/Archiv/Hefearchiv/article-744196-101902/automatisierung-statt-kugelschreiber-.html>

Schebek et al. (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: https://www.ressourcendeutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf

Sonntag, A. (2013): Materialproduktivität im Handwerk [online]. RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e.V., Faktenblatt 05/13 [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: <https://static4.rkw-kompetenzzentrum.de/fileadmin/media/publications/2013/Innovation/Faktenblatt/20130901-Materialproduktivitaet-im-Handwerk.pdf>

Umweltallianz Sachsen (2018): Abgas? Ein guter Energieträger! [online]. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Geschäftsstelle Umweltallianz Sachsen [abgerufen am 28.01.2019], verfügbar unter: https://www.umweltallianz.sachsen.de/download/SMUL_PL_RZ_111212_Ansicht_VETTERS.pdf

Umweltpakt Bayern (2003): Druckereien - ein Vergleich von Thermischer Nachverbrennung (TNV) und Regenerativer Nachverbrennung (RNV) [online]. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, [abgerufen am 28.01.2018], verfügbar unter: <https://www.umweltpakt.bayern.de/luft/fachwissen/41/druckereien-ein-vergleich-thermischer-nachverbrennung-tnv-regenerativer-nachverbrennung-rnv>

Vahrenkamp, R. und Siepermann, C. (2018): Enterprise-Resource-Planning-System [online]. Gabler Wirtschaftslexikon, SpringerGabler Verlag, [abgerufen am 21.01.2019], verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/enterprise-resource-planning-system-51587/version-274748>

VDI ZRE (2014): Technologie-Monitor 7- Technologien und Innovationen aus dem Bereich Ressourceneffizienz [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 21.01.2019], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/Techmonitor/VDI-ZRE-Technologie-Monitor-7.pdf

VDI ZRE (2017a): Ressourceneffizienz durch Maßnahmen in der Produktentwicklung [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/VDI-ZRE_Kurzanalyse_Nr._20_Produktentwicklung_bf.pdf

VDI ZRE (2017b): Ressourceneffizienz in der Wertschöpfungskette [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/VDI_ZRE_Kurzanalyse_Nr._23_Ressourceneffizienz_in_der_Wertschoepfungskette_bf.pdf

VDI ZRE (2018a): Produktionsinfrastruktur-Check [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/instrumente/ressourcenchecks/produktionsinfrastruktur/

VDI ZRE (2018b): Industrie 4.0 leicht gemacht - Material und Energie sparen durch Apps [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.tv/themen/allgemeines/industrie-4-0-leicht-gemacht-material-und-energie-sparen-durch-apps/

VDI ZRE (2019): Bewertung des Ressourcenaufwands - Additive Fertigungsverfahren in der industriellen Produktion [Entwurf]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, verfügbar ab Mai 2019 unter: <https://www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien/>

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

VDI 4800 Blatt 2:2016-03: Ressourceneffizienz - Bewertung des Rohstoffaufwands. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin.

ZDH (2012): Ressourceneffizienz im deutschen Handwerk [online]. Zentralverband des deutschen Handwerks [abgerufen am 21.01.2019], verfügbar unter: <https://www.handwerk-bw.de/fileadmin/media/thema-umwelt/zdh-grundsatzpapier-ressourceneffizienz.pdf>

ZDH (2018a): Prozentuale Verteilung der Betriebe aller Anlagen auf die Handwerksgruppen 2017 [online]. Zentralverband des deutschen Handwerks [abgerufen am 09.01.2019], verfügbar unter: https://www.zdh.de/fileadmin/user_upload/themen/wirtschaft/statistik/kennzahlen/Kennzahlen_2017/Grafik-Betriebe-Gr-17.pdf

ZDH (2018b): Wirtschaftlicher Stellenwert des Handwerks 2017 [online]. Zentralverband des deutschen Handwerks [abgerufen am 21.08.2018], verfügbar unter: <https://www.zdh.de/daten-fakten/kennzahlen-des-handwerks/>

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