

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 19372 N

---

## Thema

Zielgerichteter Einsatz echtzeitdatenbasierter Kennzahlen (KeZa) im Shopfloormanagement (SFM)

## Berichtszeitraum

01.03.2017 bis 31.08.2019

## Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

## Forschungsstellen

Forschungsstelle 1: IPRI – International Performance Research Institute gGmbH

Forschungsstelle 2: wbk – wbk Institut für Produktionstechnik

Stuttgart, 31.08.2019



Timo Maurer, M.Sc. (IPRI)

Karlsruhe, 31.08.2019



Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza. (wbk)

---

Ort, Datum

---

Name und Unterschrift aller Projektleiter der Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:

## 1. Zusammenfassung

Shopfloormanagement (SFM) ist in vielen kleinen und mittelständischen Unternehmen als Instrument der Führung und Steuerung am Ort der Wertschöpfung etabliert. Ein wesentliches Ziel des SFM ist es, die Gesamtanlageneffektivität zu steigern. Dazu sind die KMU angehalten, die Transparenz in ihrer Produktion zu erhöhen, um schneller auf Störungen im Wertschöpfungsprozess zu reagieren. Echtzeitbasierte Kennzahlen weisen im Hinblick auf eine Optimierung der Gesamtanlageneffektivität ein erhebliches Potenzial auf. Mittels Echtzeitsensorik werden Echtzeitdaten wie bspw. Zustandsdaten von Maschinen oder Anlagen kontinuierlich am Ort der Wertschöpfung erhoben. Diese unterstützen in aggregierter Form bei der transparenten Gestaltung der Wertschöpfungsprozesse. Durch echtzeitbasierte Kennzahlen können die Akteure schneller auf mögliche Störungen und Probleme reagieren und mögliche Beeinträchtigungen der Gesamtanlageneffektivität effektiver beheben.

Der Einsatz von echtzeitbasierten Kennzahlen sehen die KMU jedoch differenziert. Für deren Verwendung sprechen die Möglichkeiten zur transparenteren und agilere Gestaltung der Wertschöpfungsprozesse. Nachteilig werden der möglicherweise hohe Erhebungsaufwand und die unverhältnismäßig hohen Kosten von kurzfristigen Maßnahmen im Vergleich zu einem traditionellen Vorgehen zur Störungsbeseitigung. Zudem herrscht Unsicherheit über die optimale und empfängerorientierte Visualisierung der echtzeitbasierten Kennzahlen im Shopfloor-Board, so dass das aufgetretene Problem unmittelbar vom richtigen Akteur gelöst werden kann.

Ziel des Vorhabens ist daher die Erarbeitung eines Vorgehens, das KMU bei der Weiterentwicklung des Shopfloormanagements zu einem digitalen Shopfloormanagement unterstützt.

Die erarbeiteten Ergebnisse:

1. Vorgehen zur Identifikation der relevanten Probleme auf dem Shopfloor und zur Erfassung geeigneter Kennzahlen in Echtzeit, um diese Probleme zu erkennen.
2. Vorgehen um die Kosten- und Nutzenanalyse echtzeitdatenbasierter Kennzahlen durchzuführen als Entscheidungsgrundlage für KMU.
3. Integrationsmöglichkeiten von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen in das bestehende Shopfloor-Reporting mittelständischer Produzenten
4. Validiertes Projektvorgehen
5. Entwicklung eines App-Demonstrators für echtzeitdatenbasierte mobile Shopfloor-Reporting

### **Die Ziele des Vorhabens wurden erreicht.**

*Das IGF-Vorhaben 19372 N der Bundesvereinigung Logistik e.V. – BVL, Schlachte 31, 28195 Bremen, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.*

Für die Förderung und Unterstützung sei gedankt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Zielsetzung</b> .....	<b>9</b>
2.1 Wissenschaftliche Fragestellung .....	9
2.2 Stand der Forschung.....	10
2.2.1 Shopfloormanagement .....	10
2.2.2 Kennzahlen und Echtzeitdaten in der Produktion / im Shopfloormanagement.....	12
2.2.3 Nutzen von Echtzeitdaten im unternehmerischen Kontext.....	13
2.2.4 Reporting im Shopfloormanagement .....	15
2.2.5 Abgrenzung zu themenverwandten Forschungsprojekten .....	17
2.3 Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen laut Einreichung .....	17
2.4 Verwendung der Zuwendung.....	18
2.5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	19
<b>3. Erzielte Ergebnisse</b> .....	<b>21</b>
3.1 Arbeitspaket 1: Identifikation echtzeitbasierter Kennzahlen des SFM.....	21
3.1.1 Shopfloormanagement .....	21
3.1.2 Vorgehensweise im Arbeitspaket.....	23
3.1.3 Aktueller Stand des Shopfloormanagements.....	28
3.1.4 Aktueller Stand der vorbereitenden Prozesse - Kennzahlen.....	34
3.1.5 Phänotypen - Kennzahlen .....	36
3.1.6 Aktueller Stand vorbereitende Prozesse - Maßnahmen und Problemlösung .....	37
3.1.7 Phänotypen – Maßnahmen und Problemlösung .....	39
3.1.8 Probleme auf dem Shopfloor - Kennzahlen - OEE .....	40
3.1.9 Potenziale der vorbereitenden Prozesse .....	44
3.1.10 Weiterentwicklung des Funktionsumfangs.....	46
3.1.11 Handlungsempfehlungen .....	47
3.1.12 Benötigte und eingesetzte Ressourcen .....	52
3.2 Arbeitspaket 2: Bewertung des Einsatzes echtzeitbasierter Kennzahlen.....	52
3.2.1 Zugrunde liegende Annahme .....	52
3.2.2 Bewertung des Einsatzes Echtzeitdatenbasierter Kennzahlen .....	54

3.2.3	Einfluss auf die Daten- und Analyzelatenz .....	56
3.2.4	Einfluss auf die Reaktions- und Anwendungslatenz.....	58
3.2.5	Zeitersparnis durch den Einsatz von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen .....	59
3.2.6	Kosten-Nutzen-Analyse.....	61
3.2.7	Benötigte und eingesetzte Ressourcen .....	67
3.3	Arbeitspaket 3: Integration Kennzahlen in Echtzeit in Shopfloor-Reporting .....	67
3.3.1	Reportingsystem allgemein .....	67
3.3.2	Anpassungsmöglichkeiten für Reportingsysteme.....	68
3.3.3	Anforderungen hinsichtlich Kennzahlen (Berichtsinhalte) .....	68
3.3.4	Anforderungen hinsichtlich Maßnahmen .....	77
3.3.5	Anforderungen hinsichtlich Berichtsempfänger .....	79
3.3.6	Funktionale Anforderungen .....	80
3.3.7	Modulübergreifende Anforderungen .....	83
3.3.8	Nicht-Funktionale Anforderungen .....	83
3.3.9	Technische und organisatorische Anforderungen .....	84
3.3.10	Benötigte und eingesetzte Ressourcen .....	90
3.4	Arbeitspaket 4: Validierung des Projektvorgehens.....	90
3.4.1	Validierung des in AP 1 erarbeiteten Vorgehens.....	90
3.4.2	Validierung des Forschungsdesigns Experiment.....	93
3.4.3	Validierung der Kosten-Nutzenanalyse.....	94
3.4.4	Validierung der Anpassungen des Reportings .....	98
3.4.5	Benötigte und eingesetzte Ressourcen .....	101
3.5	Arbeitspaket 5: Umsetzung der Ergebnisse in App-Demonstrator .....	101
3.5.1	Vorgehen im Arbeitspaket .....	101
3.5.2	Konzeption eines App-Demonstrator .....	104
3.5.3	Benötigte und eingesetzte Ressourcen .....	109
<b>4.</b>	<b>Innovativer Beitrag und Nutzen für KMU.....</b>	<b>110</b>
4.1	Innovativer Beitrag der erzielten Ergebnisse.....	110
4.2	Wissenschaftlich-technischer Nutzen der erzielten Ergebnisse für KMU .....	110
4.3	Wirtschaftlicher Nutzen der erzielten Ergebnisse für KMU .....	110
4.4	Industrielle Anwendungsmöglichkeiten der erzielten Ergebnisse .....	111
<b>5.</b>	<b>Veröffentlichungen und Transfermaßnahmen Projektbegleitender Ausschuss im Projekt.....</b>	<b>112</b>
5.1	Projektbegleitender Ausschuss im Projekt .....	112
5.2	Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft lt. Antrag während der Projektlaufzeit. 113	
5.3	Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft lt. Antrag (nach Projektende) .....	114

5.4	Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts.....	115
<b>6.</b>	<b>Durchführende Forschungsstellen .....</b>	<b>116</b>
6.1	International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH.....	116
6.2	wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ....	116
<b>7.</b>	<b>Förderhinweis .....</b>	<b>117</b>
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>118</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für ein Shopfloor-Board (Elektronik Praxis 2013).....	11
Abbildung 2: Schritte eines SFM (Brunner 2008).....	11
Abbildung 3: Zusammenhang SFM und OEE .....	12
Abbildung 4: Nutzen von Echtzeitdaten im unternehmerischen Kontext .....	14
Abbildung 5: Evaluation Map zur Quantifizierung von Nutzeneffekten (Seiter et al. 2016).....	15
Abbildung 6: Anwendung mobiles Reporting (Praxisbeispiel).....	16
Abbildung 7: Framework zum Einsatz des Shopfloormanagements .....	25
Abbildung 8: Industrie 4.0-Reifegrad (in Anlehnung an Schuh et al. 2017).....	26
Abbildung 9: Framework der unterstützenden Prozesse .....	27
Abbildung 10: Im Rahmen des SFM betrachtete Kennzahlen in den Unternehmen.....	28
Abbildung 11: Matrix der Nutzung für den Bereich der Kennzahlen .....	29
Abbildung 12: Matrix der Nutzung für den Bereich Maßnahmen & Problemlösung .....	32
Abbildung 13: Matrix der vorbereitenden Prozesse für den Bereich Kennzahlen .....	34
Abbildung 14: Phänotypen der vorbereitenden Prozesse für den Bereich Kennzahlen.....	36
Abbildung 15: Matrix der vorbereitenden Prozesse für den Bereich Maßnahmen .....	38
Abbildung 16: Phänotypen der vorbereitenden Prozesse für den Bereich Maßnahmen .....	39
Abbildung 17: Verlustkategorien der OEE .....	41
Abbildung 18: Potenziale der Echtzeitfähigkeit und der Digitalisierung bzw. Automatisierung...45	
Abbildung 19: Effekte Steigerung des I4.0-Reifegrades auf Entscheidungslatenz .....	46
Abbildung 20: Potenziale der Steigerung des Industrie 4.0-Reifegrades .....	47
Abbildung 21: Anforderungen für die Nutzung eines digitalen Shopfloor Managements.....	48
Abbildung 22: Latenztypen nach Hackathorn (2003) .....	53
Abbildung 23: Produzierte Stückzahlen pro Zeitintervall.....	57
Abbildung 24: Produzierte Gutmenge pro Zeitintervall.....	57
Abbildung 25: Erhobene Kennzahlen mit Signifikanzwert der Varianzanalyse .....	58
Abbildung 26: OEE.....	59
Abbildung 27: Faktoren der Zeitersparnis .....	60
Abbildung 28: Vorgehensweise beim EPA-Modell .....	61
Abbildung 29: Outputpotenziale im EPA-Modell.....	62
Abbildung 30: Potenziale und ihre Kennzahlen.....	63
Abbildung 31: Detaillierte Annäherung an die Effektstärke.....	64
Abbildung 32: Kostenpunkte .....	65
Abbildung 33: Ergebnis des EPA-Modells .....	66
Abbildung 34: Beispielhafte Kalkulation des EPA-Modells .....	66
Abbildung 35: Weitere beispielhafte Kalkulation .....	67
Abbildung 36: Dimensionen des Reportingsystems.....	68
Abbildung 37: Gruppenunterschiede .....	70
Abbildung 38: Frageitems mit Relevanz für das Reporting.....	72

Abbildung 39: Vorgehen zur Ermittlung des Ist-Standes in AP1.....	90
Abbildung 40: Framework zum Einsatz des Shopfloormanagements .....	91
Abbildung 41: Framework der unterstützenden Prozesse .....	92
Abbildung 42: Verfahren der Wirtschaftlichkeitsbewertung.....	94
Abbildung 43: Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung.....	98
Abbildung 44: Vorgehen interaktiver Systeme nach DIN EN ISO 9241-210 .....	99

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Zielsetzung und erarbeiteten Ergebnissen .....	18
Tabelle 2: Übersicht über die tatsächlich angefallenen PM .....	19
Tabelle 3: Übersicht über die tatsächlich angefallenen PM .....	19
Tabelle 4: Im Experiment genutzte Produktionskennzahlen .....	54
Tabelle 5: Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses (PA).....	112
Tabelle 6: Sitzungen des PA und inhaltliche Schwerpunkte der jeweiligen Sitzung .....	113
Tabelle 7: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft lt. Antrag während der Projektlaufzeit	113
Tabelle 8: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft nach Projektende .....	114

## 2. Zielsetzung

Ziel des Vorhabens ist daher die Erarbeitung eines Vorgehens, der KMU bei der Weiterentwicklung des Shopfloormanagements zu einem digitalen Shopfloormanagement unterstützt.

Die Teilziele des Projekts in der Übersicht:

- Identifikation echtzeitbasierter Kennzahlen des SFM
- Bewertung des Einsatzes echtzeitbasierter Kennzahlen
- Integration der Kennzahlen in Echtzeit in das bestehende Shopfloor-Reportingsystem
- Validierung des Vorgehens von Kennzahlen in Echtzeit in einer Modellfabrik
- Umsetzung der Ergebnisse in einem App-Demonstrator

Um die Ausgangssituation für das vorliegende Forschungsvorhaben darzustellen, wird im Folgenden zunächst die wissenschaftliche Fragestellung erläutert und anschließend der Stand der Forschung vorgestellt.

### 2.1 Wissenschaftliche Fragestellung

Unternehmen und insbesondere KMU können vom Einsatz echtzeitdatenbasierter Kennzahlen im SFM profitieren. Das auf Seiten der Wirtschaft erkannte Problem ist, dass KMU derzeit nicht wissen, welche Kennzahlen für einen Einsatz auf Echtzeitdatenbasis geeignet sind. Letztlich müssen KMU wissen, wie sich der Einsatz dieser Kennzahlen auf den SFM-Prozess auswirkt, sodass eine schnellere und qualitativ bessere Reaktion auf Störungen erfolgt, die zu einer Verbesserung der Produktivität führen kann. Dieses Know-How ist bei KMU bisher nicht vorhanden.

Für ein verbessertes SFM in KMU sind daher geeignete echtzeitdatenbasierte Kennzahlen zu identifizieren und in Hinblick auf die verschiedenen Akteure geeignet einzusetzen. Hier setzt das Forschungsvorhaben ShopfloorPulse an, welches zum Ziel hat, folgende Forschungsfrage zu lösen:

**Wie kann der Einsatz echtzeitdatenbasierter Kennzahlen das Shopfloormanagement von KMU verbessern?**

Zur Beantwortung der Forschungsfrage muss im Forschungsvorhaben zunächst geklärt werden, wie Unternehmen besonders relevante Probleme auf dem Shopfloor identifizieren können, da dort der größte Hebel für Verbesserungen durch Echtzeitinformationen vermutet werden kann. Im Weiteren ist zu klären, welche Kennzahlen sich eignen, um die identifizierten Probleme zu operationalisieren und wie diese in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden können. Dies führt zur ersten Teilfrage:

#### **1. Welche echtzeitdatenbasierten Kennzahlen stehen im SFM von KMU zur Verfügung?**

Nachdem untersucht wurde, welche Kennzahlen grundsätzlich für die Problemidentifikation in Echtzeit zur Verfügung stehen, muss deren Eignung für den Einsatz im SFM bewertet werden. Hierbei ist zu untersuchen, wie sich der echtzeitdatenbasierte Kennzahleneinsatz auf den Erfolg des SFM auswirkt. Dazu sind insbesondere Fragen hinsichtlich der Reaktionszeit bei der Pro-

blemidentifikation sowie der Entwicklung von Gegenmaßnahmen und dem Nutzen einer schnelleren Einleitung von Gegenmaßnahmen zu beantworten. Dies führt zu Teilfrage zwei:

## **2. Für welche Probleme eignet sich der Einsatz echtzeitdatenbasierter Kennzahlen?**

Nachdem die Kennzahlen gemäß ihrer Eignung für einen echtzeitdatenbasierten Einsatz ausgewählt wurden und deren Wirkung im Rahmen des SFM bekannt ist, muss im Forschungsvorhaben noch die operative Umsetzung der Steuerung mit diesen Kennzahlen erfolgen. Deshalb ist es notwendig, zu untersuchen, wie die echtzeitdatenbasierten Kennzahlen in das bestehende Reporting integriert werden können. Dies führt zur letzten Teilfrage des Forschungsvorhabens:

## **3. Wie können die echtzeitdatenbasierten Kennzahlen in das bestehende Reportingssystem integriert werden?**

## **2.2 Stand der Forschung**

Zum besseren Verständnis der definierten wissenschaftlichen Fragestellung wird zunächst der Stand der Forschung zum Thema Shopfloormanagement vorgestellt. Nachfolgend wird ein Überblick über die Kennzahlen und Echtzeitdaten in der Produktion bzw. auf dem Shopfloor gegeben. Zudem wird der unternehmerische Nutzen von Echtzeitdaten quantifiziert. Die Ausgestaltung des Reporting im SFM wird ebenfalls vorgestellt. Als letztes erfolgt eine Abgrenzung der Forschungsfrage zu themenverwandten Forschungsprojekten.

### **2.2.1 Shopfloormanagement**

Kleine und mittelständische produzierende Unternehmen (KMU) stehen vor einer Vielzahl von Herausforderungen, um ihre Wettbewerbsposition zu sichern und auszubauen. Die Produktion dieser Unternehmen ist oftmals geprägt durch hohe Dynamik und vielfältige Herausforderungen (z.B. Maschinenstörungen) im Produktionsalltag (Spath 2013). Um diesen Herausforderungen zu begegnen, müssen KMU die Transparenz in der Produktion erhöhen und somit auf Störungen (z.B. in Bezug auf Material- sowie Personalplanung) reagieren können. Die Erhöhung der Transparenz und eine Reaktion auf Störfälle ist Zielsetzung eines SFM (Steinhoff und Pointner 2016). Der Begriff „Shopfloor“ bedeutet hierbei Werkstatt oder Fertigung (Peters 2009).

Unter einem SFM versteht man demnach ein Instrument der Führung und Steuerung mit dem Ziel der kontinuierlichen Prozessverbesserung am Ort der Wertschöpfung (De Leeuw, van den Berg 2011). Probleme sind hier Störfälle, die zu einer Zielabweichung in der Produktion führen und auf dem Shopfloor entstehen oder dort ersichtlich werden, wie z.B. verlängerte Durchlaufzeiten. Shopfloormanagement findet bereits in produzierenden Unternehmen aller Größen Anwendung, vor allem in der Automobil- und Elektroindustrie und dem Maschinen- und Anlagenbau (Peters 2009, Staufen AG/PTW der TU Darmstadt 2016). Die Problemanalyse und -behebung erfolgt im SFM auf Basis von Kennzahlen. Die im SFM verwendeten Kennzahlen werden mit Anzeigetafeln, sogenannten Shopfloor-Boards, visualisiert (siehe Abb. 3).



Abbildung 1: Beispiel für ein Shopfloor-Board (Elektronik Praxis 2013)

Diese Kennzahlen beziehen sich auf die, auf dem Shopfloor stattfindenden, Produktions- und Logistikprozesse und bilden die Grundlage für die Problemanalyse und -behebung und damit für den Shopfloormanagementprozess. Dieser Prozess beinhaltet die Schritte:

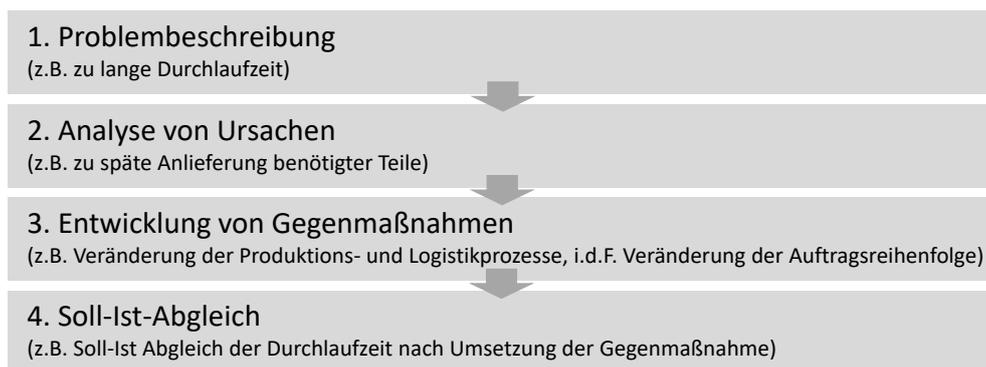


Abbildung 2: Schritte eines SFM (Brunner 2008)

Die Schritte des SFM werden von den verschiedenen Akteuren am Ort der Wertschöpfung in ihren verschiedenen Rollen (z.B. Produktionsleiter, Meister, Werker) durchgeführt, indem die Akteure Kennzahlen erhalten (z.B. erhält der Produktionsleiter Auftragsdaten für die kommende Schicht) und daraus abgeleitete Informationen sowie weitere Kennzahlen an andere Akteure weitergeben (z.B. Menge an Personal an den einzelnen Maschinen in der folgenden Schicht vom Produktionsleiter an Meister) (Brunner 2008). Das SFM ergänzt das oft bereits nach Kosten und Lean-Prinzipien optimierte Produktionssystem (Hurtz/Stolz 2015; Schwarz-Kocher/Salm 2016) durch aktive Führung am Ort der Wertschöpfung über alle Hierarchie-Ebenen und soll die im SFM häufig verwendeten Produktivitätskennzahlen verbessern (Schwarz-Kocher/Salm 2016). Von besonderer Bedeutung ist hier die **Gesamtanlageneffektivität** (Overall Equipment Efficiency, OEE) (May/Koch 2008; Schwarz-Kocher/Salm 2016). Dieses berechnet sich wie folgt:  $OEE = \text{Nutzungsgrad} \cdot \text{Leistungsgrad} \cdot \text{Ausbringungsquote}$ . Einflussfaktoren und somit Hebel für die Verbesserung der OEE durch Aktivitäten auf dem Shopfloor lassen sich anhand der Verlustkategorien (Verfügbarkeits-, Leistungs- und Qualitätsverluste) ableiten (May/Koch 2008; Schwarz-Kocher/Salm 2016)

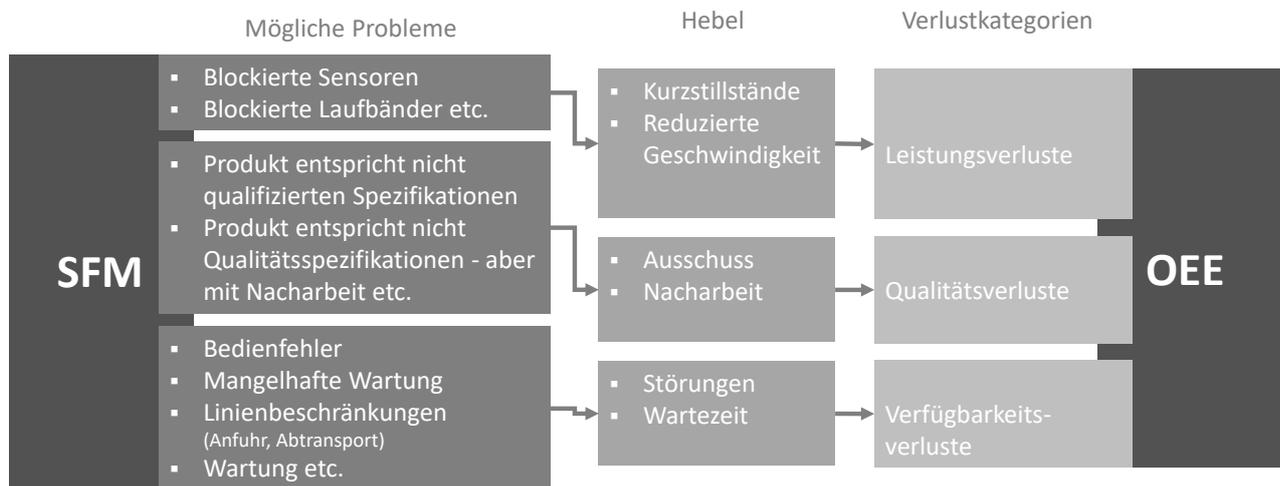


Abbildung 3: Zusammenhang SFM und OEE

Diese Hebel sind in Abbildung 5 dargestellt und werden zunächst weiter untergliedert nach Störungen, Wartezeiten, Kurzstillstände, reduzierte Geschwindigkeit, Ausschuss und Nacharbeit (May/Koch 2008).

## 2.2.2 Kennzahlen und Echtzeitdaten in der Produktion / im Shopfloormanagement

Kennzahlen bilden relevante Zusammenhänge in Unternehmen in einer verdichteten, quantitativ messbarer Form ab. Mit Hilfe von Kennzahlen kann die Informationsversorgung für das Management sichergestellt werden. Sie stellen ein bedeutendes Hilfsmittel für die Planung (Sollgrößen) und die Kontrolle (Ist-Größen) in unternehmerischen Prozessen dar. Der Einsatz von Kennzahlen ist in allen unternehmerischen Prozessen, u.a. in Produktionsprozessen, möglich (Horváth et al. 2015). Er ist essentiell für die Unternehmenssteuerung. Die Funktion von Kennzahlen kann anhand von drei Aufgaben verdeutlicht werden (Wlcek 2014). Zunächst ermöglichen sie einen stetigen Vergleich des derzeitigen Systemzustands mit gesteckten Zielen, Vergangenheitswerten oder anderen Geschäftsbereichen und machen somit Prozesse messbar (Klett/Schuhmacher 2011). Zudem kann das betrachtete System analysiert, die Einflussfaktoren auf die Kennzahlen ermittelt und Ansatzpunkte für Verbesserungen aufgedeckt werden (Gladen 2008). Durch geeignete Kennzahlen ist es möglich die (Un-)Wirksamkeit von durchgeführten Maßnahmen zu erfassen und somit letztendlich das betrachtete System zu steuern (Klett/Schuhmacher 2011). In der Produktion ist eine sorgfältige Messung der Leistung mittels geeigneter Kennzahlen unerlässlich (Schnell 2012). Es existieren zahlreiche Quellen zu Leistungskennzahlen im Produktionsbereich. So gibt Lödding 2008 in seinem Standardwerk einen allgemeinen Überblick über Kennzahlen in der Produktionsplanung und -steuerung und Bauer/ Hayessen 2009 beschreiben in kompakter und übersichtlicher Weise die 100 wichtigsten Kennzahlen zum Thema Produktionsmanagement. Typische Kennzahlen im Produktionsbereich sind Output-orientierte Kennzahlen (z.B. Produktionsleistung, Liefererfüllungsgrad/Termtreue), Produktionsprozess-orientierte Kennzahlen (z.B. Durchlaufzeit, Losgröße, Lagerbestand) sowie Ressourceneinsatz-orientierte Kennzahlen (z.B. Materialbedarf, Personaleinsatzzeiten) (Klein/Schnell 2012).

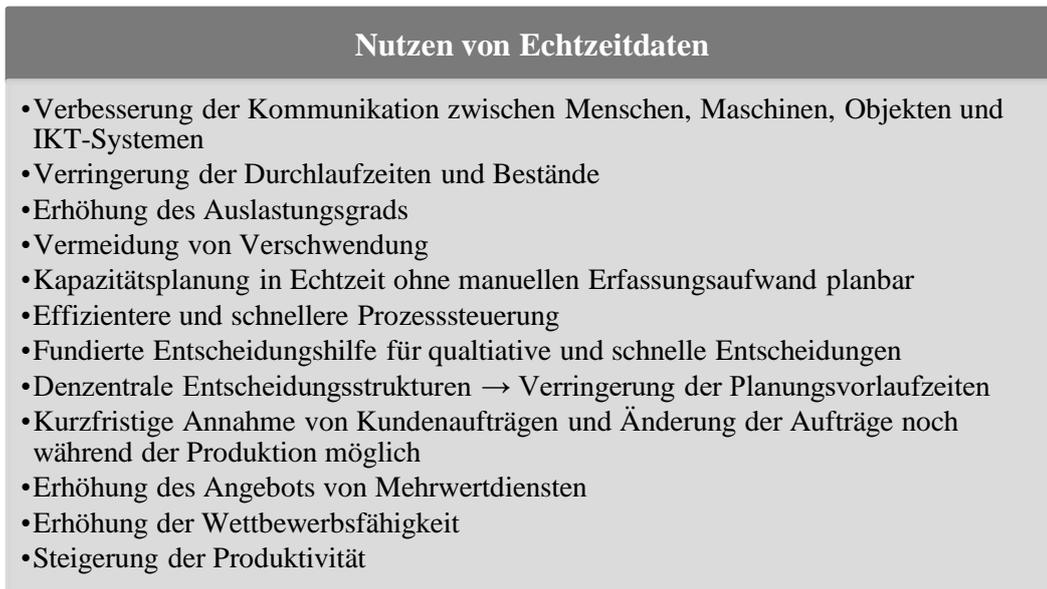
Der Aussagewert einzelner Kennzahlen ist begrenzt, wenn die Informationen nicht miteinander verknüpft werden (Kaplan/Norton 1996; Dietrich et. al. 2007). Zwischen den Kennzahlen existieren Wechselwirkungen und Zielkonflikte, die für eine umfassende Betrachtung identifiziert und berücksichtigt werden müssen (Lödding 2014). Existierende Kennzahlensysteme waren in der

Vergangenheit besonders von monetären Kennzahlen, wie dem R&L-System (Reichmann /Lachnit 1976) oder dem ZVEI-System (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie) (ZVEI 1989), geprägt (Sandt 1995). Diese geben jedoch nur indirekt Auskunft über die Leistung einer einzelnen betrachteten Maschine oder Anlage. Aufgrund des Overheads und der Umlagen ist eine Einschätzung durch monetäre Kennzahlen schwierig. Eine umfassendere Betrachtung wurde vor allem durch die Balanced Scorecard vorangetrieben, welche explizit die Berücksichtigung weiterer Perspektiven fordert. In ihrer ursprünglichen Ausprägung beinhaltet sie die finanzielle, interne, wissens- und kundenspezifische Perspektive (Kaplan/Norton 1995). Der RAVE (real asset value enhancer) Ansatz verbindet ebenfalls mehrere Perspektiven, fokussiert als Steuerungsgröße jedoch in allen Fällen den Cash Value Added (CVA). Der CVA kann aus drei Perspektiven berechnet werden, der Kapitalperspektive, der Mitarbeiterperspektive oder der Kundenperspektive. Je nach Berechnungsart rückt eine andere Perspektive zur Steuerung des Unternehmens in den Fokus. Er ist damit ein rein finanzielles Kennzahlensystem, das besonders den Zusammenhang der verschiedenen Perspektiven berücksichtigt (Strack/Villis 2001).

Ein Echtzeitsystem kann gemäß DIN 4430 definiert werden. Der Begriff „Echtzeit“ wird hier als ein Rechensystem beschrieben, dessen Programme zur Datenverarbeitung ständig betriebsbereit sind. In Bezug auf den Shopfloor erfolgt die Erfassung von Maschinen- teils auch Personal- daten automatisch durch digitale Sensoreinheiten in der Produktion, die mit dem entsprechenden Datenverarbeitungssystem vernetzt sind (Seiter et al. 2016). Die Verarbeitung kann entweder an Ort und Stelle erfolgen (Edge Computing) oder aber in einer vernetzten Umgebung. In letzterem Fall hilft die Verwendung von spezieller Mikrotechnik, um den Schutz sensibler Echtzeitdaten und Know-How zu gewährleisten. Im Gegensatz zu herkömmlichen statischen Soll-/Ist-Abgleichen im Rahmen des SFM können durch Echtzeitsysteme aktuelle statt vergangenheitsbezogene Daten verwendet werden (Sejdic 2014). Auf dem Shopfloor werden bereits viele Kennzahlen in Echtzeit abgebildet, jedoch erfolgt ihre Erfassung und Auswertung unstrukturiert und somit kann ihr tatsächlicher Nutzen nicht konkret ermittelt werden.

### **2.2.3 Nutzen von Echtzeitdaten im unternehmerischen Kontext**

Die vorherrschende Meinung in der Literatur und die Ergebnisse aktueller Studien zeichnen in Bezug auf den Nutzen von Echtzeitdaten ein eindeutiges, qualitatives Bild: der Einsatz von Industrie 4.0 Technologien und somit u.a. auch von Echtzeitdaten führt zu wesentlichen Verbesserungen in den unternehmerischen Prozessen (BMW i 2015; Bitkom/Fraunhofer 2014; Berger 2015; CSC 2015; McKinsey/VDMA 2014; PwC 2014). In Abb. 6 sind die wesentlichen Nutzeneffekte von Echtzeitdaten zusammengefasst, diese werden im Folgenden erläutert.



**Abbildung 4: Nutzen von Echtzeitdaten im unternehmerischen Kontext**

Es wird ein Mehrwert in Produktions- und Logistikprozessen dadurch erreicht, dass nun Echtzeitinformationen über den Status von Produktionsmaschinen und -anlagen vorliegen und die Kommunikation zwischen Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen nun direkt und „just-in-time“ abläuft. Dadurch werden zum einen Durchlaufzeiten und Bestände verringert und zum anderen der Auslastungsgrad deutlich erhöht. Prozessdaten können zur Kapazitätsplanung ohne manuellen Mehraufwand in Echtzeit erfasst werden. Auch wird der Verwendung von Echtzeitinformationen eine mit ihr einhergehende Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit zugeschrieben, da Verschwendung gezielt vermieden werden kann (Substitution von Material, Beständen und Bewegungen durch Echtzeitinformationen) (BMW 2015; Bitkom/Fraunhofer 2014).

Darüber hinaus sind Echtzeitinformationen nützlich, um die Prozesssteuerung effizienter zu gestalten und um Entscheidungen qualitativ, schnell und fundiert zu treffen (Bitkom/Fraunhofer 2014). Durch die Verfügbarkeit von Echtzeitinformationen und der dadurch entstehenden Vernetzung von Mensch und Maschine entstehen dezentrale Entscheidungsstrukturen, welche wiederum die Planungsvorlaufzeiten bzgl. der Produktherstellung verringern können. Es wird möglich Kundenaufträge kurzfristig anzunehmen oder zu verschieben. Auch können Änderungen durch die Abbildung des Wertschöpfungsprozesses in Echtzeit noch während der Produktion vorgenommen werden. Dies ermöglicht Unternehmen ein flexibleres und kundenindividuelles Erfüllen der Aufträge (BMW 2015). Ebenfalls können die Unternehmen durch die Verwendung von Echtzeitdaten dem Kunden sogenannte Mehrwertdienste, insbesondere im Logistikbereich, anbieten, z.B. indem die Transparenz der Wertschöpfungskette durch Echtzeitdaten wesentlich erhöht wird und die Logistikunternehmen durch eine durchgängige Überwachung der Wertschöpfungskette bis hin zum Rohstofflieferanten wesentlich besser auf Störungen reagieren können (Berger 2015).

Der Nutzen lässt sich im Allgemeinen sowohl monetär (z.B. Investitionsrechnungsverfahren, wie Kostenvergleichsrechnung oder Gewinnvergleichsrechnung, Kapitalwertmethode) als auch nicht-monetär (Nutzwertanalyse oder Extended Performance Analyse) bewerten (Weber/Schäffer 2011). Da es im Rahmen des Forschungsprojektes insbesondere um die Bewertung des Zeitvorteils durch den Einsatz echtzeitdatenbasierter Kennzahlen geht und dessen Auswirkung auf die

OEE, wird an dieser Stelle die Extended Performance Analysis (EPA) zur Bewertung von Echtzeitdaten herangezogen. Diese erlaubt es nicht-monetäre Nutzeneffekte in monetäre Nutzeneffekte zu überführen (Seiter et al. 2016). Den Ausgangspunkt bei dem EPA-Modell bilden die nicht-monetären und nicht direkt quantifizierbaren Nutzeneffekte (z.B. Erhöhung der Transparenz durch die Verfügbarkeit von Echtzeitdaten). Diese werden als Ursache für die nicht-monetären, aber direkt quantifizierbaren Nutzeneffekte gesehen (z.B. eine erhöhte Maschinenauslastung) gesehen. Die nicht-monetären, aber direkt quantifizierbaren Nutzeneffekte beeinflussen die monetären Nutzeneffekte (z.B. niedrigere Bestandskosten) (Seiter et al. 2016). Das Vorgehen beim EPA-Modell zur Integration der nicht-monetären und monetären Nutzeneffekte besteht zunächst in der Erfassung und Identifizierung möglicher Nutzeneffekte und deren Wirkbeziehungen. Die anschließende Verknüpfung der einzelnen qualitativen Nutzeneffekte führt zur „Evaluation Map“, welche die Zusammenhänge der Nutzeneffekte abbildet (s. Abbildung 5). Zur Ermittlung des monetären Nutzens werden dann die einzelnen Faktoren mit den einzelnen vorgelagerten Nutzeneffekten in der Wirkungskette verknüpft (Seiter et al. 2016; IPRI 2007).

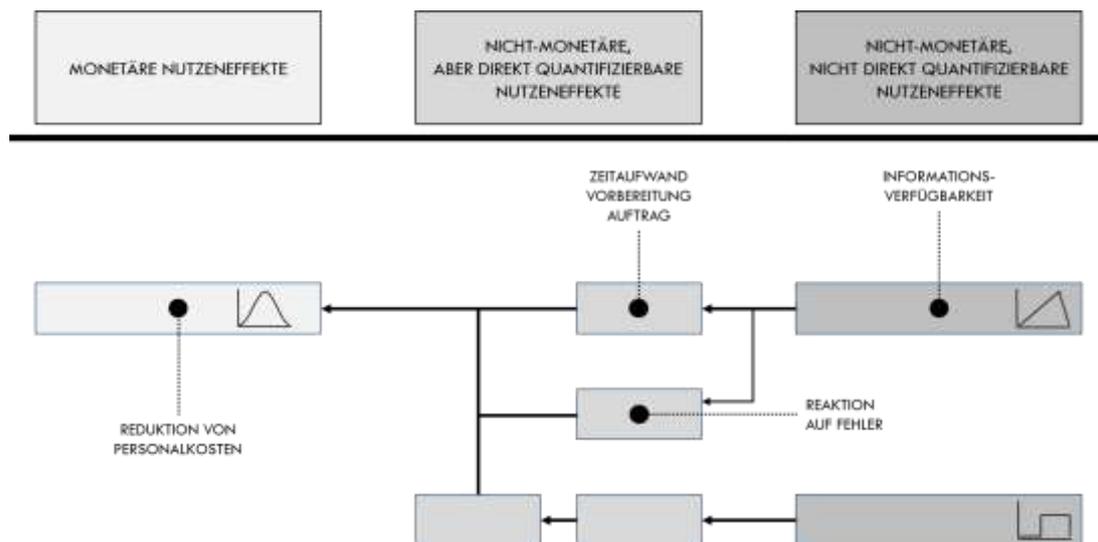


Abbildung 5: Evaluation Map zur Quantifizierung von Nutzeneffekten (Seiter et al. 2016)

Was bislang diesen Betrachtungen jedoch fehlt, ist die Quantifizierbarkeit des tatsächlichen Nutzens der Verwendung von Echtzeitdaten in unternehmerischen Prozessen im Vergleich zu der traditionellen Erfassung und Steuerung der Prozesse (PwC 2014). Die Untersuchungen bislang enthalten lediglich Schätzungen des Nutzens von Echtzeitdaten, allerdings keine konkreten Berechnungen, über die Größe der tatsächlichen Produktivitätssteigerung durch die Nutzung von Echtzeitdaten und ihren Auswirkungen auf die OEE. Bislang wird lediglich ohne konkrete Quantifizierung angegeben, dass es einen Nutzen oder einen Zeitvorteil durch den Einsatz von Echtzeitdaten gibt oder sie messen diesen in monetären Größen, jedoch unter einer Vielzahl von Annahmen. Auch wurde der Nutzen echtzeitdatenbasierter Kennzahlen auf dem Shopfloor durch Untersuchungen ebenfalls bislang nicht konkret quantifiziert. Deshalb soll im Rahmen des Forschungsprojektes diese ermittelten Nutzeneffekte quantifiziert und auf die OEE bezogen werden, sodass ein Mittelweg zwischen monetärer und nicht-monetärer Nutzenbewertung entsteht.

## 2.2.4 Reporting im Shopfloormanagement

Die Umsetzung von Unternehmenszielen und damit auch das Ausschöpfen von Produktivitätspotenzialen auf dem Shopfloor können nur erfolgen, wenn Mitarbeiter und Führungskräfte auch Sinne dieser Ziele handeln. Dies wird ihnen ermöglicht bzw. visualisiert, wenn auf dem Shopfloor

kontinuierlich Kennzahlen genutzt werden. Der Nutzen derartiger Kennzahlen hängt im Wesentlichen von einem gezielten, systematischen Shopfloor-Reportingsystem ab.

Reporting bezeichnet „Informationsübermittlungsvorgänge zwischen Stellen der Informationsentstehung und der Informationsverwendung“ (Horváth 2008). Ziel des Reporting ist es, eine Grundlage für Managemententscheidungen zu bieten. Wichtige Kennzahlen verschiedener Bereiche des Unternehmens werden je nach Bedürfnissen des vorgesehenen Empfängers in einem Bericht in aggregierter Form abgebildet, gegenübergestellt und dem Empfänger anschließend übermittelt (Schön 2012).

Grundsätzlich besteht ein strukturiertes Reportingsystem aus vier Säulen (1. Berichtsobjekte und -empfänger, 2. Berichtsinhalte, 3. Visualisierung und Präsentation und 4. Prozesse und Organisation) (Gräf/Heinzelmann 2011). Im Rahmen der ersten Säule müssen Berichtsempfänger bestimmt werden und diesen Empfängern müssen Steuerungsobjekte (z.B. Produktionsbereiche) zugeordnet werden. Im Rahmen der zweiten Säule werden die Berichtsinhalte (Kennzahlen) bestimmt die an die ausgewählten Empfänger berichtet werden, bevor anschließend eine geeignete Form zur Visualisierung (Säule 3) bestimmt und eine Konkretisierung der Berichtsprozesse (z.B. Zeitpunkte der Berichte) vorgenommen wird.

Die Berichtsempfänger benötigen letztlich für ihre spezifischen Informationsbedarfe geeignete Kennzahlen in geeigneter Form (Horváth/Reichmann 2002). Dies umfasst die Sicherstellung, dass dem Empfänger die richtige Information, in der richtigen Verdichtung, zum richtigen Zeitpunkt, am richtigen Ort und in der richtigen Form vorliegt (Horváth et al. 2015). Dies gilt es bei der Umsetzung eines Shopfloor-Reportingsystems ebenfalls zu beachten. Zentrales Element im SFM bisher ist das Shopfloor-Board, mit dem den Mitarbeitern auf dem Shopfloor (Empfängern) Informationen bereit gestellt werden (Mayer 2013).

Um Prozesse im SFM zu beschleunigen und die Informationen gezielter weiterzugeben und damit einer durch Digitalisierung beschleunigten Entwicklung des Management Reportings (Kieninger et al. 2015) gerecht zu werden ist es wichtig, die echtzeitdatenbasierten Kennzahlen in das Shopfloor-Reporting zu integrieren und auf Basis mobiler Technologien (siehe Abb. 8) zur Verfügung zu stellen (Fiebig/Siegfried/Lehmann/Maik et al. 2014).

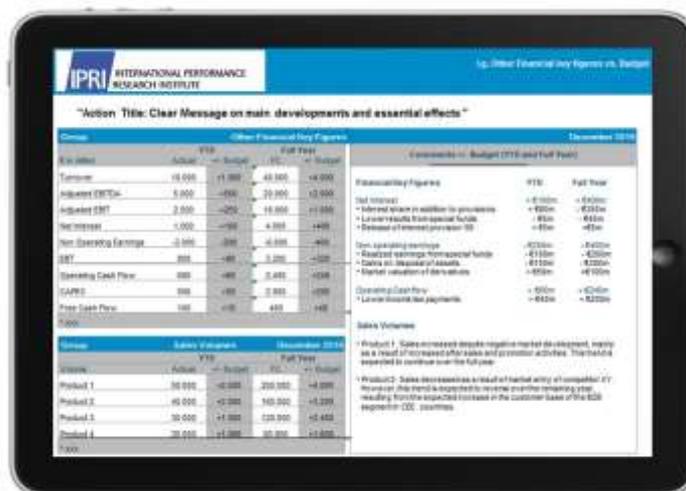


Abbildung 6: Anwendung mobiles Reporting (Praxisbeispiel)

Die benutzerorientierte Aufbereitung muss somit auch für echtzeitdatenbasierte Kennzahlen erfolgen. Bekannt ist dabei zumeist welche Akteure, welche Informationsbedarfe besitzen. Die Herausforderung besteht nun in der gezielten akteurspezifischen Selektion von Echtzeitdaten im SFM in Bezug auf die Verbesserung der OEE. Bisherige Studien konzentrieren sich eher auf die Integration von Technologien wie Cloud-Lösungen in den Informationsprozess des Shopfloormanagements, als auf die konkrete Wirkung von Echtzeitdaten und die darauf basierende Gestaltung eines Reportings (Wang et al. 2016).

### **2.2.5 Abgrenzung zu themenverwandten Forschungsprojekten**

Bisherige Forschungsprojekte haben sich vor allem auf Motivationsaspekte und Mitarbeiterbeteiligung (REVisER) oder Störungsmanagement (StöGröM) fokussiert. Das Projekt „REVisER“ des Lehrstuhls für umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth und mehreren Industriepartnern hatte zum Ziel die Auswirkungen von komparativem Echtzeit-Feedback auf den verantwortungsbewussten Umgang der Mitarbeiter mit den Ressourcen Energie und Material zu untersuchen (Steinhilper u.a. 2014). Es konnte gezeigt werden, dass durch den Einsatz von Echtzeit-Feedback verhaltensbedingte Verschwendungen von Ressourcen reduziert werden können. Durch eine anwendbare Systematik zur Einbeziehung der Mitarbeiter in die Steigerung der Ressourceneffizienz konnten höhere Ersparniseffekte erzielt werden als durch reinen Zielwertabgleich. Der Einsatz von Echtzeit-Feedback führt zu einer besseren Arbeitsorganisation und erhöht somit die Effizienz auf dem Shopfloor (Steinhilper u.a. 2014). Das Projekt „StöGröM“ des Instituts für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) an der Leibniz Universität Hannover und diverser Partnerunternehmen hatte zum Ziel eine softwarebasierte Systematik zu entwickeln, das KMU ein methodisches Vorgehen zur nachhaltigen Implementierung eines präventiv und reaktiv wirksamen Störungsmanagements zur Verfügung stellt (Meyer 2015). Durch den Aufbau diverser Datenbanken konnten Maßnahmenkataloge mit Techniken zur nachhaltigen Störungsbehebung erstellt und mit den Kompetenzen der Mitarbeiter verknüpft werden. Zusätzlich wurde eine Störgrößenprioritätszahl entwickelt, welche es ermöglicht die Bedeutung einzelner Störungen für das Gesamtunternehmen besser abschätzen zu können und eine Arbeitsreihenfolge festzulegen. Mitarbeiter sind somit in der Lage Störungen selbstständig und nachhaltig zu beheben (Meyer 2015). ShopfloorPulse erforscht die Wirkung des Einsatzes echtzeitdatenbasierter Kennzahlen auf die unterschiedlichen Rollen der Akteure im Rahmen des Shopfloormanagements bei produzierenden mittelständigen KMU. Dafür wird untersucht, ob mit Echtzeitdaten zusätzliche Produktivitätspotenziale gehoben werden können oder ob die Nutzung durch verschiedene Akteure zu ineffizienter detailorientierter operativer Steuerung führt.

### **2.3 Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen laut Einreichung**

Ziel des Forschungsprojekts „ShopfloorPulse“ war es, einen App-Demonstrators zu entwickeln, der die KMU beim Aufbau von echtzeitdatenbasierten und akteurspezifischen Shopfloor-Boards unterstützt. Nachfolgend sind in der Übersicht die Arbeitspakete und deren geplante sowie die erzielten Ergebnisse abgebildet (s. Tabelle 1). *Deutlich wird, dass alle Teilziele als auch das Gesamtziel des Vorhabens erreicht wurden.*

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Zielsetzung und erarbeiteten Ergebnissen

Arbeitspaket (AP)	Geplante Ergebnisse	Erzielte Ergebnisse	Geplante Ergebnisse erreicht?
<b>AP 1:</b> Identifikation echtzeitbasierter Kennzahlen des SFM	Vorgehen zur Identifikation der relevanten Probleme auf dem Shopfloor und zur Erfassung geeigneter Kennzahlen in Echtzeit, um diese Probleme zu erkennen.	Vorgehen zur Identifikation der relevanten Probleme auf dem Shopfloor und zur Erfassung geeigneter Kennzahlen in Echtzeit, um diese Probleme zu erkennen.	✓
<b>AP 2:</b> Bewertung des Einsatzes echtzeitbasierter Kennzahlen	Vorgehen um die Kosten- und Nutzenanalyse echtzeitdatenbasierter Kennzahlen durchzuführen als Entscheidungsgrundlage für KMU.	Vorgehen um die Kosten- und Nutzenanalyse echtzeitdatenbasierter Kennzahlen durchzuführen als Entscheidungsgrundlage für KMU.	✓
<b>AP 3:</b> Integration der Kennzahlen in Echtzeit in das bestehende Shopfloor-Reportingsystem	Katalog von Integrationsmöglichkeiten von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen in das bestehende Shopfloor-Reporting mittelständischer Produzenten	Katalog von Integrationsmöglichkeiten von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen in das bestehende Shopfloor-Reporting mittelständischer Produzenten	✓
<b>AP 4:</b> Validierung des Vorgehens von Kennzahlen in Echtzeit in einer Modellfabrik	Validiertes Projektvorgehen	Validiertes Projektvorgehen	✓
<b>AP 5:</b> Umsetzung der Ergebnisse in App-Demonstrator	Entwicklung eines App-Demonstrators für echtzeitdatenbasierte mobile Shopfloor-Reporting	Entwicklung eines App-Demonstrators für echtzeitdatenbasierte mobile Shopfloor-Reporting	✓

## 2.4 Verwendung der Zuwendung

### IPRI - International Performance Research Institute

Die Bearbeitung des Projektes hat 23,96 Personen-Monate (PM) von den beantragten 24 PM in Anspruch genommen. Für die einzelnen Jahre wurden die in der folgenden Tabelle 2 dargestellten Aufwendungen in Form von wissenschaftlich-technischem Personal beansprucht.

**Tabelle 2: Übersicht über die tatsächlich angefallenen PM**

Jahr	2017	2018	2019	Summe
Personen-Monate Soll	5,75 PM	16,25 PM	2 PM	<b>24 PM</b>
Personen-Monate Ist	4,75 PM	15,49 PM	3,72 PM	<b>23,96 PM</b>

Im Jahr 2017 stand entsprechendes Personal nicht komplett wie geplant zur Verfügung, sodass statt den geplanten 5,75 PM insgesamt nur 4,75 PM abgerufen wurden. Im Jahr 2018 konnten die geplanten 16,25 PM fast komplett abgerufen werden. Gegen Ende des Jahres 2018 stand ausreichend Personal zur Verfügung um die nicht abgerufenen PM auszugleichen, sodass im Jahr statt den vorgesehenen 2 PM insgesamt 3,72 PM abgerufen wurden. Diese Verschiebung ging auch mit der kostenneutralen Verlängerung der Projektlaufzeit einher, bei der das Projekt um weitere 6 Monate bis Ende August 2019 verlängert wurde. Über das gesamte Projekt betrachtet bedeutet dies, dass insgesamt 23,96 PM statt den ursprünglich geplanten 24 PM abgerufen wurden. Die bewilligten Fördermittel wurden nicht vollständig ausgeschöpft.

### **wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie**

Die Bearbeitung des Projektes hat 24 Personen-Monate (PM) von den beantragten 23 PM in Anspruch genommen. Für die einzelnen Jahre wurden die in der folgenden Tabelle 3 dargestellten Aufwendungen in Form von wissenschaftlich-technischem Personal beansprucht.

**Tabelle 3: Übersicht über die tatsächlich angefallenen PM**

Jahr	2017	2018	2019	Summe
Personen-Monate Soll	7,13 PM	13,3 PM	3,58 PM	<b>24 PM</b>
Personen-Monate Ist	10 PM	12 PM	1 PM	<b>23 PM</b>

## **2.5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die **Notwendigkeit** der geleisteten Arbeit ergibt sich aus der identifizierten Forschungslücke und wurde in Gesprächen mit Unternehmen, insbesondere produzierende KMU, bestätigt. Das Forschungsthema zeigt deutliche Praxisrelevanz auf. Die Erarbeitung eines Vorgehens zur Identifikation der relevanten Probleme auf dem Shopfloor und zur Erfassung geeigneter Kennzahlen in Echtzeit, um diese Probleme zu erkennen, behebt ein bekanntes Problem. Das entwickelte Vorgehen um die Kosten- und Nutzenanalyse echtzeitdatenbasierter Kennzahlen durchzuführen und der Katalog von Integrationsmöglichkeiten von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen in das bestehende Shopfloor-Reporting mittelständischer Produzenten unterstützen KMU bei der strategischen Implementierung von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen in das Shopfloormanagement. Insbesondere durch die Aufbereitung und Aggregation der Ergebnisse in einem Softwaredemonstrator. Die **Angemessenheit** der geleisteten Arbeit der Forschungsstelle ergibt sich aus der Anwendung geeigneter wissenschaftlicher Methoden und der Befragung von Experten in der unternehmerischen Praxis in angemessener Weise.

Für die durchgeführten Arbeiten wurden in der Forschungsstelle wissenschaftliche Mitarbeiter beschäftigt. Unterstützt wurde das wissenschaftlich-technische Personal durch studentische Hilfskräfte. Die geleistete Arbeit entspricht dem begutachteten sowie bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens **notwendig** und **angemessen**.

### 3. Erzielte Ergebnisse

#### 3.1 Arbeitspaket 1: Identifikation echtzeitbasierter Kennzahlen des SFM

Die folgenden Ergebnisse waren Gegenstand dieses Arbeitspakets:

Geplante Ergebnisse lt. Antrag	Erzielte Ergebnisse
Vorgehen zur Identifikation der relevanten Probleme auf dem Shopfloor und zur Erfassung geeigneter Kennzahlen in Echtzeit, um diese Probleme zu erkennen. (Teilziel 1)	Vorgehen zur Identifikation der relevanten Probleme auf dem Shopfloor und zur Erfassung geeigneter Kennzahlen in Echtzeit, um diese Probleme zu erkennen. (Teilziel 1)

##### 3.1.1 Shopfloormanagement

###### Begriff

Obwohl der Begriff Shopfloor Management in Literatur und Praxis häufig zu finden ist, wird er unterschiedlich ausgelegt. Es hat sich zum heutigen Zeitpunkt noch keine eindeutige Definition durchgesetzt (Hertle et al. 2015). Der Begriff **Shopfloor Management** setzt sich aus den zwei Begriffen Shopfloor und Management zusammen. Shopfloor, japanisch Gemba, bezieht sich auf den Ort der Wertschöpfung bzw. die Werkstätte, an dem die wertschöpfenden Prozesse stattfinden, um letztendlich den Kunden zufriedenzustellen (Brunner 2017; Suzaki 1994). **Management** beschreibt „alle Tätigkeiten, die der Steuerung des betrieblichen Leistungsprozesses und kontrollierender Art sein können“ (Gluchowski et al. 2008). Allgemein kann Shopfloor Management also als ein Führungsinstrument beschrieben werden, welches den Shopfloor, den Ort der Wertschöpfung, in den Mittelpunkt rückt (Peters 2009; Riegger 2011). In den verschiedenen Literaturquellen werden jeweils unterschiedliche Hauptelemente des Shopfloor Managements genannt. Peters (2009) und Suzaki (1994) trennen hierbei nach Prinzipien der Führung und Zusammenarbeit sowie Elementen der täglichen Umsetzung. Shopfloor Management ermöglicht es, eine Brücke zwischen „harten Faktoren“, wie Prozessen und Methoden der kontinuierlichen Verbesserung auf der einen Seite und „weichen Faktoren“, wie dem Führungs- und Kommunikationsverhalten auf der anderen Seite zu bauen (Peters 2009).

###### Prinzipien

**Kundenorientierung** wird als wichtiges Element sowohl des Shopfloor Managements als auch der übergeordneten Lean-Thematik angesehen (Suzaki 1994; Bertagnolli 2018). Die Kundenorientierung betrifft dabei nicht nur externe Kunden des Unternehmens, sondern auch das interne Kunden-Lieferanten-Verhältnis zwischen verschiedenen Bereichen und Hierarchiestufen (Suzaki 1994). Die Erfüllung der Kundenbedürfnisse wird täglich im Rahmen des Shopfloor Managements in den Zieldimensionen Qualität, Kosten und Lieferzeit überprüft. Zudem werden auch die Zieldimensionen Sicherheit und Arbeitsmoral als Kundenbedürfnisse der Mitarbeiter betrachtet. Zusammen ergeben sich die QKLSA-Zieldimensionen (Suzaki 1994).

Suzaki (1994) legt bei der Definition von Shopfloor Management besonderen Wert darauf, dass es sich um eine neue Sichtweise des Managements handelt, bei der auf allen Hierarchieebenen, insbesondere auch auf dem Shopfloor, Selbstmanagement betrieben wird. Selbstmanagement verkörpert die Idee, dass jeder Mitarbeiter zum Ganzen beiträgt, aber dennoch selbstständig arbeitet (Suzaki 1994). Dies bedeutet, dass alle **Mitarbeiter** in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess mit **einbezogen** werden. Dadurch werden zum einen die Potenziale der Mitarbeiter zur

Optimierung der Prozesse genutzt (Brunner 2017), zum anderen erfahren die Mitarbeiter ein Gefühl der Wertschätzung, welches zu einer höheren Motivation führen kann (Hurtz & Stolz 2013). Diese beiden Punkte leisten einen Beitrag zur nachhaltigen Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens (Suzaki 1994). Shopfloor Management steht damit im Gegensatz zu dem tayloristischen Ansatz, bei dem planende und ausführende Tätigkeiten getrennt werden und das Management von der Produktion größtenteils entkoppelt ist (Suzaki 1994; Leyendecker & Pötters 2017). Shopfloor Management hilft die Kluft zwischen Management und Mitarbeitern auf dem Shopfloor zu verringern.

Damit die Mitarbeiter auf dem Shopfloor hinsichtlich des Selbstmanagements befähigt sind, müssen die **Führungskräfte** die Rolle eines **Coaches** einnehmen. Statt eine Lösung vorzugeben, lenkt der Coach durch geschicktes Fragen die Lösungssuche, sodass sich der Coachee individuell weiterentwickelt. Mitarbeiterentwicklung ist zentrale Aufgabe jeder Führungskraft (Bertagnolli 2018; Peters 2009).

Häufig verbringen Führungskräfte einen beträchtlichen Teil ihrer Zeit in Besprechungen oder am Schreibtisch mit der Bearbeitung von E-Mails, sodass Entscheidungen unabhängig von der **Situation vor Ort** getroffen werden. Mit dem Einsatz von Shopfloor Management wird jedoch – durch die regelmäßigen Meetings auf dem Shopfloor – Kommunikation in den täglichen Arbeitsalltag integriert, sodass zeitnah, direkt auf dem Shopfloor, Entscheidungen getroffen werden können (Peters 2009).

Die eigentliche **Lösung eines auftretenden Problems** wird nicht als Teil des täglichen Shopfloor Managements betrachtet (Hertle et al. 2017). Jedoch sollte ein strukturierter Problemlöseprozess im Unternehmen verankert sein, damit der kontinuierliche Verbesserungsprozess von den Mitarbeitern verinnerlicht wird (Peters 2009). Für diese Aufgabe hat sich die Anwendung des PDCA-Zyklus etabliert (Suzaki 1994; Hurtz & Stolz 2013). Der PDCA-Zyklus ist ein iterativer Prozess zur kontinuierlichen Verbesserung und setzt sich aus den Phasen Plan, Do, Check und Act zusammen. Zunächst wird eine Lösung zur Erreichung eines bestimmten Ziels entwickelt. Diese Lösung wird anschließend umgesetzt und auf ihre Auswirkungen überprüft. Bei erfolgreicher Lösung des Problems wird das Gelernte in Standards überführt (Bertagnolli 2018; Hurtz & Stolz 2013).

Eine **positive Fehlerkultur** bedeutet, dass bei Problemen der Fokus nicht auf der Schuldsuche, sondern auf der Lösungssuche liegt, um Fehlerursachen dauerhaft abzustellen (Peters 2009; Leyendecker & Pötters 2017). Fehler sollten als Ausgangspunkt für Verbesserung angesehen und nicht sanktioniert werden. Diese Ansicht muss von Führungskräften vorgelebt werden (Leyendecker & Pötters 2017). Statt Symptome zu bekämpfen sollten aufgetretenen Probleme von den Mitarbeitern und Führungskräften systematisch analysiert werden, um die dahinterliegenden Ursachen zu beheben (Peters 2009).

### **Bereiche des Shopfloormanagements**

Regelmäßige **Meetings** direkt vor Ort auf dem Shopfloor sind ein zentraler Bereich des Shopfloor Managements (Suzaki 1994; Peters 2009; Bertagnolli 2018). Die Meetings kaskadieren sowohl zeitlich als auch in unterschiedlichen Rhythmen von der unteren Hierarchieebene nach oben (Peters 2009). Das heißt, beginnend von der Mitarbeiter- Ebene oder der Meister-Ebene wird über die Abteilungsleiter- oder Bereichsleiter-Ebene bis hin zum Werksleiter die Kommunikation über Meetings im täglichen, wöchentlichen oder monatlichen Rhythmus gestaltet. Dabei findet auch eine horizontale Integration statt, indem Teilnehmer der verschiedenen Bereiche Produktion, Logistik und Qualität in einer Runde vertreten sind, sodass Probleme direkt geklärt werden können (Bertagnolli 2018). Die Meetings sind fest terminiert, sodass weitestgehend die Teilnahme der

Führungskräfte abgesichert werden kann (Peters 2009). Informationen fließen dabei sowohl Top-Down als auch Bottom-Up (Bertagnolli 2018). Inhaltlich stehen bei den täglichen bzw. wöchentlichen Meetings das Erkennen von Abweichungen und Problemen, das Erstellen und Nachverfolgen von Maßnahmen zur Problemlösung sowie die kurzfristige Ressourcensteuerung im Vordergrund (Peters 2009; Suzaki 1994). Zudem bieten die Shopfloor Meetings die Möglichkeit die Mitarbeiter einzubeziehen und sich über Verbesserungsideen auszutauschen (Suzaki 1994). Die Kurzzyklichkeit der Meetings ermöglicht es schnell auf Abweichungen und Probleme zu reagieren (Leyendecker & Pötters 2017).

Damit Abweichungen erkannt werden können, müssen sie messbar gemacht werden. Dies ist durch den Vergleich mit Standards möglich (Peters 2009). Häufig werden hierzu **Kennzahlen** eingesetzt, bei denen der Vergleich der Ist-Kennzahlen zu Soll-Kennzahlen, die sich aus dem Hoshin Kanri-Prozess abgeleitet haben, gezogen wird. Neben dem Aufdecken von Abweichungen ermöglichen Kennzahlen das Erkennen von Trends und zeigen Ansatzpunkte für Verbesserungen auf (Peters 2009).

Um Probleme nachhaltig abzustellen, sollten nicht nur die Symptome, sondern die tatsächlichen Ursachen identifiziert und beseitigt werden. Im Rahmen des täglichen Shopfloor Managements geht es darum, **Maßnahmen zur Problemlösung** zu definieren, sowie den Umsetzungsstand der bereits zuvor festgelegten Problemlösungen zu überprüfen (Peters 2009). Die eigentliche systematische Problemlösung wird jedoch aus dem Shopfloor Management ausgelagert (Hertle et al. 2017). Wenn ein Problem auf einer Kaskade nicht gelöst werden kann, wird es auf die nächst höhere Kaskade eskaliert. Hierbei heißt Eskalation „nichts anderes als nach Unterstützung fragen“ (Peters 2009).

Im Zusammenhang mit der Einbeziehung jedes Mitarbeiters ist es wichtig für den Erfolg des Shopfloor Managements, dass Mitarbeiter ihre Vorschläge einbringen können (Suzaki 1994). Shopfloor Management zielt hierbei auf eine Vielzahl an inkrementellen Verbesserungen durch die Mitarbeiter ab (Suzaki 1994). Über die Anzahl der **Vorschläge** lässt sich zwar nicht auf die Qualität der Vorschläge schließen, jedoch zeugt eine hohe Anzahl an Vorschlägen von der Kreativität eines Unternehmens und wirkt sich auf die QKLSA-Zieldimensionen aus (Suzaki 1994).

Im Bereich der **Ressourcensteuerung** steht die kurzfristige, operative Feinplanung im Vordergrund mit dem Ziel, Mitarbeiter auf Produktionsmittel zu verteilen, um den Kapazitätsbedarf zu decken (Peters 2009). Hierfür sollte eine Verlagerung von ungeplanten Tätigkeiten zu geplanten Tätigkeiten erfolgen, sodass mehr agiert und weniger auf Abweichungen reagiert wird (Peters 2009).

Der **Austausch von Wissen** ermöglicht es, die problemlösenden Fähigkeiten der Mitarbeiter zu erweitern. Statt lokal zu optimieren, gilt es Verbesserungen ins Gesamtunternehmen zu tragen (Suzaki 1994). Zudem kann das Publizieren von Problemen und den angewandten Lösungen die Mitarbeiter motivieren, ebenfalls über mögliche Verbesserungen nachzudenken, sodass der kontinuierliche Verbesserungsprozess verstärkt wird (Suzaki 1994).

Im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts lag der Schwerpunkt auf den Modulen Kennzahlen und Maßnahmen.

### 3.1.2 Vorgehensweise im Arbeitspaket

Im Arbeitspaket wird je ein Framework zur Bewertung des Einsatzes des Shopfloor Managements und der vorbereitenden Prozesse entwickelt. Beide Frameworks sollen es Unternehmen ermöglichen, ein Assessment des eigenen Shopfloor Managements durchzuführen. Im Abgleich mit den

Ergebnissen der Erhebung aus dieser Studie ist ein Benchmark mit anderen Unternehmen möglich. Die Erhebung und Auswertung der Daten erfolgt in drei Schritten.

Im **ersten Schritt** wurden einstündige, semi-strukturierte Experteninterviews mit einem Shopfloor-Experten aus den teilnehmenden Unternehmen geführt. Basierend auf den Ergebnissen der Experteninterviews wurden im **zweiten und dritten Schritt** der aktuelle Umsetzungsstand des Shopfloor Managements sowie der hierfür benötigten vorbereitenden Prozesse untersucht. Hieraus resultiert der Ist-Stand. Aufbauend auf den Ergebnissen wurde eine mögliche Weiterentwicklung der Nutzung des Shopfloor Managements im Rahmen eines Expertenworkshops erarbeitet und bewertet. Für diese Weiterentwicklung konnten konkrete Handlungsempfehlungen in Form von Gestaltungsprinzipien für ein digitales Shopfloor Management und Grundprinzipien für die Nutzung abgeleitet werden. Vor der detaillierten Entwicklung der verwendeten Frameworks, wird zunächst der Betrachtungsrahmen eingegrenzt. Es werden möglichst unterschiedliche Anwendungsfälle des Shopfloor Managements betrachtet, um generalisierbare Aussagen treffen zu können. Dies wird durch die Auswahl produzierender Unternehmen unterschiedlicher Branchen und Größen sichergestellt. Zudem liegt die Einführung des Shopfloor Managements in den beteiligten Unternehmen unterschiedlich lange zurück. In diesem Arbeitspaket wurden schwerpunktmäßig die Module Kennzahlen sowie Maßnahmen und Problemlösung untersucht.

Die Erhebung des Ist-Standes des **Shopfloor Managements** erfolgte mittels Experteninterviews. Der Leitfaden der Interviews beinhaltet größtenteils Fragen zur Umsetzung des Shopfloor Managements in den sechs Bereichen, bspw. „Für welche Aufgaben setzen Sie Shopfloor Management ein?“, zu aktuellen Entwicklungsfeldern, bspw. „Wo sehen Sie noch Verbesserungspotenziale am aktuellen Shopfloor Management? sowie Fragen zu einer möglichen Digitalisierung des Shopfloor Managements, bspw: „Wurden bereits Elemente des Shopfloor Managements digitalisiert?“. Die Interviews wurden mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (Mayring 1983) ausgewertet. Dafür wurden die Interviews zunächst mit Hilfe einer QDA (Qualitative Data Analysis)-Software transkribiert. Die entstandenen Texte wurden anschließend mittels QDA kodiert. Bei der Kodierung wurden die Aussagen der Experten verschiedenen Kategorien zugeordnet, die aus dem Interviewleitfaden folgten. Des Weiteren wurden die Kategorien im Laufe des iterativen Kodierungsprozesses durch induktive Kategorien ergänzt. Die Aussagen der Experten wurden den sechs Bereichen des Shopfloor Managements zugeordnet und inhaltlich in Kategorien gruppiert, sodass im nächsten Schritt die Aussagen ausgewertet und in einem Framework zum aktuellen Stand des Einsatzes des Shopfloor Managements eingeordnet werden konnten.

Bei der Identifikation des **aktuellen Stands der vorbereitenden Prozesse** wurde analog vorgegangen. Basierend auf den Interviews wurden Prozessbeschreibungen extrahiert und in einem Framework zur Bewertung der vorbereitenden Prozesse eingeordnet. Die Ausgestaltung der vorbereitenden Prozesse ist unternehmensspezifisch. Ausgestaltungen, die typischerweise gemeinsam auftreten, wurden in **Phänotypen** zusammengefasst. Diese Phänotypen beschreiben für jeden Bereich des Shopfloor Managements drei häufige Kombinationen der vorbereitenden Prozesse. Diese lassen sich auf einer zeitlichen Achse einordnen und stellen somit Entwicklungspfade dar. Die Phänotypen ermöglichen es weiteren Unternehmen sich hinsichtlich ihrer Echtzeitentscheidungsfähigkeit der vorbereitenden Prozesse einzuordnen.

Zieldimensionen des Frameworks sind die Echtzeitentscheidungsfähigkeit, die sich aus den Aktivitäten des Shopfloor Managements ergibt, und der Industrie 4.0-Reifegrad. Eine gute Echtzeitentscheidungsfähigkeit führt zu kurzen Latenzzeiten bei der Problemlösung. Die Informationsverfügbarkeit (auf Anfrage, periodisch oder ereignisbasiert) allein reicht hierfür jedoch nicht aus. Die Entwicklung des Industrie 4.0-Reifegrads adressiert vor allem den Informationsgehalt und die

Autonomie des Shopfloor Managements. Ein wachsender Industrie 4.0-Reifegrad ermöglicht es, Probleme zu antizipieren, bevor sie auftreten oder sogar autonom Gegenmaßnahmen einzuleiten. Dabei ist nicht in jedem Einsatzfeld und bei jedem Unternehmen ein maximal ausgeprägter Industrie 4.0-Reifegrad und Echtzeitentscheidungsfähigkeit optimal (Schuh et al. 2017). Die Umsetzung des Shopfloor Managements ist nicht einheitlich und somit nicht direkt vergleichbar, daher müssen die tatsächlich gelebten Vorgänge des Shopfloor Managements vor Ihrer Einordnung in ein Framework auf einzelne, abgeschlossene Teilfunktionen heruntergebrochen werden. Für diesen Zweck der abgeschlossenen Funktionsbeschreibung werden in dieser Studie User Stories verwendet. Allgemein beschreiben User Stories Anforderungen aus Sicht des Benutzers in einem Satz. User Stories sind immer nach dem gleichen Muster aus drei Bestandteilen aufgebaut: der Benutzerrolle, dem Ziel und dem Grund.

		Auf Anfrage		Periodisch		In Echtzeit	
		Analog	Digital	Analog	Digital	Analog	Digital
Nutzung	Sichtbarkeit						
	Transparenz						
	Prognose						
	Autonomie						

Abbildung 7: Framework zum Einsatz des Shopfloormanagements

Für die Einordnung der User Stories nach ihrem Industrie 4.0-Reifegrad wird der Industrie 4.0-Maturity Index der Acatech-Studie (Schuh et al. 2017) herangezogen. In der vorliegenden Studie werden die Stufen Sichtbarkeit, Transparenz, Prognose und Autonomie des Industrie 4.0-Maturity Index genutzt (siehe Abbildung 7). **Diese Stufen werden folgendermaßen definiert:**

- **Sichtbarkeit:** Die Daten sind erfasst und aufbereitet und können eingesehen werden. Die Frage „Was passiert?“ kann beantwortet werden.
- **Transparenz:** Die Daten sind zusätzlich mit Ursachen/ Gründen verknüpft. Die Frage „Warum passiert es?“ kann beantwortet werden.
- **Prognose:** Trends und zukünftige Ereignisse werden vorhergesagt. Die Frage „Was wird passieren?“ kann beantwortet werden.
- **Autonomie:** Das System leitet aus den Prognosen Handlungsempfehlungen ab und setzt diese selbständig um.



Abbildung 8: Industrie 4.0-Reifegrad (in Anlehnung an Schuh et al. 2017)

Das Framework deckt als zweite Dimension die Echtzeitentscheidungsfähigkeit des Shopfloor Managements ab. Die DIN 44300 (abgelöst durch die ISO/IEC 2382) definiert den Begriff Echtzeit wie folgt: „Unter Echtzeit versteht man den Betrieb eines Rechensystems, bei dem Programme zur Verarbeitung anfallender Daten ständig betriebsbereit sind, derart, dass die Verarbeitungsergebnisse innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne verfügbar sind. Die Daten können je nach Anwendungsfall nach einer zeitlich zufälligen Verteilung oder zu vorherbestimmten Zeitpunkten anfallen.“ (Deutsches Institut für Normung, zit. nach Scholz 2005) Das bedeutet, dass ein Echtzeit-System rechtzeitig und ohne Ausnahme seine Aufgaben erledigen muss, wobei „rechtzeitig“ nicht exakt definiert wird, sondern sich an den Echtzeit-Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalls ausrichtet (Scholz 2005). Die vorliegende Studie nutzt den Begriff der Echtzeit für die Prozesse, die nahezu simultan mit der Realität ablaufen. Die hier verwendeten Stufen der Echtzeitentscheidungsfähigkeit lehnen sich an die Klassifizierung des Berichtswesens von Business Intelligence Systemen an (Gluchowski et al. 2008, Kemper et al. 2010) und werden wie folgt untergliedert:

- **Auf Anfrage:** Die Informationen werden bei einer Anfrage eines Nutzers an einen Menschen oder an ein System generiert und werden dem Nutzer anschließend bereitgestellt.
- **Periodisch:** Die Informationen werden in regelmäßigen Zeitintervallen generiert oder dem Nutzer bereitgestellt.
- **Ereignisgesteuert:** Die Informationen werden unmittelbar nach dem Eintritt eines Ereignisses dem Nutzer bereitgestellt.

Im Zusammenhang mit Shopfloor Management finden sich sowohl analoge, manuelle Prozesse, als auch bereits digitalisierte Prozesse. Das Framework unterscheidet daher in jeder Stufen der Echtzeitentscheidungsfähigkeit jeweils in **analoge** und **digitale** Prozesse. Auch auf der Stufe „Ereignisgesteuert“ gibt es somit sowohl digitale Vorgänge als auch analoge Vorgänge. Ein analoger Vorgang wäre: „Sobald ein Fehler auftritt, benachrichtigt der Mitarbeiter an der Maschine per Telefon seinen Schichtführer“. Die Latenzzeit eines ereignisgesteuerten analogen Vorgangs

wird maßgeblich von der Disziplin der Nutzer beeinflusst, ein digitaler Vorgang stellt sicher, dass die Informationen innerhalb der systemisch bedingten Latenzzeiten ausgeführt wird.

Die vorbereitenden Prozesse des Shopfloor Managements sind notwendige Grundlage, aber nicht an sich wertschöpfend. Das Ziel sollte es daher sein, diese Prozesse weitestgehend zu eliminieren. Zu einem gewissen Grad trägt die Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung der Kennzahlen dazu bei, dass die Nutzer sich mit den Inhalten auseinandersetzen. Nur in diesem Rahmen sind manuelle Prozesse sinnvoll. Nur wenn die vorbereitenden Prozesse ausreichend aktuelle Daten bereitstellen, kann auch in der Nutzung eine hohe Echtzeitentscheidungsfähigkeit erreicht werden. Die vorbereitenden Prozesse können in einer Matrix den Teilprozessen Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung zugeordnet und nach ihrer Echtzeitentscheidungsfähigkeit eingeordnet werden. Das Framework ist in Abbildung 9 dargestellt.

		Auf Anfrage			Periodisch			In Echtzeit		
		Analog	Digital	Auto-matisiert	Analog	Digital	Auto-matisiert	Analog	Digital	Auto-matisiert
Unterstützende Prozesse	Erfassung									
	Aufbereitung									
	Visualisierung									

Abbildung 9: Framework der unterstützenden Prozesse

Die Einordnung ergibt sich folgendermaßen:

- **Erfassung:** Daten werden erhoben, bspw. durch ein BDE-System oder manuell.
- **Aufbereitung:** Daten werden aufbereitet, d.h. Datenimporte, Datenaggregationen, Berechnungen, Konsolidierungen von Daten etc. werden durchgeführt, sodass Informationen extrahiert werden.
- **Visualisierung:** Daten werden in Form von Grafiken, Tabellen, Signalen etc. visualisiert, und sind für den Nutzer einsehbar. Die Stufen der Echtzeitentscheidungsfähigkeit werden für die vorbereitenden Prozesse äquivalent zu den Stufen der Echtzeitfähigkeit für die Nutzung klassifiziert.
- **Auf Anfrage:** Die Prozesse zur Erfassung, Aufbereitung oder Visualisierung werden nur auf Anfrage eines Mitarbeiters oder Vorgesetzten ausgeführt.
- **Periodisch:** Die Prozesse zur Erfassung, Aufbereitung oder Visualisierung werden in regelmäßigen Zeitintervallen ausgeführt.
- **Ereignisgesteuert:** Die Prozesse zur Erfassung, Aufbereitung oder Visualisierung werden durch den Eintritt eines bestimmten, definierten Ereignisses ausgelöst. Zudem wird die Einordnung der vorbereitenden Prozesse zusätzlich nach den Kategorien analog, digital und automatisiert vorgenommen.
- **„Analog“** trifft zu, wenn die Daten vom Menschen analog erfasst, aufbereitet oder visualisiert werden, beispielsweise auf Papier oder in einem Gespräch.

- **„Digital“** beschreibt die Daten, die durch den Menschen digital erfasst, aufbereitet oder visualisiert werden. Dies findet in einer digitalen Lösung statt (bspw. in MS Excel).
- **„Automatisiert“** beschreibt die Daten, die ohne Einwirkung des Menschen automatisiert vom System erfasst, aufbereitet oder visualisiert werden und gleichzeitig von mehreren Nutzern eingesehen werden können.

Die Handlungsempfehlungen zielen auf die Weiterentwicklung des Shopfloor Managements ausgehend vom Status Quo ab. Folglich steht die Erreichung des nächsthöheren Reifegrades im Vordergrund. Um die Weiterentwicklung zu beschreiben, werden ebenfalls User Stories entwickelt, die im Rahmen eines Expertenworkshops nach ihrer Relevanz bewertet wurden. Um Echtzeitentscheidungsfähigkeit zu ermöglichen oder eine Steigerung des Industrie 4.0-Reifegrads zu erreichen, müssen Daten nicht nur mit ausreichender Aktualität vorliegen, sondern auch technische, organisatorische und mitarbeiterbezogene Anforderungen für die Nutzung eines digitalen Shopfloor Management Systems erfüllt werden. Diese Anforderungen sowie die Gestaltungsprinzipien für das digitale Shopfloor Management ergeben sich aus den Aussagen der Experteninterviews.

### 3.1.3 Aktueller Stand des Shopfloormanagements

**Kennzahlen** stellen einen zentralen Bereich des Shopfloor Managements dar (Peters 2009; Suzaki 1994). Die Ist-Analyse der Nutzung des Shopfloor Managements bestätigt dies, da in jedem der untersuchten Unternehmen mit Kennzahlen gearbeitet wird. Die befragten Unternehmen besprechen die Kennzahlen in den verschiedenen Meetings, wobei die Kennzahlen entlang der Hierarchieebenen konsolidiert werden, um jeweils nur die benötigten Informationen zu vermitteln. Kennzahlen werden von den Mitarbeitern, Teamleitern oder Abteilungsleitern auch genutzt, um sich unabhängig von den Meetings über den aktuellen Stand der Produktion zu informieren. In beiden Fällen wird das Ziel verfolgt, Abweichungen zu erkennen, um ggf. Maßnahmen abzuleiten.

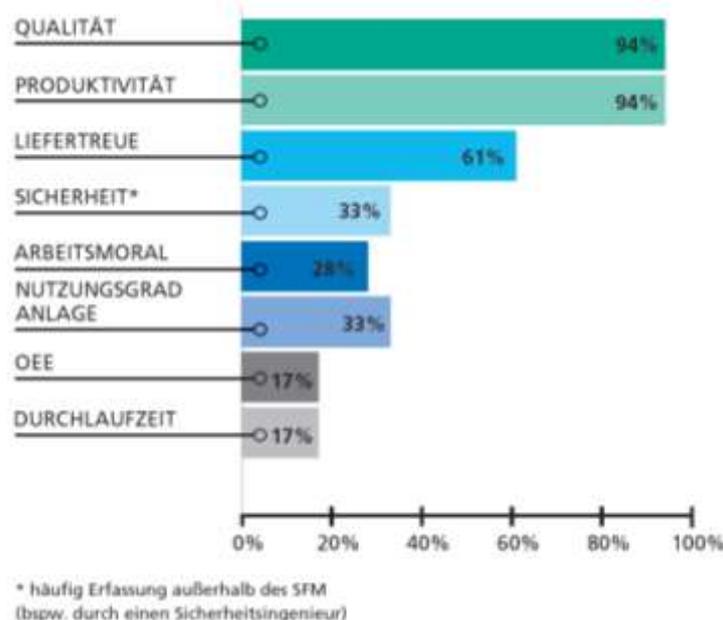


Abbildung 10: Im Rahmen des SFM betrachtete Kennzahlen in den Unternehmen

Laut Suzaki (1994) sollten Kennzahlen in die Rubriken Qualität, Kosten, Liefertreue, Sicherheit und Arbeitsmoral unterteilt (QKLSA-Dimensionen) für das Shopfloor Management verwendet

werden. In der Expertenbefragung wurde jedoch festgestellt, dass **Kosten** expliziter Art in den Unternehmen im Rahmen des Shopfloor Managements kaum betrachtet werden. Die drei Dimensionen **Qualität, Produktivität und Liefertreue können als häufigste Dimensionen** identifiziert werden (siehe Abbildung 10). Die Kennzahlenbereiche Qualität und Produktivität werden beispielsweise in 94% der Unternehmen im Rahmen des Shopfloor Managements betrachtet. Eine positive Fehlerkultur zählt zu den Grundelementen des Führungsverständnisses des Shopfloor Managements. Im Bereich der Kennzahlen ist dies von besonders hoher Bedeutung. Haben Mitarbeiter Bedenken die wahre Leistungsfähigkeit der Anlage zu zeigen, besteht ein Anreiz Zahlen selektiv oder unregelmäßig zu pflegen.

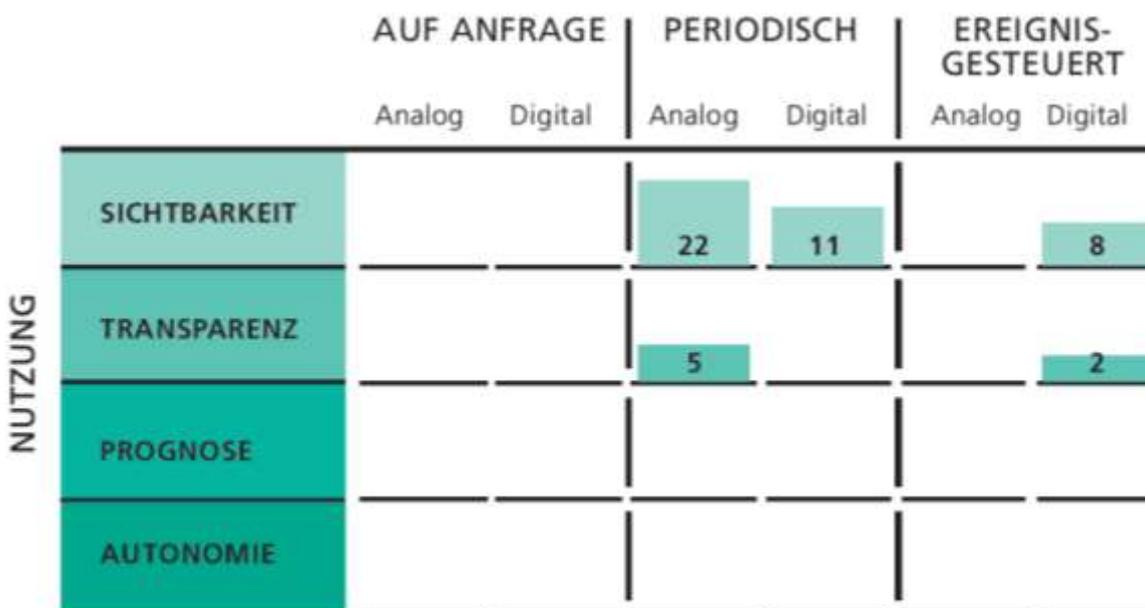


Abbildung 11: Matrix der Nutzung für den Bereich der Kennzahlen

Der aktuelle Stand im Bereich der Kennzahlen wird durch Abbildung 11 zusammengefasst. Im Folgenden wird der Ist-Stand vorgestellt.

### Sichtbarkeit x periodisch

Mit Abstand am häufigsten ist die periodische Nutzung der Kennzahlen. Auf der Industrie 4.0-Stufe Sichtbarkeit steht nur das Erkennen von Abweichungen im Vordergrund. Dies kann, z. B. im Rahmen von Meetings entlang der Hierarchiepyramide erfolgen. Dabei fällt auf, dass auf der untersten Hierarchiestufe noch keine digitale Darstellung erfolgt. Diese beginnt erst ab der mittleren Hierarchiestufe. Eine typische User Story der untersten Hierarchieebene lautet: Der Vorgesetzte (Teamleiter/Meister/Schichtführer) bespricht **täglich** mit seinen Mitarbeitern **die Kennzahlen** am Shopfloor-Board, um Abweichungen zum Soll festzustellen. Auf der **mittleren und oberen Hierarchieebene** werden die Kennzahlen identisch genutzt. Im Unterschied zur unmittelbaren Shopfloorebene bespricht auf dieser Ebene der Abteilungsleiter, Produktionsleiter oder Fertigungsleiter die Kennzahlen mit den Teamleitern, Meistern oder Schichtführern. Eine selten beobachtete Abwandlung an dieser Stelle liegt vor, wenn Produktionsmitarbeiter ebenfalls noch auf dieser Hierarchieebene teilnehmen. Wird die Sichtbarkeit bei der periodischen Betrachtung digital unterstützt, lautet eine exemplarische User Story wie folgt: Der Abteilungsleiter bespricht **täglich**

oder wöchentlich mit den Teamleitern/Meistern/Schichtführern **die Kennzahlen** an einem Bildschirm direkt im Ursprungssystem oder aufbereitet als PowerPoint-Präsentation, um Abweichungen zum Soll zu erkennen. Bei beiden User Stories vergleichen die Meeting-Teilnehmer die auf dem Shopfloor Board oder den digitalen Systemen visualisierten Kennzahlen mit den Zielwerten, die sich im Idealfall aus Hoshin Kanri, der Zielentfaltung entlang der Hierarchiepyramide, ergeben haben. Neben den regelmäßigen Besprechungen nutzen die Mitarbeiter, Teamleiter oder Abteilungsleiter die Kennzahlen am Shopfloor-Board, um selbständig Abweichungen festzustellen. Dies unterstützt die Einbeziehung jedes Einzelnen - jeder Einzelne kann und soll zu einer Erfüllung der Soll-Kennzahlen beitragen. Exemplarische User Stories lauten: Der Mitarbeiter, Teamleiter oder Abteilungsleiter sieht **wöchentlich** am Shopfloor-Board die **Stückzahlen, Störungen und MDE-Daten**, um Abweichungen zum Soll festzustellen (analog). Der Abteilungsleiter sieht **täglich** in einem IT-System die **Stückzahlen**, um Abweichungen zum Soll festzustellen (digital). Der Mitarbeiter, Teamleiter oder Abteilungsleiter sieht **täglich** im System die **gesamten Kennzahlen (QKLSA)**, um Abweichungen zum Soll festzustellen (digital).

### **Sichtbarkeit x ereignisgesteuert**

Die Nutzung von Kennzahlen in Echtzeit (digital) und auf dem Reifegrad Sichtbarkeit findet unabhängig von den Meetings statt. Hier kann daher von visuellem Management gesprochen werden. Diese Gruppe macht etwas mehr als 15% der Nennungen aus. Einige User Stories beschäftigen sich mit dem Fall, dass direkt an der Anlage über einen Bildschirm Informationen angezeigt werden. Die User Stories lauten: Der Mitarbeiter, Teamleiter oder Abteilungsleiter sieht **unmittelbar** am Bildschirm an der Anlage die **Ist- Stückzahl und die Soll-Stückzahl**, um Abweichungen festzustellen. Der Mitarbeiter, Teamleiter oder Abteilungsleiter sieht **permanent** an einem Bildschirm den **Anlagen-Status** und ggf. MDE-Daten für die Anlagen, um ggf. Maßnahmen zur Störungsbehebung einzuleiten. Der Mitarbeiter, Teamleiter oder Abteilungsleiter sieht **ständig** die **Live-OEE** direkt am Bildschirm an der Anlage, um Abweichungen festzustellen. Eine weitere Nutzung bezieht sich auf die Informationen in einem übergeordneten IT-System, bspw. einem MES-System: Der Abteilungsleiter sieht **permanent** im System den **Anlagen-Status, MDE-Daten und Stückzahlen**, um ggf. Maßnahmen zur Störungsbehebung einzuleiten. Die aufgeführten Anwendungsfälle dienen der Überwachung und Steuerung der Produktion zwischen den Meetings. Diese Anwendungsfälle sind prädestiniert für eine autonome Regelung, die zwischen den Regelmeetings auftretenden Abweichungen unmittelbar entgegenwirkt. In der derzeitigen Nutzung sorgen sie für die Aufdeckung von Abweichungen, sodass die Meister/Linienführer adhoc die Produktion steuern können.

### **Transparenz x periodisch**

Wenn zusätzlich zu den Ist-Kennzahlen auch Ursachen betrachtet werden, kann der Reifegrad auf Transparenz gesteigert werden. Dies erfolgt allerdings erst in seltenen Fällen. Die User Story für die untere Hierarchieebene lautet folgendermaßen: Der Vorgesetzte bespricht **täglich** mit seinen Mitarbeitern die **aufgetretenen Störungen und Störungsgründe** am Shopfloor- Board, um Maßnahmen abzuleiten. Auf der mittleren Hierarchieebene stehen die Gründe für den Kennzahlenwert bzw. -verlauf im Vordergrund. Der Vorgesetzte (Abteilungsleiter) bespricht **täglich** mit den Teamleitern/Meistern/Schichtführern bzw. Schnittstellen die **Kennzahlen mit Gründen für den Kennzahlenverlauf** am Shopfloor- Board, um Maßnahmen abzuleiten. Eine weitere Nutzung der Kennzahlen außerhalb der Kaskade lautet: Der Vorgesetzte (Abteilungsleiter) bespricht **wöchentlich** mit der Arbeitsvorbereitung die Kennzahlen und deren **Abweichungen mit Fokus auf die Ursachen**, um die Umsetzung der Ziele nachzuverfolgen. Werden Abweichungen nicht nur

erkannt, sondern findet eine Diskussion der Abweichungsgründe mit den Mitarbeitern vor Ort statt, entspricht dies den Prinzipien der Führung vor Ort und der Einbeziehung jedes Einzelnen.

### **Transparenz x ereignisgesteuert**

Die ereignisgesteuerte Nutzung von Kennzahlen (digital) auf dem Reifegrad Transparenz findet ebenfalls unabhängig von den Meetings statt. Entweder wird eine Anzeige mit den Störungsgründen permanent aktualisiert oder der Verantwortliche wird beim Auftreten einer Störung benachrichtigt: Der Abteilungsleiter sieht **permanent** in einem IT-System den **Status einer Anlage und den Störungsgrund**, um ggf. Maßnahmen zur Störungsbehebung einzuleiten. Der Teamleiter **erhält unmittelbar** eine Nachricht über eine **Störung an einer Anlage und den Störungsgrund**, um Maßnahmen zur Störungsbehebung einzuleiten. Diese Informationen verringern die Latenzzeit zur Fehlerabstellung erheblich, da der Schritt der Fehlersuche entfällt. Dies erfordert allerdings eine eindeutige Zuordnung der Fehlergründe zu Störungen und ist daher nur sehr selten umgesetzt. Damit diese Echtzeitinformationen tatsächlich sofort genutzt werden können, sind **entsprechende organisatorische Prozesse erforderlich**. Die Nutzer, die benachrichtigt werden, sollten die Entscheidungsbefugnis besitzen entsprechende Maßnahmen zu ergreifen. Ist dies nicht der Fall geht der zeitliche Vorteil von Echtzeitinformationen verloren. Gelänge eine automatische Ableitung von Handlungsempfehlungen könnte, der Reifegrad weiter gesteigert werden.

### **Aktuelle Entwicklung**

Viele Befragte unternehmen derzeit Anstrengungen, um den Anteil der in Echtzeit verfügbaren Kennzahlen zu erhöhen. Eine weitere geplante Weiterentwicklung ist die Nutzung von zusätzlichen angehängten Informationen zu den Abweichungen in Form von Fotos oder Zeichnungen. Diese Entwicklung würde zwar weder die Echtzeitentscheidungsfähigkeit noch den Industrie 4.0-Reifegrade steigern, dennoch würden die Informationen das Erkennen von Abweichungen und im nächsten Schritt Ableiten von Maßnahmen erleichtern.

Der **Bereich Maßnahmen und Problemlösung** des Shopfloor Managements dient der Reaktion auf Abweichungen. Hierfür werden bei den meisten Unternehmen Maßnahmen mit einem Zieltermin und einer verantwortlichen Person in einer Maßnahmenliste gepflegt. Die Maßnahmen werden täglich besprochen, um eine Umsetzung sicherzustellen. Wenn ein Problem nicht über eine Maßnahme abstellbar ist, wird häufig ein strukturierter Problemlösungsprozess angestoßen, beispielsweise in Form eines A3-Problemlöseblatts. Sollte das Problem auf der jeweiligen Hierarchieebene nicht lösbar sein, wird es an die nächst höhere Ebene eskaliert.

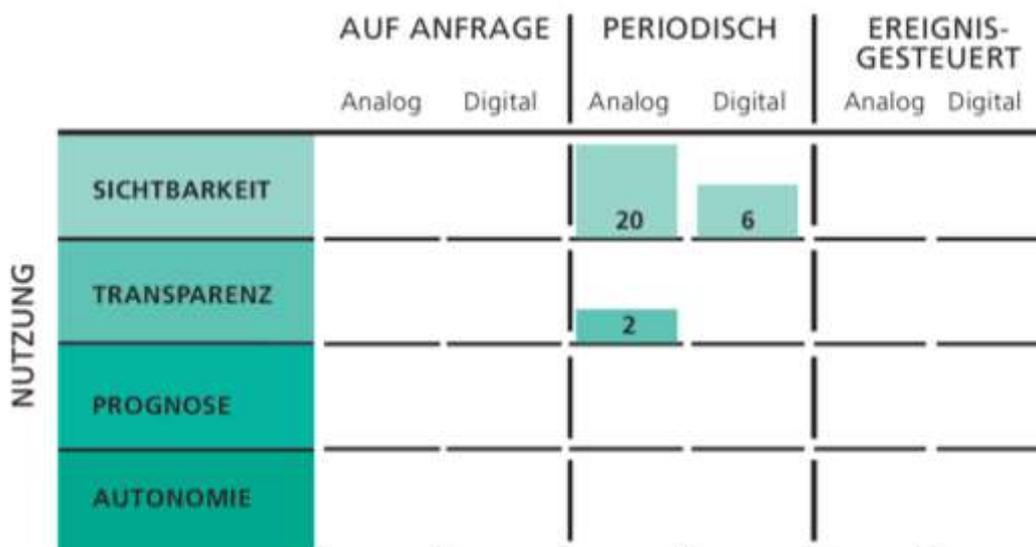


Abbildung 12: Matrix der Nutzung für den Bereich Maßnahmen & Problemlösung

In der Praxis ist es noch weit verbreitet, dass Maßnahmen nicht zentral gepflegt, sondern nur von dem jeweils Verantwortlichen aufgeschrieben werden. In diesem Fall ist kein zentraler Überblick über die aktuell offenen Maßnahmen möglich. Die Maßnahmenverfolgung hängt an der Disziplin der Einzelnen. In einzelnen Unternehmen werden die Maßnahmen bereits digital erfasst. Eine vollständige Transparenz oder gar eine Prognose über die Auswirkungen einer Maßnahme besteht jedoch nicht. Im Folgenden wird der Ist-Stand anhand von User Stories geordnet nach den Framework-Feldern herausgearbeitet (siehe Abbildung 12).

### Sichtbarkeit x periodisch

Am häufigsten verbreitet ist die periodische Aufnahme und Durchsprache der Maßnahmen. Die Nutzung der Maßnahmen und Problemlösungsaktivitäten unterscheidet sich auf den Hierarchieebenen nur durch das Zeitintervall. Die Maßnahmen werden anhand von Listen am analogen Shopfloor Board oder anhand digitaler Maßnahmenlisten durchgesprochen. Im Fokus steht der aktuelle Umsetzungsstand der Maßnahme. Ist das Problem nicht auf der Hierarchieebene lösbar, wird die Maßnahme eskaliert. Die entsprechenden User Stories für die unteren Hierarchieebenen lauten: Der Vorgesetzte (Teamleiter/Meister/Schichtführer) bespricht **täglich** mit seinen Mitarbeitern den **aktuellen Stand der Maßnahmen** und der Problemlösungen anhand von Listen am Shopfloor- Board, um die Umsetzung nachzuverfolgen und ggf. das Problem zu eskalieren. (analog) Der Vorgesetzte (Abteilungsleiter/Produktionsleiter/Fertigungsleiter) bespricht **wöchentlich** mit den Teamleitern/ Meistern/Schichtführern und den Schnittstellen den **aktuellen Stand der Maßnahmen** in der Maßnahmenliste in MS Excel, um die Umsetzung der Maßnahmen nachzuverfolgen und ggf. das Problem zu eskalieren. (digital) Auf der mittleren Hierarchieebene ist der Vorgesetzte der Abteilungsleiter, Produktionsleiter oder Fertigungsleiter, und für die oberste Hierarchieebene wird der Vorgesetzte durch den Bereichsleiter oder Geschäftsführer verkörpert. Auf dieser Ebene werden häufig OneNote-Dokumente an Stelle von MS Excel-Listen genutzt, wodurch ein zusätzlicher Aufwand zum Übertragen der Daten entsteht. Der Bereich Maßnahmen und Problemlösung findet weitestgehend analog statt, obwohl im Bereich Task Management eine Vielzahl an Cloud-Lösungen teils auch kostenfrei zur Verfügung steht (O’Loughlin 2018). Die analoge Maßnahmenutzung verhindert den Reifegrad Echtzeit und führt zu Problemen bei der Eskalation von Maßnahmen an höhere Hierarchiestufen. Maßnahmen werden auch außerhalb der periodischen Meetings genutzt. Dies ist bei besonders kritischen Maßnahmen wichtig oder wenn

der der Mitarbeiter am Meeting, in dem die Maßnahme besprochen wurde, nicht teilnehmen konnte. Die Verantwortlichen sehen im System/in einer digitalen Liste den aktuellen Stand der Maßnahmen, um die Umsetzung nachzuverfolgen. (digital) Eine weitere Nutzung ergibt sich, wenn die auf der unteren Hierarchieebene eskalierten Probleme besprochen werden. Die User Story für die mittlere Hierarchieebene lautet: Der Vorgesetzte (Fertigungsleiter/Abteilungsleiter/Produktionsleiter) bespricht **täglich** mit den Teamleitern/Meistern/ Schichtführern **Probleme, die auf unteren Ebenen nicht gelöst werden konnten**, um eine Problemlösung zu finden. (analog) Auf der obersten Hierarchieebene ändert sich der Vorgesetzte zum Werksleiter, der sich mit den Fertigungsleitern, Abteilungsleitern oder Produktionsleitern bespricht. **Die Nutzung der digitalen Maßnahmenlisten hat den Vorteil, dass Maßnahmen nicht nur am analogen Shopfloor Board, sondern ortsunabhängig eingesehen werden können.** Aufgrund der vielfältigen Medienbrüche entlang der Hierarchieebene (Papier, MS Excel, MS OneNote) ist kein führendes System zur Verwaltung von Maßnahmen vorhanden. Es kann nicht sichergestellt werden, dass Maßnahmen nicht schon bereits existieren und eine Nachverfolgbarkeit über Hierarchiestufen hinweg ist schwierig. Im Sinne der Einbeziehung jedes Einzelnen ist die Eskalation der Maßnahmen problematisch, da aktuell für den Mitarbeiter der unteren Ebene keine Möglichkeit besteht einzusehen, ob sein Problem bearbeitet wird. Die Digitalisierung der Maßnahmen findet derzeit in dokumentenbasierten Systemen wie MS Excel statt. Dies verhindert die parallele Arbeit an den Maßnahmen. Die Nutzung eines cloud-basierten Systems würde eine Zusammenarbeit in Echtzeit ermöglichen. Dies ist jedoch noch nicht in den befragten Unternehmen verbreitet. Durch Schnittstellen zwischen dem Maßnahmensystem und den Systemen der MES-Ebene ließe sich überprüfen, ob Abweichungen Maßnahmen zugeordnet werden. Eine vollständige Integration des Maßnahmen-Managements in ein Produktionssystem der MES-Ebene kann jedoch problematisch sein, da der externe Zugriff auf die Maßnahmen mit einem Zugriff auf das Produktionssystem einherginge, daher sind entsprechende Schnittstellen sinnvoller.

### **Transparenz x periodisch**

Auf dem Reifegrad Transparenz wird nicht das Ziel verfolgt die Umsetzung der Maßnahmen zu überwachen, sondern Probleme anhand von Auswertungen zu priorisieren. Ziel ist es, die dahinterliegenden Ursachen der Probleme durch geeignete Maßnahmen zu beseitigen. Die Auswertung zeigt, dass dies noch selten erfolgt und ausschließlich analog stattfindet: Der Vorgesetzte (Abteilungsleiter/Produktionsleiter/Fertigungsleiter) bespricht **täglich** mit den Teamleitern/Meistern/ Schichtführern die **Probleme und ihre Ursachen**, um die Problemlösung zu priorisieren. Der Abteilungsleiter bespricht **wöchentlich** mit den Schnittstellen die **Ursachen der wichtigsten aufgetretenen Probleme** anhand von Auswertungen, um für diese priorisiert Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Die aktuelle Nutzung fördert vor allem die **Problemlösungskompetenzen**, indem die **Führungskraft in den Meetings als Coach** nicht die Lösung vorgibt, sondern diese in der Diskussion gemeinsam entwickelt wird.

### **Aktuelle Entwicklung**

Die **Digitalisierung des Eskalationsprozesses** von Maßnahmen wurde von vielen Befragten als Schmerzpunkt des Status Quo identifiziert. Folgerichtig ist eine Digitalisierung dieses Prozesses bei den befragten Unternehmen derzeit in Planung. Zukünftig sollen die Probleme, die eskaliert wurden, dem jeweiligen Vorgesetzten am digitalen Shopfloor Board angezeigt werden. Dies würde dazu führen, dass solche Probleme unmittelbar, ereignisbasiert, an die entsprechende Hierarchieebene übergeben werden könnten. Bleiben die Maßnahmen dann einsehbar, kann im

Sinne der Beteiligung jedes Einzelnen auch die Transparenz über die weitere Umsetzung der Maßnahme verbessert werden. Eine weitere genannte Verbesserung befasst sich mit dem **Versenden der aktuellen Maßnahmenliste** nach der Beendigung des Meetings. So kann erreicht werden, dass die Teilnehmer sich über umzusetzende Maßnahmen informieren können, ohne dass sie sich an das Shopfloor Board begeben müssen. Die Nutzung einer cloud-basierten Lösung würde diese Weiterentwicklung obsolet machen, da somit jede Änderung unmittelbar für jeden Betroffenen einsehbar ist.

### 3.1.4 Aktueller Stand der vorbereitenden Prozesse - Kennzahlen

Die vorbereitenden Prozesse sind der Nutzung vorgelagert und dienen der Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung von Daten. Sie werden entweder von einem Menschen oder einem System durchgeführt und sind zur Durchführung des Shopfloor Managements zwingend als Vorbereitung erforderlich. In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der vorbereitenden Prozesse in den befragten Unternehmen entlang der eingeführten Shopfloor Management Bereiche Kennzahlen, Maßnahmen und Problemlösung, Vorschlagswesen, Ressourcensteuerung und Wissensaustausch beschrieben. Der Bereich Meetings nutzt die vorbereitenden Prozesse der anderen inhaltlichen Bereiche. Daher werden die vorbereitenden Prozesse des Meetings in den anderen Bereichen behandelt. Zudem werden Phänotypen eingeführt, die sich aus der Einordnung ergeben. Die Phänotypen fassen Prozesskombinationen zusammen, die häufig gemeinsam verwendet werden und erleichtern es den Lesern der Studie sich einzuordnen. Die vorbereitenden Prozesse sind Hauptursache des Aufwands im Zusammenhang mit dem Shopfloor Management. Der Fokus sollte daher darauf liegen den Aufwand für die vorbereitenden Prozesse so gering wie möglich zu halten, ohne dabei eine Auseinandersetzung der Mitarbeiter mit den Inhalten zu verlieren.

- Die Erfassung der Kennzahlen wird häufig durch einen Mitarbeiter auf einem Formblatt realisiert (analog und periodisch)
- Viele Unternehmen nutzen zur Erfassung bereits durchgängig ein ERP- oder MDE-System (automatische Erfassung).
- Die Aufbereitung findet zum Großteil digital und periodisch durch einen Mitarbeiter statt. Hierfür wird beispielsweise MS Excel eingesetzt.
- Die Visualisierung erfolgt größtenteils analog, direkt von Hand am Shopfloor Board oder mittels aufgehängten Ausdruck.

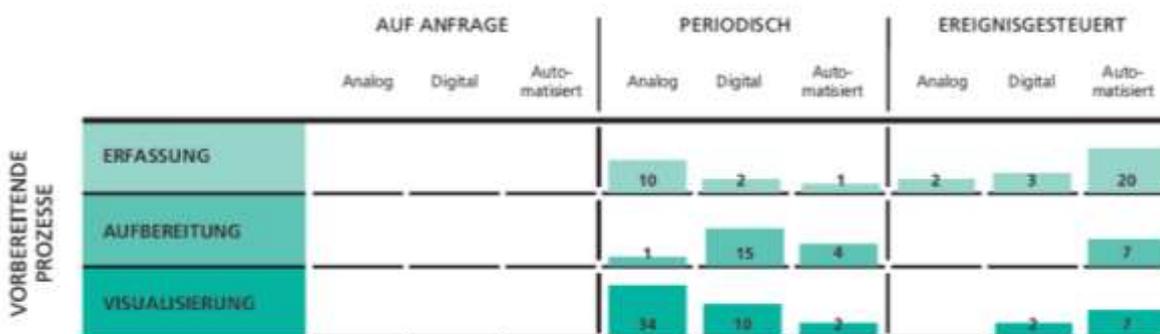


Abbildung 13: Matrix der vorbereitenden Prozesse für den Bereich Kennzahlen

Bei der **Erfassung** der Kennzahlen sind alle Entwicklungsstufen von der manuellen Aufnahme bis hin zur automatisierten, ereignisbasierten Erfassung in Echtzeit beobachtbar. Dies deutet darauf hin, dass die Unternehmen mit der analogen Erfassung starten und sobald Shopfloor Management etabliert ist, den Aufwand minimieren und auf eine automatisierte Bereitstellung der

Kennzahlen umstellen. In etwa 25% der Fälle erfolgt die Erfassung manuell und in regelmäßigen Zeitabständen (**periodisch**). Der Mitarbeiter trägt dabei die Daten entweder auf einem Formblatt (**analog**) oder direkt in eine Datenbank ein (**digital**). Ebenfalls verbreitet ist, dass in den regelmäßigen Meetings Informationen zu aufgetretenen Störungen oder Unfällen direkt am Shopfloor-Board eingetragen werden. Findet eine **regelmäßige** Erfassung bereits **automatisiert** statt, werden Daten wie die Stückzahl automatisiert von entsprechenden IT-Systemen abgegriffen. In etwa 50% der Fälle werden die Kennzahlen bereits ereignisbasiert und automatisiert erfasst. **In diesem Fall werden jedoch häufig nicht direkt Kennzahlen, sondern Störungen oder Stückzahlen aufgenommen.** Zusätzlich zur automatisierten Erfassung werden oft manuell und digital Informationen vom Mitarbeiter abgefragt, beispielsweise der Störungsgrund. Technisch gibt es verschiedene Arten wie Kennzahlen automatisiert und ereignisgesteuert erfasst werden können. Der Zustand der Maschine, die Anzahl an Gutteilen, Ausschuss oder die Taktzeiten werden über eine Maschinendatenerfassung erhoben. Fertige Aufträge werden meist über ERP-Systeme erfasst, da diese die führenden Systeme für Kundenaufträge sind.

Zur Aufbereitung der Kennzahlen wird heute meist periodisch und digital MS Excel als Tabellenkalkulationsprogramm genutzt (>50%). Der Prozess der Aufbereitung beinhaltet dabei nicht nur die reine Berechnung der Kennzahlen, sondern auch den Datenimport bzw. die Datenaggregation aus verschiedenen Systemen (z.B. ERP-System, Datenbank). Teilweise werden auch Makros für den Import genutzt. Eine **digitale** Aufbereitung spart erheblichen Aufwand, da die Daten nicht händisch von Formblättern übertragen werden müssen. Selten beobachtet man noch, dass der Teamleiter, die Daten, die er von den Mitarbeitern auf Formblättern erhält, analog konsolidiert und zu Kennzahlen verdichtet.

Bereits **automatisiert** aber nur **periodisch** findet die Aufbereitung statt, wenn das System täglich die Kennzahlen bereitstellt. Eine Intranet-Plattform, die Daten aus dem ERP-System abgreift und zu Kennzahlen aufbereitet, wird ebenfalls bereits eingesetzt. Der höchste Reifegrad, eine **automatisierte** und **ereignisgesteuerte** Verarbeitung der MDE-Daten ist bei den befragten Unternehmen in seltenen Fällen (ca. 5%) bereits etabliert. In diesem Fall ist kein manueller Aufwand für die Bereitstellung der Kennzahlen von Nöten und die Auswertungen stehen in Echtzeit zur Verfügung.

Im Bereich der **Kennzahlvisualisierung** dominieren deutlich **periodische** Lösungen. Umgesetzt wird dies meist mit Hilfe von MS Excel. Wenn die Kennzahlen periodisch und digital visualisiert werden, wird auch meist eine digitale Anzeige in den Meetings genutzt. Die Kennzahlen können zudem als PDF- oder MS Excel-Datei auf dem Laufwerk abgelegt werden, sodass dort auch unabhängig vom Meeting auf sie zugegriffen werden kann. Wenn die Kennzahlen **periodisch und analog** visualisiert werden (ca. 2/3 der Fälle), ist die Eintragung der Kennzahlen von Hand direkt vor dem Meeting üblich. Dies erlaubt durch die tägliche Eintragung das Erkennen von Trends und Abweichungen vom Sollwert. Dies ist vor allem auf der unmittelbaren Shopfloor Ebene üblich. In einigen Fällen werden die Auswertungen zu den Kennzahlen vor dem Shopfloor Meeting aus der jeweils genutzten Quelle (bspw. ERP-System, PDF-Datei, Excel-Datei oder Intranet-Plattform) ausgedruckt und am Shopfloor Board aufgehängt. Derselbe Prozess findet teilweise auch wöchentlich mit Auswertungen zu Kennzahlen, Störungen oder MDE-Daten statt. **Automatisiert und in Echtzeit** werden Kennzahlen häufig an einem Bildschirm direkt an der entsprechenden Fertigungs- oder Produktionsanlage angezeigt. Neben der individuellen Anzeige werden teils Störungen oder Kennzahlen (z.B. OEE-Bestandteile) an einem Bildschirm gesammelt für den gesamten Produktions- oder Fertigungsbereich visualisiert. Auch wenn die automatisierte Visualisierung technisch kaum aufwändiger ist als die reine Aufbereitung bietet die Lösung

über MS Excel die Flexibilität für den Anwender, die Visualisierungen eigenständig und schnell anzupassen. Lösungen aus dem Bereich der „agile BI“ haben ihre Stärke in der Darstellung von Daten aus unterschiedlichen Datenquellen (Howson et. al 2018). Es ist zu erwarten, dass diese Lösungen zukünftig auch auf dem Shopfloor an Bedeutung gewinnen werden.

### 3.1.5 Phänotypen - Kennzahlen

Je nach Ausgestaltung der vorbereitenden Prozesse im Bereich der Kennzahlen konnten bei den befragten Unternehmen drei Phänotypen unterschieden werden.

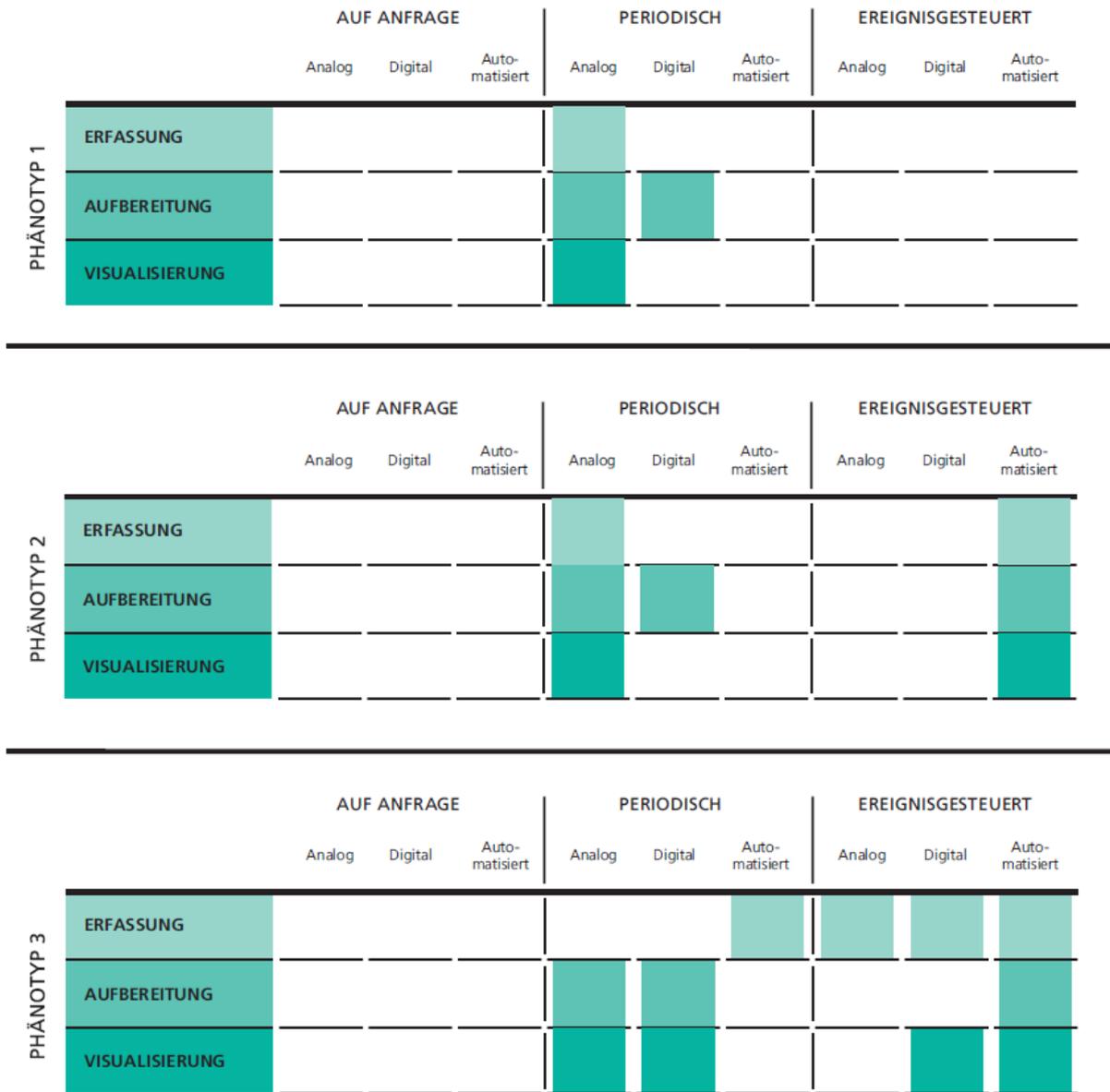


Abbildung 14: Phänotypen der vorbereitenden Prozesse für den Bereich Kennzahlen

Von den untersuchten Unternehmen lassen sich jeweils vier Unternehmen den Phänotypen 1 und 2 zuordnen, acht Unternehmen lassen sich dem Phänotyp 3 zuordnen und für zwei Unternehmen war aufgrund von zu wenigen Informationen bezüglich der vorbereitenden Prozesse keine eindeutige Zuordnung möglich.

Der **Phänotyp 1** beschreibt die unterste Stufe der Echtzeitentscheidungsfähigkeit. Die Daten werden periodisch analog erfasst und visualisiert. Die Aufbereitung erfolgt ebenfalls periodisch (analog oder digital). Der Vorteil des Phänotyps 1 ist, dass die Mitarbeiter bzw. Teamleiter sich mit den Kennzahlen stark identifizieren, da sie diese selbst erfasst oder aufbereitet haben. Sie verstehen, wie sich die Kennzahlen ergeben und zweifeln weniger die Richtigkeit der Kennzahlen an. Der Phänotyp 1 hat jedoch den Nachteil, dass ein hoher zeitlicher Aufwand mit der Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung verbunden ist. Zudem können die Daten in der Erfassung fehlerbehaftet sein, wenn Mitarbeiter bezüglich der Datenerfassung nicht richtig geschult wurden.

Der **Phänotyp 2** beschreibt die mittlere Stufe der Echtzeitentscheidungsfähigkeit. Hier nutzen die Unternehmen eine Mischung aus periodischen Daten und ereignisgesteuerten Daten. Die periodisch erfassten Kennzahlen werden digital aufbereitet und durch die Mitarbeiter analog visualisiert. Nur die ereignisbasiert und automatisiert erfassten Kennzahlen können auch unmittelbar aufbereitet und visualisiert werden. Teilweise gehen die Vorteile der Echtzeit verloren, da die Kennzahlen trotz unmittelbarer Erfassung nur periodisch aufbereitet und anschließend digital oder sogar analog visualisiert werden. Der Phänotyp 2 hat gegenüber Phänotyp 1 den Vorteil, dass der Aufwand für die Datenerfassung wesentlich geringer ist, da diese zumindest teilweise automatisiert erfolgt. Die automatisierte Visualisierung der ereignisbasierten Kennzahlen bringt mit sich, dass die visualisierten Daten auch unabhängig vom Meeting genutzt werden können. Finden Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung in Echtzeit statt, sind die Informationen für die Nutzer deutlich schneller verfügbar.

Der **Phänotyp 3** beschreibt die echtzeitnächste Kennzahlenvorbereitung. Dieser Phänotyp hebt sich von den anderen beiden dahingehend ab, dass regelmäßig zu erfassende Daten nur noch automatisiert erfasst werden. Ein regelmäßiger manueller Aufwand der Erfassung existiert somit nicht mehr. Ereignisbasierte Kennzahlen, können weiterhin analog erfasst werden. Die Aufbereitung findet, wie bei dem Phänotyp 2, entweder periodisch digital oder unmittelbar automatisiert statt. Die Visualisierung kann jedoch im Vergleich zum Phänotyp 2 auch periodisch digital oder ereignisbasiert digital erfolgen. Vorteile des Phänotyps 3 gegenüber den anderen beiden Phänotypen sind demnach die weitere Verschiebung in Richtung Echtzeitentscheidungsfähigkeit. Wenn keine Daten mehr periodisch analog aufgenommen werden müssen, sondern entweder nur ereignisbasiert vom Mitarbeiter oder in Echtzeit vom System erfasst werden, ergibt sich ein geringerer Aufwand für die Datenerfassung. Wenn Daten digital dargestellt werden, können häufig auch unabhängig von den Meetings Informationen eingesehen werden. Diese Informationsverfügbarkeit sollte jedoch keinesfalls dazu führen, dass die Meeting-Kaskade ausgehebelt wird, sondern diese ergänzen. Ein Nachteil des Phänotyps 3 ist, dass sich die Mitarbeiter weniger Berührungspunkte mit den Kennzahlen haben, wenn sie diese vom System bereitgestellt bekommen.

### **3.1.6 Aktueller Stand vorbereitende Prozesse - Maßnahmen und Problemlösung**

Als Reaktion auf Abweichungen werden Maßnahmen definiert. Die vorbereitenden Prozesse in diesem Bereich finden vor allem auf Anfrage statt und sind geprägt von analogen Abläufen. Der aktuelle Stand der vorbereitenden Prozesse für den Maßnahmen- und Problemlösungsbereich wird in der folgenden Abbildung dargestellt.

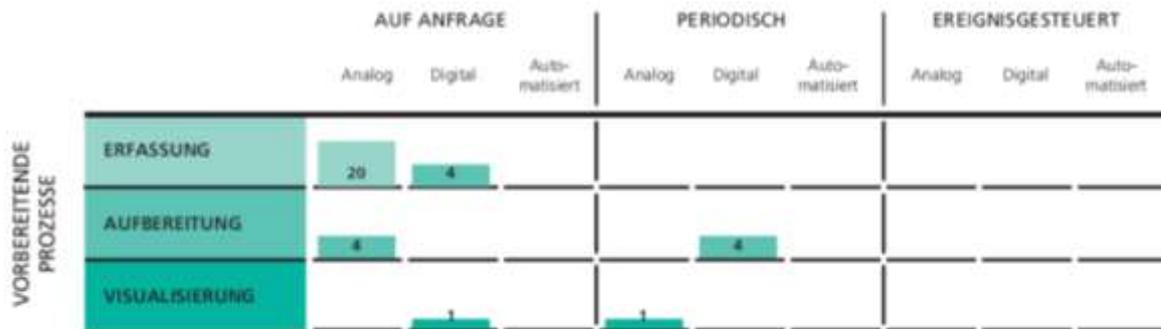


Abbildung 15: Matrix der vorbereitenden Prozesse für den Bereich Maßnahmen

Im Folgenden werden die Prozesse der Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung vorgestellt. Bei den **Erfassungsprozessen** gibt es kaum Varianzen zwischen den betrachteten Unternehmen: die Erfassung erfolgt nur auf Anfrage und meist analog. Bei den befragten Unternehmen besteht eine Maßnahme aus einer Beschreibung, einem Zieldatum und einem Verantwortlicher. Es kommt zu einer **mehrfachen Erfassung**, wenn nach dem Shopfloor Meeting die Maßnahmen in eine MS Excel-Datei übertragen oder für die Nutzung auf einer höheren Hierarchieebene in ein MS OneNote Dokument überführt werden. Kann keine Maßnahme formuliert werden, da die Ursache unklar ist, wird entweder eine strukturierte Problemlösung, bspw. in Form eines A3-Reports angestoßen oder es wird entschieden, dass das Problem an die nächsthöhere Hierarchieebene eskaliert wird. **Im Falle einer Eskalation** wird das Problem oft mündlich an die höhere Kaskade weitergegeben. Vereinzelt wird eine Karte geschrieben, sodass diese auf dem Shopfloor Board der höheren Kaskade aufgehängt werden kann. Meist bleiben die Maßnahmen bzw. Problemlösungen auf dem Shopfloor Board visualisiert, bis eine Prozessverbesserung erreicht wurde. Die Maßnahmen- bzw. Problemlösungserfassung findet selten bereits digital statt. In diesem Fall werden die Maßnahmen während des Meetings in eine digitale Liste eingetragen.

Wenn eine **Aufbereitung** der Maßnahmen nur auf Anfrage erfolgt, wird dies heute analog durchgeführt. Findet dies regelmäßig statt, sind digitale, aber nicht automatisierte Lösungen dominant. Die Aufbereitung erfolgt zur Priorisierung der Maßnahmen oder Probleme. Typisch ist die Nutzung eines Pareto-Diagramms, um Häufungen sichtbar zu machen. Für eine Priorisierung werden auch Maßnahmenkarten mit einem farbigen Magneten entsprechend der Priorisierung oder eine Priorisierungsmatrix verwendet. Erfolgt die Priorisierung regelmäßig, wird hierfür eine digitale Lösung, bspw. MS Excel verwendet.

- Maßnahmen und Problemlösungen werden meist nur erfasst und anschließend nicht mehr zusätzlich aufbereitet.
- Die Erfassung erfolgt meist analog und auf Anfrage.
- Aufgrund der Medienbrüche werden Maßnahmen mehrfach in unterschiedlichen Systemen erfasst.
- In den seltenen Fällen, in denen eine Aufbereitung stattfindet, dient sie der Priorisierung von Problemen.
- Maßnahmen werden auf Karten am Shopfloor Board festgehalten. Die Verantwortlichen müssen sich ihre Maßnahmen selbst notieren, nur in seltenen Fällen erfolgt eine zusätzliche Zusammenstellung als Liste.

Für die **Visualisierung** gibt es nur zwei Einsatzzwecke. Zum einen wird die Maßnahmenliste aus MS Excel täglich vor dem Meeting ausgedruckt und an das Shopfloor Board gehängt. Zum anderen fotografieren sich die Verantwortlichen einer Maßnahme diese mit ihrem Smartphone ab.

### 3.1.7 Phänotypen – Maßnahmen und Problemlösung

Aus den verschiedenen Kombinationen der vorbereitenden Prozesse ergeben sich drei Phänotypen (siehe Abbildung 16). Von den untersuchten Unternehmen lassen sich neun Unternehmen dem Phänotyp 1, drei Unternehmen dem Phänotyp 2 und zwei Unternehmen dem Phänotyp 3 zuordnen. Für vier Unternehmen war aufgrund von zu wenigen Informationen bezüglich der vorbereitenden Prozesse keine eindeutige Zuordnung möglich.

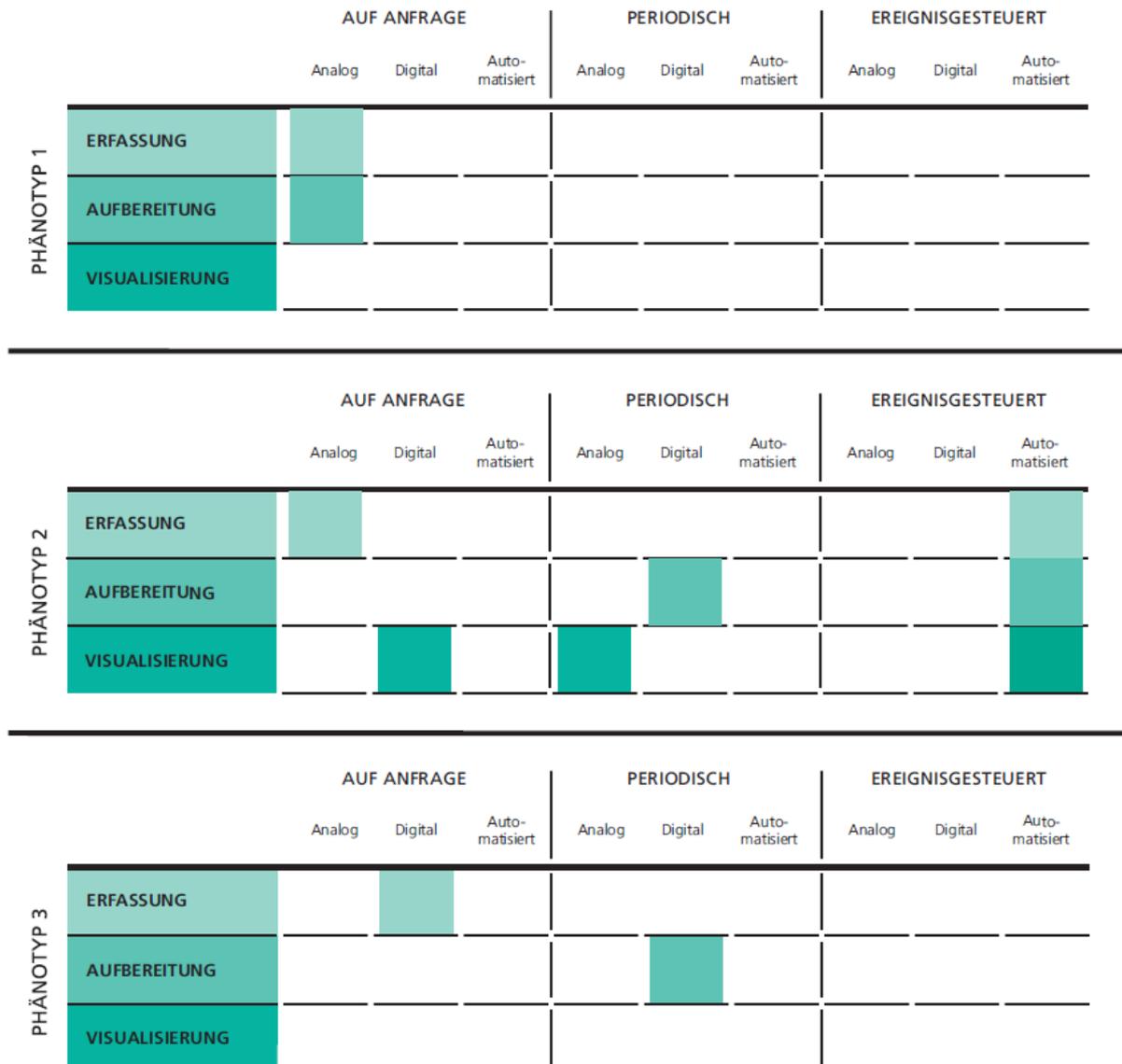


Abbildung 16: Phänotypen der vorbereitenden Prozesse für den Bereich Maßnahmen

Der **Phänotyp 1** beschreibt den Fall, dass Maßnahmen und Problemlösungen analog und auf Anfrage am Shopfloor Board erfasst werden. Zudem werden die erfassten Probleme bzw. Maßnahmen und Problemlösungen aufbereitet, indem sie auf Anfrage und analog priorisiert werden.

Der Phänotyp 1 hat den Nachteil, dass die Informationen nur an dem Shopfloor Board lokal einsehbar sind und zudem der Umsetzungsstand nur vor Ort verändert werden kann. Beim **Phänotyp 2** nutzen Unternehmen eine Mischung aus analogen und digitalen Prozessen. Die Erfassung findet wie beim Phänotyp 1 nur auf Anfrage und analog statt. Nicht lösbare Probleme werden auf eine Karte geschrieben und an die nächst höhere Hierarchieebene eskaliert. Die Aufbereitung zur Priorisierung findet beim Phänotyp 2 periodisch und digital statt. Die Maßnahmenliste wird nach jedem Meeting von einer analogen in eine digitale Form überführt, beispielsweise mit dem Programm MS Excel. Diese Liste wird täglich im Vorfeld des nächsten Meetings wieder ausgedruckt und aufgehängt. Zudem machen sich die Verantwortlichen einer Maßnahme Fotos mit ihrem Smartphone, um unabhängig vom Meeting Zugriff auf Ihre Maßnahmen zu haben. Beim Phänotyp 2 ist eindeutig die Notwendigkeit der Digitalisierung der Erfassung und Visualisierung zu erkennen. Dadurch ließe sich der Aufwand für die Übertragung der Maßnahmen eliminieren und die Verfügbarkeit der Informationen steigern. Eine digitale Lösung könnte ebenfalls darin unterstützen, den Informationsfluss bei eskalierten Problemen zu verbessern. Die Unternehmen, die die Grundlage für den **Phänotyp 3** darstellen, verwenden bereits ausschließlich digitale Prozesse. Die Maßnahmen und Problemlösungen werden digital erfasst. Zudem werden wöchentlich Auswertungen zu Problemen etc. digital erstellt. Der Vorteil des Phänotyps liegt darin, dass die Maßnahmenlisten digital eingesehen werden können. Die digitalen Lösungen, die verwendet werden, sind Excel-Listen bzw. OneNote-Dokumente. Durch den Einsatz einer einzigen cloud-basierten Lösung für die gesamte Maßnahmenverwaltung könnte der Aufwand zur Übertragung der Daten vermieden werden.

### 3.1.8 Probleme auf dem Shopfloor - Kennzahlen - OEE

Von besonderer Bedeutung ist hier die **Gesamtanlageneffektivität** (Overall Equipment Efficiency, OEE) (May/Koch 2008; Schwarz-Kocher/Salm 2016). Die Kennzahl gibt Aufschluss über die Verluste kritischer Anlagen. Sie ist eine aus dem TPM-Konzept (Total Productive Maintenance) entstandene Kennzahl. Einfach ausgedrückt misst die OEE, zu wie viel Prozent eine Maschine, Anlage oder Fabrik das tut, für was sie ausgelegt ist: verkaufsfähige Teile produzieren. Sie bezeichnet also die Effizienz von einer Maschine, Anlage oder Fabrik.

Dieses berechnet sich wie folgt:  $OEE = \text{Nutzungsgrad} \cdot \text{Leistungsgrad} \cdot \text{Ausbringungsquote}$ . Einflussfaktoren und somit Hebel für die Verbesserung der OEE durch Aktivitäten auf dem Shopfloor lassen sich anhand der Verlustkategorien (Verfügbarkeits-, Leistungs- und Qualitätsverluste) ableiten (May/Koch 2008; Schwarz-Kocher/Salm 2016) Diese Hebel werden zunächst weiter untergliedert nach Störungen, Wartezeiten, Kurzstillstände, reduzierte Geschwindigkeit, Ausschuss und Nacharbeit (May/Koch 2008).

Der **Nutzungsgrad** entspricht der geplanten Bruttobetriebszeit abzüglich der Stillstandszeit (unterschieden in geplante und ungeplante Stillstandszeit). Somit ist der Nutzungsgrad ein Maß für die Verluste durch Anlagenstillstände.

Der **Leistungsgrad** entspricht der geplanten Leistung (Soll-Leistung), bezogen auf die Laufzeit, einer Anlage abzüglich der Leistungsverluste (unterscheidet in prozess- und umweltbedingt). Somit ist der Leistungsgrad ein Maß für die Leistungsverluste durch Abweichung von der Soll-Leistung zur Ist-Leistung.

Die **Ausbringungsquote** entspricht allen produzierten Produkten abzüglich der Qualitätsverluste infolge von Ausschuss und Nacharbeit. Somit ist die Ausbringungsquote ein Maß für Verluste durch Qualitätsprobleme!

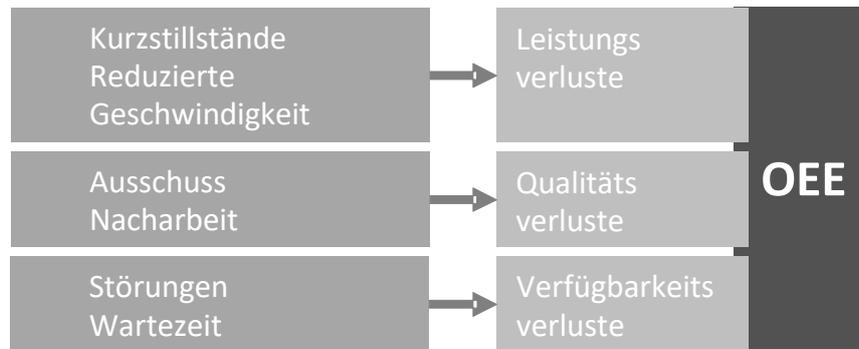


Abbildung 17: Verlustkategorien der OEE

Bei dem **Nutzungsgrad** werden die Stillstandszeiten genauer analysiert. Folgende typische Ausprägungsformen charakterisieren die Stillstandszeiten (**Verfügbarkeitsverluste**):

- 1.) Die geplante Stillstandszeit beinhaltet jegliches Nicht-Laufen der Maschine bedingt durch Pläne, Regularien, Vorgaben, etc. (einfach gesagt: diejenigen Stillstände, welche voraus-sagbar sind):
  - a. Operative Stillstandszeit:
    - i. Instandhaltung
    - ii. Inbetriebnahme
    - iii. Rüstzeiten
    - iv. Pflege
  - b. Organisatorische Stillstandszeit:
    - i. Pausen
    - ii. Schichtwechsel
- 2.) Ungeplante Stillstandszeit jegliches Nicht-Laufen der Maschine bedingt durch höhere Gewalt, ungeplante Wartezeiten, technische Probleme:
  - a. Höhere Gewalt: Ein unvorhergesehenes, außergewöhnliches und vom menschlichen Verhalten unabhängiges Ereignis:
    - i. Stromausfall
    - ii. Streiks
    - iii. Naturkatastrophen
  - b. Wartezeiten: Diejenige Zeit, in der eine Maschine eigentlich laufen könnte, dies aber nicht tut, da auf irgendetwas/-jemand gewartet werden muss:
    - i. Personal
    - ii. Dokumente
    - iii. Freigabe
    - iv. Werkzeug
    - v. Rohstoffe/ Halbfertigware
  - c. Technische Probleme: Aufgrund von technischen Problemen ist die Anlage nicht fähig zu produzieren – es kommt somit zu einem außerplanmäßigen Stopp:
    - i. Störungen
    - ii. Ausfall von Werkzeug/ Material

Bei dem **Leistungsgrad** werden die **Leistungsverluste** genauer analysiert. Folgende typische Faktoren können den Leistungsgrad beeinflussen:

- 1.) Der Arbeitsprozess ist die eigentliche wertschöpfende Tätigkeit, hier entsteht ein Mehrwert für das Unternehmen. Er gliedert sich in 6 Phasen, in denen Leistungsverluste (z.B. durch Mensch, Maschine, Material) auftreten können, welche wiederum den Leistungsgrad beeinflussen: Vorgelagerter Handlingprozess, Prozessvorbereitung, Arbeitsvorgang, Prozessnachbereitung, Nachgelagerter Handlingsprozess, Bewahren der Funktionsfähigkeit.
- 2.) Durch Umwelteinflüsse wie z.B. falsche Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit können ebenso Leistungsverluste an der Maschine auftreten, welche wiederum zu einer Verringerung des Leistungsgrads führen.

Bei der **Ausbringungsquote** werden die **Qualitätsverluste** und deren Ursachen genauer analysiert. Folgende typische Faktoren können Qualitätsverluste verursachen:

- 1.) Operative Einflussfaktoren verursachen Qualitätsverluste, bedingt durch unmittelbare an der Anlage auftretende Einflüsse:
  - a. Mensch
  - b. Umwelt
  - c. Werkzeug
  - d. Maschine
  - e. Prüfung
  - f. Material
- 2.) Organisatorische Einflussfaktoren verursachen Qualitätsverluste, bedingt durch in der Planung und dem Zusammenarbeiten (Schnittstellen) auftretende Einflüsse:
  - a. Vorgaben
  - b. Kommunikation

Die OEE ist eine ganzheitliche Kennzahl, die die Verluste einer effektiven Produktion ausdrückt.

Probleme, die Leistungsverluste verursachen:

- Blockierte Sensoren
- Blockierte Laufbänder
- Weitere Probleme, die zu Leistungsverlusten führen können:
  - o Management:
    - Fehlende Transparenz der Produktivität
    - Aktualität der Kennzahlen
    - Mangelnde Zielorientierung
  - o Planung und Steuerung
    - Falsche Dispositions- und Planungsmethoden
    - Mangelnde Bestandstransparenz
    - Fehlende Synchronisierung der arbeitsvorbereitenden Tätigkeiten
  - o Produktion und Logistik
    - Zu große Produktions- und Transportlose
    - Lange Materialflusswege
    - Zu hohe Pufferbestände
  - o Arbeitsplatz
    - Fehlendes Bewusstsein für „kritischen Pfad“
    - Störungen und Wartezeiten
    - Hohe Rüstzeiten, mangelhafte Arbeitsplatzgestaltung, lange Wege.

Probleme, die Qualitätsverluste verursachen:

- Produkt entspricht nicht der qualifizierten Spezifikation
- Produkt entspricht nur mit Nacharbeit den Qualitätsspezifikationen

Probleme, die Verfügbarkeitsverluste verursachen:

- Bedienfehler
- Mangelhafte Wartung
- Linienbeschränkung (Anfuhr, Abtransport)
- Wartung
- Rüstzeitgründe, z.B.:
  - o Einrichten
  - o Bemustern
  - o Nacheinstellung
  - o Abrüsten
  - o Abrichten
  - o Ringwechsel
- Weitere Störzeitgründe, z.B.:
  - o Absaugung defekt
  - o Anbaugeräte
  - o Behälter fehlt
  - o Behälterwechsel
  - o Defekt (Mechanik, Elektronik etc.)
  - o Drahtwechsel
  - o Fräse steht
  - o Kein Ofen/ Ofen verstopft
  - o Kein Personal
  - o Keine Freigabe
  - o Material fehlt
  - o Mehrmaschinenbedienung
  - o Pausen
  - o Reinigung
  - o Schulung
  - o Vorbereitung Instandhaltung
  - o Werkzeug fehlt oder muss nachbearbeitet werden.

Da sich beim Versuch die Probleme mit Kennzahlen zu operationalisieren, in der Zusammenarbeit mit den Unternehmen herausgestellt hat, dass eine Operationalisierung sehr unternehmensspezifisch vorgenommen werden muss, wurden an dieser Stelle Anforderungen an Kennzahlen definiert. Mithilfe dieser Anforderungen kann die Güte von Kennzahlen, nicht zuletzt in Bezug auf die Operationalisierung von den oben ausgearbeiteten Problemen, bewertet werden. Es handelt sich hierbei um die folgenden Anforderungen:

- **Validität:** Die Validität ist eines der wichtigsten Kriterien für Kennzahlen. Sie umfasst die Frage danach, ob auch tatsächlich das gemessen wird, was auch gemessen werden soll.
- **Objektivität:** Das Kriterium der Objektivität hinterfragt die Verständlichkeit der Kennzahl für Dritte.

- **Reliabilität:** Reliabilität meint die Zuverlässigkeit der Messung. Die hier zu stellende Frage lautet: Führt eine Wiederholung der Messung zum gleichen Ergebnis?
- **Beeinflussbarkeit:** Damit wird hinterfragt, ob die Kennzahl überhaupt beeinflussbar ist. Die Frage lautet in diesem Fall: Können Maßnahmen ergriffen werden, die zu einem veränderten Wert der Kennzahl führen können, sodass die Kennzahl damit auch steuerbar ist?
- **Manipulationsfreiheit:** Die zu stellende Frage, um die Manipulationsfreiheit einer Kennzahl zu hinterfragen lautet: Kann die Kennzahl nur so beeinflusst werden, dass es für Dritte nachvollziehbar ist? Beispielsweise wäre Manipulationsfreiheit nicht gegeben, wenn derjenige, der nach dieser Kennzahl beurteilt wird, die Stichprobe bestimmen könnte und diese somit derart wählen würde, dass das Befragungsergebnis für ihn positiv ausfällt.
- **Wirtschaftlichkeit:** Ein weiteres sehr wichtiges Kriterium ist die Wirtschaftlichkeit. Das bedeutet, die Kennzahl wird danach beurteilt, ob ihr Nutzen die Kosten ihrer Erhebung übersteigt.

### 3.1.9 Potenziale der vorbereitenden Prozesse

Nun werden Potenziale im Bereich der vorbereitenden Prozesse entwickelt und Funktionserweiterungen für die Nutzung dargestellt. Die quantitative und qualitative Untersuchung der vorbereitenden Prozesse hat gezeigt, dass einige Prozesse bereits in Echtzeit erfolgen, während andere Prozesse periodisch oder auf Anfrage stattfinden. Generell ist nur im Bereich der Kennzahlen eine deutliche Entwicklung in Richtung Echtzeitentscheidungsfähigkeit erkennbar. Die Potenziale, die sich aus einer Echtzeitentscheidungsfähigkeit ergeben, werden im folgenden Abschnitt erläutert.

Das größte Potenzial, das sich aus der **Echtzeitentscheidungsfähigkeit** ergibt, ist das Senken der Latenzzeit, das heißt das Verringern der Zeit, die zwischen dem Auftreten des Ereignisses und der Reaktion auf das Ereignis vergeht. Jedoch ist die Echtzeitentscheidungsfähigkeit nicht in jedem Fall wünschenswert oder notwendig. Echtzeitentscheidungsfähigkeit sollte im Bereich der vorbereitenden Prozesse dann angestrebt werden, wenn auch eine Nutzung in Echtzeit erfolgen soll. Wenn beispielsweise Kennzahlen in Echtzeit erfasst und aufbereitet werden, der Teamleiter aber nach wie vor nur in den Meetings informiert wird, ist der Mehrwert der Echtzeit-Kennzahlen nicht gegeben. Nur wenn der entsprechende Verantwortliche mit Entscheidungsbefugnis ereignisbasiert eine Benachrichtigung erhält, ist die hohe Datenverfügbarkeit gerechtfertigt. Für viele vorbereitenden Prozesse würde bereits ein höherer Nutzen gestiftet, wenn sie digital oder automatisiert stattfänden, sodass der Aufwand gesenkt und die Nutzung letztendlich auch digitalisiert stattfinden könnte. Im Bereich der Maßnahmen und Problemlösung ermöglicht eine gesteigerte Echtzeitfähigkeit Maßnahmen unmittelbar aufzunehmen, sobald Abweichungen erkannt werden. Diese Maßnahmen können dann im nächsten Regelkommunikations-Meeting besprochen und auch ggf. verworfen werden. Verbesserungsvorschläge können ebenso behandelt werden. Eine Benachrichtigung der Beteiligten erscheint sinnvoll, sodass der Begutachtungsprozess unmittelbar angestoßen werden kann. Insbesondere, wenn dieser durch die Vorgesetzten unabhängig von den Besprechungen übernommen wird. Im Bereich der Ressourcensteuerung sind aktuell tägliche Zuteilungen der Mitarbeiter auf Maschinen üblich. Kurzfristige Anpassungen werden meist nicht dokumentiert. Durch unmittelbare Rückmeldung bei Kapazitätsanpassung, bspw. bei einem Ausfall einer Maschine oder Erkrankung eines Mitarbeiters, könnte auch zwischen den täglichen Besprechungen die Zuteilung angepasst und dokumentiert werden. Im Bereich des Wissensmanagements sollte durch eine automatische Durchsuchung der Wissensdatenbank beim

Anlegen einer Maßnahme sichergestellt werden, dass bereits bekannten Lösungen gefunden werden.

Durch eine reine **Digitalisierung oder Automatisierung von vorbereitenden Prozessen** können häufig bereits Potenziale erschlossen werden. Entweder wird dadurch der Aufwand verringert oder der Weg für eine echtzeitnahe Nutzung geebnet. Bei der Digitalisierung von Prozessen, wird von Prozessen gesprochen, die zwar nach wie vor mit menschlicher Interaktion stattfinden, die aber durch eine digitale Lösung unterstützt werden. Diese Digitalisierung ermöglicht die orts- und zeitunabhängige Nutzung von Informationen. Beispielsweise müssen Teamleiter, wenn sie einen Blick auf den Stand der Kennzahlen oder die aktuelle Maßnahmenliste werfen wollen, sich nicht mehr an das Shopfloor Board begeben, sondern können sich auch von ihrem Büro aus informieren. Hierzu muss erwähnt werden, dass es eines der Ziele des Shopfloor Managements ist, die Präsenz der Führungskräfte vor Ort zu erhöhen (Peters 2009). Der orts- und zeitunabhängige Informationszugang scheint diesem Ziel entgegenzuwirken. Jedoch ist der Informationszugang als Ergänzung zu täglichen Shopfloor Meetings anzusehen. In allen befragten Unternehmen, jedoch mit einer Ausnahme, wird der digitale Zugriff als Ergänzung des regelmäßigen Shopfloor Managements gesehen. Ein weiterer Vorteil, den die Digitalisierung von vorbereitenden Prozessen mit sich bringt, ist das Verringern des zeitlichen Aufwandes der Mitarbeiter. Wie in der Analyse der vorbereitenden Prozesse festgestellt wurde, bestehen einige Prozesse nur darin, analog erfasste Informationen in eine digitale Form zu übertragen oder digital vorhandene Auswertungen durch Ausdrucken in eine analoge Form zu bringen. Dies nimmt Zeit in Anspruch, welche eingespart werden könnte, wenn die Erfassung, Aufbereitung, Visualisierung und letztendlich auch die Nutzung digital stattfinden würde. Bei der Digitalisierung der Prozesse bieten Webanwendungen gegenüber dokumentenbasierten Ansätzen den Vorteil, dass der gleichzeitige Zugriff ermöglicht wird. Eine Automatisierung von Prozessen findet statt, wenn die vorbereitenden Prozesse ohne menschliche Interaktion von einem System ausgeführt werden. Durch eine Automatisierung ergeben sich weitere Potenziale. Zunächst wird der Aufwand für die Datenerfassung, -aufbereitung und -visualisierung durch das IT-System übernommen. Zwei weitere Vorteile, die eine Automatisierung mit sich bringt, sind eine erhöhte Datenqualität und eine Datenverfügbarkeit unabhängig von der Teilnahme eines Mitarbeiters am Shopfloor Meeting. Die Potenziale einer Digitalisierung bzw. Automatisierung werden zusammen mit den Potenzialen der Echtzeitfähigkeit in der folgenden Abbildung dargestellt.

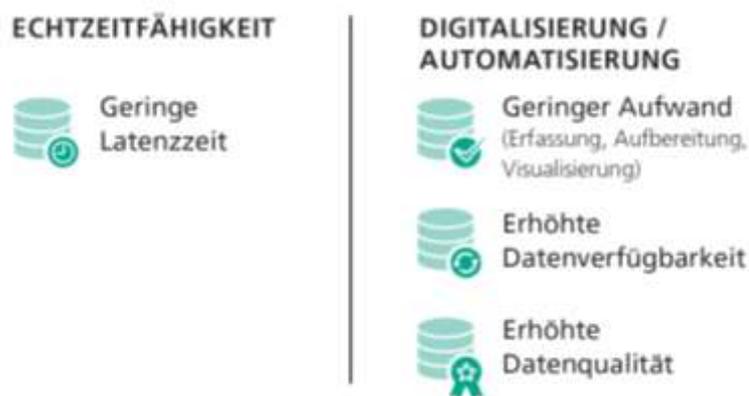


Abbildung 18: Potenziale der Echtzeitfähigkeit und der Digitalisierung bzw. Automatisierung

### 3.1.10 Weiterentwicklung des Funktionsumfangs

Die zuvor erhobenen User Stories werden in den unterschiedlichen Bereichen jeweils den Industrie 4.0-Reifegraden Sichtbarkeit bzw. Transparenz zugeordnet. Damit sich das Shopfloor Management jedoch nicht nur hinsichtlich einer Digitalisierung weiterentwickelt, sollte der Industrie 4.0-Reifegrad langfristig gesteigert werden. Der nächste greifbare Entwicklungsschritt ist es, zunächst den Reifegrad auf die Stufe Prognose zu steigern. Durch die Steigerung des Industrie 4.0-Reifegrades sinkt ebenfalls die Latenzzeit zur Reaktion auf erkannte Abweichungen, vgl. .

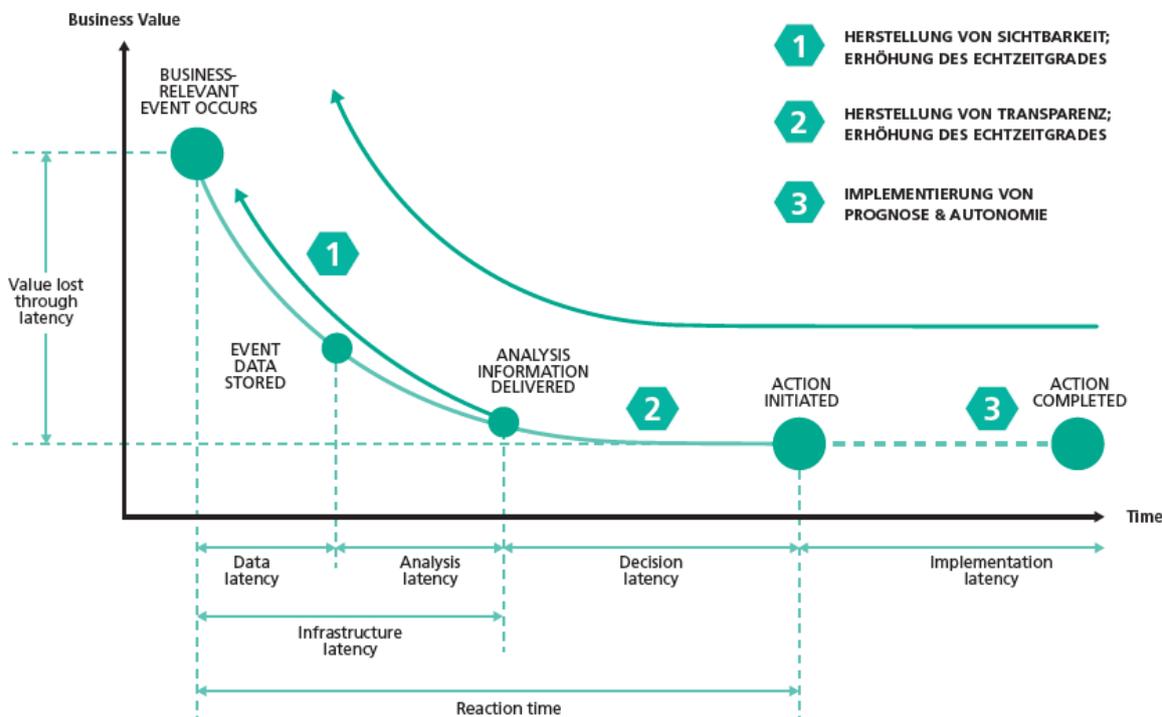


Abbildung 19: Effekte Steigerung des I4.0-Reifegrades auf Entscheidungslatenz<sup>1</sup>

Um konkrete Möglichkeiten dieser Weiterentwicklung aufzuzeigen, wurden entsprechende User Stories entwickelt und im Rahmen eines Expertenworkshops auf Praxisrelevanz überprüft. Hieraus sind acht relevante User Stories hervorgegangen. Alle User Stories lassen sich im Framework der Nutzung im Bereich Prognose und Echtzeit (digital) einordnen. Für den **Bereich der Kennzahlen** haben sich zwei User Stories für eine Weiterentwicklung ergeben. Die erste User Story lautet: Der Abteilungsleiter, Teamleiter oder Mitarbeiter kann am Bildschirm/digitalen Shopfloor- Board sehen, wie die Echtzeit-Prognose zu den angezeigten Kennzahlen ist, um ggf. Abweichungen zu erkennen und darauf zu reagieren. Durch die Echtzeit-Analyse und permanente Datenverfügbarkeit können die Datenlatenz und die Analyselatenz eliminiert werden. Durch die Prognose wird zusätzlich Zeit gewonnen, um Maßnahmen einzuleiten, bevor das Problem tatsächlich eintritt. Die zweite User Story lautet: Der Teamleiter erhält eine Push-Nachricht auf sein Smartphone, wenn eine Kennzahl in der Prognose einen bestimmten Wert unterschreitet/überschreitet, um proaktiv ggf. Maßnahmen zu definieren. Im Gegensatz zur ersten Weiterentwicklung werden die Betroffenen vom System informiert. Durch die Mittelung im Bedarfsfall wird die dauerhafte Menge an Kennzahlen, die überblickt werden muss, gesenkt.

<sup>1</sup> In Anlehnung an zur Mühlen und Shapiro 2010

Für den **Bereich Maßnahmen & Problemlösung** wurden drei User Stories als relevant eingestuft. Dies zeigt, dass insbesondere im Bereich Maßnahmen und Problemlösung Handlungsbedarf besteht. Es gibt zwei mögliche Szenarien in denen eine Prognose im Bereich Maßnahmen und Problemlösung einen Mehrwert bieten würde. Das eine Szenario bezieht sich auf die rechtzeitige Umsetzung von Maßnahmen: Der Abteilungsleiter, Teamleiter oder Mitarbeiter sieht im digitalen Maßnahmenplan, ob eine Maßnahme rechtzeitig beendet wird (indem der Status der Maßnahme mit dem Endtermin verglichen wird), um ggf. auf eine Verspätung zu reagieren. Das zweite Szenario bezieht sich auf die Priorisierung von Abweichungen in Bezug auf die Problemlösung. Die User Stories lauten:

Der Abteilungsleiter, Teamleiter oder Mitarbeiter sieht am digitalen Shopfloor-Board welche Abweichung bzw. welches Problem sich in Zukunft wie stark auf bestimmte Kennzahlen auswirken wird, um zu priorisieren. Der Abteilungsleiter, Teamleiter oder Mitarbeiter sieht am digitalen Shopfloor-Board die Prognose, welche Abweichung bzw. welches Problem in Zukunft wie oft noch auftreten wird, um zu priorisieren.

Durch die Erhöhung des Industrie 4.0-Reifegrades ergeben sich ähnlich wie bei der Steigerung der Echtzeitentscheidungsfähigkeit Potenziale. Dadurch, dass Abweichungen und Schwankungen im Fall der Prognose bereits erkannt werden können, bevor sie überhaupt zum Problem werden, kann schneller reagiert werden. Im besten Fall kann das Eintreten des Ereignisses verhindert werden. Ansonsten wird die Latenzzeit, d.h. die Zeit zwischen dem Eintreten des Ereignisses bis zur Reaktion auf das Ereignis verringert. Dies führt zu einer erhöhten Effizienz. Durch eine Steigerung auf den Reifegrad Transparenz, wird das Verständnis für die Ursachen erhöht. Auf den Reifegraden Prognose und Autonomie wird diese Transparenz beibehalten. Durch das Wissen über die zugrundeliegenden Ursachen können schnell die richtigen Probleme angegangen werden, sodass die Effektivität steigt. Die Potenziale werden zusammenfassend in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 20: Potenziale der Steigerung des Industrie 4.0-Reifegrades

### 3.1.11 Handlungsempfehlungen

Aus dem aktuellen Stand der Nutzung des Shopfloor Managements, der Betrachtung der vorbereitenden Prozesse und möglichen Weiterentwicklungen lassen sich Handlungsempfehlungen ableiten. Hierbei gilt es zwischen verschiedenen Arten von Handlungsempfehlungen zu unterscheiden: Technische, organisatorische und mitarbeiterbezogene Anforderungen, die bei einer Digitalisierung, Industrie 4.0-Reifegradsteigerung oder Entwicklung hinsichtlich der Echtzeitfähigkeit berücksichtigt werden müssen, sowie Gestaltungsprinzipien des Führungsinstruments Shopfloor Management, die bei einem Einsatz eines digitalen Systems gewahrt werden müssen.

Die Anforderungen lassen sich in technische, organisatorische und mitarbeiterbezogene Aspekte einteilen, die in der folgenden Abbildung 21 zusammengefasst werden.



**Abbildung 21: Anforderungen für die Nutzung eines digitalen Shopfloor Managements**

Es ergeben sich verschiedene technische Anforderungen, die erfüllt werden müssen, damit ein digitales Shopfloor Management erfolgreich umgesetzt werden kann. Zunächst muss die benötigte Hardware vorhanden sein, d.h. die Produktion muss je nach Anwendungsfall mit Bildschirmen, interaktiven Whiteboards, Tablets etc. ausgestattet werden. Ein persönliches mobiles Endgerät macht ebenfalls Sinn und steigert auch die Bereitschaft zur Veränderung bei den Mitarbeitern. Zudem müssen die Maschinen mit der entsprechenden Sensorik und Mikroelektronik ausgestattet sein, damit Daten in der Fertigung erfasst werden können. Eine weitere technische Voraussetzung ist durch eine geeignete Systemarchitektur gegeben. Das bedeutet, dass Schnittstellen für den Datenaustausch zwischen den verschiedenen IT-Systemen geschaffen werden müssen. Es muss ermöglicht werden, die Systeme der Fertigungsebene, die beispielsweise Maschinendaten erfassen, vertikal mit den Systemen auf Unternehmensebene, wie beispielsweise dem ERP-System, zu vernetzen. Dies kann durch den Einsatz eines Manufacturing Execution Systems (MES) erfolgen. Bei der Erkennung von Abweichungen und automatischen Feinplanung kommt den Stammdaten eine hohe Bedeutung zu. Sie dienen als Sollwert für die Planung und als Referenzwert für die Ermittlung von Abweichungen. Folglich sollte sichergestellt werden, dass die Stammdaten im ERP-System bereinigt, ausreichend detailliert und aktualisiert sind. Im Fall von sehr großen Datenmengen müssen für die Erreichung der Stufen Transparenz oder Prognose zudem Data Analytics- oder Predictive Analytics-Techniken angewandt werden, wofür die entsprechenden Datenbanken wie bspw. In-Memory-Datenbanken oder Hadoop-Systemen benötigt werden. Voraussetzung für die Vernetzung ist eine flächendeckende Abdeckung mit Breitband-Internet, das auch bei einer größeren Anzahl an Teilnehmern zuverlässig eine schnelle Verbindung ermöglicht.

Es ergeben sich **organisatorische Voraussetzungen**, damit ein digitales Shopfloor Management erfolgreich umgesetzt werden kann. Damit langfristig eine digitale Transformation im Unternehmen stattfinden kann, muss die klassische funktionsorientierte Organisationsstruktur sich zu einer flexibleren Organisationsstruktur wie einer Matrixorganisation oder Holokratie weiterentwickeln. Für die Digitalisierung des Shopfloor Managements sollten die Unternehmen jedoch zunächst einmal den Mitarbeitern ein höheres Maß an Eigenverantwortung übergeben, damit diese nicht mehr, wie häufig zuvor, nur indirekt über ihren Vorgesetzten, sondern direkt und eigenständig auf Kennzahlen reagieren können. In einem Interview wurde dies treffend beschrieben: „Bevor ich mit echtzeitfähigen Daten in der Produktion etwas anfangen kann, muss ich die Organisationsstruktur auch dahin befähigen, dass Entscheidungen vor Ort an der Maschine getroffen werden können. [...] Echtzeitdaten bringen nichts, wenn der Monteur dann wiederum zu seiner Führungskraft rennen muss, [...] die dann entscheiden muss, obwohl sie nicht vor Ort verfügbar ist, sondern in einem Meeting sitzt.“

Es gibt verschiedene **mitarbeiterbezogene Anforderungen**, die berücksichtigt werden sollten. Wie im Abschnitt organisatorische Anforderungen beschrieben, müssen die Mitarbeiter mehr Eigenverantwortung übernehmen. Sie werden „weniger als ‘Maschinenbediener’ eingesetzt, sondern mehr in der Rolle des Erfahrungsträgers, Entscheiders und Koordinators“ (Kagermann 2014). „Durch die Verlagerung von Verantwortung auf dezentrale Bereiche (bspw. auf dezentrale Teams) kann ein Geschwindigkeitsvorteil in der Entscheidungsfindung erzielt werden.“ (Lanza et al 2018) Für diese Aufgaben müssen die Mitarbeiter entsprechend geschult werden. Des Weiteren müssen auch die Führungskräfte ein sogenanntes „Qualifikationsupgrading“ unterlaufen, denn „intellective skills“ werden wichtiger. Diese „intellective skills“ beschreiben das theoretische Verständnis von Prozessen, welches für die Nutzung der vermehrten Informationen und der erhöhten Transparenz nötig ist. (Hirsch-Kreinsen & ten Hompel 2017). Damit das digitale Shopfloor Management effizient und insbesondere ohne Hemmungen angewendet wird, muss auch die IT-Affinität der Mitarbeiter und der Führungskräfte sichergestellt werden. Das heißt, ein sicherer Umgang mit dem Computer/interaktiven Whiteboard/Tablet/Smartphone muss sichergestellt werden. Eine weitere Voraussetzung für ein erfolgreiches Anwenden eines digitalen Shopfloor Managements ist der Wille und die Bereitschaft zur Veränderung. Hierfür kann es hilfreich sein die Mitarbeiter mit einzubeziehen und ihnen das Gefühl zu geben, ernst genommen zu werden.

Es gibt verschiedene **Gestaltungsprinzipien** die bei der Einführung eines digitalen Shopfloor Managements berücksichtigt werden sollten, damit die Vorteile des Führungsinstruments Shopfloor Managements nicht verloren gehen. Grundsätzliche Prinzipien wie eine positive Fehlerkultur und eine Zielkontinuität durch Hoshin Kanri bleiben unabhängig von einem digitalen Shopfloor Management uneingeschränkt bestehen. Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 geht man davon aus, dass der „Mensch weiterhin im Mittelpunkt stehen wird, auch in einer durchgängig virtualisierten und informatisierten Fabrik“ (Ganschar et al. 2013). Bei der Gestaltung eines digitalen Systems zur Unterstützung des Shopfloor Managements, sollte diese „Menschzentrierung“ beibehalten werden. Die DIN EN ISO 9241-210 definiert diese Gestaltung wie folgt: „Menschzentrierte Gestaltung ist eine Herangehensweise bei der Gestaltung und Entwicklung von Systemen, die darauf abzielt, interaktive Systeme gebrauchstauglicher [und zweckdienlicher] zu machen, indem sie sich auf die Verwendung des Systems konzentriert und Kenntnisse und Techniken aus den Bereichen der Arbeitswissenschaft/Ergonomie und der Gebrauchstauglichkeit anwendet.“ (Deutsches Institut für Normung 2011) Ein Prinzip der menschzentrierten Gestaltung ist die nutzerorientierte Gestaltung, d.h. der Nutzer wird in den Mittelpunkt des Entwicklungsprozesses gestellt. Über den in dieser Studie beschriebenen Gestaltungsprinzipien schwebt dieser

Begriff der „Nutzerorientierung“. Die Gestaltungsprinzipien lassen sich aufteilen in die Punkte Führung vor Ort, Einbezug der Mitarbeiter, Führungsverständnis, Glass Wall Management, Identifikation mit den Kennzahlen und Kundenorientierung.

Laut Literatur ist die Führung, insbesondere die **Präsenz der Führungskräfte vor Ort** ein zentraler Erfolgsfaktor des Shopfloor Managements. Während vor Einführung des Shopfloor Managements die Führungskräfte häufig einen Großteil ihrer Zeit in Besprechungen oder am Schreibtisch mit der Bearbeitung von E-Mails verbracht haben, und keine Zeit mehr blieb sich auf dem Shopfloor mit dem Stand der Dinge zu beschäftigen, wird mit Shopfloor Management, durch die regelmäßigen Meetings, Kommunikation auf dem Shopfloor in den täglichen Arbeitsalltag integriert (Peters 2009). Auch in einem Experteninterview wurde die Führung vor Ort als ein Hauptgrund genannt, um Shopfloor Management überhaupt einzuführen: „Wir wollten, dass die Leute wieder zurückkommen zur Maschine – zum Ort der Wertschöpfung –, dass da vor Ort eigentlich die Entscheidungen getroffen werden. Das war so das Thema, dass wir auch die Werker oder die Einrichter an der Maschine nicht alleine lassen. Dass, wenn ein Mitarbeiter vor Ort ist oder die Führungskraft, dass die direkt sieht, was da ist, und, dass die das nicht irgendwo nur reportet bekommt und dann im Büro die Entscheidungen trifft.“ Ein digitales Shopfloor Management darf das Prinzip der Führung vor Ort nicht untergraben. Dies wird in einem weiteren Experteninterview betont: „Das ist, glaube ich, auch eine der größten Herausforderungen beim digitalen Shopfloor-Management: Dieser Grundgedanke, der dahinter steht – diese Philosophie – aufrecht zu erhalten, dass es nicht wieder irgendwie abrutscht in: ‘Ich mache es an meinem Platz, an meinem Bildschirm.’“ Einer der Gründe, wieso die regelmäßigen Meetings einen Mehrwert liefern, wurde auch in den Experteninterviews genannt: „Also es entsteht ein Stück weit Disziplin. (...) Sie stehen da mit ihrem Gesicht vor einem Anderen, der gibt Ihnen einen Auftrag oder bittet Sie um irgendetwas und dann haben Sie eine ganz andere Verbindlichkeit. Deswegen ist für mich das Thema Shopfloor, es ist ‘face-to-face’ - jemanden verbindlich etwas ins Gesicht sagen. Eine Mail ist nicht so viel Wert wie das, was da passiert.“ In einem weiteren Interview wird ebenfalls die Kommunikation „von Angesicht zu Angesicht, auch mal ein Gespräch führen über das Problem“ als einer der Erfolgsfaktoren von Shopfloor Management genannt. Bei einer Umgestaltung bzw. Digitalisierung der Systematik, sollte also der regelmäßige Charakter der Besprechungen sowie der Shopfloor als Ort, an dem diese stattfinden, erhalten bleiben. Digitale Bildschirme können allerdings eingesetzt werden, um die DIN A4 großen Ausdrücke an den Shopfloor Boards zu ersetzen, sodass die Teilnehmer während der Besprechung tatsächlich die Kennzahlen lesen können.

Ein weiteres Hauptelement des Shopfloor Managements ist die **Einbindung jedes Einzelnen**. Nur wenn alle Mitarbeiter an der kontinuierlichen Verbesserung des Unternehmens beteiligt werden, und ihr Know-How und ihre Ideen teilen können, wird das Wachstum eines Unternehmens gesichert. (Suzaki 1994) Diese Ansicht wurde auch in den Interviews vertreten: „Der Mitarbeiter muss stärker integriert werden, weil der Mitarbeiter weiß die Probleme vor Ort in den Abteilungen und wenn wir diese vielen, vielen kleinen Probleme lösen – das ist ja dieser klassische KVP-Ansatz – dann werden wir uns intern optimieren.“ In diesem Zusammenhang sollte darauf geachtet werden, dass bei der Umsetzung eines digitalen Shopfloor Managements, weiterhin jeder Mitarbeiter einbezogen bleibt. Durch mobile Endgeräte und Push-Benachrichtigungen ist dies auch in einem höheren Maß möglich als in täglichen Besprechungen, insbesondere im Bereich der Maßnahmen und Vorschläge. Von einem Interviewpartner wird beispielsweise genannt: „Ich möchte kein Shopfloor Management, wo einer da steht und präsentiert. (...) da steht auf einmal der Linienleiter da und präsentiert das, was da auf der Tafel, auf dem Bildschirm steht. Die Mitarbeiter die hören zu. Damit nehme ich ein Stück Verantwortung von jemanden weg.“

Damit die Mitarbeiter befähigt sind und einbezogen werden, ist das **Prinzip des Coachings** essentiell. In den Interviews wurde es beschrieben als: „Ich [entwickle] meine Mitarbeiter durch gezielte Rückmeldung dazu, dass sie stärker noch auf ‘Was ist das Problem? Was sind die Tatsachen, die Fakten dazu? Welche Ursachen könnte es haben? Wie gehen wir weiter vor?’ noch stärker dazu in ihrem Verhalten befähige“. Eine Digitalisierung der zeitaufwendigen Prozesse der Datenerfassung, teilweise sogar der mehrfachen Erfassung aufgrund von Medienbrüchen schafft dem Mitarbeiter den zeitlichen Freiraum sich mit dem eigentlichen Problem zu beschäftigen. Bei der Gestaltung des digitalen Systems kann der Mitarbeiter auch methodisch geführt werden, so dass auch ein Laie ein methodisches Problemlöseverfahren anwenden kann, bspw. ein A3-Report.

**Glass Wall Management** beschreibt die Idee, dass alle Managementprozesse mit Hilfe von Visualisierungen transparent gemacht werden. Das Ziel hierbei ist es, dass „selbst ein Außenstehender, der über keinerlei Informationen über den Betrieb verfügt, das Wesen der Shopfloor-Aktivitäten ebenso gut versteht“ (Suzaki 1994). Auch in den Experteninterviews werden die transparente Darstellung und der Austausch von Informationen als Erfolgsfaktor gesehen: „Das ist gerade die Stärke des Shopfloors. Der Shopfloor ist total offen für alle einsehbar, da können alle reingucken. Der Status wird jeden Morgen aktuell angezeigt.“ Dieser Aspekt sollte bei der Einführung eines digitalen Shopfloor Managements nicht verloren gehen. Es sollte weiterhin ein digitales Board oder interaktives Whiteboard in der Produktion stehen, an dem die aktuellen Kennzahlen, Maßnahmen oder Ressourceneinteilungen visualisiert werden. Eine häufig in den Interviews genannte Herausforderung ist der Umgang mit der Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung von Kennzahlen. Es gibt Ansichten, dass der Mitarbeiter die Kennzahlen selber erfassen sollte, da er nur so einen direkten Bezug zu den Kennzahlen hätte und sich so mit den Kennzahlen **identifizieren kann**. Es werden Aussagen getroffen wie: „Wenn sie dann im Shopfloor-Management-Meeting stehen und sie haben das rein digital, dann können die Leute oft gar keine Auskunft dazu geben, warum ist da ein Knick drin oder sonst irgendwas.“ Deshalb ist es besonders wichtig, dass ein digitales Shopfloor Management nicht einfach nur die Kennzahlen oder andere Informationen liefert, sondern dass es dafür sorgt, dass sich mit den Kennzahlen beschäftigt wird. In einem Interview wurde es so formuliert: „So ein System zu füttern oder Informationen sich über ein Computersystem abzuholen muss auch irgendwie attraktiv sein, es muss schnell sein, es muss fast schon Spaß machen“. Letztendlich ist dies die Forderung nach menschenzentrierter Gestaltung. Ein wichtiger Punkt für die Identifikation der Kennzahlen ist, dass nur mit den Kennzahlen gearbeitet werden sollte, durch die die Produktion gesteuert werden kann und auf die die Mitarbeiter auch einen Einfluss haben. Die Einführung eines digitalen Shopfloor Managements sollte nicht dazu verleiten, Kennzahlen zu betrachten, nur, weil sie durch eine Automatisierung der Erfassung und generell zusätzlichen Datenerhebungen zur Verfügung stehen, sondern es sollten nur die „richtigen bzw. relevanten“ Kennzahlen betrachtet werden: „Ganz wichtig ist natürlich, dass man sich wirklich auf die Kennzahlen beschränkt, die einem auch wirklich was bringen, die einem bei der täglichen Arbeit helfen. Es bringt nichts in irgendeinem Zahlenmeer zu ertrinken, von Zahlen die einem, sag ich mal, die Abteilung gar nicht leiten, oder mit denen man wenig anfangen kann.“ Bezüglich der Identifikation der Mitarbeiter mit den Kennzahlen wird die Anzahl an Kennzahlen auch so beschrieben: „Wir wollen die Mitarbeiter nicht überfordern, sondern wollen, dass es wirklich steuerungsrelevante Kennzahlen sind, die man wirklich auch verändern kann.“

Die **Orientierung an den Bedürfnissen des internen Kunden** zieht sich durch das gesamte Shopfloor Management. Bei der technischen Umsetzung des digitalen Shopfloor Managements

sollten das Informationsbedürfnisse und der Nutzerkontext des Anwenders im Zentrum stehen, sodass den Nutzern die richtigen Informationen auf dem richtigen Endgerät bereitstellen bekommt. Für einen Produktionsmitarbeiter kann dies ein Smartphone sein oder ein spezielles Tablet, das sich auch mit Handschuhen bedienen lässt. Wichtig ist, dass sich bei der Umsetzung nicht auf Büro-Lösungen der Office-Welt beschränkt, sondern eine echte nutzerzentrierte Gestaltung vorgenommen wird.

### 3.1.12 Benötigte und eingesetzte Ressourcen

Entsprechend des Finanzierungsplans wurde die Forschungsarbeit innerhalb dieses APs durch wissenschaftliches Personal durchgeführt. Seitens der Forschungsstellen wurden dafür 8 Personenmonate (PM) aufgewendet. Von diesen 8 PM entfielen 4 PM auf das IPRI und 4 PM auf das wbk.

## 3.2 Arbeitspaket 2: Bewertung des Einsatzes echtzeitbasierter Kennzahlen

Die folgenden Ergebnisse waren Gegenstand dieses Arbeitspakets:

Geplante Ergebnisse lt. Antrag	Erzielte Ergebnisse
Vorgehen um die Kosten- und Nutzenanalyse echtzeitbasierter Kennzahlen durchzuführen als Entscheidungsgrundlage für KMU. (Teilziel 2)	Vorgehen um die Kosten- und Nutzenanalyse echtzeitbasierter Kennzahlen durchzuführen als Entscheidungsgrundlage für KMU. (Teilziel 2)

Ziel des zweiten Arbeitspakets war einerseits, den Zeitvorteil durch die Nutzung echtzeitdatenbasierter Kennzahlen zu ermitteln, andererseits das Vorgehen einer Kosten-Nutzen Analyse auf Basis dieses Zeitvorteils für KMU zu bestimmen. Das Ergebnis ist grundlegend für die Entscheidungsfindung von KMU bezüglich einer geplanten Investition in echtzeitdatenbasierte Reporting-systeme. Es ermöglicht, sowohl die Veränderung der Produktionsprozesse (z.B. geringere Durchlaufzeiten oder geringere Fehlerquoten), wie auch die Umsatzsteigerung einzuschätzen und auf dieser Grundlage eine fundierte Entscheidung zu fällen. Dabei sind die Ergebnisse für alle Unternehmen des produzierenden Gewerbes anwendbar.

Um die Ziele des Arbeitspaketes zu erreichen wird folgendes Vorgehen verfolgt: Zuerst wird die zugrunde liegende Annahme des Nutzens von echtzeitdatenbasierter Kennzahlen kurz beschrieben. Anschließend wird aufgezeigt, wie mittels eines Experiments der Zeitvorteil durch echtzeitdatenbasierte Kennzahlen ermittelt und bewertet werden kann. Schließlich wird eine geeignete Kosten-Nutzenanalyse identifiziert und auf Grundlage der erhobenen Daten beispielhaft berechnet. Hierbei werden, neben der Zeitersparnis, weitere Aspekte berücksichtigt.

### 3.2.1 Annahmen

Störungen in Produktionsprozessen führen zu Verzögerungen und Mehraufwand und daraus resultierenden Nachteilen für das produzierende Unternehmen. Je eher Störungen beseitigt werden können, desto größer ist der Nutzen der Reaktion, bzw. desto geringer fallen die Folgekosten aus. Aus diesem Grund ist es notwendig, schnell auf Störungen reagieren zu können. Dabei setzen Unternehmen immer häufiger auf Business Intelligence. Darunter versteht man Verfahren, mit denen die Unternehmensprozesse mittels Daten analysiert werden können. Eine Möglichkeit, die sich aus Business Intelligence ergibt, ist das Reporting von echtzeitbasierten Kennzahlen an Entscheidungsträger im Produktionsprozess.

Tritt eine Störung auf, besteht eine Zeitspanne zwischen Eintritt und erfolgreicher Beseitigung derselben. Diese Zeitspanne kann in vier Einzelintervalle unterteilt werden (vgl. Hackathorn 2003, Muehlen & Shapiro 2010): Datenlatenz, Analyzelatenz, Entscheidungslatenz und Anwendungslatenz:

- *Datenlatenz* bezeichnet die Zeit, die zwischen Ereignis und Verfügbarkeit der Daten vergeht.
- Die Dauer der Analyse, wird als *Analyzelatenz* bezeichnet. Ob die Analyse durch Programme oder Mitarbeiter durchgeführt wird, ist entscheidend für die Optimierungsmöglichkeiten der Analyzelatenz.
- Die *Entscheidungslatenz* bezeichnet die Dauer der Entscheidungsfindung.
- *Anwendungslatenz* ist die Zeit von Einleitung der Gegenmaßnahme bis zu deren Wirkung.

Je länger die Dauer dieses Prozesses, desto geringer der Nutzen, den die Gegenmaßnahme generieren kann (vgl. Abbildung 22).

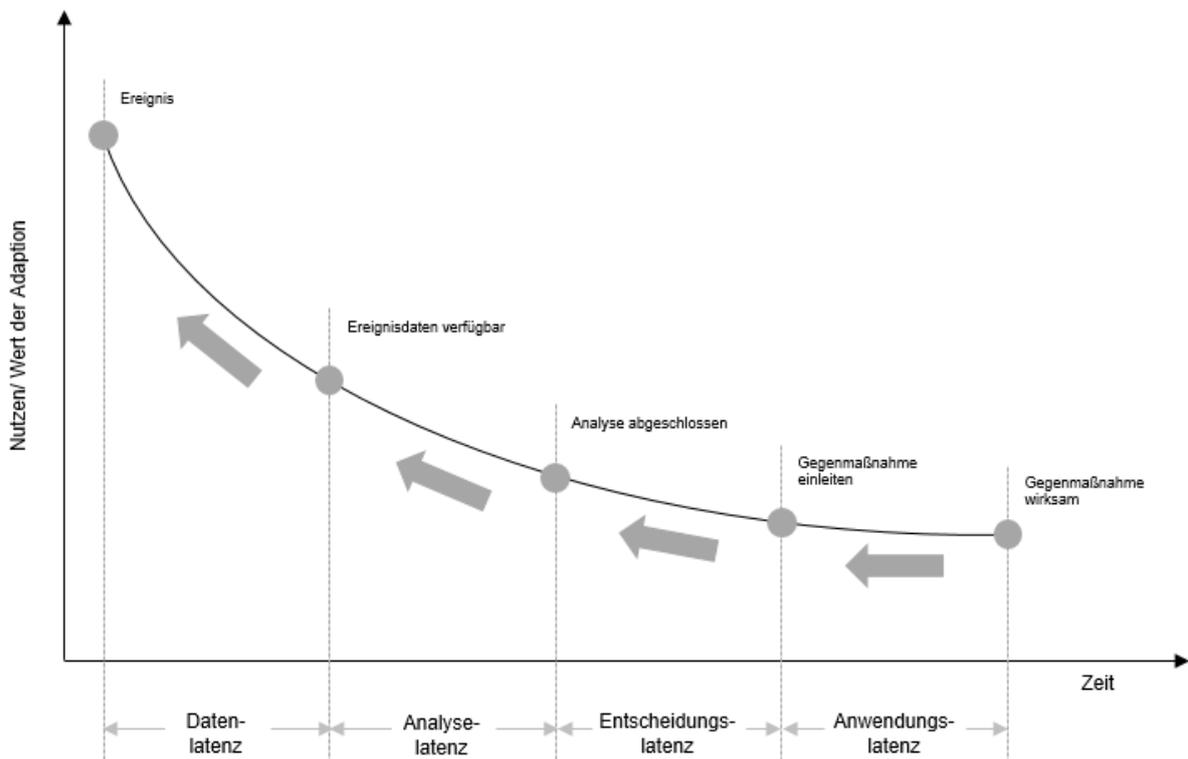


Abbildung 22: Latenztypen nach Hackathorn (2003)

Die Dauer der Datenlatenz ist von der technischen Infrastruktur abhängig. Dasselbe gilt für die Analyzelatenz, solange die Analyse technisch durchgeführt wird. Die Entscheidung für eine geeignete Gegenmaßnahme obliegt den Entscheidungsträgern und ist daher von deren Auffassungsgabe und Erfahrung abhängig. Die Reaktionsfähigkeit des Unternehmens und die technische Infrastruktur sind ursächlich für die Dauer der Anwendungslatenz (vgl. Muehlen & Shapiro 2010). Um den Nutzen einer Reaktion auf eine Störung zu erhöhen, können demnach verschiedene Bereiche des Prozesses optimiert werden. Das echtzeitdatenbasierte Reporting von Kennzahlen zielt auf eine Verkürzung der Datenlatenz und ist Hauptuntersuchungsobjekt dieses Arbeitspaketes.

### 3.2.2 Bewertung des Einsatzes Echtzeitdatenbasierter Kennzahlen

Um den Nutzen echtzeitdatenbasierter Kennzahlen bewerten zu können, werden in diesem Arbeitspaket Zeitvorteile ermittelt, die sich aus der verkürzten Latenz ergeben. Dabei werden die Daten-, Analyse-, Entscheidungs- und Anwendungslatenz getrennt betrachtet und bewertet.

#### Forschungsdesign

Zur Operationalisierung der formulierten Hypothese wurde ein 2x2 Experiment konzipiert. Die unabhängigen Variablen sind die Reportingfrequenz und der -detailgrad. Die erste Experimentalgruppe sollte daher auf Basis eines Reports, der durchgängig zum Experimentaldurchgang erhoben und übermittelt wurde, Entscheidungen treffen. Die zweite Experimentalgruppe bekam ebenfalls einen Report zur Entscheidungsunterstützung, dieser wurde jedoch in einer festgelegten Frequenz von drei Minuten übermittelt. In dem nicht-detaillierten Report waren folgende Kennzahlen dargestellt: Gutmenge, Durchlaufzeit und Work in Process. In dem detaillierten Report waren neben den genannten Kennzahlen die Anzahl an gefertigten Aufträgen, die Fehlerquote, die Nacharbeitsanzahl, die Verzögerung sowie der First Pass Yield.

Tabelle 4: Im Experiment genutzte Produktionskennzahlen

Produktionskennzahl	Erläuterung der Produktionskennzahl	
<b>Gefertigte Aufträge</b> <b>GA<sub>Ziel</sub> = 24 Stück</b>	Anzahl der gefertigten Bauteile	<i>Eine geringe GA ist ein Indiz für eine zu langsame oder zu störungsanfällige Produktion sein.</i>
<b>Fehlerquote</b> <b>FQ<sub>Ziel</sub> = 0 %</b>	Anteil des Ausschuss und der Nacharbeit an den gefertigten Aufträgen	<i>Eine hohe FQ deutet auf zu viele fehlerhaft-produzierte Aufträge hin.</i>
<b>Gutmenge</b> <b>GM<sub>Ziel</sub> = 24 Stück</b>	Anzahl an gefertigten Bauteilen in der geforderten Qualität	<i>Eine geringe GM deutet ebenfalls auf zu viele fehlerhaft-produzierte Aufträge hin.</i>
<b>Nacharbeit</b> <b>NA<sub>Ziel</sub> = 0 Stück</b>	Anzahl der Bauteile, die zur Nacharbeit müssen	<i>Eine hohe NA deutet auf fehlerhafte Tätigkeiten hin, die jedoch behoben werden können.</i>
<b>Durchlaufzeit</b> <b>DLZ<sub>Ziel</sub> = 2:30 Min</b>	Zeit, die ein Bauteil zum Durchlaufen der gesamten Produktionslinie benötigt	<i>Eine hohe DLZ kann ein Indiz für eine zu langsame Produktion.</i>
<b>Verzögerung</b> <b>V<sub>Ziel</sub> = 0:00 Min</b>	Zeit, die ein Bauteil abzüglich der Durchlaufzeit zum Durchlaufen der gesamten Produktionslinie benötigt	<i>Eine hohe Verzögerung weist auf deutliche Behinderungen im Produktionsablauf hin.</i>
<b>First Pass Yield</b> <b>FPY<sub>Ziel</sub> = 24 Stück</b>	Anzahl der Bauteile, die im ersten Durchgang in der geforderten Qualität gefertigt wurden	<i>Eine hohe FPY weist einen sicheren Prozess aus, der den Qualitätsansprüchen entspricht.</i>
<b>Work in Process</b> <b>WIP<sub>Ziel</sub> = 5 Stück</b>	Umlaufbestand, der in der Produktion gebunden ist	<i>Ein hohes WIP deutet auf Verzögerungen oder Stillstände in der Produktion hin.</i>

Die abhängigen Variablen sind dagegen die Effektivität und Effizienz der Fertigung. Die Effektivität wird anhand der produzierten Stückzahl dividiert durch eine Soll-Stückzahl bestimmt. Die Ef-

fizienz ist dagegen der Quotient aus Gutmenge und produzierter Stückzahl. Während des Experiments wurde neben den beiden abhängigen Variablen auch eine Vielzahl an weiteren Kennzahlen und Informationen generiert.

Als **Probanden** konnten Studierende und Doktoranden aus dem Bereich Wirtschaftswissenschaften akquiriert werden. Insgesamt nahmen 20 unterschiedliche Probanden an dem Experiment teil. Diese wurden zufällig zu einer der vier Experimentalgruppen zugeteilt.

	Kontinuierliche Frequenz	3-minütige Frequenz
<b>Detaillierter Report</b>	n = 5	n = 5
<b>Nicht-Detaillierter Report</b>	n = 5	n = 5

Das **Experiment** wurde in der Lernfabrik des wbk - Instituts für Produktionslehre am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) durchgeführt. Die Fabrik besteht aus fünf Stationen, an denen Komponenten zu einem elektrischen Antrieb montiert werden. Zusätzlich gibt es eine Qualitätsstation.

Den Probanden wurde zunächst das generelle Vorgehen erläutert. Nachfolgend wurden die Probanden einzeln in die Lernfabrik geführt. Alle Probanden wurden der ersten Montagestation zugeordnet, an der neben einer Anleitung für die herzustellenden elektrischen Antriebe und den jeweiligen zu montierenden Komponenten auch die zu fertigenden Aufträge auslagen. Hier wurden dem jeweiligen Proband die Maschine, die Bauteile und der Aufbau der Montagelinie in einer festgelegten Zeit von einer unabhängigen Person erläutert. Zudem wurde dem Probanden seine Aufgabe im Experiment erklärt.

Dem Probanden wurde erläutert, dass 24 elektrische Antriebe produziert werden sollen. Davon müssen alle von der Qualitätskontrolle als gut befunden werden. Zur verbesserten Steuerung der Montagelinie bekamen die Probanden daher einen detailliert oder nicht-detailliert Kennzahlenreport auf einem Bildschirm an ihren Arbeitsplatz angezeigt.

Um Aussagen über den Zeitvorteil durch echtzeitdatenbasierter Kennzahlen zu treffen, wurden die Teilnehmer nach dem Zufallsprinzip in eine Interventions- (echtzeitdatenbasierte Kennzahlen) und eine Kontrollgruppe (Kennzahlen nur alle drei Minuten) eingeteilt. Die Informationen, die den Probanden zu Verfügung standen, waren in beiden Gruppen dieselben, mit dem Unterschied, dass die Kennzahlen in der Kontrollgruppe nur alle drei Minuten aktualisiert wurden, während der Interventionsgruppe alle Kennzahlen sofort zu Verfügung standen.

Dem Probanden je Durchgang wurde in dem Experiment gleichzeitig Rolle eines Produktionsleiter und eines Produktionsmitarbeiters zugeteilt. Sie arbeiteten am ersten Produktionsschritt und konnten dadurch bestimmen, wann ein Teil in Produktion gegeben wird. Auf einem Monitor, der neben ihrem Arbeitsplatz angebracht war, konnten sie die Kennzahlen beobachten, um gegebenenfalls auf Störungen zu reagieren. Die auf den Probanden folgenden Produktionsschritte wurden (immer) von (denselben) Mitarbeitern des IPRI durchgeführt, um vergleichbare Produktionsabläufe sicherzustellen. Dabei geschahen absichtlich verschiedene Fehler, um Reaktionen auf die reporteten Kennzahlen festzuhalten. Um eine umfassende Auswertung zu ermöglichen, wurden die Anzahl der eingespeisten Teile, die Gutmenge, die Fehlermenge, die Ausschüsse, die Nacharbeit, die jeweils dazugehörigen Zeitpunkte und die Reaktionen der Probanden festgehalten.

Die Aufgabe des Probanden war es, die Komponente an das Rohbauteil gemäß der Anleitung zu montieren und dieses nach Beendigung der notwendigen Arbeitsschritte an die nachfolgende Station der Montagelinie weiterzugeben. Dabei konnte der Proband sein Bauteil in einen Bauteil-Puffer ablegen, um nicht auf die Fertigstellung der nachfolgenden Station zu warten. Zudem war der Proband für die Steuerung und Überwachung der Effektivität und Effizienz der gesamten Montagelinie zuständig. Diese sollte während des Experimentaldurchgangs optimiert werden.

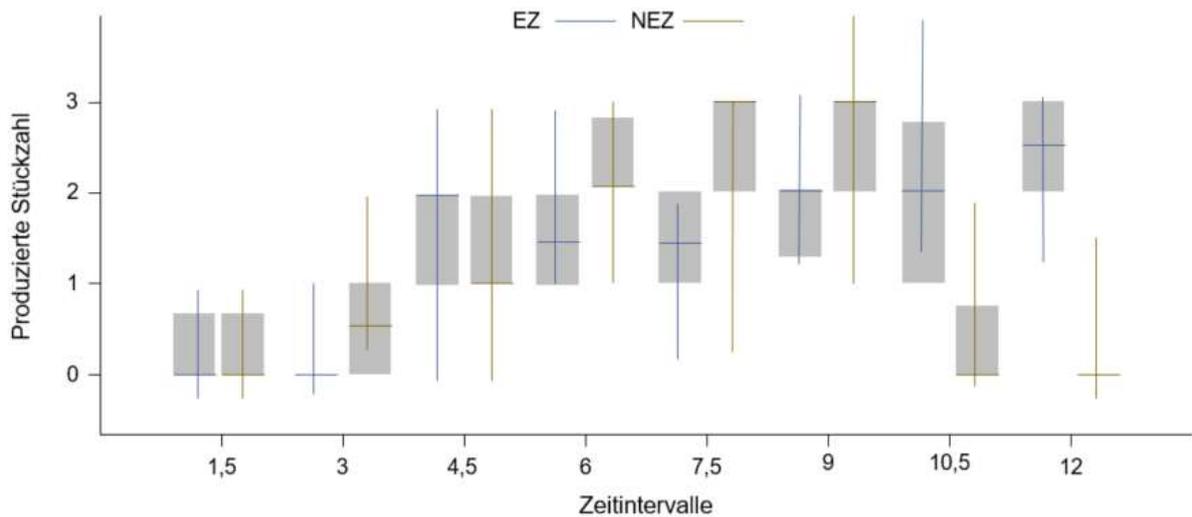
Nach der Erläuterung der Aufgabe startete der Experimentator mit einem Signal die 12-minütige Produktionszeit. Währenddessen wurden die für das Experiment relevanten Informationen für die spätere Auswertung erhoben. Ein Experimentator überwachte zudem die Durchführung des Experiments, wodurch sichergestellt wurde, dass die Probanden ihre Aufgaben erfüllten. Zuletzt mussten die Probanden noch einen Fragebogen beantworten, der die Manipulation-Checks beinhaltete.

### **3.2.3 Einfluss auf die Daten- und Analyselatenz**

Zur Ermittlung des Zeitvorteils werden acht Zeitintervalle à 1,5 Minuten gebildet. Alle Ereignisse, die im jeweiligen Intervall stattfinden, werden somit zusammengefasst. Differenziert wird weiterhin zwischen der echtzeitdatenbasierten Interventions- (EZ) und der nichtechtzeitdatenbasierten Kontrollgruppe (NEZ). Die Durchlaufzeit eines Teiles betrug zwischen 50 Sekunden und 4,3 Minuten. Durchschnittlich wurde in ca. einer Minute ein Teil produziert. Abbildung 2 veranschaulicht die Menge an produzierten Teilen je Zeitintervall. Echtzeitdatenbasiertes Kennzahlenreporting gehört zur technischen Infrastruktur und sollte die Datenlatenz verkürzen. Ob die Analyselatenz der technischen Infrastruktur zuzuordnen ist, hängt davon ab, ob die Daten maschinell oder von Mitarbeitern ausgewertet werden. Zur Optimierung der Analyselatenz müssen dann jeweils unterschiedliche Verfahren angewandt werden. Davon unabhängig ändert die frühere Verfügbarkeit der Daten nichts an der Dauer der Analyse. Die Analyse benötigt vom Eintreffen der Daten an eine bestimmte Zeit, bis sie abgeschlossen ist. Von einer Zeitersparnis bei der Analyse durch echtzeitdatenbasierte Kennzahlen ist daher nicht auszugehen.

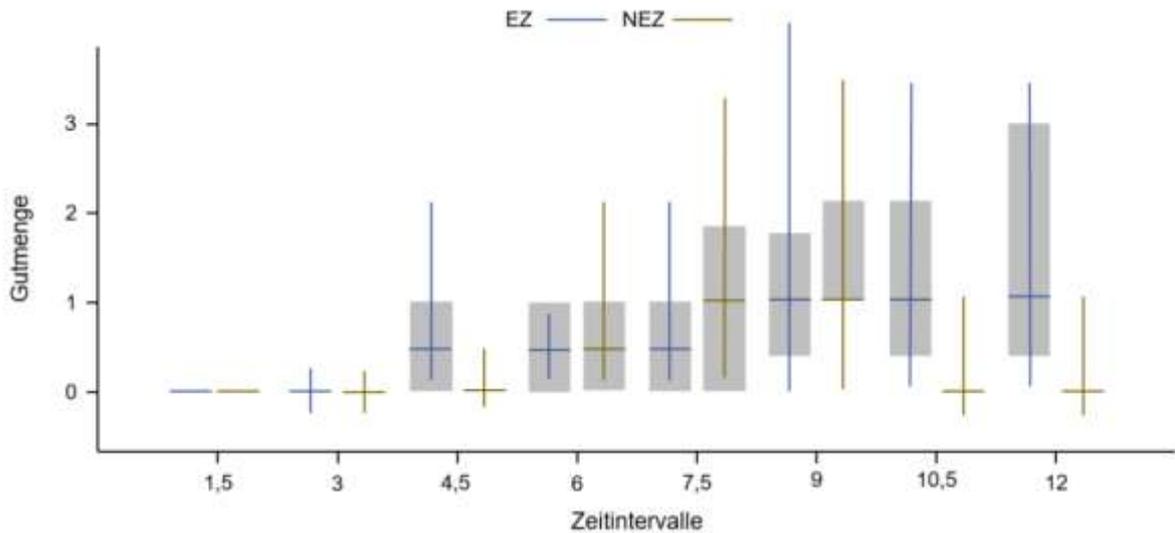
Wie sich echtzeitdatenbasierte Kennzahlen auf Zeitersparnis im Produktionsprozess auswirken, wird durch die Anzahl der produzierten Teile und der Gutmenge je Zeitintervall deutlich. Durch aktuelle Kennzahlen können Störungen früher erkannt und behoben werden. Die Gutmenge müsste demnach in der Interventionsgruppe früher ansteigen als in der Kontrollgruppe. Nach Fertigstellung des ersten Teils, wird dem Proband eine Kennzahl berichtet, auf die gegebenenfalls reagiert werden kann. Die durchschnittliche Durchlaufzeit betrug zwischen zwei und drei Minuten. Effekte durch echtzeitdatenbasierte Kennzahlen sollten sich demnach ab der vierten Minute einstellen. Im Gegensatz dazu konnte in der Kontrollgruppe erst ab der dritten Minute reagiert werden. Reaktionen auf Störungen sollten ab der fünften Minute Wirkung zeigen.

Zwischen den Gruppen ist anfänglich kein Unterschied ersichtlich. Im zweiten Zeitintervall hingegen produzierte die Gruppe ohne echtzeitdatenbasierte Kennzahlen mehr Teile (siehe Abbildung 24). Ein Grund hierfür könnten bereits erfolgte Reaktionen der Teilnehmer auf die Kennzahlen sein, die der EZ-Gruppe zu diesem Zeitpunkt bereits vorlagen. Den Probanden war ersichtlich, dass die bisher produzierten Teile allesamt fehlerhaft waren und sie leiteten Gegenmaßnahmen ein.



**Abbildung 23: Produzierte Stückzahlen pro Zeitintervall**

Bei der Betrachtung der Gutmenge, also der Anzahl an mangelfrei produzierten Stücken, wird dieser Effekt deutlicher (siehe Abbildung 24). Bis zur dritten Minute gelang es keinem Proband, ein fehlerfreies Teil zu produzieren. Die Gutmenge steigt in der echtzeitdatenbasierten Gruppe früher an als in der Kontrollgruppe. Die ersten einwandfreien Teile wurden im Zeitintervall von der 3. bis 4,5. Minute hergestellt. Die Störungen wurden in dieser Gruppe in Echtzeit reportet. Dementsprechend konnten auch Gegenmaßnahmen früher ergriffen werden. Die Wirkung dieser Gegenmaßnahmen trat dann erstmals nach der dritten Minute auf.



**Abbildung 24: Produzierte Gutmenge pro Zeitintervall**

In der Kontrollgruppe wurden die ersten Kennzahlen erst nach drei Minuten reportet. Somit konnten die Probanden nun ebenfalls auf Störungen reagieren. Durch die Verzögerung bei der Übermittlung von Störungen konnten Gegenmaßnahmen allerdings erst später getroffen werden und die Gutmenge stieg im 3. Zeitintervall der Kontrollgruppe nicht an. Im darauffolgenden Intervall allerdings erreichte die Gutmenge der Kontrollgruppe dasselbe Niveau wie in der Interventionsgruppe. Ursache hierfür ist die verkürzte Datenlatenz.

Echtzeitdatenbasiertes Kennzahlen verkürzen die Datenlatenz. Diese Verkürzung ermöglicht eine frühere Reaktion auf Ereignisse. Die Gegenmaßnahmen können eher getroffen werden und werden eher wirksam. Zur Beurteilung der Ergebnisse sind Limitationen zu beachten.

### 3.2.4 Einfluss auf die Reaktions- und Anwendungslatenz

Die Übermittlung von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen ist ein Vorteil, der durch eine verbesserte technische Infrastruktur zustande kommt. Während Hackathorn noch klar zwischen Latenz aufgrund der technischen Infrastruktur und Reaktionslatenz unterscheidet, meinen Mühlen und Shapiro, dass durch eine aktuelle Darstellung der Produktionsereignisse, zumindest in einem begrenzten Umfang, die Reaktionslatenz ebenfalls verkürzt werden kann. Diese Verkürzung sei allerdings abhängig von den Anforderungen und Befugnissen des Entscheidungsträgers (vgl. Muehlen & Shapiro 2010). Der Einfluss einer Verkürzung der Datenlatenz auf die Reaktionslatenz soll im Folgenden überprüft werden.

Ein Effekt der echtzeitdatenbasierten Kennzahlen auf die Reaktionszeit müsste die Zeit zwischen Meldung der Störung und Reaktion auf diese verringern. Eine schnellere Reaktion führt zu früheren Gegenmaßnahmen. Demzufolge müsste die Wirkung der Gegenmaßnahme in der Interventions-Gruppe in einem kürzeren Zeitintervall nach dem Reporting erfolgen, als in der Kontrollgruppe. Um diesen Effekt zu überprüfen, werden die Gutmenge und die Gesamtanlageneffektivität (OEE) betrachtet. Die OEE wurde neben anderen Indizes aus den Kennzahlen des Experiments berechnet (siehe Abbildung 25). Dabei wird die potenzielle in Relation zur tatsächlichen Wertschöpfung gesetzt. Ein OEE-Wert von 1 entspricht der Realisierung des vollen Potenzials einer Anlage. Die Gesamtanlageneffektivität ist - in Falle unseres Experiments - das Produkt aus Qualitätsquote und Performance Effectiveness.

Kennzahl	Echtzeitdatenbasiert	3-Minuten Intervall	Signifikanz
Anzahl erteilter Aufträge	24,5	20,8	*
Durchschn. Durchlaufzeit	59,5 s	64,3 s	
Fehlerquote	0,529	0,652	
Performance Effectiveness	0,29	0,21	
Qualitätsquote	0,49	0,37	*
OEE	0,15	0,10	
Gutmenge/ Proband	5,7	4,2	
Work in Progress	12,4	9,6	**
Nacharbeit	1,4	4,1	*

Abbildung 25: Erhobene Kennzahlen mit Signifikanzwert der Varianzanalyse

Die Betrachtung der Gutmenge zeigt, dass Störungen in der Interventionsgruppe früher behoben wurden. Die ersten Kennzahlen in der Interventionsgruppe kam durchschnittlich im zweiten Zeitintervall (1:31 m – 3:00 m). Der Anstieg der Gutmenge fand im dritten Zeitintervall statt. In der Kontrollgruppe erfolgte sowohl das erste Reporting, als auch der Anstieg der Gutmenge ein Zeitintervall versetzt/später. Auch die OEE steigt in der Interventionsgruppe früher und steiler (siehe

Abbildung 26). Die OEE der Kontrollgruppe steigt allerdings kurz darauf ebenfalls und erreicht im Laufe des Experiments fast das Niveau der Interventionsgruppe. Die Unterschiede lassen sich hauptsächlich auf das permanente Berichten von Störungen zurückführen und nicht auf eine verkürzte Reaktionslatenz. Von einer Verbesserung der Reaktionslatenz durch Verkürzung der Datenlatenz ist nicht auszugehen.

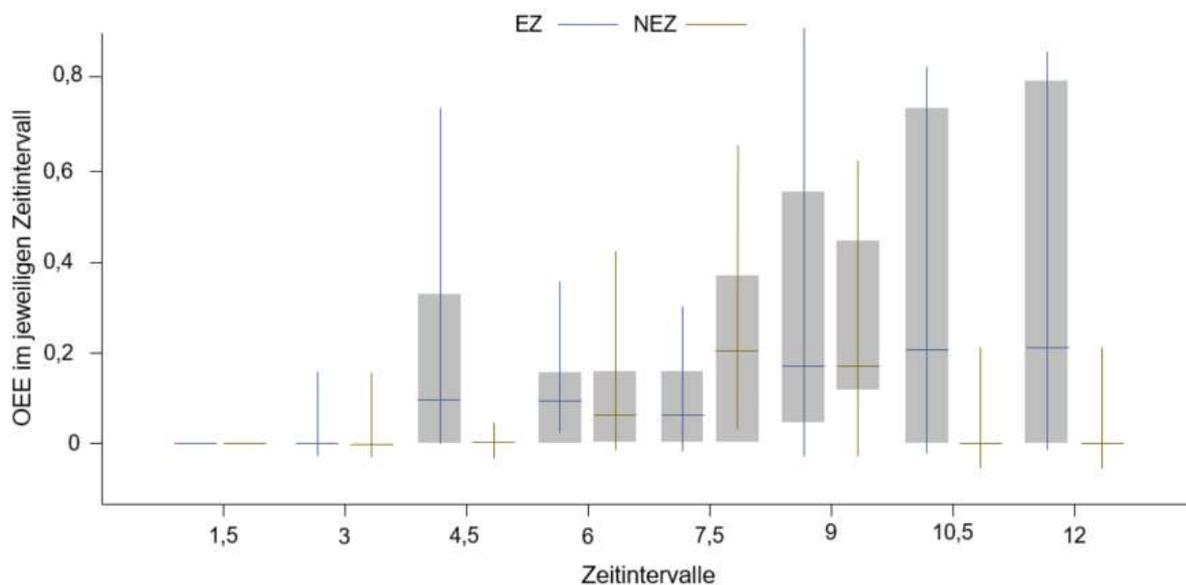


Abbildung 26: OEE

Wie bei der Betrachtung der Zeitersparnis bei der Datenlatenz sind auch hier Limitationen zu beachten (siehe unten).

Von einem Zeitvorteil durch echtzeitdatenbasierte Kennzahlen bei der Wirkung der Gegenmaßnahmen ist nicht auszugehen. Zum einen ist kein begründbarer Zusammenhang ersichtlich, zum anderen ändert sich der Zeitvorteil zwischen Interventions- und Kontrollgruppe, wie schon bei der Betrachtung der Reaktionslatenz festgestellt, nur in Bezug auf die Datenlatenz.

### 3.2.5 Zeitersparnis durch den Einsatz von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen

Nun soll die Zeitersparnis durch echtzeitdatenbasierte Kennzahlen ermittelt werden. Hierbei sind mehrere Faktoren zu berücksichtigen. Einerseits ist auf die Zeitersparnis einzugehen, die sich durch kürzere Durchlaufzeiten ergibt (unter Durchlaufzeit wird von hier ab die Zeit verstanden, die zwischen der Fertigstellung zweier Teile liegt). Die Differenz der Durchlaufzeiten zwischen den Gruppen beträgt ca. 5 Sekunden (Durchlaufzeit Kontrollgruppe = 64,3s; Durchlaufzeit Interventionsgruppe = 59,5s). Andererseits ergeben sich auch indirekte Potenziale, die Einfluss auf die Zeitersparnis haben. Ein verringerter Ausschuss beispielsweise hat Auswirkungen auf die Anzahl an Teilen, die produziert werden muss, um einen Auftrag fertigzustellen (siehe Abbildung 27). Deswegen soll im Folgenden zunächst eine Möglichkeit zur Errechnung der Zeitersparnis erarbeitet werden. Daraufhin wird die Zeitersparnis beispielhaft anhand der Daten aus dem Experiment berechnet.

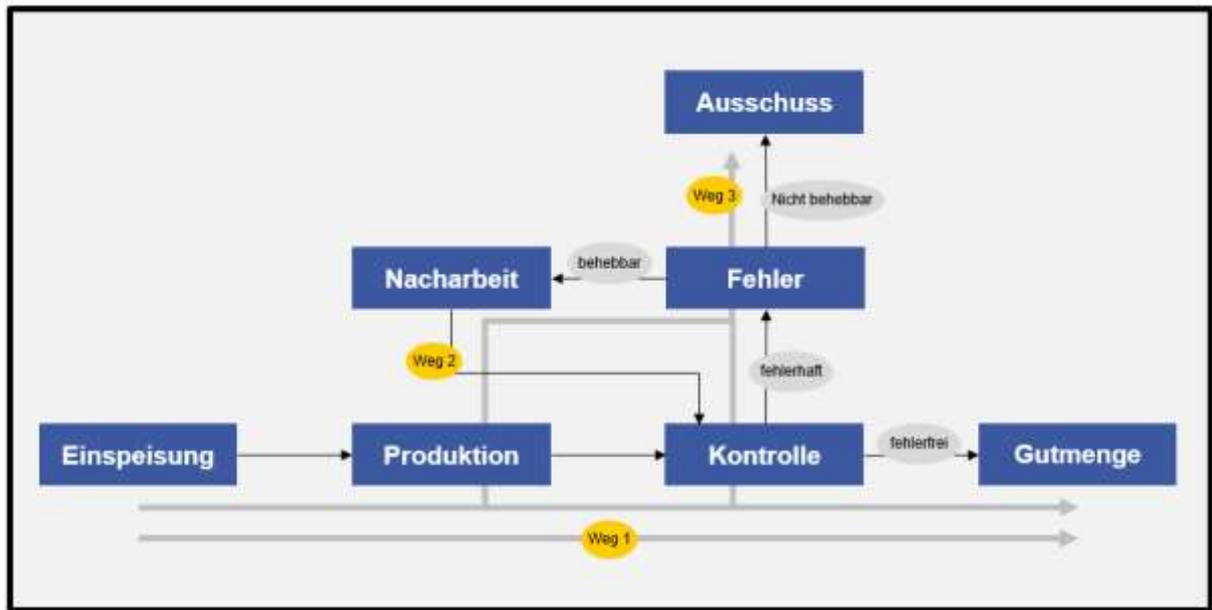


Abbildung 27: Faktoren der Zeitersparnis

Die benötigte Zeit hängt von vier Faktoren ab: Der Durchlaufzeit eines Teiles, der Durchlaufzeit der Nacharbeit, der Fehlerquote und der Ausschussquote. Die Produktion eines Teiles dauert eine gewisse Zeit. Ist das Teil mangelfrei produziert worden, so ist die Produktionszeit gleich der Durchlaufzeit. Nicht alle Teile werden jedoch ohne Fehler produziert.

Die Fehlerquote gibt an, wie viele Teile einen Mangel aufweisen. Je nachdem ob ein Mangel behebbar ist oder nicht, wird das Teil nachbearbeitet oder zu Ausschuss. Die Subtraktion der Ausschussquote von der Fehlerquote ergibt den Anteil der nachzubearbeitenden Teile. Die Durchlaufzeit der Nacharbeit unterscheidet sich von der Durchlaufzeit einer Neuproduktion, da das nachzuarbeitende Teil nicht mehr den kompletten Produktionsprozess durchlaufen muss. Die benötigte Zeit für Nacharbeiten wird deshalb mit der Differenz zwischen Fehlerquote und Ausschussquote \* Durchlaufzeit der Nacharbeit berechnet. Ein produzierter Ausschuss kann nicht weiter verwendet werden. Folglich muss der Ausschuss neu produziert werden. Diese Zeit wird mittels der Multiplikation von Durchlaufzeit und Ausschussquote berechnet. Die Produktionsdauer eines mangelfreien Teils wird daher durch die Summe von Durchlaufzeit, Durchlaufzeit der Nacharbeit \* Nacharbeitsquote und Durchlaufzeit \* Ausschussquote berechnet:

$$\text{Zeit pro Teil aus Gutmenge} = DLZ + DLZ_{NAB} * (FQ - AQ) + DLZ * AQ$$

Wird die Dauer der Produktion einer bestimmten Zielmenge X an Teilen gesucht, wird die Produktionsdauer eines mangelfreien Teils mit X multipliziert:

$$\begin{aligned} \text{Zeit für Produktion von Zielmenge } X &= DLZ * X + DLZ_{NAB} * (FQ - AQ) * X + DLZ * AQ * X \\ &= (DLZ + DLZ_{NAB} * (FQ - AQ) + DLZ * AQ) * X \end{aligned}$$

$DLZ = \text{Durchlaufzeit}$

$DLZ_{NAB} = \text{Durchlaufzeit der Nacharbeit}$

$FQ = \text{Fehlerquote}$

$AQ = \text{Ausschussquote}$

Der Zeitvorteil, der sich im durchgeführten Experiment ergibt, berechnet sich über die Differenz der Zeit pro Teil aus Gutmenge zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe. Da ein nachzubearbeitendes Teil im Schnitt ca. die Hälfte der Produktion erneut durchlaufen musste, zuvor aber noch zurückzubauen war, wird für die Durchlaufzeit der Nacharbeit 70% der Durchlaufzeit einer Neuproduktion angenommen.

$$\text{Zeit/Gutmenge}_{\text{Treatment}} = 59,5s + (59,5s * 0,7) * (0,529 - 0,178) + 59,5s * 0,178 = 84,71s$$

$$\text{Zeit/Gutmenge}_{\text{Kontrolle}} = 64,3s + (64,3s * 0,7) * (0,625 - 0,2) + 64,3s * 0,2 = 96,29s$$

Der reine Zeitvorteil beläuft sich auf ca. 12 Sekunden. Die relative Ersparnis durch echtzeitdatenbasierte Kennzahlen sind knapp 13% gegenüber der Kontrollgruppe.

### 3.2.6 Kosten-Nutzen-Analyse

Das im Antrag zur Kosten-Nutzen-Analyse vorgeschlagene EPA-Modell wurde auch im Projekt genutzt. Zuvor wurde es auf Basis festgelegter Kriterien gemeinsam mit weiteren Methoden bewertet (siehe hierzu auch Arbeitspaket 4: Validierung). Der Umsetzungsaufwand dieser Analyse ist, bei gleichzeitig hoher Praktikabilität, relativ gering. Dabei ist es transparent und skalierbar. Es erlaubt, sowohl monetäre und nicht-monetäre, qualitative und quantitative, sowie direkte und indirekte Faktoren in die Analyse aufzunehmen. Zusätzlich können Wirkungszusammenhänge analysiert und deren Potenzial berechnet werden. Die Vorgehensweise beim EPA-Modell ist folgende:

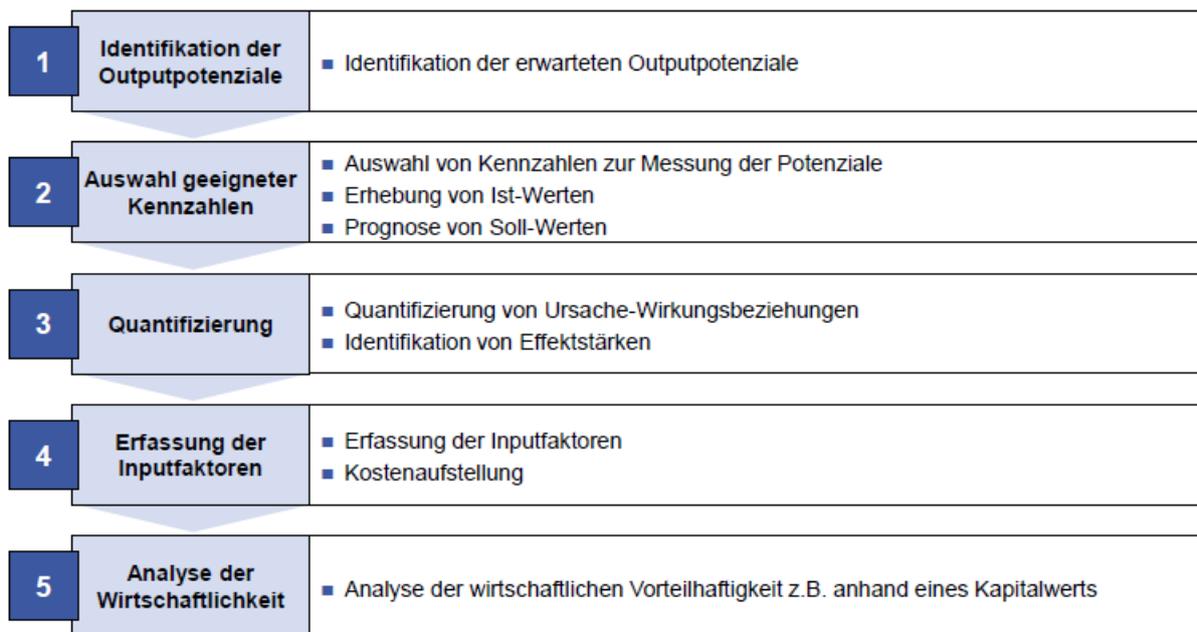


Abbildung 28: Vorgehensweise beim EPA-Modell

#### Identifikation der Outputpotenziale

Zur Wirtschaftlichkeitsbewertung durch das EPA-Modell müssen zunächst alle möglichen Outputpotenziale identifiziert werden. Dazu wird betrachtet, auf welche Outputpotenziale die Investition, direkt oder indirekt, Einfluss haben kann. Outputpotenziale sind hierbei alle positiven wie

negativen Folgen einer Investition. In Abbildung 29 sind diese Faktoren am Beispiel des Experiments aufgezeigt. Die eingezogenen Faktoren sind wie erwähnt exemplarisch. Es sind weitere Faktoren denkbar, wie bspw. die Mitarbeiterzufriedenheit.

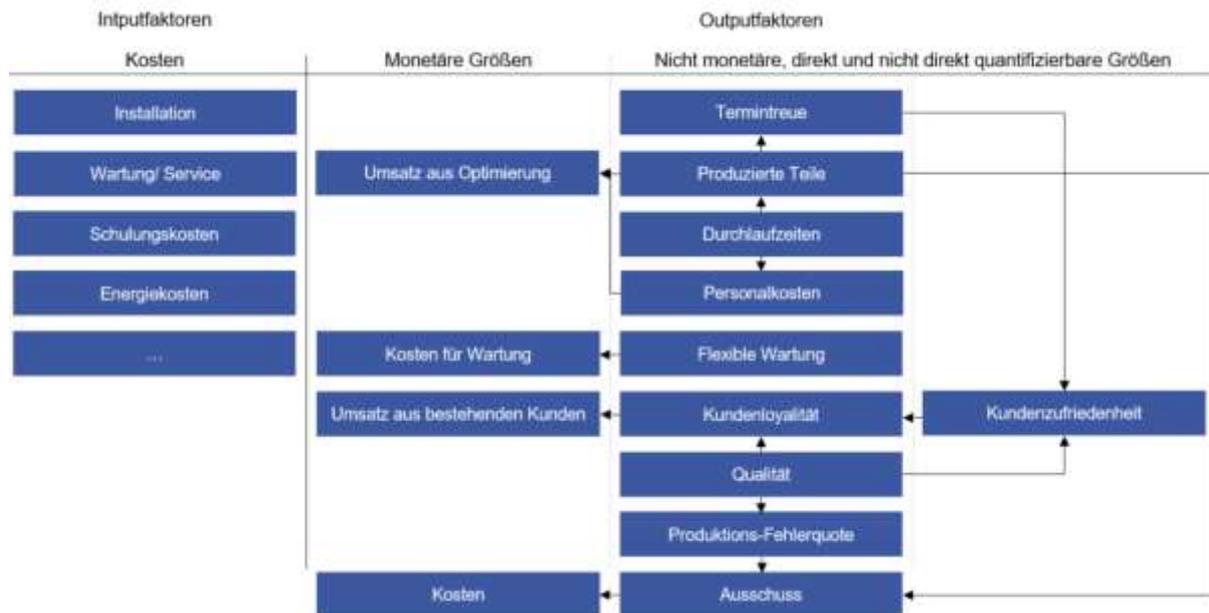


Abbildung 29: Outputpotenziale im EPA-Modell

Dabei sind Ausgangspotenziale zu benennen, die am Start der Kausalkette stehen. Im Experiment stellten sich ein Effekt zwischen Intervention und den beiden Faktoren Durchlaufzeit und Fehlerquote heraus. Da diese beiden Faktoren nicht-monetäre, voneinander unabhängige Potenziale sind, eignen sie sich als Ausgangswerte des EPA-Modells. Ausgehend von diesen Potenzialen werden mögliche Kausalketten gebildet, die letztendlich monetäre Größen beeinflussen.

### Auswahl geeigneter Kennzahlen

Um Potenziale messbar zu machen, werden geeignete Kennzahlen für diese benötigt. Im Falle von monetären Größen ist der Geldwert zu benutzen, für nicht monetäre Größen sind geeignete Kennzahlen zu suchen. Dabei kann oftmals auf Indizes zurückgegriffen werden, die einen Prozentualen Wert darstellen (z.B. Qualitätsquote, Termintreue, Kundenzufriedenheit). Die Ist-Werte müssen allesamt erhoben werden, die Soll-Werte können mittels des EPA-Modells zumindest größtenteils berechnet werden. Lediglich die Soll-Werte der Ausgangskennzahlen müssen quantifiziert sein. In Abbildung 30 sind beispielhaft Kennzahlen aus dem EPA-Modell aufgelistet, das auf Basis des Experiments berechnet wird.

Potenzial	Kennzahl	Einheit	Ist
Durchlaufzeit	Zeit von Beginn bis Ende eines Auftrages	Minuten	2,5
Termintreue	Anteil der pünktlichen Lieferungen	%	60
Qualität	Anteil der fehlerfrei ausgelieferten Teilen	%	90
Wartungskosten	Kosten, die für Wartung anfallen	€	100.000
Fehlerquote	Anteil der fehlerhaften Teile in der Produktion	%	20

Abbildung 30: Potenziale und ihre Kennzahlen

### Quantifizierung

Die Quantifizierung von Ursache-Wirkungszusammenhängen ist substantieller Bestandteil des EPA-Modells. Die Beziehung, oder auch Effektstärke, gibt Auskunft darüber, inwieweit ein nachgestelltes Potenzial vom Vorherigen abhängig ist. Ist beispielsweise die Termintreue der einzige Faktor, der die Kundenzufriedenheit beeinflusst, so wäre die Effektstärke=1 (100%). Um sich der Effektstärke anzunähern, können Fragen aufgestellt werden. Die Beantwortung dieser Fragen hilft dabei, die Effektstärke differenzierter zu betrachten und besser einzuschätzen. Gibt es im Modell komplexere Zusammenhänge, so kann auch über eine detailliertere Betrachtung eine Annäherung an die Effektstärke erfolgen (Abb. 11). Zur Auswertung des EPA-Modells, das auf dem Experiment aufbaut, wurden für alle Wirkungszusammenhänge Leitfragen und mögliche Berechnungen aufgestellt. Den Potenzialen, die am Anfang der Wirkungskette stehen, müssen zudem Soll-Werte zugeordnet werden. Die Soll-Werte aller weiteren Potenziale kann anschließend auf Basis der

- Differenz Soll-Ist-Wert des vorangegangenen Potenzials,
- Des Ist-Wertes des aktuell betrachteten Potenzials und
- Der Effektstärke der Ursache Wirkungsbeziehung

Berechnet werden. Das wird im Folgenden am Beispiel des Einflusses von Durchlaufzeit auf die Anzahl produzierter Teile exemplarisch veranschaulicht.



Der Ist-Wert der Durchlaufzeit vor der Investition, bzw. in der Kontrollgruppe, betrug 64,3 Sekunden. Als Soll-Wert wird die Dauer der Durchlaufzeit an der Interventionsgruppe festgemacht und beträgt 59,5 Sekunden. Der Ist-Wert der Anzahl an produzierten Teilen wird in Unternehmen bekannt sein, für den Fall des Experiments wurde eine maximale Jahressumme berechnet. Von dieser wurde in Anlehnung an die Nichtauslastung, Wartungszeiten, etc. ein geschätzter Betrag abgezogen. Es wird ein hypothetischer Ist-Wert von 220.000 jährlich produzierten Teilen angenommen. Die Berechnung des Soll-Wertes an produzierten Teilen ist Folgende:



$$Soll - Wert(P2) = \Delta_{P1} * Effektstärke * Ist - Wert_{P2} + Ist - Wert_{P2}$$

$$Soll - Wert(P2) = (-0,07) * (-0,2) * 220.000 + 220.000 = 223.680$$

Mittels des ermittelten Soll-Werts werden anschließend die Soll-Werte der nachfolgenden Potenziale, bis hin zu möglichen Umsatzsteigerungen, bestimmt. Diese Berechnung erlaubt es, nicht-monetäre in monetäre Größen zu transformieren.

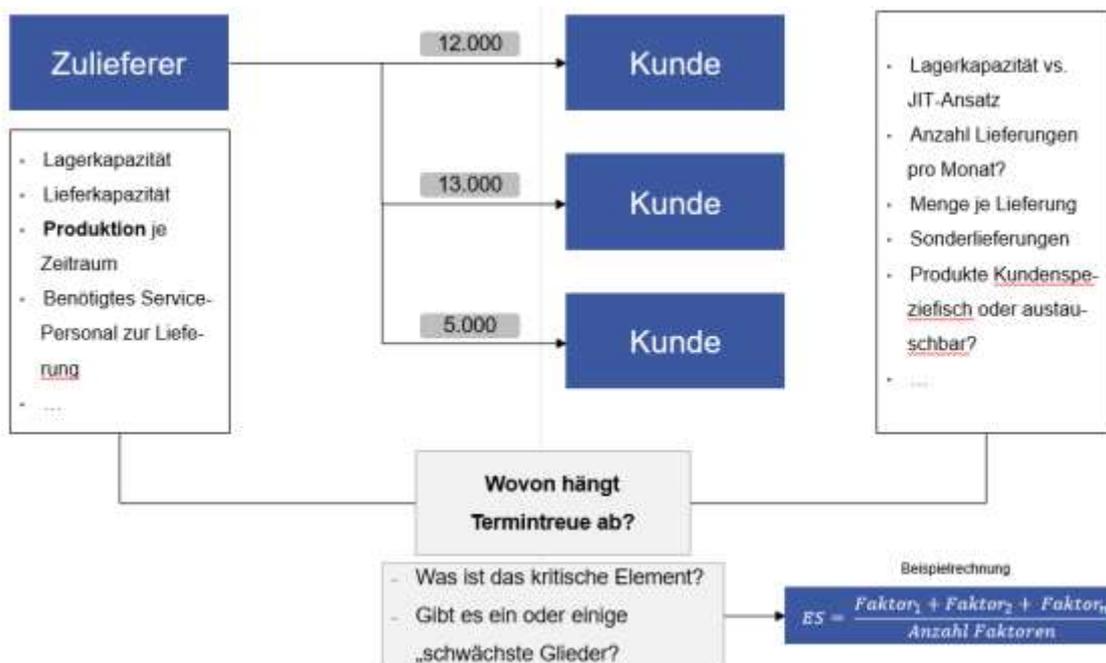


Abbildung 31: Detaillierte Annäherung an die Effektstärke

### Erfassung der Inputfaktoren

Als Inputfaktoren werden alle Zahlungen und Kosten verstanden, die durch die Investition anfallen. Dazu gehören sowohl laufende Kosten, beispielsweise Wartungsausgaben, wie auch einmalige Zahlungen, z.B. die Anschaffungs- und Installationskosten. Um eine Übersicht über mögliche Inputfaktoren zu erhalten, eignet sich ein Vorgehen in Anlehnung an den Life-Cycle-Cost-Ansatz. Abbildung 32 zeigt mögliche Kostenpunkte auf. Die Auflistung ist nur exemplarisch und muss auf den jeweiligen Fall angepasst werden.



Abbildung 32: Kostenpunkte

### Analyse der Wirtschaftlichkeit

Die Grundannahme in diesem Fall war, dass ein komplett neues Echtzeitdaten-Reportingsystem installiert wird und deshalb auch Kosten der Installation, Wartung, Schulung etc. anfallen. Für die Wirtschaftlichkeitsbeurteilung werden alle Outputpotenziale berechnet. Die resultierenden, monetären Potenziale werden den Kosten gegenübergestellt. Dabei ist zu beachten, dass der Berechnung Wahrscheinlichkeitsverteilungen zugrunde liegen. Mittels einer Monte-Carlo-Simulation auf Basis von 1000 Wiederholungen wird ein Erwartungswert und die Standardabweichung berechnet. Das Experiment liefert Produktionskennzahlen, wie beispielsweise durchschnittliche Durchlaufzeiten und Fehlerquoten. Einige Potenziale, die zur Berechnung der Kosten und Nutzen von Nöten sind, mussten hingegen auf Basis von Berechnungen und Wirkungszusammenhängen geschätzt werden.

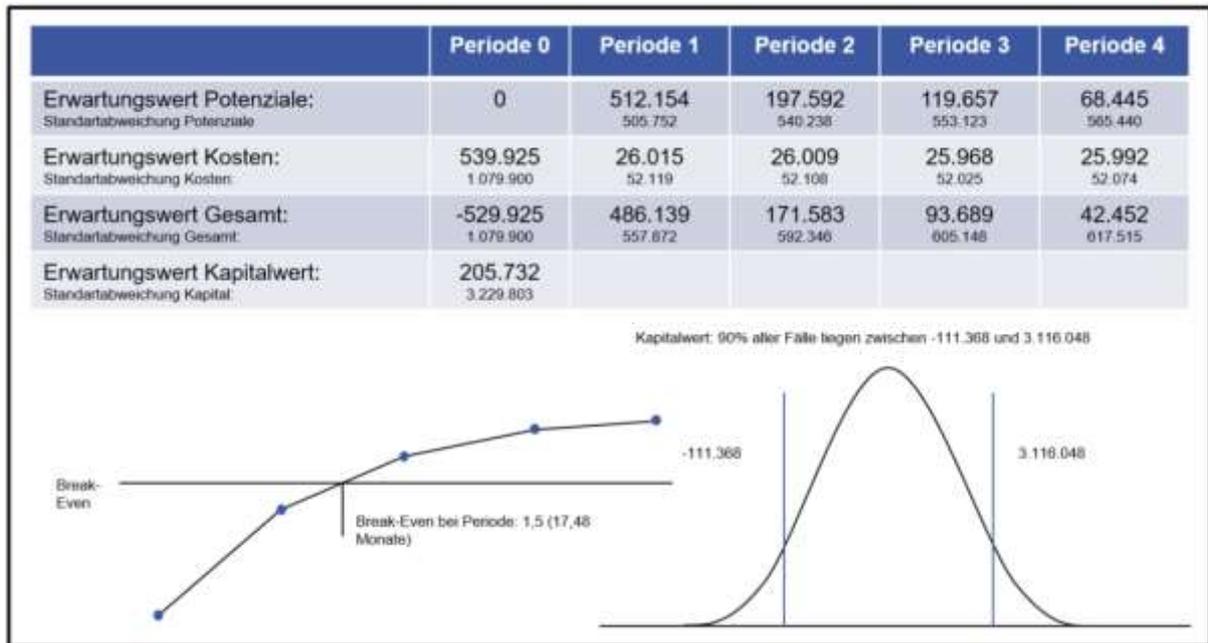


Abbildung 33: Ergebnis des EPA-Modells

Die beispielhafte Kosten-Nutzenanalyse ergibt einen Kapitalwert von 205.000€. Der Break-Even Point ist nach 18 Monaten erreicht (siehe Abbildung 33). Der Umsatz aus Optimierungspotenzialen steigt durch die Investition in echtzeitdatenbasierte Kennzahlen im ersten Jahr um 10.000€ (siehe folgende Abbildung). Diese Werte unterliegen Zufallsschwankungen.

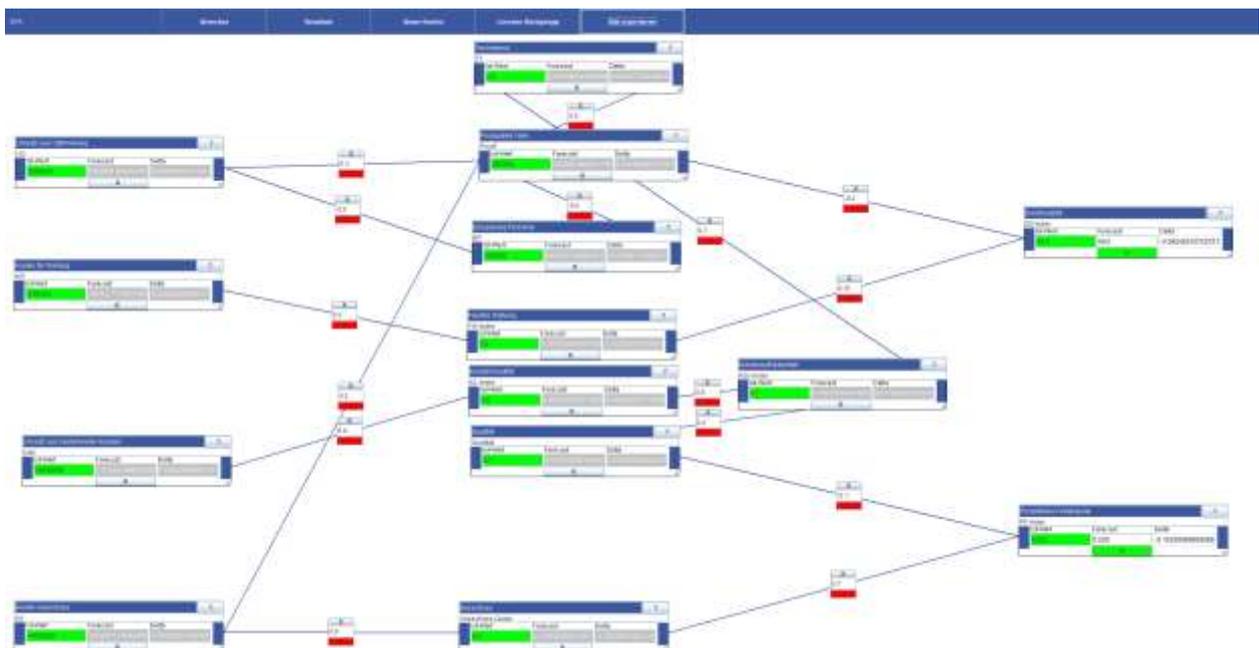


Abbildung 34: Beispielhafte Kalkulation des EPA-Modells

Die im Folgenden dargestellte Kalkulation basiert auf der Annahme, dass nicht ein gesamtes echtzeitfähiges Reportingsystem installiert werden muss, vielmehr zeigte s nur Effekte wenn

echtzeitdatenbasierte Kennzahlen in ein bestehendes Reportingsystem integriert werden. Weitere Annahmen wurden den vorherigen Untersuchungen entnommen, bspw. hinsichtlich wie die echtzeitdatenbasierten Kennzahlen wirken.

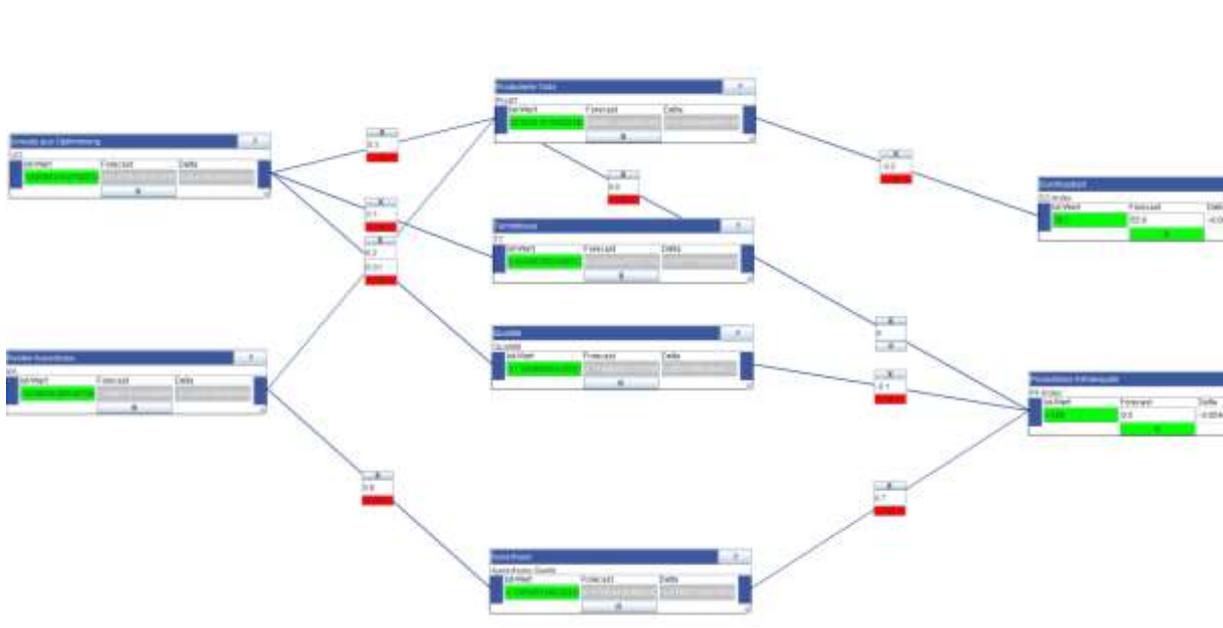


Abbildung 35: Weitere beispielhafte Kalkulation

### 3.2.7 Benötigte und eingesetzte Ressourcen

Entsprechend des Finanzierungsplans wurde die Forschungsarbeit innerhalb dieses APs durch wissenschaftliches Personal durchgeführt. Seitens der Forschungsstellen wurden dafür 11 Personenmonate (PM) aufgewendet. Von diesen 11 PM entfielen 8 PM auf das IPRI und 3 PM auf das wbk.

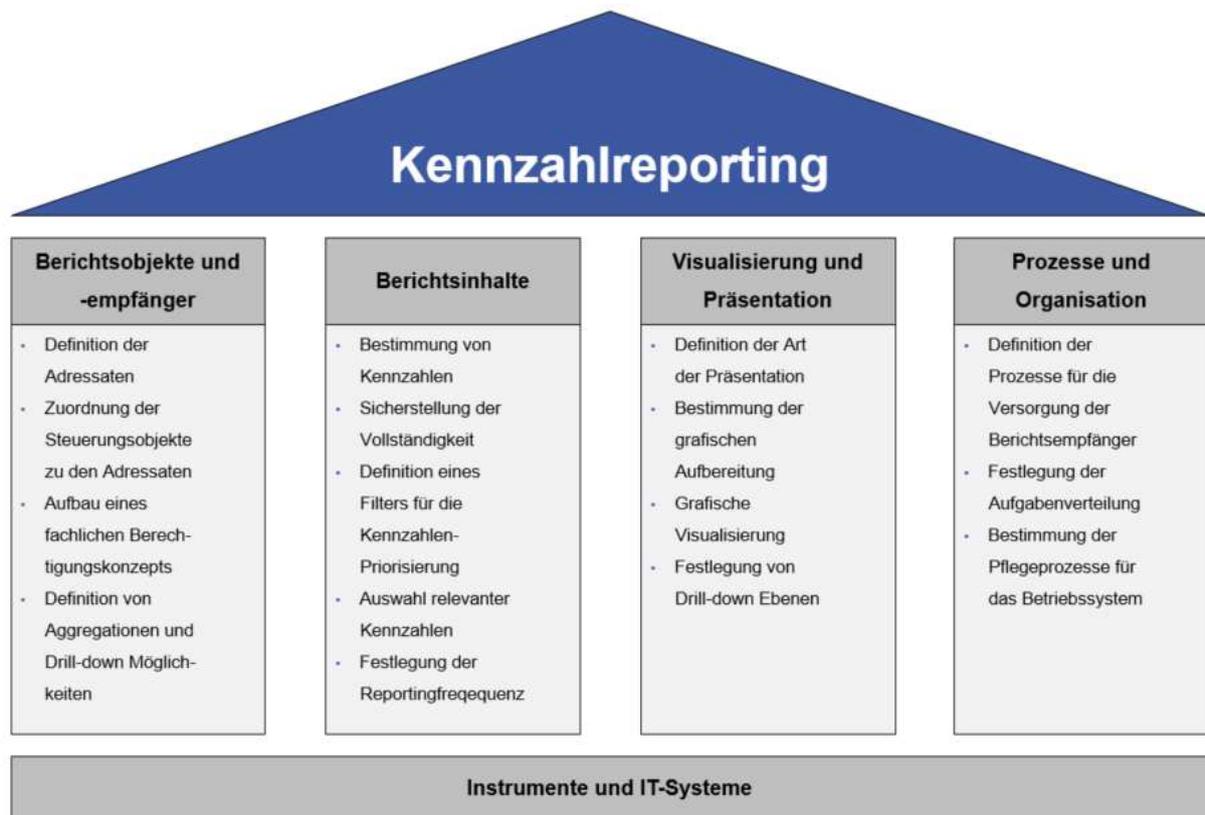
### 3.3 Arbeitspaket 3: Integration Kennzahlen in Echtzeit in Shopfloor-Reporting

Die folgenden Ergebnisse waren Gegenstand dieses Arbeitspakets:

Geplante Ergebnisse lt. Antrag	Erzielte Ergebnisse
Katalog von Integrationsmöglichkeiten von echtzeitbasierten Kennzahlen in das bestehende Shopfloor-Reporting mittelständischer Produzenten. (Teilziel 3)	Katalog von Integrationsmöglichkeiten von echtzeitbasierten Kennzahlen in das bestehende Shopfloor-Reporting mittelständischer Produzenten. (Teilziel 3)

#### 3.3.1 Reportingsystem allgemein

Zur Generierung des Nutzens aus echtzeitdatenbasierten Kennzahlen muss auf dem Shopfloor ein geeignetes Reportingsystem installiert sein. Reporting, oder Reportingsystem, bezeichnet „Informationsübermittlungsvorgänge zwischen Stellen der Informationsentstehung und der Informationsverwendung“ (Horváth 2008). Geeignet ist ein Reportingsystem dann, wenn es die vier folgenden Anforderungen erfüllt (siehe Abbildung 36):



**Abbildung 36: Dimensionen des Reportingsystems**

- Ein Reportingsystem muss die Kennzahlen dem richtigen Empfänger zur Verfügung stellen.
- Die Inhalte des Reportings müssen für den Empfänger relevant und vollständig sein.
- Die Visualisierung der Inhalte muss eine unkomplizierte und aufwandsarme Analyse gewährleisten.
- Die zugehörigen Prozesse und Organisation müssen definiert sein.

### **3.3.2 Anpassungsmöglichkeiten für Reportingsysteme**

Wie zuvor beschrieben bestehen Reportingsysteme aus grundsätzlich vier Säulen. Im Folgenden sollen Anpassungsmöglichkeiten zur Entwicklung eines echtzeitdatenbasierten Reportings innerhalb der vier Säulen aufgezeigt werden. Es werden Anpassungen in folgenden Bereichen aufgezeigt:

- Berichtsinhalte
- Berichtsempfänger
- Technische und organisatorische Anforderungen.

Die Anpassungen wurden auf Basis des Fragebogens im Rahmen des Experiments und auf Basis von Interviews und Workshops erarbeitet.

### **3.3.3 Anforderungen hinsichtlich Kennzahlen (Berichtsinhalte)**

Da sich beim Versuch die Probleme mit Kennzahlen zu operationalisieren, in der Zusammenarbeit mit den Unternehmen herausgestellt hat, dass eine Operationalisierung sehr unternehmensspezifisch vorgenommen werden muss, wurden an dieser Stelle Anforderungen an Kennzahlen

definiert. Mithilfe dieser Anforderungen kann die Güte von Kennzahlen, nicht zuletzt in Bezug auf die Operationalisierung von den oben ausgearbeiteten Problemen, bewertet werden. Es handelt sich hierbei um die folgenden Anforderungen:

- **Validität:** Die Validität ist eines der wichtigsten Kriterien für Kennzahlen. Sie umfasst die Frage danach, ob auch tatsächlich das gemessen wird, was auch gemessen werden soll. Im vorliegenden Fall geht es also darum, ob die Kennzahl das Problem erfasst, das gelöst werden muss und einer bestimmten Abweichung zugrunde liegt.
- **Objektivität:** Das Kriterium der Objektivität hinterfragt die Verständlichkeit der Kennzahl für Dritte.
- **Reliabilität:** Reliabilität meint die Zuverlässigkeit der Messung. Die hier zu stellende Frage lautet: Führt eine Wiederholung der Messung zum gleichen Ergebnis?
- **Beeinflussbarkeit:** Damit wird hinterfragt, ob die Kennzahl überhaupt beeinflussbar ist. Die Frage lautet in diesem Fall: Können Maßnahmen ergriffen werden, die zu einem veränderten Wert der Kennzahl führen können, sodass die Kennzahl damit auch steuerbar ist? Im vorliegenden Fall ist es von großer Bedeutung, ob der Einfluss auch von dem jeweiligen Berichtsempfänger beeinflusst werden kann.
- **Manipulationsfreiheit:** Die zu stellende Frage, um die Manipulationsfreiheit einer Kennzahl zu hinterfragen lautet: Kann die Kennzahl nur so beeinflusst werden, dass es für Dritte nachvollziehbar ist?
- **Wirtschaftlichkeit:** Ein weiteres sehr wichtiges Kriterium ist die Wirtschaftlichkeit. Das bedeutet, die Kennzahl wird danach beurteilt, ob ihr Nutzen die Kosten ihrer Erhebung übersteigt

### Grundsätzlicher Nutzen echtzeitdatenbasierter Kennzahlen als Berichtsinhalte

Die Ausgestaltung des Reportingsystems steht in direkter Beziehung zur Problemidentifikation. Das Ziel eines Reportingsystems besteht darin, Kennzahlen gut aufbereitet dem entsprechenden Produktionsbereich zu präsentieren, damit Probleme identifiziert, analysiert und behoben werden können. Dabei sind die Dimensionen der Berichtsempfänger und -inhalte entscheidend für die Analysequalität. Die Relevanz der Daten steigt mit der schnelleren Verfügbarkeit und durch die Selektion der Empfänger. Eine trennscharfe Differenzierung zwischen Reportingsystem und Problemidentifikation ist mit gegebenem Versuchsaufbau und Fragebogen allerdings nicht gegeben, weshalb im Folgenden nur die Beziehung zwischen echtzeitdatenbasierten Kennzahlen und einer Verbesserung des Reportingsystems bewertet wird.



Nach Ende des Experiments erhielten die Teilnehmer einen Fragebogen. Neben Fragen zu Geschlecht, Alter, Bildungsgrad und Berufszugehörigkeit bestand der Fragebogen aus 41 weiteren Items, die zum Großteil den empfundenen Nutzen der berichteten Kennzahlen erheben. 37 dieser Items waren nach Likert skaliert. Dabei standen sieben Auswahlmöglichkeiten zu Verfügung, wobei die Antwortmöglichkeiten „trifft voll und ganz zu“ mit 1 und „trifft ganz und gar nicht zu“ mit 7 codiert wurden. Durch die Auswertung dieses Fragebogens sollen Entscheidungsfindungen der Probanden nachvollzogen werden, um Aufschluss über deren Problemidentifikationsprozess zu

erhalten. Aufgrund der Beziehung zwischen Reporting- und Analysequalität, werden diese Punkte nicht getrennt voneinander untersucht. Die Auswertung wird mittels einer ANOVA durchgeführt. Es wird betrachtet, ob Gruppenunterschiede bezüglich einzelner Fragen vorzufinden sind. Die Voraussetzungen zur Durchführung einer ANOVA wurden geprüft. Neben der Varianzanalyse werden ebenfalls die Mittelwerte des Frageitems untersucht, um generelle Effekte, die durch das Reporting von Kennzahlen auftreten, identifizieren zu können.

Um eine Qualitätsverbesserung feststellen zu können, werden Frageitems ausgewählt, die Rückschlüsse auf Kennzahlen und den persönlich empfundenen Nutzen zulassen. Diese Frageitems werden dann auf Unterschiedlichkeiten zwischen der Interaktions- und Kontrollgruppe, oder zumindest auf Mittelwertstendenzen untersucht. Solche Fragen sind zum Beispiel „Durch das Kennzahl-Reporting konnte ich die Produktionsprozesse in jedem Moment nachvollziehen“ und „Der Zeitvorteil bei der Problemerkennung schätze ich hoch ein“. Sind Gruppenunterschiede, oder zumindest Mittelwertstendenzen festzustellen, so kann daraus eine Qualitätsverbesserung abgeleitet werden.

Bei fünf Frageitems lassen sich zwischen den Gruppen statistisch signifikante Unterschiede finden. Diese Fragen lauteten:

- „Ich konnte entscheiden, wann ein Auftrag abgebrochen wird“ (Cohen's  $f = 0.45$ ).
- „Der Zeitpunkt der Kennzahlerhebung war identisch mit dem Zeitpunkt des Reportings“ (Cohen's  $f = 0.55$ ).
- „Ich konnte leicht Entscheidungen auf Basis der Kennzahlen treffen“ (Cohen's  $f = 0.55$ ).
- „Ich habe immer alle Kennzahlen bei meiner Entscheidungsfindung berücksichtigt“ (Cohen's  $f = 0.52$ ).
- „Meine Entscheidungen wären gleich gewesen, wenn mir weniger Kennzahlen reportet wären“ (Cohen's  $f = 0.46$ ).

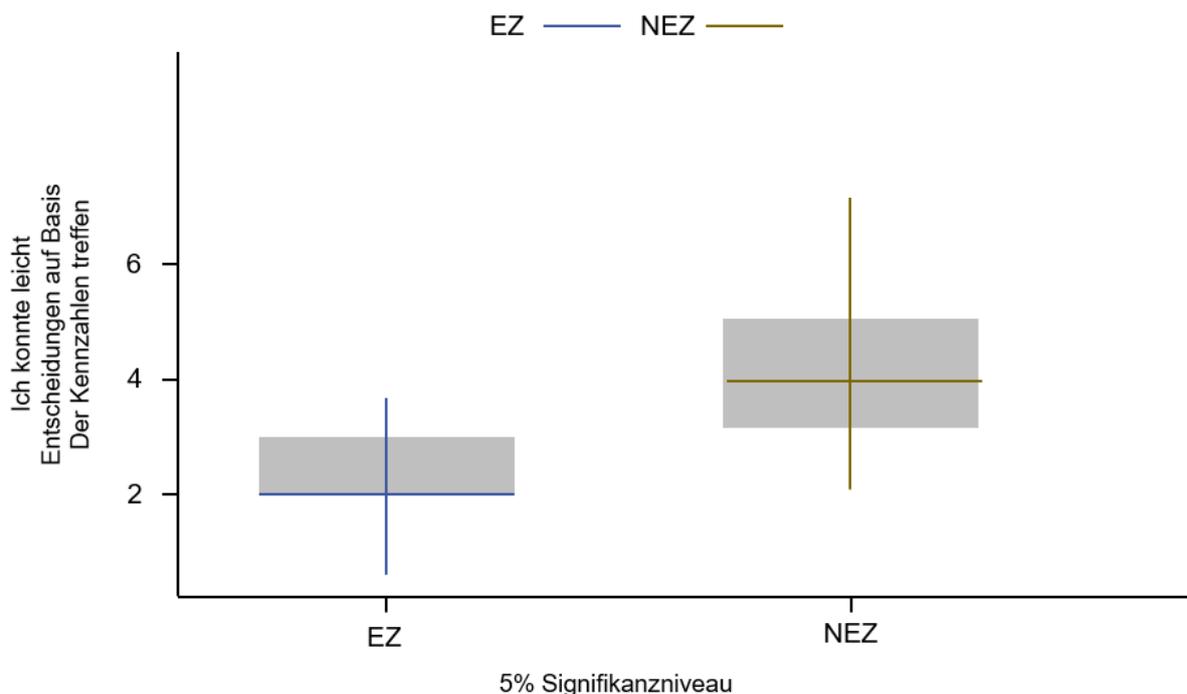


Abbildung 37: Gruppenunterschiede

Der Problemidentifikationsprozess umfasst sowohl die Kenntnis über ein Problem, wie auch über dessen Ursache. Beide Gruppen haben die Kennzahlen zur Entscheidungsunterstützung herangezogen und konnten mit deren Hilfe einen detaillierten und präzisen Überblick über die Produktionsleistung gewinnen (siehe Abbildung 38). Dabei fiel es der Interventions-Gruppe leichter Entscheidungen auf Basis der Kennzahlen zu treffen. Das impliziert eine Verbesserung des Reportingsystems oder der Problemidentifikation.

Ob beim Einsteuern neuer Aufträge auf die Kennzahlen geachtet wurde, scheint Typabhängig zu sein, da beide Gruppen sich bei diesem Frageitem im neutralen Bereich wiederfinden. Allerdings hat die Interventionsgruppe bei der Entscheidungsfindung eher auf die Kennzahlen geachtet als die Kontrollgruppe. Auch die Menge an Kennzahlen war in der Kontrollgruppe von geringerer Wichtigkeit, da ihre Entscheidungen auch mit weniger Kennzahlen die gleiche gewesen wären. Das deutet auf ein verbessertes Reportingsystem hin.

Auch die Möglichkeit, Produktionsprozesse mit Hilfe der Kennzahlen nachzuvollziehen, wurde von den Probanden unterschiedlich, im Mittel eher neutral bewertet. Der Zeitvorteil bei der Problemerkennung schätzen beide Gruppen als hoch ein und konnten dementsprechend schneller auf Probleme und Störungen im Produktionsprozess reagieren und Gegenmaßnahmen einleiten. Hier ist eine Verbesserung des Reportingsystems oder der Problemidentifikation erkennbar.

Geteilter Meinung waren die Probanden über die Auswirkungen der Kennzahlen, bzw. ihrer Gegenmaßnahmen. Bei den Fragen, ob sie durch die Analyse der Kennzahlen Probleme und Störungen beseitigen konnten und ob durch ihre Gegenmaßnahmen die Produktivität gesteigert wurde, positionierten sich beide Gruppen im Mittel neutral.

Unterschiedlich bewerteten die Gruppen die Anforderungen, denen sie ausgesetzt waren. Die Interventionsgruppe fühlte sich weniger überfordert als die Kontrollgruppe. Worauf das zurückzuführen ist, kann nicht weiter untersucht werden. Dennoch scheint die Nutzung von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen das Reportingsystem zu verbessern. Zumindest insofern, dass die sofortige Verfügbarkeit der Daten eine Entscheidungsfindung erleichtert und Druck von den Arbeitern, bzw. Probanden nimmt. Bei dieser Analyse sind Limitationen zu beachten.

Frage	Total	EZ	NEZ	SIG
Zur Entscheidungsunterstützung konnte ich KZ heranziehen.	1,7	1,3	2,1	0,22
Die reporteten Kennzahlen gaben mir einen detaillierten und präzisen Überblick über die Produktionsleistung	2,5	2,4	2,5	0,88
Ich konnte leicht Entscheidungen auf Basis der Kennzahlen treffen	3,1	2,4	3,9	0,05
Ich habe beim Einsteuern eines neuen Auftrags auf die Kennzahlen geachtet	4,2	3,8	4,5	0,43
Ich habe immer alle Kennzahlen bei meiner Entscheidung berücksichtigt	4,8	3,9	5,7	0,05
Meine Entscheidung wäre gleich gewesen, wenn mir weniger Kennzahlen reportet wären	3,2	3,9	2,6	0,1
Durch das KZ-Rep. Konnte ich die Produktionsprozesse in jedem Moment nachvollziehen	4,0	3,5	4,4	0,23
Der Zeitvorteil bei der Problemerkennung schätze ich hoch ein.	2,5	2,4	2,7	0,68
Durch das KZR konnte ich schnell auf Probleme/Störungen in den Prozessen reagieren.	3,4	3,0	3,8	0,35
Aufgrund der reporteten Kennzahlen konnte ich Maßnahmen zur Problemlösung ergreifen	2,8	2,3	3,3	0,21
Durch die Analyse der KZ konnte ich Probleme/ Störungen beseitigen	4,0	3,7	4,3	0,37
Durch meine Maßnahmen konnte ich die Produktivität der Linie steigern	3,8	3,6	4,0	0,58
Während der Entscheidungssituation fühlte ich mich überfordert	3,8	4,4	3,1	0,14

Abbildung 38: Frageitems mit Relevanz für das Reporting

### Kennzahlenauswahl und Dashboard-Erstellung

Um das Modul effektiv nutzen zu können, müssen zuerst die Kennzahlen bestimmt werden, die überwacht werden sollen. Dabei ist einerseits möglich, direkt aus verschiedenen Standard-Kennzahlen auszuwählen. Diese werden von den berechtigten Nutzern definiert und ermöglichen es, nicht nur den Aufwand der Erstellung zu reduzieren, sondern auch verschiedene Standorte und Bereiche vergleichbarer zu machen. Darüber hinaus sollte es möglich sein über eine Suchfunktion nach bereits existierenden Kennzahlen zu suchen, wodurch der bereichsübergreifende Austausch gefördert wird. Zusätzlich zu diesen Möglichkeiten sollte es jederzeit für Führungskräfte möglich sein auch neue Kennzahlen zu definieren, womit unter anderem die Anforderung hinsichtlich der Individualisierbarkeit erfüllt wird. Das Anlegen einer neuen Kennzahl umfasst die Angabe einer Bezeichnung sowie einer kurzen Beschreibung. Wichtig dabei ist, dass bei der Beschreibung einer Kennzahl auch deren Steuerungsrelevanz klar hervorkommt, da die Beeinflussbarkeit der Kennzahlen entscheidend für das Gefühl von Eigenverantwortung und Identifikation ist (Suzaki 1993). Neben der Bezeichnung und Beschreibung muss auch eine Zieldimension wie z. B. Produktivität, Qualität, Liefertreue, Kosten und Sicherheit zugeordnet werden.

Darüber hinaus umfasst die Kennzahlenerstellung das Hinzufügen der mathematischen Definition und die Auswahl der Daten, die für die Berechnung der Kennzahl notwendig sind. Neben der Auswahl von verfügbaren Daten aus den verschiedenen Datenquellen ist ebenso ein manueller Datenimport möglich. Erstellte Kennzahlen können als sogenannte Widgets aus einem Baukasten ausgewählt und auf einem Kennzahlen-Dashboard platziert werden. Die Größe und Platzierung der Widgets ist dabei individuell konfigurierbar. Beim Hinzufügen einer Kennzahl zu einem Dashboard muss die standardmäßige Detailebene der Ansicht festgelegt werden. Die Auswahl umfasst dabei einzelne Arbeitsstationen, verschiedene Teilbereiche, ganze Produktionsbereiche oder eine werksübergreifende Ansicht - je nach Verfügbarkeit der Daten. Außerdem muss der

Betrachtungszeitraum bestimmt und die Visualisierungsart festgelegt werden. Bei der Art der Visualisierung ist es wichtig, diejenige auszuwählen, in der die Kennzahl am besten und verständlichsten dargestellt wird (Peters 2009). Zur Visualisierung können sowohl verschiedene Standard-Diagramme wie z.B. Balken-, Linien- und Kreisdiagramme sowie auch einfache Listen ausgewählt als auch eigene Darstellungen in einer Art "Graph Builder" erstellt werden, um die Gestaltung so flexibel wie möglich zu machen. Darüber hinaus können Kennzahlen wie die Statusübersicht von Anlagen ebenfalls auf einem Fabriklayout angezeigt werden.

Zur effizienten Überwachung können einer Kennzahl außerdem ein Soll-Wert sowie Ober- und Untergrenzen zugewiesen und zugehörige Regeln festgelegt werden. Bei deren Eintreten werden die Kennzahl automatisch hervorgehoben, Warnungen dargestellt oder Eskalationsprozesse eingeleitet. Im Rahmen der Kennzahlendefinition können im System auch Aggregationsregeln hinterlegt werden. Diese umfassen z.B. die Addition von Daten bzw. das Zusammenfügen von Informationen, die Ermittlung von Mittelwerten sowie die Kombination einzelner Status in einer Anzeige, in der der schlechteste Status der einzelnen den Gesamtstatus vorgibt. Die Definition zusätzlicher Aggregationsregeln sowie das Bearbeiten der festgelegten Regeln ist jederzeit möglich. Die erstellten Dashboards können gespeichert und im Sinne des Austauschs öffentlich oder nur mit ausgewählten Nutzern geteilt werden. Durch die Option mehrere Dashboards zu erstellen und diese zu teilen, können auch Dashboards für die zentrale Nutzung auf dem SF zusammengestellt sowie bei Bedarf die SF-Mitarbeiter bei der Erstellung ihrer Dashboards unterstützt werden. Letzteres wird auch von Schuh et al. (2014) vorgeschlagen. Darüber hinaus kann ein Dashboard als Favorit ausgewählt werden, wodurch dieses direkt auf der Startseite des Moduls des jeweiligen Nutzers angezeigt wird.

## **Unterstützung der Kennzahlenerfassung**

Um die Potentiale der Automatisierung der Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung von Kennzahlen zu nutzen, aber gleichzeitig auch die Identifikation der SF-Mitarbeiter mit den Kennzahlen und den Bezug zu den eigenen Leistungen sicherzustellen, vereint das Konzept idealerweise die mitarbeiterbasierte und die automatisierte, systembasierte Datenerfassung. So existieren einerseits Daten und Kennzahlen, die direkt automatisiert durch die Arbeit mit dem System selbst oder über Schnittstellen zu anderen Systemen erfasst, verarbeitet und ggf. mit anderen Daten kombiniert werden. Beispiele für diese Art von Erfassung stellen die Produktivität, die Liefertreue, die Ausbringung sowie der Maschinenstatus und die -stillstände dar. In diesen Fällen werden die Mitarbeiter je Einstellung entweder bei Abweichungen zum Soll oder einer anderen Regelung vom System dazu aufgefordert, die zugehörigen Ursachen anzugeben. Dafür stehen je nach Kennzahl unterschiedliche Gründe in einer Dropdown-Liste zur Verfügung, die von den Führungskräften angelegt sowie auch bearbeitet werden kann.

Diese Informationsanreicherung durch die SF-Mitarbeiter ermöglicht es, Kennzahlenentwicklungen direkt mit Ursachen zu verknüpfen, wodurch detaillierte Analysen durchgeführt und schneller die richtigen Handlungsnotwendigkeiten abgeleitet werden können. Zusätzlich dazu können zur Detaillierung der Abweichungen je nach Bedarf auch das zeitliche Ausmaß einer Ursache (sog. Verlustzeiten) angegeben werden. Durch die Integration des An- und Abmeldens von Teilschritten der Auftragsbearbeitung durch die Mitarbeiter können zudem auch die notwendigen Daten für die Durchlaufzeiten, Auftragsbearbeitungszeiten an bestimmten Arbeitsschritten, Bestände zwischen Stationen sowie Taktüberschreitungen automatisch mithilfe des Systems aufgenommen werden. Außerdem haben die Mitarbeiter jederzeit die Möglichkeit als Ergänzung zur Auswertung einer Kennzahl, welche in ihrem Verantwortungsbereich liegen, Kommentare in Textform hinzu-

zufügen. Die hinzugefügten Informationen werden dann mit den spezifischen Datenpunkten verknüpft und können von den anderen Nutzern in der Übersicht einer Kennzahl eingesehen werden. Neben den systembasierten Kennzahlen existieren außerdem solche Kennzahlen und Daten, die direkt von den Mitarbeitern erfasst werden.

Der Prozess wird dabei durch das digitale System unterstützt. Um die Datenqualität der erfassten Daten zu gewährleisten, führt das System wie von Kletti (2015) empfohlen, direkt Plausibilitätsprüfungen durch und gibt damit dem Mitarbeiter die Möglichkeit, die Eingabe direkt anzupassen. Ein Beispiel für die mitarbeiterbasierte Erfassung stellt das Arbeitssicherheitskreuz und die zugehörige Unfalls-Tabelle auf unterster Hierarchieebene dar, bei der in der täglichen Stehung der Status auf grün (kein Unfall), gelb (Beinahe-Unfall) oder rot (Unfall) gesetzt wird. Bei den letzten Beiden erscheint automatisch die Unfallstabelle, in der der (Beinahe-)Unfall eingetragen werden muss. Für die höheren Ebenen können diese Informationen durch festgelegte Regeln automatisch aggregiert werden.

Unter die mitarbeiterbasierte Kennzahlenerfassung fällt außerdem auch die Erfassung von Problemen bspw. im Bereich Qualität oder Fehlteile und die manuelle Aufnahme von Störungen. Die Erstellung einer Q-Meldung erfolgt über den Hinzufügen-Button in der Menüleiste des Dashboards und der Auswahl des Unterpunktes "Qualitätsproblem". Danach öffnet sich ein Fenster, in dem der Fehler beschrieben werden muss. Die Fehlerbeschreibung kann zudem mit Foto- und Videoaufnahmen ergänzt werden, die außerdem mit Markierungen versehen werden können. Darüber hinaus müssen der betroffene Auftrag und die Materialnummer sowie der Verursacher ausgewählt werden. Letzteres erfolgt zuerst durch die Auswahl "intern" oder "extern" und dann aus einer zusätzlichen Liste der infrage kommenden Verursacher. Außerdem muss aus einer vordefinierten Liste, erstellt durch die berechtigten Nutzer die Ursachenkategorie des Qualitätsfehlers ausgewählt sowie angegeben werden, ob es sich um ein Ausschussteil handelt oder Nacharbeiten durchgeführt werden.

Der Ersteller der Q-Meldung wird automatisch vom System übertragen. Durch die Handhabung eines Nacharbeitsauftrags wie ein normaler Auftrag kann auch die Nacharbeitszeit automatisch erfasst werden. Zusätzlich dazu ist es möglich, einer Q-Meldung direkt Sofortmaßnahmen hinzuzufügen, die direkt in der Meldung hinterlegt werden. Auch Fehlteile können durch die SF-Mitarbeiter aufgenommen werden. Dabei läuft die Erstellung sehr ähnlich zur Q-Meldung ab, wodurch auch die Dialogkriterien Lernförderlichkeit und Erwartungskonformität erfüllt werden. Durch Auswahl des Unterpunktes "Fehlteil" des Hinzufügen-Buttons öffnet sich der Dialog zur Angabe des Fehlteils, in der die Teilebezeichnung und Materialnummer, der Lieferant, die durch das Fehlteil betroffene Station und die entstehenden Verlustzeiten angegeben werden können. Das ursprüngliche sowie neue Lieferdatum sowie der entstandene Lieferverzug wird entweder direkt aus SAP übernommen oder manuell von den Mitarbeitern hinzugefügt. Während bei der Erfassung in Teilen noch Input durch die Nutzer gefordert wird, übernimmt das System die Verarbeitung und Visualisierung automatisch. Dadurch entfallen sowohl einige Vorbereitungsaufwände als auch Papierausdrucke. Die gewonnene Zeit kann dann bspw. alternativ auf Analyse- und Verbesserungstätigkeiten verwendet werden.

## **Echtzeitübersicht und Durchführung individueller Analysen**

Auf den erstellten Dashboards kann mithilfe der ausgewählten Kennzahlen jederzeit der aktuelle Status eingesehen werden. Mithilfe der definierten Regeln werden Abweichungen deutlich sichtbar hervorgehoben oder Warnungen eingeblendet. Die Mitarbeiter auf dem SF bekommen über ihre mobilen Endgeräte nur die für ihre Arbeit notwendigen Kennzahlen angezeigt, um die Informationsanzeige auf das Wesentliche zu reduzieren. Durch das System werden in der Ansicht

positive Trends, dargestellt durch einen nach oben zeigenden grünen Pfeil, und negative Trends, dargestellt durch einen nach unten zeigenden roten Pfeil, visualisiert. Werden vorgegebene Soll-Werte in ihrem Verantwortungsbereich nicht eingehalten, wird der jeweilige SF-Mitarbeiter vom System informiert und dazu angehalten, Abweichungsgründe zu vermerken. In der Übersicht der jeweiligen Kennzahl werden durch Antippen der einzelnen Datenpunkte die hinzugefügten Abweichungsursachen oder Kommentare sowie der jeweilige Ersteller mit Kurzzeichen sichtbar. Mithilfe der Dashboards wird den Nutzern außerdem die Durchführung unterschiedlicher Analysen ermöglicht. Sind aufgrund der Datenbasis bspw. detailliertere Ansichten möglich, kann in verschiedene Abschnitte hineingezoomt werden.

Diese Drill-Down-Möglichkeit ist bereits im Bereich der Dashboard- und MES-Tools weit verbreitet (Kletti 2015). Ein Beispiel hierfür stellt die Übersicht der Produktivität im Wochenverlauf dar, in der durch Antippen des Balkens eines bestimmten Tages die jeweiligen Einzelwerte im Zeitverlauf eingesehen werden können. Bei Bedarf können zudem der Zeitraum der Auswertung verändert und die Daten nach bestimmten Selektionskriterien (z.B. Früh-/Spätschicht, bestimmte Stationen) gefiltert werden. Darüber hinaus können mithilfe des Systems individuelle ad hoc Analysen durchgeführt werden, wie z.B. die Auswertung der Häufigkeit von Abweichungsursachen bestimmter Kennzahlen sowie Störungsgründen.

Eine der interaktiven Visualisierungs- und Analysemöglichkeiten stellt das Fabriklayout dar, das im System für jeden Produktionsbereich hochgeladen werden kann und auf dem in Echtzeit verschiedene Kennzahlen wie der aktuelle Anlagenstatus angezeigt werden können. Darüber hinaus wird durch die Option mehrere verschiedene Kennzahlen zur gleichen Zeit auswählen zu können die Möglichkeit der visuellen Datenexploration zur Verfügung gestellt, wodurch evtl. Zusammenhänge erkannt werden können. Eine weitere Explorationsmöglichkeit stellt das Kombinieren von verschiedensten Datenquellen in individuell veränderbaren Ansichten dar, wie sie auch im BI-Bereich verwendet werden. Neben den explorativen, deskriptiven und diagnostischen Analysen ist es zusätzlich möglich, die Berechnung von Prognosedaten zu aktivieren, durch die zukünftige Trends ermittelt und das (Nicht-)Erreichen eines Soll- Wertes vorhergesagt werden können. Diese basieren hauptsächlich auf statistischen Methoden. Aktivieren bedeutet in diesem Fall, dass die Berechnung und Integration von Prognosedaten in die Echtzeitauswertungen explizit aktiviert werden muss, wodurch nur für ausgewählte Kennzahlen Prognosen erstellt und dadurch die notwendige Rechenkapazität reduziert wird. Dabei kann außerdem ausgewählt werden, für welchen Zeitraum Prognosen erhoben und wie häufig diese aktualisiert werden sollen. Je nach definierten Eskalationsregeln werden festgelegte Nutzer über prognostizierte Ereignisse informiert. Diese Form der Analyse wird jedoch erst im Laufe der Einsatzzeit aufgrund der dann verfügbaren Menge an historischen Daten genutzt werden können.

## **Störungs- & Abweichungsmanagement**

Die Erfassung von Problemen und Störungen erfolgt sowohl manuell als auch automatisiert durch die Anbindung der Maschinensteuerung. Diese werden vom System zusammengefasst und in einer Übersicht angezeigt. Hierfür kann entweder eine Ansicht im Fabriklayout oder eine listenbasierte Anzeige ausgewählt werden. Die Abbildung einer Störung enthält dabei immer eine Störungs-ID, die Störungsart sowie den Zeitpunkt und Ort des Auftretens. Bei der Erstellung muss eine Störungsart aus einem Menü ausgewählt werden, die im Vorfeld von den Führungskräften definiert worden sind. Zusätzlich sollte die betroffene Station angegeben werden. Dabei werden automatisch nur die Stationen angezeigt, die im Verantwortungsbereich des jeweiligen Nutzers liegen. Außerdem muss zu einer Störung - sofern bekannt - direkt eine Ursache zugewiesen werden, wodurch schneller die richtigen Maßnahmen abgeleitet werden können.

Mithilfe der mobilen Geräte können die Mitarbeiter zudem zur Detaillierung der Beschreibung direkt auch Fotos und Videos zu einer Störung hinzufügen, die zudem durch Markierungen erweitert werden können. Wird Unterstützungsbedarf beim Umgang mit einer Störung benötigt, kann diese an geeignete Nutzer weitergeleitet werden. Dabei ist außerdem die Angabe der Priorität möglich (hoch, mittel, niedrig). Die jeweiligen Nutzer werden dann über eine Nachricht informiert. Um Störungen und Abweichungen direkt entgegenwirken zu können, erlaubt das System bei Verknüpfung mit dem Maßnahmen-Management-Modul eine direkte Maßnahmendefinition aus dem Kennzahlen-Modul heraus. Dadurch sind Maßnahmen direkt mit Kennzahlen verbunden, wodurch auch deren Auswirkung deutlich einfacher überprüft werden kann (Kletti 2015). Während Maschinenstörungen durch die Maschinensteuerung automatisch als behoben gekennzeichnet werden, müssen die manuell erfassten Störungen und Probleme explizit als behoben markiert werden. Auch Prognosen des Systems können in die Eskalationsprozesse miteinbezogen werden. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, bereits frühzeitig vorhergesagten Ereignissen entgegenzuwirken. Ein Beispiel stellt die verbleibende Taktzeit im Vergleich zu der prognostizierten, notwendigen Zeit dar. Dabei wird durch eine Benachrichtigung rechtzeitig der Unterstützungsbedarf durch einen Springer deutlich. Die definierten Regeln können von den berechtigten Nutzern in einer zusätzlichen Übersicht eingesehen und bearbeitet werden.

## **Berichte**

Am Ende eines Arbeitstages wird jedem Nutzer ein Tagesbericht zur Verfügung gestellt, der die Ereignisse des Tages noch einmal zusammenfasst, die im Verantwortungsbereich des jeweiligen SF-Mitarbeiters oder der Führungskraft liegen. Je nach Hierarchieebene unterscheidet sich dabei die dargestellte Detailebene. Wurden für Abweichungen noch keine Ursachen hinzugefügt, wird der jeweilige Nutzer explizit vom System darum gebeten. Dies ist dabei direkt aus dem Bericht heraus möglich. Um den Arbeitstag offiziell abzuschließen, muss der Tagesbericht vom jeweiligen Mitarbeiter für erledigt erklärt werden. Mithilfe dieses Berichts wird erzielt, dass sich die Mitarbeiter noch einmal aktiv mit den Kennzahlen beschäftigen und den Arbeitstag reflektieren. Auch im Rahmen der Schichtübergabe stellt der Bericht eine nützliche Unterstützung dar, um der Gegenschicht die Vorkommnisse bzw. den Stand übersichtlich zusammenzufassen. Neben diesen automatischen Berichten, die zu einem bestimmten Zeitpunkt erzeugt werden, können auch jederzeit von den berechtigten Nutzern bei Bedarf vordefinierte Reports exportiert werden.

## **Übersicht Ist-/Ziel-Zustand und Möglichkeiten zukünftiger Erweiterungen**

Die digitale Darstellung des aktuellen Status auf dem Shopfloor mithilfe von Echtzeitdaten ermöglicht ein frühes Erkennen von Abweichungen und eine kennzahlenbasierte Steuerung des Shopfloors. Außerdem können die Mitarbeiter durch die Aktualität und einfache Verständlichkeit der Darstellungen im Sinne des Selbstmanagements direkt ihre eigene Leistung überblicken und selbstständig Handlungsnotwendigkeiten identifizieren. Mithilfe der flexibel konfigurierbaren Dashboards wird dem individuellen Informationsbedarf gerecht. Darüber hinaus wird durch die digitale Datenhaltung einerseits die Flexibilität der Auswertungen und ad hoc Analysen erhöht, während andererseits die Auf- bzw. Vorbereitungsaufwände und Papierbedarfe deutlich reduziert werden. Um die Funktionen im Zusammenhang mit dem Fabriklayout sinnvoll nutzen zu können, muss jedoch im Voraus das jeweilige Layout des Produktionsbereichs hinterlegt und die jeweiligen Arbeitsstationen darauf platziert werden.

Mithilfe der Anreicherung der Kennzahlen durch Informationen der Mitarbeiter zu Ursachen von Abweichungen wird nahezu durchgängig der Digitalisierungsgrad Transparenz erreicht und dadurch das Treffen effizienterer und schnellerer Entscheidungen ermöglicht. Zusätzlich wird durch Prognosen die Möglichkeit geschaffen, bereits frühzeitig vorhergesehenen Abweichungen

und Problemen entgegenwirken zu können. Durch die Integration von Mechanismen wie der Bestätigung der Kennzahlen und Ereignissen innerhalb des eigenen Verantwortungsbereichs durch jeden Nutzer am Ende eines Arbeitstages auf der einen Seite sowie der Einbindung der SF-Mitarbeiter bei der Erfassung von einzelnen Daten, Problemen oder Abweichungsgründen auf der anderen Seite, müssen sich diese aktiv mit den Kennzahlen beschäftigen. Dadurch bleibt die Identifikation mit den Kennzahlen, die ein wichtiges Kriterium für die Akzeptanz einer digitalen SFM-Lösung darstellt, erhalten. Darüber hinaus unterstützt das digitale SFM-System durch die Darstellung der Ziele und die Verknüpfung zu Kennzahlen auch den Hoshin Kanri-Ansatz, wodurch die Identifikation mit den Zielen sowie die Motivation positiv beeinflusst werden (Leyendecker & Pötters 2017).

In einer weiteren Ausbaustufe wäre es möglich, dass das System selbständig die beste Visualisierungsart aufgrund der gewählten Datenbasis vorschlägt sowie ungeeignete Visualisierungsarten als solche kenntlich machen kann. Darüber hinaus könnten auch direkte Abfragen von Daten in Text- oder Sprachform möglich sein. Zudem ist eine Integration einer intelligenten und zuverlässigen zustandsorientierten Instandhaltung in das digitale SFM-System erreichbar. Eine Intelligenzsteigerung des digitalen SFM-Systems führt dazu, dass das System in Zukunft neben prädiktiven Analysen auch direkt präskriptiv Handlungsempfehlungen vorschlagen kann, um vorhergesagten Abweichungen und Ereignissen proaktiv entgegenzuwirken oder Abläufe zu optimieren. Diese werden durch die Verbindung der gesammelten Vergangenheitsdaten mit der kontinuierlichen Überwachung der Gegenwart in Echtzeit erreicht.

### **3.3.4 Anforderungen hinsichtlich Maßnahmen**

Im Rahmen des Konzepts wird im Modul Maßnahmen-Management im Sinne des KVPs das Ziel verfolgt, eine ortsunabhängige und aufwandsarme Erfassung sowie transparente Überwachung von Maßnahmen, Statusupdates und Eskalationsmechanismen zu ermöglichen. Das Konzept ist in die Funktionsbereiche "Erstellung von Maßnahmen", "Unterstützung der Maßnahmenumsetzung und -verfolgung", "Maßnahmenübersicht", "Maßnahmeneskalation" und "Aufgabenmanagement" geteilt, die in den folgenden Abschnitten näher beschrieben sind.

#### **Erstellung von Maßnahmen**

Ziel der Maßnahmendefinition ist es, den Erstellungsprozess so intuitiv und aufwandsarm wie möglich zu gestalten. Daher kann das Hinzufügen einer neuen Maßnahme über unterschiedliche Punkte im System erfolgen. Eine Möglichkeit stellt die Startseite des Maßnahmen-Moduls dar. Da die Maßnahmendefinition jedoch häufig im Rahmen verschiedener SF-Meetings und Projekt-treffen stattfindet, können diese auch direkt über Schnellzugriffe in den einzelnen Meetings sowie den einzelnen Projekten im Modul KVP & Problemlösung erfasst werden. Zudem ist es möglich, im Modul Kennzahlen & Ziele auf Basis einer erkannten Abweichung oder eines auffälligen Trends eine zugehörige Maßnahme zu erstellen, wodurch zusätzlich eine Wirksamkeitsüberprüfung ermöglicht wird (Kletti 2015).

Bei der Definition einer Maßnahme werden die Bezeichnung, der Maßnahmen-Verantwortliche und das Fälligkeitsdatum vom System abgefragt. Diese sind außerdem als Pflichtfelder gekennzeichnet. Bei Bedarf kann bei der Erfassung in einem Meeting auch ein Wiedervorlagedatum zur Durchsprache des Zwischenstatus vor dem geplanten Fertigstellungstermin definiert werden. Die Zuweisung eines oder mehrerer Maßnahmen-Verantwortlichen erfolgt mithilfe einer Suchmaske. Zur Unterstützung werden hier automatisch die vom aktuell angemeldeten Benutzer häufig ge-

wählten Maßnahmen- Verantwortliche als Schnellzugriff dargestellt. Die berechtigten Nutzer können alle Angaben einer Maßnahme auch nachträglich bearbeiten. Um die Priorisierung von Maßnahmen abzubilden, ist es möglich, besonders wichtige Maßnahmen deutlich als solche zu kennzeichnen.

Sobald eine Maßnahme angelegt worden ist, wird der zugewiesene Verantwortliche automatisch vom System informiert und bekommt diese in seiner persönlichen Maßnahmenübersicht angezeigt. Dadurch entfallen händische Notizen sowie auch die Gefahr, dass Maßnahmen in papierbasierten Listen untergehen. Zur besseren Übersicht und effizienteren Suche nach bestimmten Maßnahmen können einer Maßnahme Zieldimensionen sowie verschiedene Themenkategorien in Form von sog. Tags zugeordnet werden. Darüber hinaus können Maßnahmen auch bestehenden Verbesserungsprojekten zugewiesen werden. Neben der manuellen Zuweisung wird außerdem automatisch vom System hinterlegt, aus welchem Meeting, von welcher Kennzahl bzw. Problem oder aus welchem Projekt heraus eine Maßnahme erstellt worden ist.

### **Unterstützung der Maßnahmenumsetzung und -verfolgung**

Innerhalb einer Maßnahme kann deren Status in Form von in Viertel geteilte Statuskreise (gemäß PDCA) im Rahmen der Umsetzung aktualisiert sowie Informationen zur Durchführung hinterlegt werden. Außerdem können die bei der Erstellung angelegten Maßnahmendetails angepasst und weitere Beschreibungen, Dokumente sowie multimediale Inhalte und Skizzen hinzugefügt werden. Änderungstätigkeiten werden in einem Feed in der Detailansicht einer Maßnahme inklusive Profilbild des ausführenden Nutzers angezeigt, wodurch eine Nachvollziehbarkeit und Rückverfolgbarkeit der Änderungen ermöglicht wird.

Die Nutzer des Systems haben zudem die Möglichkeit, Maßnahmen zu abonnieren. Dadurch werden diese über alle Änderungen in Form von Push-Nachrichten direkt informiert. Um die Kommunikation untereinander und die Einbeziehung aller Mitarbeiter weiter zu fördern, können neben dem Maßnahmen-Verantwortlichen selbst auch andere Mitarbeiter bei Bedarf Maßnahmen kommentieren, um Fragen zu stellen oder weitere Informationen zu teilen. In diesem Fall wird der Maßnahmen-Verantwortliche automatisch vom System benachrichtigt. Werden festgelegte Maßnahmen innerhalb eines bestimmten Zeitraums abhängig von der Priorisierung nicht aktualisiert, wird der Maßnahmen-Verantwortliche automatisch vom System dazu aufgefordert.

Darüber hinaus können auch die Führungskräfte die Erinnerungsmeldung manuell anstoßen. Dadurch geraten Maßnahmen selbst nicht in Vergessenheit und die kontinuierliche Status- und Ablaufdokumentation wird gefördert. Dies ermöglicht die Erhöhung der Transparenz zum Umsetzungsstand, die sich zudem auch positiv auf die Motivation der Mitarbeiter auswirkt (Suzaki 1993; Braun 2016). Wenn das Fälligkeitsdatum vor Fertigstellung der Maßnahme erreicht wird, wird eine Maßnahme als verspätet gekennzeichnet und der Maßnahmen-Verantwortliche benachrichtigt. Wird eine Maßnahme abgeschlossen, wird die erfolgreiche Fertigstellung kurz optisch hervorgehoben und danach die Maßnahme vom System archiviert.

### **Maßnahmenübersicht**

In der Maßnahmenübersicht können alle aktuellen Maßnahmen des Produktionsbereichs, dargestellt in Listenform, eingesehen werden. Zur besseren Übersicht werden projektbezogene Maßnahmen in einem gesonderten Bereich in der Anzeige dargestellt. Die Informationen in der Übersicht umfassen die Bezeichnung der Maßnahme, den Maßnahmen-Verantwortlichen (Foto und Name), den Status der Maßnahme, die Zieldimension sowie das Erstellungsdatum und das Fälligkeitsdatum. Bei projektbezogenen Maßnahmen ist zudem das zugehörige KVP-Projekt angegeben, auf das über eine direkte Verlinkung zugegriffen werden kann. Um eine schnelle Einschät-

zung über den aktuellen Stand zu ermöglichen, werden einerseits Maßnahmen mit hoher Priorität, verspätete Maßnahmen und eskalierte Maßnahmen optisch hervorgehoben und andererseits die Gesamtanzahl offener, kürzlich abgeschlossener sowie verspäteter Maßnahmen angezeigt. Zur Anpassung der Übersicht im Sinne der Anforderung nach Individualisierbarkeit stehen verschiedene Filter zur Verfügung. Diese umfassen unterschiedliche Produktions- bzw. Hierarchieebenen sowie das selektierte Anzeigen der eigenen Maßnahmen, der verspäteten Maßnahmen, der Maßnahmen mit hoher Priorität oder der Maßnahmen, deren Fertigstellung in einem ausgewählten Zeitbereich stattfindet oder die einer ausgewählten Zieldimensionen zugeordnet sind. Aus der Maßnahmenübersicht heraus können neue Maßnahmen angelegt und Statusabfragen verschickt werden. Mithilfe einer Suchfunktion können außerdem die offenen sowie die bereits archivierten, abgeschlossenen Maßnahmen nach bestimmten Stichwörtern oder Tags durchsucht werden. Durch Antippen/Anklicken einer Maßnahme wird die Detailansicht geöffnet. Außerdem ist ersichtlich, auf Basis welches Problems, welcher Kennzahl und/oder welchen Meetings die Maßnahme entstanden und ob eine Wiedervorlage in einem Meeting geplant ist. Die zentrale Maßnahmenverwaltung ermöglicht die direkte Einsicht der bisher dokumentierten Informationen und die Transparenz der weiteren Umsetzung, was nach Braun (2016) gerade bei eskalierten Maßnahmen entscheidend für das Gefühl der Beachtung der Probleme der Mitarbeiter ist.

### **Eskalation von Maßnahmen**

Der Maßnahmen-Verantwortliche hat die Möglichkeit, bereits vor dem festgelegten Wiedervorlage- oder Fälligkeitsdatum Unterstützungs- bzw. Klärungsbedarfe im Rahmen seiner Maßnahme kenntlich zu machen. Dadurch wird diese automatisch in der nächsten Stehung auf der gleichen Hierarchieebene zur Besprechung hervorgehoben. Zudem kann die Maßnahme bei Bedarf an die übergeordnete Hierarchieebene eskaliert werden. Diese erscheint dann zusätzlich direkt in der Maßnahmenübersicht der nächsthöheren Ebene und wird optisch hervorgehoben. Dabei wird die zugehörige Führungskraft automatisch vom System über die Eskalation informiert.

#### **3.3.5 Anforderungen hinsichtlich Berichtsempfänger**

Für den **Bereich der Kennzahlen** haben sich zwei User Stories für eine Weiterentwicklung ergeben. Die erste User Story lautet: Der Abteilungsleiter, Teamleiter oder Mitarbeiter kann am Bildschirm/digitalen Shopfloor- Board sehen, wie die Echtzeit-Prognose zu den angezeigten Kennzahlen ist, um ggf. Abweichungen zu erkennen und darauf zu reagieren. Durch die Echtzeit-Analyse und permanente Datenverfügbarkeit können die Datenlatenz und die Analyselatenz eliminiert werden. Durch die Prognose wird zusätzlich Zeit gewonnen, um Maßnahmen einzuleiten, bevor das Problem tatsächlich eintritt. Die zweite User Story lautet: Der Teamleiter erhält eine Push-Nachricht auf sein Smartphone, wenn eine Kennzahl in der Prognose einen bestimmten Wert unterschreitet/überschreitet, um proaktiv ggf. Maßnahmen zu definieren. Im Gegensatz zur ersten Weiterentwicklung werden die Betroffenen vom System informiert. Durch die Mittelung im Bedarfsfall wird die dauerhafte Menge an Kennzahlen, die überblickt werden muss, gesenkt.

Für den **Bereich Maßnahmen & Problemlösung** wurden drei User Stories als relevant eingestuft. Dies zeigt, dass insbesondere im Bereich Maßnahmen und Problemlösung Handlungsbedarf besteht. Es gibt zwei mögliche Szenarien in denen eine Prognose im Bereich Maßnahmen und Problemlösung einen Mehrwert bieten würde. Das eine Szenario bezieht sich auf die rechtzeitige Umsetzung von Maßnahmen: Der Abteilungsleiter, Teamleiter oder Mitarbeiter sieht im digitalen Maßnahmenplan, ob eine Maßnahme rechtzeitig beendet wird (indem der Status der Maßnahme mit dem Endtermin verglichen wird), um ggf. auf eine Verspätung zu reagieren. Das

zweite Szenario bezieht sich auf die Priorisierung von Abweichungen in Bezug auf die Problemlösung. Die User Stories lauten:

Der Abteilungsleiter, Teamleiter oder Mitarbeiter sieht am digitalen Shopfloor-Board welche Abweichung bzw. welches Problem sich in Zukunft wie stark auf bestimmte Kennzahlen auswirken wird, um zu priorisieren. Der Abteilungsleiter, Teamleiter oder Mitarbeiter sieht am digitalen Shopfloor-Board die Prognose, welche Abweichung bzw. welches Problem in Zukunft wie oft noch auftreten wird, um zu priorisieren.

Durch die Erhöhung des Industrie 4.0-Reifegrades ergeben sich ähnlich wie bei der Steigerung der Echtzeitentscheidungsfähigkeit Potenziale. Dadurch, dass Abweichungen und Schwankungen im Fall der Prognose bereits erkannt werden können, bevor sie überhaupt zum Problem werden, kann schneller reagiert werden. Im besten Fall kann das Eintreten des Ereignisses verhindert werden. Ansonsten wird die Latenzzeit, d.h. die Zeit zwischen dem Eintreten des Ereignisses bis zur Reaktion auf das Ereignis verringert. Dies führt zu einer erhöhten Effizienz. Durch eine Steigerung auf den Reifegrad Transparenz, wird das Verständnis für die Ursachen erhöht. Auf den Reifegraden Prognose und Autonomie wird diese Transparenz beibehalten. Durch das Wissen über die zugrundeliegenden Ursachen können schnell die richtigen Probleme angegangen werden, sodass die Effektivität steigt.

### 3.3.6 Funktionale Anforderungen

#### Kennzahlen

Mithilfe des digitalen SFM-Systems müssen individuelle Kennzahlen-Dashboards erstellt werden können, auf denen die ausgewählten Kennzahlen überwacht werden. Dabei sollte es möglich sein, die **Dashboards** nicht nur für den eigenen Gebrauch, sondern auch für andere Nutzer zusammenzustellen.

Da teilweise sehr große Unterschiede zwischen den Produktionsbereichen existieren, ist die Möglichkeit einer **bereichsindividuellen Auswahl der zu überwachenden Kennzahlen** essentiell für die Akzeptanz des digitalen SFM-Systems. Dabei sollten verschiedene Kennzahlen als Standardkennzahlen, die unternehmensweit eingesetzt werden, zur Verfügung gestellt werden können. Darüber hinaus muss es allerdings möglich sein, auch neue Kennzahlen zu definieren und die dazugehörige mathematische Berechnung und Datenbasis auszuwählen.

Zur Präsentation der Kennzahlen muss die Art der **Visualisierung** bestimmbar sein. Dabei sollten sowohl aktuelle Werte (absolute bzw. Prozentzahl), aktuelle Statusmeldungen wie z.B. bei der Überwachung des Maschinenstatus oder verschiedene Diagramme zur Übersicht im Zeitverlauf ausgewählt werden können. Zudem muss es die Möglichkeit geben, unterschiedliche Betrachtungszeiträume festzulegen. Diese umfassen den aktuellen Zeitpunkt sowie den Schicht-, Tages-, Wochen-, Monats-, Quartals- oder Jahresverlauf. Je nach Hierarchieebene wird außerdem ein anderer Detailgrad der Daten gefordert. Daher muss es möglich sein, die Detailebene der Auswertung festzulegen. Beispiele dafür stellen eine spezifische Arbeitsstation, ein bestimmter Teilbereich bzw. ganzer Produktionsbereich oder eine werksübergreifende Ansicht dar.

Mithilfe des digitalen SFM-Systems muss der Aufwand zur Bereitstellung von Kennzahlen im Vergleich zum aktuell notwendigen **Aufwand** deutlich **verringert** werden. Daher sollte der Großteil der Kennzahlen automatisiert erfasst, verarbeitet und visualisiert werden. Zusätzlich muss eine menschenbasierte Kennzahlenerfassung, die direkt vom eigenen Arbeitsplatz aus erfolgen kann, sowie der manuelle Import von Daten aus Anwendungen wie MS Excel möglich sein.

Mithilfe von **Aggregationsregeln** muss es möglich sein, Kennzahlen und Informationen automatisch aggregieren zu können, die bei Änderungen innerhalb der einzelnen Bestandteile direkt aktualisiert werden. Umgekehrt muss auch ein Drill-Down in die einzelnen Bestandteile jederzeit bei Bedarf durchführbar sein.

Um den Digitalisierungsgrad "Transparenz" zu erreichen, müssen die Nutzer innerhalb ihres Verantwortungsbereichs **Ursachen zu Abweichungen** hinzufügen können. Dadurch ist es möglich, die Gründe zu erklären und folglich eine effizientere Auswertung und Maßnahmenableitung zu erreichen. Zur Vereinfachung sollten dafür bereits vordefinierte Ursachenkategorien zur Auswahl stehen. Zu allen Datenpunkte bzw. Kennzahlenverläufen müssen außerdem Kommentare hinzugefügt werden können.

Neben Kennzahlen müssen auch **Probleme** und **Störungen** im Prozessablauf direkt vom Arbeitsplatz über das digitale System **aufgenommen** werden können. Die aktuellen Störungen und Probleme müssen unabhängig von ihrer Erfassungsart (automatisch, manuell) übersichtlich inklusive betroffener Station und Störungsart angezeigt werden. Eine vollständige Störungs- und Problemerkennung soll dabei aus einem Störungsgrund, einer Beschreibung des Problems sowie der Angabe der betroffenen Arbeitsstation bestehen. Die Aufnahme sollte dabei durch Multimedia-Inhalte wie Fotos, Videos und Skizzen ergänzt werden können. Je nach Auswirkungsgrad müssen zudem die Probleme bzw. Störungen direkt an individuell bestimmbare Mitarbeiter eskaliert werden können. Als Sonderfall sollte wie beim Andon-Board eine Störung bzw. ein Problem an einer bestimmten Station, deren Status nicht automatisiert übertragen werden kann, durch die SF-Mitarbeiter sofort ohne Beschreibung visualisierbar sein, um direkt Unterstützungsbedarf anzufordern. Zudem sollte es möglich sein, Störungen und Probleme zu quittieren. Dabei sollte außerdem angegeben werden können, welche zeitlichen Beeinträchtigungen durch die Störungen entstanden sind.

Mithilfe des digitalen SFM-Systems sollte die **Erfassung von Qualitätsproblemen** aufwandsarm möglich sein. Dabei muss eine Fehlerbeschreibung, die Ursache als auswählbare Kategorie und der Verursacher angegeben werden. Außerdem sollten direkt Fotos zur besseren Beschreibung hinzugefügt werden können. Darüber hinaus sollte die notwendige Nacharbeitszeit vom digitalen System erfassbar sein.

Zur Unterstützung der **Überwachung der Kennzahlen** sollten die Kennzahlen-Dashboards den aktuellen Status widerspiegeln und daher in Echtzeit aktualisiert werden. Der Zugriff muss dabei jederzeit von allen Geräten aus möglich sein. Zur effizienten Überwachung der einzelnen Kennzahlen muss es möglich sein, Soll-Werte sowie Ober- und Unter- bzw. Eingriffsgrenzen festlegen zu können. Die dargestellten Kennzahlen sollten sowohl den Ist- als auch den Soll-Wert zur Orientierung zeigen. In der Übersicht müssen außerdem die hinterlegten Abweichungsgründe sowie Kommentare angezeigt werden. Zusätzlich dazu sollte es möglich sein, verschiedene Kennzahlen auch in einem interaktiven Fabriklayout des Produktionsbereichs einsehen zu können.

Das digitale SFM-System sollte in der Lage sein, **Prognosen** treffen zu können. Diese umfassen Vorhersagen von Trends und Abschätzungen zur Erreichung von Soll-Werten. Innerhalb des Systems sollten **Verhaltensregeln** für das Eintreten bestimmter Ereignisse wie das Über-/Unterschreiten eines Soll-Wertes festlegbar sein. Dazu zählen optische Hervorhebungen und akustische Warnungen sowie das Einleiten von Eskalationsprozessen. Aus dem Kennzahlen-Modul muss jederzeit bei (prognostizierten) **Abweichungen** bzw. Problemen eine **Maßnahmenerstellung** erfolgen können, wodurch diese auch direkt mit der Maßnahme verknüpft werden. Das digitale SFM-System muss das Experimentieren mit Daten sowie ad hoc **Analysen** unterstützen. Dafür sollten verschiedene **Daten** miteinander kombiniert und visualisiert sowie unterschiedliche

Auswertungszeiträume und Filter flexibel anwendbar sein. Zur Problemanalyse sollten eine stufenweise Disaggregation von zusammengefassten Daten möglich sein.

Die Führungskräfte sollten die Möglichkeit haben, Reports zu definieren und diese dann bei Bedarf vom System anfordern zu können. Das digitale SFM-System soll es den Nutzern ermöglichen, jederzeit das Zielehaus des eigenen Bereichs sowie den Grad der Zielerreichung einzusehen. Zudem sollte gezeigt werden können, wie die Bereichsziele mit den übergeordneten Unternehmenszielen zusammenhängen. Darüber hinaus sollte die Möglichkeit bestehen, die **Bereichsziele mit den ausgewählten Kennzahlen zu verknüpfen**. Zur besseren Übersicht und einfacheren Zuordnung sollten Kennzahlen zudem immer im Bezug zu einer Zieldimension stehen.

## Maßnahmen

Das digitale SFM-System muss den Nutzern verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung stellen, neue **Maßnahmen zu definieren**. Deren Erstellung muss demnach einerseits jederzeit bei Bedarf im Modul direkt möglich sein. Andererseits sollten Maßnahmen auch aus einem Meeting im Meeting-Modul, einer Kennzahlenabweichung im Kennzahlen-Modul und einem Verbesserungsprojekt aus dem KVP & Problemlösungs-Modul heraus definiert werden können. Bei der Definition muss es möglich sein, einen Maßnahmen-Namen sowie den zuständige Verantwortlichen anzugeben. Zudem sollte das System das Erstelldatum der Maßnahme automatisch hinzufügen. Zusätzlich dazu muss es möglich sein, ein Datum zu hinterlegen, an dem entweder der Zwischenstatus vorgestellt werden oder die Maßnahme abgeschlossen sein soll. Außerdem soll es zur besseren Übersicht möglich sein, auch nachträglich Maßnahmen mit konkreten Abweichungen aus dem Kennzahlen-Modul oder den Projekten aus dem KVP & Problemlösungs-Modul zu verknüpfen, ohne diese direkt aus den anderen Modulen heraus zu erstellen.

Durch Möglichkeiten der **Priorisierung** von Maßnahmen sollte verdeutlicht werden können, welche Maßnahmen vorrangig umzusetzen sind. Das digitale SFM-System muss es den Nutzern ermöglichen, alle **offenen Maßnahmen einzusehen**. Dadurch wird nicht nur die Übersichtlichkeit erhöht, sondern es entfallen auch die Notizaufwände während Meetings und Projekttreffen. Für eine schnellere Übersicht sollten zudem auch nur die eigenen Maßnahmen angezeigt werden können sowie auch andere Filtermöglichkeiten zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus sollten auch der Status sowie die Detailinformationen der Maßnahmen eingesehen werden können. Ist eine Maßnahme verspätet, sollte dies vom System hervorgehoben werden. Zusätzlich dazu soll es möglich sein, nach bestimmten Maßnahmen zu suchen.

Angelegte Maßnahmen sollten durch Zusatzinformationen wie einer Beschreibung des Erstellungsgrundes und des Ziels näher detailliert werden können. Außerdem sollte das Hinzufügen von Dateien wie Dokumente, Fotos, Videos und Skizzen möglich sein. Um eine Statusverfolgung zu ermöglichen, sollte das digitale System zudem sowohl den aktuellen Status symbolisch darstellen können als auch das Hinzufügen von Statusbeschreibungen unterstützen. Zur besseren Rückverfolgung sollten die Änderungsverläufe sichtbar sein. Die Mitarbeiter sollten die Möglichkeit haben, sich bei der Umsetzung von Maßnahmen selbstständig einbringen oder Nachfragen stellen zu können. Das digitale SFM-System sollte Möglichkeiten zur Anforderung von Unterstützung und Klärungsbedarf sowie zur Eskalation in höhere Hierarchieebenen zur Verfügung stellen. Die digitale Lösung muss es ermöglichen, eine Maßnahme explizit abzuschließen. Abgeschlossene Maßnahmen sollten vom System archiviert werden, um einen nachträglichen Zugriff zu ermöglichen.

### 3.3.7 Modulübergreifende Anforderungen

Neben den modulbezogenen funktionalen Anforderungen konnten auch die folgenden modulübergreifenden funktionalen Anforderungen identifiziert werden:

Allein die Heterogenität der Produktionsumgebungen der drei betrachteten Standorte hinsichtlich bspw. der unterschiedlichen Produktionsformen, der unterschiedlichen Taktzeiten und der unterschiedlichen Arbeitsformen (wie Kernarbeitszeit oder Schichtbetrieb) zeigen die Notwendigkeit nach einem **flexibel konfigurierbaren digitalen SFM-System**. Auch im Anforderungsprofil von Braun (2016) stellt die Individualisierbarkeit auf inhaltlicher und visueller Ebene eine wichtige Gestaltungsanforderung an ein digitales SFM-System dar. Neben der anpassbaren Kennzahlenauswahl muss es möglich sein, die eigene Anzeige individuell zu gestalten und sich Schnellzugriffe in Form von Favoriten anzulegen (z.B. Kletti (2015)). Außerdem muss es möglich sein, die Benachrichtigungen vom System je nach Bedarf auswählen zu können. Im Hinblick auf die Autorisierung und Zugriffskontrolle sowie zur Realisierung verschiedener Sichten soll dem digitalen SFM-System ein **rollenbasiertes Benutzermodell** zugrunde liegen. Dieses soll einem Systemadministrator die Bestimmung einer Rechtestruktur ermöglichen, über die differenziert werden kann, welche Funktionen welchen Nutzern zur Verfügung stehen und welche Daten bzw. Informationen von wem eingesehen oder bearbeitet werden dürfen. Für jeden Systemnutzer muss vom Systemadministrator ein eigenes Profil erstellt werden können.

Um verschiedene Informationen im Kennzahlen- oder Ressourcensteuerungs- Modul in einem interaktiven Fabriklayout darstellbar zu machen, sollte es möglich sein, ein **Layout des Produktionsbereichs** in 2D oder 3D hochzuladen. Um die richtigen Informationen anzuzeigen, müssen die einzelnen Stationen im Layout zugewiesen werden können. In den Zeiträumen, in denen die digitalen SF-Boards nicht aktiv verwendet werden, sollte ein Bildschirmschoner mit ausgewählten Informationen abgespielt werden können.

Ein wichtiger Aspekt des digitalen Systems stellt die Forderung dar, dass die **Grundsätze** des SFMs nach Suzaki (1993) **nicht verloren** gehen dürfen. Diese umfassen z.B. die Beibehaltung der physischen Führungsaspekte vor Ort. Weitere Elemente sind die Möglichkeit der Informationsgewinnung über die SF-Boards auch außerhalb der SF-bezogenen Meetings (Glass Wall Management), der Einbezug aller Mitarbeiter und die Erhöhung deren Motivation zur kontinuierlichen Verbesserung sowie deren Selbstmanagement-Fähigkeiten (Suzaki 1993; Braun 2016; Biehl 2018). Zudem stellt auch die persönliche Auseinandersetzung und Identifikation mit den Kennzahlen ein wichtiges Kriterium dar, da gerade in diesem Punkt häufig Bedenken durch die Einführung einer digitalen Lösung geäußert werden (Braun 2016; Biehl 2018). Daher sollte ein digitales SFM-System passende organisatorische Mechanismen beinhalten, um diese Identifikation weiterhin zu gewährleisten.

### 3.3.8 Nicht-Funktionale Anforderungen

Die **funktionale Eignung** stellt nach ISO 25010 ein Qualitätsmerkmal für Software dar (DIN-Normenausschuss Informationstechnik und Anwendungen 2011). Demnach muss das digitale SFM-System die Funktionen beinhalten, die notwendig sind, um den Benutzern zu ermöglichen, ihre Ziele vollständig zu erreichen. Zudem ist es im Allgemeinen wichtig, dass das System als nützlich gesehen wird.

Die Anforderung nach **Benutzbarkeit und einer intuitiven Bedienung** beschreibt die Einfachheit, mit der ein Nutzer das digitale SFM-System erlernen und bedienen können muss. Diese

nicht-funktionale Anforderung stellt auch nach ISO 25010 ein wichtiges Kriterium für Softwarequalität dar (DIN-Normenausschuss Informationstechnik und Anwendungen 2011). Daher ist es notwendig, dass das System für eine in Bezug auf die Fähigkeiten, Erfahrungen und Bildungsniveaus weit gefasste Gruppe von Nutzern schnell verständlich und erlernbar ist und Fehlbedienungen vermieden werden. Dies kann durch die Beachtung der Dialogkriterien Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit sowie die Verwendung weiterer Gestaltungsrichtlinien erreicht werden (Heinecke 2012). Außerdem ist auch ein logischer, wiederkehrender Aufbau bzw. eine einheitliche, widerspruchsfreie Gestaltung der Navigation und Dialoge sowie eine ansprechende Benutzeroberfläche notwendig.

Zur Ausschöpfung der Potentiale muss das digitale SFM-System in der Lage sein, die aktuelle Realität darstellen zu können. Dafür sollten die notwendigen **Informationen jederzeit in Echtzeit aktualisierbar** sein und die dargestellten Informationen den aktuellen Zustand widerspiegeln. Das Gesamtsystem des digitalen SFMs soll modular aufgebaut sein, um eine individuell wählbare Zusammensetzung der einzelnen Funktionsmodule zu ermöglichen. Dadurch können die einzelnen Produktionsbereiche selbst entscheiden, welche **Module** sie **einführen** möchten. Außerdem wird der Einführungsprozess entzerrt. In diesem Zusammenhang spielt auch die Möglichkeit einer späteren Erweiterung eine wichtige Rolle. Auch im Anforderungsprofil von Braun (2016) stellt der modulare Aufbau eine der Gestaltungsanforderungen dar.

Die Qualitätsanforderung **Zuverlässigkeit** stellt die Fähigkeit eines Systems dar, unter bestimmten Bedingungen und Zeiträumen das Leistungsniveau aufrechtzuerhalten und umfasst z.B. die Teilkriterien Verfügbarkeit und Fehlertoleranz (DIN-Normenausschuss Informationstechnik und Anwendungen 2011). Für das digitale SFM-System sollten auch im Fall von Netzwerkstörungen bestimmte Funktionen wie das Erfassen von Daten, Störungen oder Maßnahmen ausführbar sein und dann bei erneuter Verbindung mit dem Netzwerk übertragen werden. Zudem sollte das digitale System bei Systemupdates nur so kurz wie möglich beeinträchtigt werden und robust gegenüber fehlerhafter Eingaben sein.

Die **Geschwindigkeit** des digitalen Systems sowie die Rückmeldungen auf Benutzereingaben sollten angemessen sein. Das bedeutet, dass das System ohne spürbare Verzögerungen auf Eingaben **reagieren** muss. Bei größeren Verzögerungen aufgrund von notwendigen Verarbeitungszeiten ist es wichtig, dem Nutzer den Ladeprozess optisch kenntlich zu machen.

Da **viele verschiedene Nutzer gleichzeitig** auf das digitale SFM-System zugreifen werden, muss **ein System** auch bei vielen zeitgleich lesenden und/oder schreibenden Nutzern stabil und ohne Verzögerungen ablaufen können. Diese nicht-funktionale Anforderung steht in engem Zusammenhang mit den Anforderungen nach hoher Zuverlässigkeit und angemessener Reaktionszeit.

### 3.3.9 Technische und organisatorische Anforderungen

Aus dem aktuellen Stand der Nutzung des Shopfloor Managements, der Betrachtung der vorbereitenden Prozesse und möglichen Weiterentwicklungen lassen sich Handlungsempfehlungen ableiten. Hierbei gilt es zwischen zwei verschiedenen Arten von Handlungsempfehlungen zu unterscheiden: Technische, organisatorische und mitarbeiterbezogene Anforderungen, die bei einer Digitalisierung, Industrie 4.0-Reifegradsteigerung oder Entwicklung hinsichtlich der Echtzeitfähigkeit berücksichtigt werden müssen, sowie Gestaltungsprinzipien des Führungsinstruments Shopfloor Management, die bei einem Einsatz eines digitalen Systems gewahrt werden müssen.

Die Anforderungen lassen sich in technische, organisatorische und mitarbeiterbezogene Aspekte einteilen, die in der folgenden Abbildung zusammengefasst werden.

Es ergeben sich verschiedene technische Anforderungen, die erfüllt werden müssen, damit ein digitales Shopfloor Management erfolgreich umgesetzt werden kann. Zunächst muss die benötigte Hardware vorhanden sein, d.h. die Produktion muss je nach Anwendungsfall mit Bildschirmen, interaktiven Whiteboards, Tablets etc. ausgestattet werden. Ein persönliches mobiles Endgerät macht ebenfalls Sinn und steigert auch die Bereitschaft zur Veränderung bei den Mitarbeitern. Zudem müssen die Maschinen mit der entsprechenden Sensorik und Mikroelektronik ausgestattet sein, damit Daten in der Fertigung erfasst werden können. Eine weitere technische Voraussetzung ist durch eine geeignete Systemarchitektur gegeben. Das bedeutet, dass Schnittstellen für den Datenaustausch zwischen den verschiedenen IT-Systemen geschaffen werden müssen. Es muss ermöglicht werden, die Systeme der Fertigungsebene, die beispielsweise Maschinendaten erfassen, vertikal mit den Systemen auf Unternehmensleitebene, wie beispielsweise dem ERP-System, zu vernetzen.

Dies kann durch den Einsatz eines Manufacturing Execution Systems (MES) erfolgen. Bei der Erkennung von Abweichungen und automatischen Feinplanung kommt den Stammdaten eine hohe Bedeutung zu. Sie dienen als Sollwert für die Planung und als Referenzwert für die Ermittlung von Abweichungen. Folglich sollte sichergestellt werden, dass die Stammdaten im ERP-System bereinigt, ausreichend detailliert und aktualisiert sind. Im Fall von sehr großen Datenmengen müssen für die Erreichung der Stufen Transparenz oder Prognose zudem Data Analytics- oder Predictive Analytics-Techniken angewandt werden, wofür die entsprechenden Datenbanken wie bspw. In-Memory-Datenbanken oder Hadoop-Systemen benötigt werden. Voraussetzung für die Vernetzung ist eine flächendeckende Abdeckung mit Breitband-Internet, das auch bei einer größeren Anzahl an Teilnehmern zuverlässig eine schnelle Verbindung ermöglicht.

Der größte Teil der technischen Voraussetzungen für das digitale SFM-System bezieht sich auf die übergreifende Datenerfassung und Systemarchitektur. Darüber hinaus müssen auch seitens der IT-Infrastruktur und der Hardwareverfügbarkeit verschiedene Voraussetzungen erfüllt werden, bevor das digitale SFM-System implementiert und eingesetzt werden kann. Das SFM-System benötigt Daten aus unterschiedlichen Datenquellen, wofür die notwendigen Zugriffe bzw. Schnittstellen implementiert werden müssen. Ein Beispiel stellen die Auftragsdaten aus SAP dar. Dabei ist für eine korrekte Datengrundlage wichtig, dass die in SAP hinterlegten Stammdaten aktuell sind und regelmäßig gepflegt werden. Außerdem müssen die Maschinen und Anlagen mit der notwendigen Sensorik ausgerüstet werden, deren Auswahl eine wichtige Grundlage darstellt (Schuh et al. 2017), um die spezifischen Maschinen- und Prozessdaten wie aktuelle Maschinenzustände und Stillstandszeiten aus der Maschinensteuerung erfassen zu können.

Dabei ist ein im Hintergrund vorliegendes Datenmodell erforderlich, welche eine Aggregation der einzelnen Sensoren zu höherwertigen Informationen ermöglicht. Für die Entwicklung des digitalen SFMSystems in Richtung eines integrierten Condition-Monitoring-Systems müssen weitere intelligente Sensoren in die Anlagen integriert werden, die kontinuierlich die Prozesse überwachen (Schuh et al. 2017). Darüber hinaus müssen für das Funktionsmodul Ressourcensteuerung Zugriffe zu den Maschinenkapazitäten sowie den Schicht- und Urlaubsplänen ermöglicht werden. Weitere Daten wie die Arbeitssicherheit sowie die zugehörigen (Beinahe-)Unfälle, die Qualitäts- und Ausschussmeldungen, die Fehlteile von internen bzw. externen Lieferanten und die stationsbezogenen Störungen/Probleme sowie die zugehörigen Ursachen und Verlustzeiten werden im Rahmen der Arbeit mit dem SFM-System automatisch oder manuell erfasst.

Des Weiteren ist auch die Auswahl der Datenbanktechnologie und Serverstruktur notwendig. Diese muss einerseits in der Lage sein, heterogene Daten echtzeitnah zu extrahieren sowie in einem zentralen Datenlager zusammenzuführen und zu verarbeiten. Hierbei ist auch erforderlich, dass Ereignisse wie bspw. Störungen im Kontext mit anderen Daten erfasst und gespeichert werden (Krcmar 2015) und der Entstehungsort zugeordnet werden kann (Kletti 2015). Außerdem müssen statistische Analysen, Methoden des Data Minings sowie das kontinuierliche Scannen der eingehenden Daten und Suchen nach (vordefinierten) Mustern in diesen Daten innerhalb des Backends des Systems ermöglicht werden, um die Digitalisierungsgrade "Prognose" und "Autonomie" zu erreichen. Ein Beispiel stellen hierbei In-Memory-Datenbanken dar, die sich aufgrund ihrer Eigenschaften sehr gut für Simulationen und Analysen sowie hohe Berechnungsgeschwindigkeiten bei großen Datenmengen eignen (Krcmar 2015).

Zusätzlich muss auch das Ablegen von Daten und Informationen sowie deren Archivierung in strukturierter Form unter Berücksichtigung der Anforderungen nach Verfügbarkeit, kurzer Reaktionszeit und Datensicherheit betrachtet werden (Gluchowski, Gabriel & Dittmar 2008). Dies ist unter anderem auch für den Zugriff auf historische Daten im Rahmen von Analysen essentiell. Abschließend muss außerdem eine Entscheidung darüber getroffen werden, wie das digitale SFM-System gehostet werden soll. Dafür stehen unterschiedliche Möglichkeiten wie die cloud-basierte Softwarenutzung und Datenhaltung zur Verfügung (Hagerty 2016). Eine weitere wichtige Voraussetzung stellt die Zurverfügungstellung der benötigten Hardware dar. Das bedeutet, neben der Berücksichtigung der notwendigen Hardware bezüglich des Rechnersystems, allen involvierten Nutzern den kontinuierlichen Zugriff auf ein Smartphone oder Tablet zu ermöglichen und den Shopfloor mit ausreichend Bildschirmen und/oder Whiteboards auszustatten. Darüber hinaus müssen flächendeckend Lademöglichkeiten bereitgestellt werden. Zur vollen Funktionsfähigkeit ist es außerdem erforderlich, eine zuverlässige digitale Infrastruktur zu gewährleisten, die eine kontinuierliche, unterbrechungsfreie Übertragung der Daten in der notwendigen Geschwindigkeit sicherstellt (Gluchowski, Gabriel & Dittmar 2008).

**Hardwareseitige Anforderungen an die Benutzerschnittstelle:** Das digitale SFM-System sollte sowohl über stationäre Desktop-PCs oder Laptops als auch über mobile Endgeräte und große interaktiven Touchscreens bedienbar sein. Durch die Möglichkeit einer mobilen Nutzung des Systems kann das digitale SFM-System direkt in die Produktionsumgebung eingebettet und damit der Aufwand und die Laufwege für die SF-Mitarbeiter deutlich reduziert werden. Zudem wird ein ortsabhängiger Zugriff auf alle Informationen ermöglicht, der vor allem die SF-Mitarbeiter, die mehrere Maschinen bedienen, und die Führungskräfte, die häufiger unterwegs sind, optimal unterstützen kann. Bei interaktiven Monitoren sollte zudem eine Eingabe per Tastatur möglich sein, um notwendige Informationen beispielsweise bei der Maßnahmenerstellung schneller eingeben zu können.

**Kompatible Betriebssysteme:** Im Bezug auf die Betriebssysteme muss das digitale SFM-System aufgrund der unterschiedlichen Geräte im Einsatz sowohl über Windows als auch über Android und iOS abruf- und nutzbar sein.

**Implementierung von Schnittstellen:** Das digitale SFM-System muss in der Lage sein, die notwendigen Daten aus den unterschiedlichen Systemen nutzen zu können. Dafür sind verschiedene Schnittstellen (Maschinensteuerung, ERP-System) notwendig. Außerdem müssen Daten und Dokumente aus MS Office importiert und verschiedene Bild- und Videoformate sowie PDF-Dateien angezeigt werden können.

**Einsatz in besonderen Umgebungsbedingungen:** Im Rahmen der Kontextanalyse konnte festgestellt werden, dass die Nutzung des digitalen SFM-System in speziellen Umgebungsbedingungen möglich sein muss und eine gewisse Robustheit für den Einsatz im Produktionsumfeld notwendig ist. Beispiele umfassen den Einsatz im Reinraum und bei Lärm. Zudem sollten auch die Hitze und Luftfeuchtigkeit vor allem im Sommer berücksichtigt werden.

**Kosteneffizienz:** Eine weitere Randbedingung stellt die Rentabilität des digitalen SFM-Systems dar. Hierbei werden einerseits geringe Programmieraufwände genannt. Andererseits sollten auch die Investitions-, Wartungs- und Administrationskosten und die dafür notwendigen Personalaufwände so gering wie möglich gehalten werden.

**Sprache:** Das System sollte in einem ersten Schritt in deutscher Sprache verfügbar sein. Bei weiterer Verbreitung ist auch die Anpassung der Sprache auf die jeweilige Landessprache des Produktionsstandortes notwendig.

Es ergeben sich **organisatorische Voraussetzungen**, damit ein digitales Shopfloor Management erfolgreich umgesetzt werden kann. Damit langfristig eine digitale Transformation im Unternehmen stattfinden kann, muss die klassische funktionsorientierte Organisationsstruktur sich zu einer flexibleren Organisationsstruktur wie einer Matrixorganisation oder Holokratie weiterentwickeln. Für die Digitalisierung des Shopfloor Managements sollten die Unternehmen jedoch zunächst einmal den Mitarbeitern ein höheres Maß an Eigenverantwortung übergeben, damit diese nicht mehr, wie häufig zuvor, nur indirekt über ihren Vorgesetzten, sondern direkt und eigenständig auf Kennzahlen reagieren können. In einem Interview wurde dies treffend beschrieben: „Bevor ich mit echtzeitfähigen Daten in der Produktion etwas anfangen kann, muss ich die Organisationsstruktur auch dahin befähigen, dass Entscheidungen vor Ort an der Maschine getroffen werden können. [...] Echtzeitdaten bringen nichts, wenn der Monteur dann wiederum zu seiner Führungskraft rennen muss, [...] die dann entscheiden muss, obwohl sie nicht vor Ort verfügbar ist, sondern in einem Meeting sitzt.“

Eine zentrale Voraussetzung für die erfolgreiche Implementierung und Einführung des digitalen SFM-Systems ist die gründliche Planung und Vorbereitung der zugehörigen Prozesse (Gluchowski, Gabriel & Dittmar 2008). Dazu gehört auch die Definition der Zuständigkeiten für das digitale SFM-System, wie beispielsweise die Bestimmung der Systemadministratoren bzw. -spezialisten, die unter anderem für die Erstellung neuer Nutzer sowie der kontinuierlichen Verwaltung des Rollen- und Berechtigungskonzepts verantwortlich sind, sowie derjenigen Mitarbeiter, die für Dokumentationen innerhalb des Hilfesystems zuständig sind. Darüber hinaus ist es wichtig, die digitalen Kompetenzen der einzelnen Mitarbeiter zu erweitern (Schuh et al. 2017) sowie Fähigkeiten hinsichtlich des Umgangs mit dem digitalen SFM-System selbst und den mobilen Geräten aufzubauen, damit der Funktionsumfang des Systems vollständig und übergreifend genutzt wird. Zusätzlich ist auch die Schaffung des Bewusstseins hinsichtlich des Themas IT-Sicherheit sowie des sensiblen Umgangs mit den verwendeten Geräten essentiell (Schuh et al. 2017).

Auch das Verhalten der Führungskräfte und der gelebte Führungsstil stellen eine zentrale Voraussetzung dar. So müssen diese beispielsweise den Mehrwert einer digitalen statt papierbasierten Lösung für das SFM klar nach außen tragen und eine positive Einstellung hinsichtlich der Veränderung schaffen. Durch die Berücksichtigung aller Hierarchieebenen und Nutzergruppen im Rahmen der Konzeptionierung wurde dafür bereits ein wichtiger Grundstein gelegt. Zusätzlich dazu müssen die Führungskräfte auch das Vertrauen in die vom System aufbereiteten Daten und Informationen fördern, sodass diese aktiv zur eigenen Verbesserung genutzt werden und zusammen mit den eigenen Erfahrungen die Basis zur Ableitung datenbasierter Entscheidungen bilden

(Schuh et al. 2017). Dafür ist auch die Generierung eines unternehmensweiten, einheitlichen Verständnisses von generierten Daten, der Bedeutung von Kennzahlen sowie deren Berechnung eine wichtige Voraussetzung.

Der Großteil des Nutzens, der durch die Erhöhung der Informationsverfügbarkeit sowie der Aktualität der Informationen entsteht, kann erst durch die Optimierung der organisatorischen Prozesse entstehen (Schlick et al. 2014), sodass die Integration eines digitalen Systems in bestehende Prozesse immer auch Auswirkungen auf die Ablaufstrukturen mit sich bringt (Gluchowski, Gabriel & Dittmar 2008). Darüber hinaus stellen auch die Standardisierung von Prozessen sowie die Definition der Aufgaben und Verantwortlichkeiten der einzelnen Mitarbeiter hinsichtlich der Ableitung von Handlungsnotwendigkeiten, Berichterstattungen und Durchführung von Aktivitäten weitere wichtige Voraussetzungen dar.

Ein Beispiel ist hierbei die Übertragung der Entscheidungsbefugnis und Eigenverantwortung auf die SF-Mitarbeiter, sodass diese Veränderungen im Ablauf sowie Reaktionen auf Abweichungen selbstständig ausführen können (Schuh et al. 2017). Nur so liefern Echtzeitdaten den erzielbaren Mehrwert. Wenn jedoch bei allen Entscheidungen die Führungskräfte involviert werden müssen oder andere Genehmigungsaufwände notwendig sind, ist auch eine Aktualisierung der Daten in Echtzeit nicht sinnvoll. Darüber hinaus muss auf der einen Seite explizit vermittelt werden, wie wichtig die vollständige Erfassung von Fehlern, Problemen, mitarbeiterbasierten Kennzahlen und Maßnahmen sowie die regelmäßige Aktualisierung von Maßnahmen- und Projektfortschritten ist, um ganzheitlich die Digitalisierungsstufe Sichtbarkeit sicherzustellen sowie das Prinzip des Glass Wall Managements vollständig umzusetzen. Zudem wird dadurch erst das Zurückgreifen auf Vergangenheitswerte und die Prozesse des Wissensaustauschs ermöglicht. Auf der anderen Seite ist auch das durchgängige Hinzufügen von Abweichungs-, Störungs- und Problemursachen von elementarer Bedeutung, um den Digitalisierungsgrad Transparenz weitreichend zu erreichen und die Grundlage für die beiden nächsthöheren Digitalisierungsgrade zu schaffen.

Dafür ist zudem die Entscheidung und das einheitliche Verständnis über die einzelnen auswählbaren Ursachenkategorien sowie deren Definition zu Beginn der Systemnutzung nötig. Um die verschiedenen Funktionen zu nutzen, die eine automatische Benachrichtigung zugewiesener Führungskräfte oder der nächsthöheren Hierarchieebene beinhalten, ist es notwendig, die Organisationsstruktur im Voraus klar zu definieren. Außerdem muss sichergestellt werden, dass einer Eskalation positiv gegenübergestellt wird sowie auch die jeweiligen Führungsaufgaben bereitwillig übernommen werden. Diese Strukturen müssen im digitalen SFM-System hinterlegt werden, wodurch das System z.B. in der Lage ist, eine Maßnahme im Bedarfsfall an die richtige Führungskraft bzw. Hierarchieebene zu eskalieren oder die zugehörige Führungskraft über einen neuen Vorschlägen der ihm zugeordneten Mitarbeiter zu informieren.

Hinsichtlich der Prozesse im Bereich des Maßnahmen-Managements und der KVP-Projekte ist außerdem wichtig, dass die einzelnen Mitarbeiter dazu berechtigt sind, auch anderen Mitarbeitern Maßnahmen zuzuweisen sowie bei Bedarf den Projektstatus auf Rot zu setzen. Für das Funktionsmodul Ressourcensteuerung muss außerdem die Planung von Zusatzschichten und Mehrarbeit über das digitale System organisatorisch abgesichert werden. Eine weitere Voraussetzung stellt die Überlegung nach expliziten Motivationsmechanismen dar, um die Mitarbeiter kontinuierlich zur aktiven Beobachtung ihrer Arbeitsumwelt und damit zur Erkennung von Bedarfen und Potentialen für Veränderungen zu bewegen (Schuh et al. 2017).

Außerdem sollten die Führungskräfte die Berücksichtigung der Bewertungen und Kommentare innerhalb der eingereichten Vorschläge bei der Vorschlagsbewertung aktiv kommunizieren, damit die SF-Mitarbeiter diese Funktionen auch langfristig nutzen. Darüber hinaus ist es für einen erfolgreichen Wissensaustausch unter anderem notwendig, dass eine unternehmensweite, gemeinsame Vision verfolgt wird und dadurch auch die Mitarbeiter dazu bereit sind, ihr Wissen zu

dokumentieren und aktiv zu teilen. Eigenes Wissen sollte nicht als Eigenschaft gesehen werden, sich in ihrem Bereich unentbehrlich zu machen (Gluchowski, Gabriel & Dittmar 2008; Schuh et al. 2017). Demnach muss die Wichtigkeit des offenen Austauschs und der Kommunikation sowie die Verwendung der Sharing- Funktionen, wie z.B. dem Teilen von Dashboards, von den Führungskräften aktiv vorgelebt und gefördert werden.

Es gibt verschiedene **mitarbeiterbezogene Anforderungen**, die berücksichtigt werden sollten. Wie im Abschnitt organisatorische Anforderungen beschrieben, müssen die Mitarbeiter mehr Eigenverantwortung übernehmen. Sie werden „weniger als ‘Maschinenbediener’ eingesetzt, sondern mehr in der Rolle des Erfahrungsträgers, Entscheiders und Koordinators“ (Kagermann 2014). „Durch die Verlagerung von Verantwortung auf dezentrale Bereiche (bspw. auf dezentrale Teams) kann ein Geschwindigkeitsvorteil in der Entscheidungsfindung erzielt werden.“ (Lanza et. al 2018) Für diese Aufgaben müssen die Mitarbeiter entsprechend geschult werden. Des Weiteren müssen auch die Führungskräfte ein sogenanntes „Qualifikationsupgrading“ unterlaufen, denn „intellective skills“ werden wichtiger.

Diese „intellective skills“ beschreiben das theoretische Verständnis von Prozessen, welches für die Nutzung der vermehrten Informationen und der erhöhten Transparenz nötig ist. (Hirsch-Kreinsen & ten Hompel 2017). Damit das digitale Shopfloor Management effizient und insbesondere ohne Hemmungen angewendet wird, muss auch die IT-Affinität der Mitarbeiter und der Führungskräfte sichergestellt werden. Das heißt, ein sicherer Umgang mit dem Computer/interaktiven Whiteboard/Tablet/Smartphone muss sichergestellt werden. Eine weitere Voraussetzung für ein erfolgreiches Anwenden eines digitalen Shopfloor Managements ist der Wille und die Bereitschaft zur Veränderung. Hierfür kann es hilfreich sein die Mitarbeiter mit einzubeziehen und ihnen das Gefühl zu geben, ernst genommen zu werden.

Es gibt verschiedene **Gestaltungsprinzipien** die bei der Einführung eines digitalen Shopfloor Managements berücksichtigt werden sollten, damit die Vorteile des Führungsinstruments Shopfloor Managements nicht verloren gehen. Grundsätzliche Prinzipien wie eine positive Fehlerkultur und eine Zielkontinuität durch Hoshin Kanri bleiben unabhängig von einem digitalen Shopfloor Management uneingeschränkt bestehen. Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 geht man davon aus, dass der „Mensch weiterhin im Mittelpunkt stehen wird, auch in einer durchgängig virtualisierten und informatisierten Fabrik“ (Ganschar et al. 2013). Bei der Gestaltung eines digitalen Systems zur Unterstützung des Shopfloor Managements, sollte diese „Menschzentrierung“ beibehalten werden. Die DIN EN ISO 9241-210 definiert diese Gestaltung wie folgt: „Menschzentrierte Gestaltung ist eine Herangehensweise bei der Gestaltung und Entwicklung von Systemen, die darauf abzielt, interaktive Systeme gebrauchstauglicher [und zweckdienlicher] zu machen, indem sie sich auf die Verwendung des Systems konzentriert und Kenntnisse und Techniken aus den Bereichen der Arbeitswissenschaft/Ergonomie und der Gebrauchstauglichkeit anwendet.“ (Deutsches Institut für Normung 2011) Ein Prinzip der menschenzentrierten Gestaltung ist die nutzerorientierte Gestaltung, d.h. der Nutzer wird in den Mittelpunkt des Entwicklungsprozesses gestellt. Über den in dieser Studie beschriebenen Gestaltungsprinzipien schwebt dieser Begriff der „Nutzerorientierung“. Die Gestaltungsprinzipien lassen sich aufteilen in die Punkte Führung vor Ort, Einbezug der Mitarbeiter, Führungsverständnis, Glass Wall Management, Identifikation mit den Kennzahlen und Kundenorientierung.

Die **Orientierung an den Bedürfnissen des internen Kunden** zieht sich durch das gesamte Shopfloor Management. Bei der technischen Umsetzung des digitalen Shopfloor Managements sollten das Informationsbedürfnisse und der Nutzerkontext des Anwenders im Zentrum stehen,

sodass den Nutzern die richtigen Informationen auf dem richtigen Endgerät bereitstellen bekommt. Für einen Produktionsmitarbeiter kann dies ein Smartphone sein oder ein spezielles Tablet, das sich auch mit Handschuhen bedienen lässt. Wichtig ist, dass sich bei der Umsetzung nicht auf Büro-Lösungen der Office-Welt beschränkt, sondern eine echte nutzerzentrierte Gestaltung vorgenommen wird.

### 3.3.10 Benötigte und eingesetzte Ressourcen

Entsprechend des Finanzierungsplans wurde die Forschungsarbeit innerhalb dieses APs durch wissenschaftliches Personal durchgeführt. Seitens der Forschungsstellen wurden dafür 6 Personenmonate (PM) aufgewendet. Von diesen 6 PM entfielen 4 PM auf das IPRI und 2 PM auf das wbk.

## 3.4 Arbeitspaket 4: Validierung des Projektvorgehens

Die folgenden Ergebnisse waren Gegenstand dieses Arbeitspakets:

Geplante Ergebnisse lt. Antrag	Erzielte Ergebnisse
Validiertes Projektvorgehen. (Teilziel 4)	Validiertes Projektvorgehen. (Teilziel 4)

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes sollen auch in der Praxis anwendbar sein. Hierzu ist es notwendig die Ergebnisse nicht nur gemeinsam mit den Unternehmen zu erarbeiten, sondern diese auch zu validieren. Das bedeutet die Ergebnisse soll nach Erarbeitung nochmal mit den Unternehmen diskutiert und angepasst werden und ggf. auch bereits exemplarisch angewendet werden. Eine derartige Validierung erfolgte im Rahmen des Projektes in diversen (Teil-)Arbeitspaketen, um ein validiertes Projektvorgehen zu generieren. Die Validierung erfolgte im Rahmen von Treffen des projektbegleitenden Ausschuss, über Interviews bzw. Diskussionen (hiermit ist der iterative Austausch mit Unternehmen in kurzen telefonischen Gesprächen o.ä. gemeint, die in Form von Sammel-vAW zum Tragen kamen) mit Unternehmensvertretern oder im Falle des Experiments zusätzlich durch einen Pre-Test.

### 3.4.1 Validierung des in AP 1 erarbeiteten Vorgehens

Im Rahmen von Arbeitspaket 1 wurde das Vorgehen zur Erhebung des Ist-Stands der SFM-Lösungen sowie die beiden angewendeten Frameworks im Speziellen validiert. Das Vorgehen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

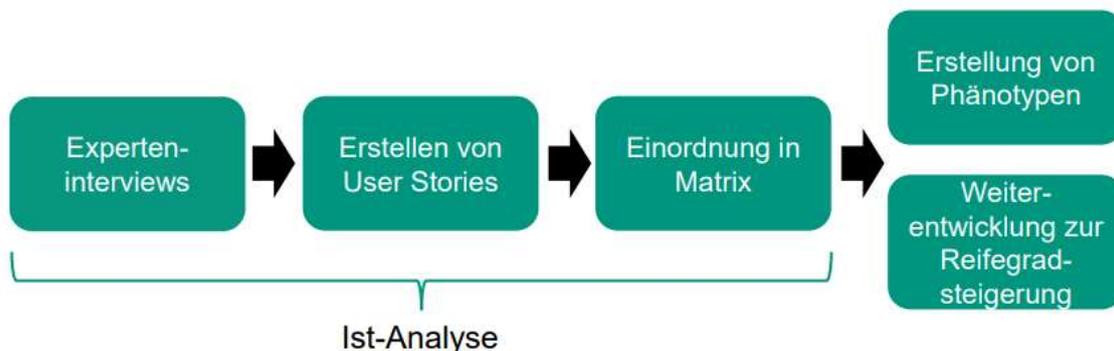


Abbildung 39: Vorgehen zur Ermittlung des Ist-Standes in AP1

Bei der Validierung des Vorgehens standen insbesondere die User Stories und die Matrizen im Fokus. Zunächst war eine wesentliche Anmerkungen der Unternehmen, dass kurze Latenzzeiten bei der Problemlösung von großer Bedeutung sind, jedoch die Informationsverfügbarkeit (auf Anfrage, periodisch oder ereignisbasiert) allein nicht ausreicht. Die Entwicklung des Industrie 4.0-Reifegrads sollte vor allem den Informationsgehalt und die Autonomie des SFM zu adressieren.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Unternehmen war die Abstraktion der Vorgänge im SFM. Die Umsetzung des Shopfloor Managements ist nicht einheitlich und somit nicht direkt vergleichbar, daher müssen die tatsächlich gelebten Vorgänge des Shopfloor Managements vor Ihrer Einordnung in ein Framework auf einzelne, abgeschlossene Teilfunktionen heruntergebrochen werden. Deshalb ist auch die Abfrage der User Stories von großer Bedeutung.

		Auf Anfrage		Periodisch		In Echtzeit	
		Analog	Digital	Analog	Digital	Analog	Digital
Nutzung	Sichtbarkeit						
	Transparenz						
	Prognose						
	Autonomie						

Abbildung 40: Framework zum Einsatz des SFM

Bei der Diskussion des Frameworks (siehe Abbildung 40) wurden folgende wesentlichen Anmerkungen zu den einzelnen Stufen gegeben:

- **Sichtbarkeit:** Die Daten sind erfasst, dokumentiert, ggf. aufbereitet und müssen von jedem Akteur, der auf Basis dieser Kennzahlen Entscheidungen treffen oder vorbereiten muss, einzusehen sein.
- **Transparenz:** Die Daten sind zusätzlich mit Ursachen/ Gründen verknüpft. Die Frage „Warum passiert es?“. Ein sehr wichtiger Aspekt und auch Diskussionspunkt in der Unternehmen war, wie die Kennzahlen und demnach auch die Probleme mit Lösungen verknüpft werden.
- **Prognose:** Trends und zukünftige Ereignisse werden vorhergesagt. Die Frage „Was wird passieren?“. Dieser Aspekt wird immer wichtiger, hierbei ist im weiteren Verlauf noch der Vertrauensaspekt der Mitarbeiter der generierten Prognosen ein Thema.
- **Autonomie:** Keine Anmerkungen.

Das Framework deckt als zweite Dimension die Echtzeitentscheidungsfähigkeit des Shopfloor Managements ab. Die DIN 44300 (abgelöst durch die ISO/IEC 2382) definiert den Begriff Echtzeit wie folgt: „Unter Echtzeit versteht man den Betrieb eines Rechensystems, bei dem Programme zur Verarbeitung anfallender Daten ständig betriebsbereit sind, derart, dass die Verarbeitungsergebnisse innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne verfügbar sind. Die Daten können je nach Anwendungsfall nach einer zeitlich zufälligen Verteilung oder zu vorherbestimmten Zeitpunkten anfallen.“ (Deutsches Institut für Normung, zit. nach Scholz 2005) Das bedeutet, dass ein Echtzeit-System rechtzeitig und ohne Ausnahme seine Aufgaben erledigen muss, wobei „rechtzeitig“ nicht exakt definiert wird, sondern sich an den Echtzeit-Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalls ausrichtet (Scholz 2005). Die vorliegende Studie nutzt den Begriff der Echtzeit für die Prozesse, die nahezu simultan mit der Realität ablaufen. Die Unternehmen sind mit der vorgeschlagenen Definition von Echtzeit einverstanden. Entscheidend für die Unternehmen ist, dass der Bericht der Kennzahlen zeitnah (i.S.v.: „unmittelbar nach dem Eintritt des Ereignisses“) erfolgt. Dies wird anhand eines Beispiels aus den Unternehmen gestützt. Ein Beispiel für ein Szenario, in dem eine Kennzahl in Echtzeit aufbereitet wird, wäre, wenn ein Mitarbeiter eine Rückmeldung an einer Maschine tätigt und unmittelbar die Produktivitätskennzahl neu berechnet und aktualisiert wird.

- **Auf Anfrage:** Die Informationen werden bei einer Anfrage eines Nutzers an einen Menschen oder an ein System generiert und werden dem Nutzer anschließend bereitgestellt.
- **Periodisch:** Die Informationen werden in regelmäßigen Zeitintervallen generiert oder dem Nutzer bereitgestellt.
- **Ereignisgesteuert:** Die Informationen werden **unmittelbar nach dem Eintritt eines Ereignisses** dem Nutzer bereitgestellt.

Die Unternehmen bestätigten die vorbereitenden Prozesse des SFM als notwendige Grundlage. Das Ziel sollte es daher sein, diese Prozesse weitestgehend zu eliminieren. Zu einem gewissen Grad trägt die Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung der Kennzahlen dazu bei, dass die Nutzer sich mit den Inhalten auseinandersetzen. Nur in diesem Rahmen sind manuelle Prozesse sinnvoll. Nur wenn die vorbereitenden Prozesse ausreichend aktuelle Daten bereitstellen, kann auch in der Nutzung eine hohe Echtzeitentscheidungsfähigkeit erreicht werden. Die vorbereitenden Prozesse können in einer Matrix den Teilprozessen Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung zugeordnet und nach ihrer Echtzeitentscheidungsfähigkeit eingeordnet werden.

		Auf Anfrage			Periodisch			In Echtzeit		
		Analog	Digital	Auto-matisiert	Analog	Digital	Auto-matisiert	Analog	Digital	Auto-matisiert
Unterstützende Prozesse	Erfassung									
	Aufbereitung									
	Visualisierung									

Abbildung 41: Framework der unterstützenden Prozesse

Die Einordnung wurde mit den Unternehmen diskutiert und ist in Kapitel 3.1 ausführlich dargestellt.

### **3.4.2 Validierung des Forschungsdesigns Experiment**

Im zweiten Schritt dieses Arbeitspakets wurde das Forschungsdesign des Experiments validiert. Zunächst erfolgte die Validierung der Konzeptionierung des Experiments mit anderen Wissenschaftlern, bevor anschließend ein Pre-Test des Versuchsaufbaus erfolgte. Zunächst wurde Umsetzung des Experiments und der technischer Aufbau diskutiert. Folgende Punkte standen dabei im Fokus:

1. Erhebung des Leistungsstands der einzelnen Mitarbeiter bzgl. der einzelnen Produktionsstationen
2. Niederschreiben der kontextbasierten Lösungen
3. Ausstattung der einzelnen Produktionsstationen mit Monitoren sowie der Mitarbeiter mit RFID-Chips
4. Integration eines Anmeldesystems an den einzelnen Produktionsstationen
5. Formulierung eines Optimierungsmodells zur Produktionssteuerung
6. Implementierung des Modells im MES-System
7. Manuelle Einsteuerung durch Planer vs. Autonome Einsteuerung durch System

Die tatsächliche Umsetzung, die sich aus dem grundlegenden Experimentaufbau und den Diskussionspunkten ergab, sind den Beschreibungen in AP 2 zu entnehmen.

Im Rahmen des Pre-Tests wurde das SFM zunächst als Methode des Lean Management eingeführt. Anschließend wurden die Rahmenbedingungen erklärt und die Regeln für die Durchführung des Experiments. Vor der Durchführung des Experiments wurde noch einmal detaillierter auf das Thema SFM mit den Kennzahlen und Problemlösungen respektive Maßnahmen eingegangen. Im Fokus dieses Pre-Test standen Aspekte der Praktikabilität und Durchführbarkeit, weniger Aspekte, die aus wissenschaftlicher Sicht gegeben sein mussten, um das Experiment valide durchführen zu können (z.B. Probandenzahl).

Die beiden wesentlichen Punkte, die sich aus dem Pre-Test ergaben waren die Frequenz mit der die nicht echtzeitdatenbasierten Kennzahlen berichtet werden und die Dauer eines Produktionsdurchlauf. Erstere sollte bei 3 Minuten liegen und letztere bei 12 Minuten.

Darüber hinaus wurden weitere Punkte diskutiert:

- Das Gefühl des Einflusses der Entscheidungen auf den Produktionsgewinn
- Kennzahlen als Entscheidungsunterstützung
- Nachvollziehbarkeit der Produktionsprozesse auf Basis der Kennzahlen

Die meisten Probanden gaben an, dass sie zur Entscheidungsfindung die Kennzahlen heranziehen konnten und durch die Kennzahlen schnell Probleme und Störungen erkannten. Aufgrund der Kennzahlen konnten sie Maßnahmen zur Problemlösung ergreifen. Im Durchschnitt fühlten sie sich während der Entscheidungssituation nicht überfordert und schätzen den Zeitvorteil bei der Problemerkennung hoch ein.

### 3.4.3 Validierung der Kosten-Nutzenanalyse

In diesem Schritt des Arbeitspaketes soll die Methode des EPA-Modells zur Wirtschaftlichkeitsberechnung der echtzeitdatenbasierten Kennzahlen respektive eines Echtzeitdaten-Reporting-System für das SFM validiert werden. Hierzu werden zuerst verschiedene Methoden der Wirtschaftlichkeitsbewertung anhand relevanter Kriterien bewertet.

#### Verschiedene Verfahren der Wirtschaftlichkeitsbewertung

Da eine Vielzahl an Methoden vorhanden ist, um eine Kosten- und Nutzenanalyse durchzuführen, wird zunächst festgelegt, welchen Anforderungen das Verfahren gerecht werden muss. Daraufhin werden einige Verfahren kurz aufgezeigt. Anhand der Kriterien Umsetzungsaufwand, praktische Anwendbarkeit, Einbeziehung aller Einflussfaktoren, Transparenz und Skalierbarkeit findet die letzte Bewertung statt.

Es bestehen verschiedene Anforderungen an ein Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von echtzeitdatenbasierter Kennzahlen. Zum einen darf der **Umsetzungsaufwand** der Kosten- und Nutzenanalyse im Verhältnis zur Investition nicht zu hoch sein. Das bedeutet, dass der finanzielle, materielle und zeitliche Aufwand, der für die Analyse benötigt wird, gemessen an der Investitionsgröße, überschaubar bleibt. Zum anderen bedarf es einer **praktischen Anwendbarkeit** des Verfahrens. Es sollte bestmöglich von jedermann durchführbar sein. Dazu gehört eine einfache Interpretation der Ergebnisse, sowie eine Akzeptanz durch den Anwender. Zusätzlich muss das Verfahren dazu in der Lage sein, alle entscheidenden **Einflussfaktoren** einbeziehen zu können. Dazu gehören monetäre (z.B. höherer Umsatz), sowie nicht-monetäre Größen (z.B. Qualität), genauso wie direkte (z.B. Fehlerquote) und indirekte Effekte (z.B. Kosten durch produzierten Ausschuss) der Investition auf alle Output- und Inputpotenziale. Das Verfahren muss **Transparenz** gewährleisten, also den Weg zur Entscheidungsfindung nachvollziehbar machen. Auch **Skalierbarkeit**, also die Aufnahme von zusätzlichen Einflussfaktoren, soll geleistet werden können.

Folgende Verfahren wurden vorselektiert und in Betracht gezogen:

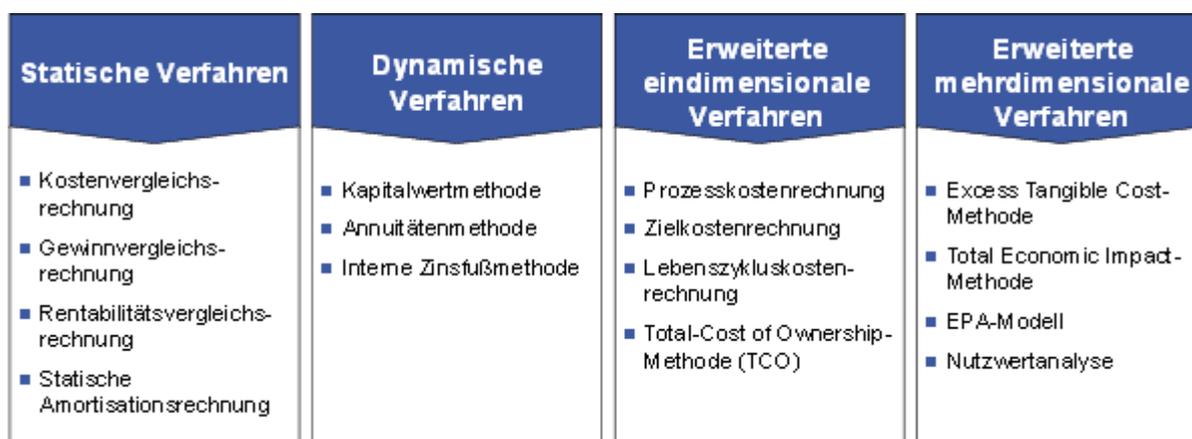


Abbildung 42: Verfahren der Wirtschaftlichkeitsbewertung

#### Kostenvergleichsrechnung

Bei der Kostenvergleichsrechnung sind die Kosten die entscheidungsrelevante Zielgröße. Die Erlöse werden in Bezug auf die verschiedenen Investitionsalternativen als identisch angenommen. Die erfassten Kosten haben langfristigen Charakter. Als Kostenarten sind insbesondere Personal-, Materialkosten, Abschreibungen, Zinsen, Steuern, Gebühren, Beiträge sowie Kosten

für Fremdleistungen zu betrachten. Die Kosten werden bezogen auf den Planungszeitraum als Durchschnittsgrößen berücksichtigt, wobei einige Kosten variable und damit von der Produktionsmenge abhängig sind. Eine Beurteilung der absoluten Vorteilhaftigkeit anhand der Kosten ist dann nicht sinnvoll, wenn die Annahme identischer Erlöse nicht gehalten werden kann.

### **Gewinnvergleichsrechnung**

Bei der Gewinnvergleichsrechnung wird neben der Kostenseite auch die Erlösseite betrachtet. Damit ist die entscheidungsrelevante Zielgröße der durchschnittliche Gewinn. Ansonsten müssen die gleichen Voraussetzungen wie bei der Kostenvergleichsrechnung gegeben sein.

### **Rentabilitätsvergleichsrechnung**

Bei der Rentabilitätsvergleichsrechnung ist die entscheidungsrelevante Zielgröße eine Rentabilitätsgröße, die das Verhältnis von Gewinn (durchschnittliche Gewinn + durchschnittliche Zinsen) und Kapitaleinsatz (durchschnittliche Kapitalbindung) bildet. Bei dieser Definition wird die Gesamtverzinsung des durchschnittlichen Kapitaleinsatzes bestimmt. Die durchschnittlichen Zinsen ergeben sich aus der Verzinsung des durchschnittlich gebundenen Kapitals mit dem Kalkulationszinssatz. Die Bestimmung des Grenzwertes liegt im Ermessen der Entscheider und sollte in Anbetracht der zur Verfügung stehenden Investitionsmöglichkeiten festgelegt werden.

### **Statische Amortisationsrechnung**

Bei der statischen Amortisationsrechnung ist die entscheidungsrelevante Zielgröße die Amortisationsdauer des Investitionsgegenstandes. Die Amortisationsdauer eines Investitionsgegenstandes ist der Zeitraum, in dem das eingesetzte Kapital aus den durchschnittlichen Rückflüssen des Investitionsgegenstandes wiedergewonnen wird. Die Amortisationszeit dient als Maßstab für das mit der Investition verbundene Risiko. Sie dient eher als Ergänzung zu anderen Instrumenten der Vorteilhaftigkeitsbeurteilung. Sie kann ermittelt werden, indem das eingesetzte Kapital (Anschaffungskosten) durch die durchschnittlichen Rückflüsse geteilt wird. Die Höhe der durchschnittlichen Rückflüsse stimmt nicht mit dem durchschnittlichen Gewinn überein, da die Rückflüsse den Saldo aus Ein- und Auszahlungen darstellen. Die durchschnittlichen Rückflüsse ergeben sich aus der Summe des durchschnittlichen Gewinns und den Abschreibungen.

### **Dynamische Verfahren (in Anlehnung an Götze 2012 und Schäfer 2005)**

Bei dynamischen Verfahren werden mehrere Perioden betrachtet. Zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit werden Ein- und Auszahlungen berücksichtigt, die nach der Realisation des Investitionsgegenstandes innerhalb der zu berücksichtigenden Perioden anfallen. Dies impliziert die Annahme, dass die anfallenden Ein- und Auszahlungen spezifischer Höhe beschränkt, prognostizierbar und diskret und äquidistanten Zeitpunkten zurechenbar sind. Da bei den dynamischen Verfahren Zahlungen zu verschiedenen Zeitpunkten anfallen muss eine Auf- oder Abzinsung der einzubeziehenden Werte stattfinden. Die dynamischen Verfahren der Vorteilhaftigkeitsbeurteilung lassen sich in die Gruppe der Verfahren mit einem einheitlichen Kalkulationszinssatz und mit unterschiedlichen Kalkulationszinssätzen unterteilen. Auf Basis der durchgeführten Interviews mit Unternehmensvertretern wurde sich hier auf die Berücksichtigung der Verfahren mit einem einheitlichen Kalkulationszinssatz beschränkt. Verfahren wie die Vermögensendwertmethode oder die Sollzinssatzmethode wurden vernachlässigt.

### **Kapitalwertmethode**

Die Kapitalwertmethode dient zur Beurteilung von Investitionsobjekten nach der Zielgröße des Kapitalwerts. „Der Kapitalwert ist die Summe aller auf einen Zeitpunkt ab- bzw. aufgezinsten Ein- und Auszahlungen, die durch die Realisation eines Investitionsobjektes verursacht werden.“ (Götze und Bloech 2004). Das Verfahren basiert auf der Annahme eines vollkommenen Kapitalmarktes, mit einem einheitlichen Kalkulationszinssatz, zu dem Finanzmittel in beliebiger Höhe

angelegt und aufgenommen werden können. Zumeist wird der Kapitalwert auf den Beginn des Planungszeitraums bezogen. Der Kapitalwert ist dann die Summe auf diesen Zeitpunkt abgezinsten Zahlungen, für die das Investitionsobjekt ursächlich war.

### **Annuitätenmethode**

Die Annuitätenmethode basiert auf dem Verfahren der Kapitalwertmethode. Jedoch wird das Verfahren hinsichtlich der Zielgröße der Annuität ausgewertet. „Eine Annuität ist eine Folge gleich hoher Zahlungen, die in jeder Periode des Betrachtungszeitraums anfallen (Götze und Bloech 2004). Diese Größe kann als zusätzlicher Betrag, den der Investor in jeder Periode entnehmen kann. Bei Berechnung der Annuitäten werden die Zahlungen jeweils auf das Periodenende bezogen (nachschießige Zahlungen).

### **Interne Zinsfußmethode**

Auch die Interne Zinsfußmethode basiert auf dem Grundgedanken der Kapitalwertmethode. Jedoch wird die Prämisse hinsichtlich des Ausgleichs von Kapitalbindungs- und Nutzungsdauerdifferenzen angepasst. Das bedeutet die entscheidungsrelevante Zielgröße ist der interne Zinssatz. Dabei „handelt es sich um den Zinssatz, der – als Kalkulationszinssatz verwendet – zu einem Kapitalwert von Null führt.“ (Götze und Bloech 2004). Der Interne Zinssatz entspricht letztlich der Verzinsung des in dem betrachteten Investitionsobjekt zu verschiedenen Zeitpunkten jeweils gebundenen Kapitals.

### **Erweiterte eindimensionale Verfahren (in Anlehnung an Götze 2012 und Schäfer 2005):**

#### **TCO-Methode**

Bei der TCO-Methode wird durch eine detaillierte Kostenanalyse eine transparente und realitätsnahe Abbildung der Kostenstruktur des Investitionsobjekts generiert. Bei einmaligen und laufenden Aufwänden wird in direkten und indirekten Kosten unterschieden. Direkte Kosten sind im Rechnungswesen erfasst, indirekte Kosten können auf Basis von beispielsweise Expertenbefragungen ermittelt werden.

#### **Prozesskostenrechnung**

Ziele der Prozesskostenrechnung sind die verursachungsgerechte Verteilung der Gemeinkosten auf die Produkte und die Verbesserung des Gemeinkostencontrollings. Ersteres wird erreicht durch die Berücksichtigung der spezifischen Inanspruchnahme indirekter Bereiche, was zu einer beanspruchungsgerechten Kalkulation führt. Das zweite Ziel kann durch die Erhöhung der Leistungs- und Kostentransparenz in den indirekten Bereichen erreicht werden. Auf Basis der erhöhten Transparenz können Gemeinkosten reduziert werden.

Die beanspruchungsgerechte Zuordnung von Kosten wird durch die Umwandlung weitgehend fixer Gemeinkosten der indirekten Bereiche in proportionale Kosten in Abhängigkeit von Prozessen innerhalb der indirekten Bereiche.

#### **Zielkostenrechnung**

Bei der Zielkostenrechnung lautet die entscheidende Frage nicht „Wieviel kostet ein Produkt?“, sondern „Was darf ein Produkt kosten?“. Die Basis dieses Ansatzes bildet der am Markt erzielbare Preis und eine Zielrendite, die von diesem Preis abgezogen wird. Anschließend werden die „allowable costs“, den für ein Neuprodukt anfallenden sogenannten „drifting costs“ gegenübergestellt. Hieraus resultiert ein Produktkonzept, das nicht nur die maximal zulässigen Zielkosten, sondern auch die vom Markt erwünschten Leistungsmerkmale, im Kalkül berücksichtigt.

#### **Lebenszykluskostenrechnung**

Für Produzenten ist es aufgrund steigender Kosten für die Entwicklung neuer Produkte sowie für die Bindung und Akquisition neuer Kunden wichtig, die Wirtschaftlichkeit von Produkten anhand

einer periodenübergreifenden, produkt- und kundenlebenszyklusbezogenen Betrachtung zu beurteilen. Beim Konzept des Lebenszyklus wird in drei Phasen unterschieden:

1. Entstehungsphase
2. Betriebsphase
3. Verwertungsphase (VDMA Einheitsblatt 34160:2006).

Die Lebenszykluskostenrechnung umfasst produktspezifische (zahlungswirksame) Kosten und Erlöse und damit neben den Anschaffungskosten, die im Laufe des Produktlebenszyklus anfallenden Folgekosten (z.B. Betrieb, Wartung, Entsorgung).

#### **Erweiterte mehrdimensionale Verfahren:**

##### **Excess Tangible Cost-Methode**

Im Rahmen dieser Methode werden quantifizierbare Kosten Nutzenpotenzialen gegenübergestellt. Aufwände werden über die Zeit erfasst und anschließend mit dem Nutzen verrechnet. Die Differenz wird nicht quantifizierbaren Potenzialen gegenübergestellt. Diese Potenziale werden kategorisiert (z.B. Qualitätsverbesserung) (Pietsch 2003).

##### **Total Economic Impact-Methode**

Dieses Verfahren basiert auf der TCO-Methode, wobei durch Forrester Research Inc. eine Ergänzung um den Nutzen, die Flexibilität und das Risiko erfolgt. Die Erfassung von Potenzialen erfolgt befragungsbasiert.

##### **EPA-Modell**

Ein weiteres Modell zur monetären und nicht-monetären Bewertung von Investitionsobjekten ist neben der Nutzwertanalyse das Extended Performance Analysis (EPA)-Modell. Dieses erlaubt es nicht-monetäre Nutzeneffekte in monetäre Nutzeneffekte zu überführen. Den Ausgangspunkt bei dem EPA-Modell bilden die nicht-monetären und nicht direkt quantifizierbaren Nutzeneffekte (z.B. Erhöhung der Kundenzufriedenheit). Diese werden als Ursache für die nicht-monetären, aber direkt quantifizierbaren Nutzeneffekte gesehen (z.B. eine erhöhte Maschinenauslastung) gesehen. Die nicht-monetären, aber direkt quantifizierbaren Nutzeneffekte beeinflussen die monetären Nutzeneffekte (z.B. niedrigere Bestandskosten). Das Vorgehen beim EPA-Modell zur Integration der nicht-monetären und monetären Nutzeneffekte besteht zunächst in der Erfassung und Identifizierung möglicher Nutzeneffekte und deren Wirkbeziehungen. Die anschließende Verknüpfung der einzelnen qualitativen Nutzeneffekte führt zur „Evaluation Map“, welche die Zusammenhänge der Nutzeneffekte abbildet. Zur Ermittlung des monetären Nutzens werden dann die einzelnen Faktoren mit den einzelnen vorgelagerten Nutzeneffekten in der Wirkungskette verknüpft (Seiter et al. 2016).

##### **Nutzwertanalyse**

Die Nutzwertanalyse ist die „Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen, mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen.“ (Götze und Bloech 2004). Es werden Nutzwerte für die Alternativen berechnet, wobei verschiedene Zielgrößen berücksichtigt werden müssen. Für die einzelnen Zielgrößen sind Teilnutzenwerte anzugeben. Diese Teilnutzenwerte werden gewichtet und zu einem Gesamtnutzwert zusammengeführt. Im Rahmen der Nutzwertanalyse werden 5 Schritte durchgeführt: 1. Zielkriterienbestimmung, 2. Zielkriteriengewichtung, 3. Teilnutzenbestimmung, 4. Nutzwertermittlung und 5. Beurteilung der Vorteilhaftigkeit.

#### **Bewertung und Auswahl von Verfahren:**

Nachdem nun verschiedene potenzielle Ansätze zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit vorselektiert wurden, werden diese Verfahren anhand der ermittelten Anforderungen bewertet. Die Bewertung ist in folgender Abbildung dargestellt.

Kategorien	Bewertungsfaktoren	Umsetzungsaufwand	Praktikabilität	Transparenz	Einflussfaktoren	Monetäre Größen	Nicht-monetäre Größen	Unsicherheit	Skalierbarkeit
	Betrachtete Verfahren								
Statische Verfahren	Kostenvergleichsrechnung	◐	●	●	◐	●	○	○	●
	Gewinnvergleichsrechnung	◐	●	●	◐	●	○	○	●
	Rentabilitätsvergleichsrechnung	◐	◐	●	◐	●	○	○	●
	Statische Amortisationsrechnung	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Dynamische Verfahren	Kapitalwertmethode	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐	●
	Annuitätenmethode	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●
	Interne Zinsfußmethode	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●
Erweiterte eindimensionale Verfahren	Prozesskostenrechnung	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	●
	Zielkostenrechnung	◐	◐	●	●	◐	◐	◐	◐
	Lebenszykluskostenrechnung	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	●
	TCO-Methode	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	●
Erweiterte mehrdimensionale Verfahren	Excess Tangible Cost-Methode	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●
	Total Economic Impact-Methode	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
	EPA-Modell	◐	◐	◐	●	●	●	◐	◐
	Nutzwertanalyse	◐	●	◐	◐	●	●	◐	●

Abbildung 43: Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung

Somit konnte die Verwendung des EPA-Modells, wie im Antrag geplant, auch validiert werden.

### 3.4.4 Validierung der Anpassungen des Reportings

Im letzten Teil dieses Arbeitspakets wurde das Vorgehen zur Konzeption eines Echtzeit-Reportings für das SFM validiert. Aufgrund der dargestellten Wichtigkeit der Nutzerorientierung bei der Systementwicklung stellt auch für die Konzeptionierung des digitalen SFMs-Systems in dieser Arbeit die Verwendung eines nutzerzentrierten Vorgehensmodells einen zentralen Aspekt dar. Nach ISO 9241-210 kann eine nutzerzentrierte Vorgehensweise mithilfe der folgenden Eigenschaften beschrieben werden (DIN-Normenausschuss Ergonomie 2011): i) der Gestaltprozess basiert auf einem breiten Verständnis des Nutzungskontexts, ii) die zukünftigen Nutzer werden stets in allen Phasen der Gestaltung und Entwicklung eingebunden, iii) die Gestaltungslösungen werden kontinuierlich auf Basis der Rückmeldung der zukünftigen Benutzer angepasst und optimiert, iv) der Gestaltungsprozess verläuft iterativ, v) während der Gestaltung wird die ganze User Experience berücksichtigt.

In der Literatur finden sich unterschiedliche nutzerzentrierte Vorgehensmodelle, die diese Eigenschaften berücksichtigen. Eines davon ist der in der DIN EN ISO 9241-210 beschriebene "Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme" (DIN-Normenausschuss Ergonomie 2011). Weitere Beispiele stellen das Prozessmodell nach Sarodnick & Brau (2006) und der "Ueware-Entwicklungsprozess" nach Zühlke (2012) dar, die jedoch alle sehr ähnliche Phasen

durchlaufen. Für die Konzeptionierung des digitalen SFM-Systems in dieser Arbeit nach einer Literaturrecherche und Diskussion mit den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschuss wird das Vorgehensmodell aus der Normreihe 9241 verwendet, da dieses weit verbreitet ist sowie ein von Experten aus Wissenschaft und Praxis interdisziplinär entwickelter internationaler Standard hinsichtlich Usability darstellt (Bevan 2009; Heinecke 2012). Das Vorgehen ist in Abbildung 44 dargestellt.

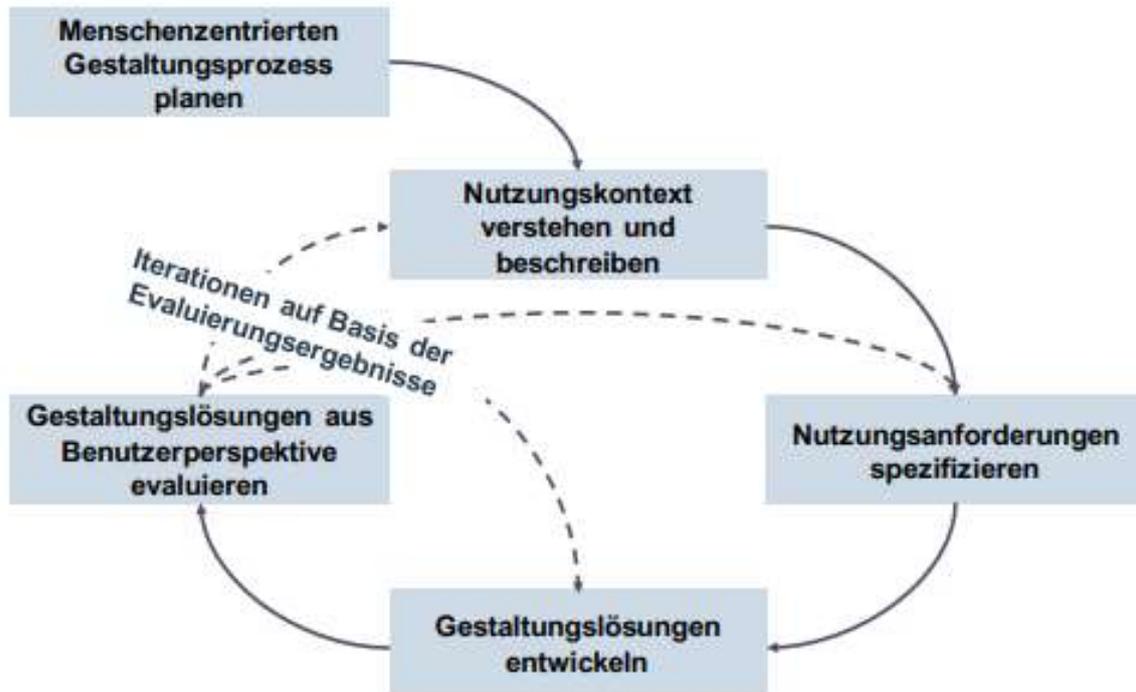


Abbildung 44: Vorgehen interaktiver Systeme nach DIN EN ISO 9241-210

Der Gestaltungsprozess besteht aus den vier Aktivitäten "Verstehen und Beschreiben des Nutzungskontexts", "Spezifizieren der Nutzungsanforderungen", "Entwerfen der Gestaltungslösungen" und "Testen und Bewerten der Gestaltung", die iterativ wiederholt werden, wodurch ein Zyklus entsteht. Der Gestaltungsprozess determiniert dann, wenn die entwickelte Gestaltungslösung alle Nutzungsanforderungen erfüllt. (DIN-Normenausschuss Ergonomie 2011) Zusätzlich dazu ist es wichtig, den Gestaltungsprozess im Voraus zu planen. Diese Planung umfasst unter anderem das Verständnis über die Systemvision bzw. das Ziel des digitalen Systems sowie die Festlegung der Teilaufgaben der vier Aktivitäten, die dafür verwendeten Techniken und die Dokumentationsweise der jeweiligen Ergebnisse. (DIN-Normenausschuss Ergonomie 2011; Heinecke 2012; Richter & Flückiger 2016) Der Umfang dieser Arbeit umfasst die ersten drei Aktivitäten, d.h. die ausführliche Analyse des Nutzungskontexts, die Analyse der Nutzungsanforderungen sowie die Entwicklung einer Gestaltungslösung. Diese Aktivitäten sind in den folgenden Abschnitten näher beschrieben. Diese wurden mit den Unternehmen validiert und entsprechend auf den vorliegenden Kontext angepasst.

Der Ausgangspunkt für die erfolgreiche nutzerzentrierte Gestaltung eines digitalen Systems stellt die Analyse des Nutzungskontexts dar (DIN-Normenausschuss Ergonomie 2011). Dieser setzt sich aus den Benutzern des Systems, ihren Arbeitsaufgaben sowie den verwendeten Hilfsmittel und der Umgebung zusammen, in der das System eingesetzt wird. Der erste Schritt der Kontextanalyse umfasst die Aufnahme der aktuellen Situation des SFMs durch Beobachtungen und Befragungen an ausgewählten Standorten des Praxispartners vor Ort sowie die Dokumentation

der Prozesse und verwendeten analogen und digitalen Hilfsmittel. Mithilfe der Ist-Analyse können die potentiellen Benutzer des digitalen SFM-Systems und deren Eigenschaften, die SFM-Prozesse und die organisatorische, technologische und physische Umgebung identifiziert werden.

Die ermittelten Prozesse werden zudem als User Stories formuliert und in die Digitalisierungs-Echtzeit-Matrix des dazugehörigen SFM-Moduls eingeordnet. Dadurch können einerseits die verschiedenen Reifegrade zwischen den Standorten und Modulen verglichen und andererseits die Abläufe und Prozesse abgeleitet werden, welche ein digitales SFM-System sinnvoll unterstützen kann. Im Rahmen der Nutzeranalyse wird das Ziel verfolgt, die verschiedenen Benutzergruppen des digitalen SFM-Systems zu identifizieren und zu beschreiben. Für die Einteilung in verschiedene Benutzergruppen stehen unterschiedliche Unterteilungsmöglichkeiten zur Verfügung (Heinecke 2012).

Bei der Konzeptionierung des digitalen SFM-Systems in dieser Arbeit basiert die Nutzergruppeneinteilung, wie auch in Gröger et al. (2016) und Stockinger, Verma & König (2017), vor allem auf ihren Rollen innerhalb der Produktion, deren durchzuführenden Aufgaben und Tätigkeiten sowie den Beziehungen zwischen den Nutzergruppen. Zusätzlich werden aber auch die persönlichen Eigenschaften, Fähigkeiten und Kenntnisse der unterschiedlichen Benutzer berücksichtigt (s. Heinecke (2012)) und miteinbezogen, dass die Nutzer je nach Rolle unterschiedliche Sichten von Informationen sowie Erstellungs- und Änderungsberechtigungen benötigen (Kletti 2015).

Die Kenntnis über die Anforderungen an das System stellt einen wesentlichen Aspekt der Gestaltung einer digitalen Lösung dar (vgl. Ebert (2014); Pohl & Rupp (2015); Richter & Flückiger (2016)). Um die Anforderungen an ein digitales System zu ermitteln, stehen unterschiedliche Ermittlungstechniken zur Verfügung. Eine Kombination der verschiedenen Techniken stellt eine sinnvolle Herangehensweise dar, um einerseits die jeweiligen Nachteile der Techniken auszugleichen und andererseits Anforderungen zu allen Anforderungsarten sowie deren Prioritäten zu identifizieren (Pohl & Rupp 2015). Daher wird auch in dieser Arbeit ein kombinierter Ansatz verfolgt, der die folgenden Techniken beinhaltet:

1. Dokumentenanalyse: Analyse von Unternehmensdokumenten, Dokumentationen bestehender, geplanter und verworfener Systeme sowie bereits erarbeiteter Anforderungen
2. Feldbeobachtungen: Beobachtung und Analyse der Prozesse und der verwendeten Hilfsmittel an den ausgewählten Standorten vor Ort
3. Befragungen: direkte Befragungen und Gespräche mit den unterschiedlichen Nutzergruppen und den SFM-Experten sowie kreative Diskussionen zur Generierung von Ideen.

Durch die Beobachtungen und die Analyse von Dokumenten können vor allem die Basisfaktoren ermittelt werden. Befragungen sind hauptsächlich für die Leistungsfaktoren, aber auch für die Basisfaktoren geeignet. Kreativitätstechniken zielen vor allem auf die Bestimmung von Begeisterungsfaktoren. (Kano et al. 1984; Pohl & Rupp 2015) Die im Unternehmen ermittelten Anforderungen an das digitale SFM-System werden zusätzlich um das Anforderungsprofil von Braun (2016) (s. Kapitel 3.2.2) und verschiedene ISO-Standards ergänzt. Wie im ganzen Gestaltungsprozess ist auch hier wichtig, die ermittelten Anforderungen iterativ zu überprüfen um z.B. bestehende Abweichungen zu den Bedürfnissen der Nutzer oder Uneindeutigkeiten rechtzeitig zu identifizieren. Das Ergebnis der Anforderungsanalyse stellt eine Liste dar, die die ermittelten funktionalen Anforderungen, Qualitätsanforderungen sowie Randbedingungen enthält.

Im Anschluss an die Analyse des Nutzungskontexts und der Anforderungen wird auf Basis der Ergebnisse eine Gestaltungslösung entwickelt. Dieser Schritt des Gestaltungsprozesses setzt

sich aus der Entwicklung eines konzeptionellen Benutzermodells und der anschließenden Gestaltung der Benutzungsschnittstelle zusammen (Heinecke 2012). Daher stellt der erste Teil dieses Prozessschrittes die Konzeptionierung des digitalen SFM-Systems dar, dessen Fokus die Beschreibung der Funktionen der einzelnen Module, die möglichen Interaktionen zwischen den Modulen sowie die Funktionsteilung zwischen Mensch und digitalem System ist. Dabei werden neben dem Nutzungskontext und den ermittelten Anforderungen die Erkenntnisse aus (Hertle et al. 2017; Biehl 2018) und die bereits existierenden Lösungen und verwandten Ansätze in Praxis und Forschung miteinbezogen und das Zielsystem des Unternehmens als richtungsweisende Komponente berücksichtigt.

Darüber hinaus werden modulweise auch kurz potentielle Erweiterungsmöglichkeiten des Konzepts für eine spätere Ausbaustufe des digitalen SFM-Systems beschrieben. Um einen Vergleich zwischen dem Ist- und dem Ziel-Zustand zu ermöglichen werden auch für die beiden Stufen des Konzepts die Digitalisierungs-Echtzeit-Matrizen der einzelnen Module erstellt. Im letzten Teil der Konzeptentwicklung werden zur Vorbereitung der Umsetzungstätigkeiten des Konzepts die organisatorischen und technischen Voraussetzungen für die erfolgreiche Einbettung des digitalen SFMSystems in die aktuell bestehenden Prozesse und Umgebungen zusammengefasst. Ausgehend von dem erstellten Konzept werden unter Berücksichtigung verschiedener Gestaltungsrichtlinien Gestaltungsempfehlungen für ausgewählte Modulbereiche erarbeitet.

### 3.4.5 Benötigte und eingesetzte Ressourcen

Entsprechend des Finanzierungsplans wurde die Forschungsarbeit innerhalb dieses APs durch wissenschaftliches Personal durchgeführt. Seitens der Forschungsstellen wurden dafür 11 Personenmonate (PM) aufgewendet. Von diesen 11 PM entfielen 3 PM auf das IPRI und 8 PM auf das wbk.

## 3.5 Arbeitspaket 5: Umsetzung der Ergebnisse in App-Demonstrator

Die folgenden Ergebnisse waren Gegenstand dieses Arbeitspakets:

Geplante Ergebnisse lt. Antrag	Ezielte Ergebnisse
Entwicklung eines App-Demonstrators für echtzeitbasierte mobile Shopfloor-Reporting. (Teilziel 5)	Entwicklung eines App-Demonstrators für echtzeitbasierte mobile Shopfloor-Reporting. (Teilziel 5)

### 3.5.1 Vorgehen im Arbeitspaket

Ziel des Arbeitspakets war es die zuvor erarbeiteten Inhalte zu Weiterentwicklung eines Shopfloormanagements zu einem digitalen Shopfloormanagement in einem App-Demonstrator zu integrieren, der auch für ein mobiles Shopfloor-Reporting geeignet ist. Hierzu wurden zunächst 20 Interviews mit Unternehmensvertretern eines Unternehmens, mit dem die Validierung des App-Demonstrators erfolgte, zur Verfügung. In den Interviews wurde zunächst der Ist-Zustand des Shopfloormanagements hinsichtlich des Grads der Digitalisierung und der Echtzeitfähigkeit erfragt sowie die standardisierten Aufgaben und Prozesse innerhalb des Shopfloormanagements.

Beispielhaft werden einige Fragen aus den Interviews genannt:

- Welche Kennzahlen werden innerhalb des Shopfloormanagements betrachtet?
- Wie werden die Kennzahlen erhoben und weiter verarbeitet?

- Wieviel Zeit benötigt die die Beschaffung und Aufbereitung der Daten pro Vorgang?
- Wie erfolgt die Problemlösung?
- Wie wichtig ist es, dass Personen schnell den Stand von Problemlösemaßnahmen einsehen können?
- Wie viele Entscheidungen können Sie organisatorisch selbst treffen bei der Umsetzung von Maßnahmen?
- Wie lange dauert es von der Idee zur Umsetzung?
- Wie weit würden Sie sich/dem Team zutrauen, ein digitales SFM Board zu bedienen?

Im Anschluss an die Interviews wurden in Workshops mithilfe der Design-Thinking Methode die zuvor im Projekt erarbeiteten Ergebnisse und die durch die Interviews aufgenommenen Ist-Zustände zu einem Prototypen des App-Demonstrators verarbeitet.

Für Design-Thinking existieren in der Literatur eine Reihe von Definitionen, z.B. „Design Thinking [...] ist erfinderisches Denken mit radikaler Kunden- beziehungsweise Nutzerorientierung. Es basiert auf dem Prinzip der Interdisziplinarität und verbindet in einem strukturierteren, moderierten Iterationsprozess die Haltung der Ergebnisoffenheit mit der Notwendigkeit der Ergebnisorientierung.“ (Erbeldinger und Ramge 2015, S. 13). Autoren weiterer Definitionen können beispielhaft genannt werden, Plattner et al. 2009 oder Curedale 2013. Aus den zahlreichen Definitionen können die wesentlichen Eigenschaften des Design-Thinking abgeleitet werden:

- Zielsetzung: Design Thinking hat zum Ziel, für Probleme neue Lösungen zu entwickeln.
- Orientierung: Design Thinking orientiert sich konsequent an den Nutzern.
- Prozess: Design Thinking erfolgt anhand eines strukturierten und iterativen Prozesses.
- Beteiligte: Design Thinking wird von einem interdisziplinären Team angewendet.

Design Thinking ist durch vier grundlegende Prinzipien geprägt (Schallmo 2017, S. 14-22):

Innerhalb von Design Thinking ist der **Mensch** die **Inspirationsquelle** für neue Ideen. Der Mensch steht dabei mit seinen Bedürfnissen im Vordergrund. Sind die Bedürfnisse ermittelt, so erfolgt im nächsten Schritt die Prüfung, welche Produkte und Dienstleistungen technisch machbar sind. Anschließend wird geprüft, welche Lösungen wirtschaftlich sind. Da eine grundlegende Orientierung am Menschen und dessen Bedürfnissen erfolgt, ist erstens ein weniger aufwendiges Marketing notwendig und zweitens das Risiko geringer, dass neue Produkte und Dienstleistungen scheitern (Plattner et al. 2009, S. 118 ff.; Brown 2008, S. 87).

Das zweite Prinzip ist der Einsatz **multidisziplinärer Teams**. Dabei steht nicht die kreative Leistungsfähigkeit einzelner Personen, sondern die kreative Leistungsfähigkeit von interdisziplinären Teams mit vier bis sechs Teilnehmern im Fokus. Es wird meist darauf geachtet, dass die Geschlechterverteilung ausgeglichen ist. Bei den Disziplinen ist ebenfalls darauf zu achten, dass diese gleichmäßig vertreten sind (Plattner 2009, S. 64 f. und 103 f.; Brown 2008, S. 87). Die persönlichen Eigenschaften eines Design Thinkers spielen dabei eine große Rolle (Plattner et al. 2009, S. 72 ff.). Im Idealfall benötigt eine teilnehmende Person Optimismus, Empathie, integratives Denken, Experimentierfreude und Kooperationsfähigkeit.

Aufgrund des Einsatzes multidisziplinärer Teams haben alle Beteiligten aufgrund ihrer Ausbildung und Erfahrung unterschiedliche Arbeitsprozesse. Aus diesem Grund ist es notwendig, einen Prozess bereit zu stellen, der Analytik mit Intuition verbindet und für alle Beteiligten verständlich ist.

Um Verbesserungen der Lösungen zu ermöglichen, sind innerhalb des Prozesses **Iterationen** möglich. Neben der Iteration innerhalb des Prozesses ist dieser durch die Abwechslung von divergentem und konvergentem Denken geprägt. In den ersten drei Phasen wird ein breites Blickfeld eröffnet (divergent), um viel Input zu gewinnen und um sich am Ende der dritten Phase auf wenige Sichtweisen zu konzentrieren. Anschließend werden Ideen für Lösungen gewonnen und Prototypen entwickelt (divergent), um im Anschluss an den Test von Prototypen sich auf einen zu konzentrieren, der in ein Geschäftsmodell integriert wird (konvergent). Ferner führt der Design Thinking Prozess im Verlauf zum immer konkreteren Ergebnissen, was durch die gelbe Linie dargestellt ist (Liedtka und Ogilvie 2011, S. 21 ff.; Ideo 2015, S. 15.)

Der beschriebene Prozess findet in einem **kreativen Umfeld** statt, das durch eine ideenförderliche Aufteilung und Einrichtung geprägt ist. Neben dem dargestellten Arbeitsumfeld können für Workshops Räume so umgestaltet werden, damit diese ein kreatives Arbeiten unterstützen. Zusätzlich sind auch Materialien relevant, die in dem Design Thinking Prozess eingesetzt werden können.

Das Vorgehensmodell für Design Thinking besteht aus sieben Phasen und basiert auf den erläuterten Ansätzen. Die Phasen sind nachfolgend kurz erläutert (Schallmo 2017, S. 44-47):

Zunächst gilt es, unterschiedliche Themenfelder abzuleiten. Die unterschiedlichen Themenfelder werden diskutiert, um sich anschließend auf ein Themenfeld festzulegen. Für das ausgewählte Themenfeld wird eine **Design Challenge** formuliert, die beantwortet werden soll. Es werden ebenso typische User festgelegt. Anschließend wird ein Projektplan erarbeitet, der Termine, Kosten und Ergebnisse beinhaltet.

In dieser Phase gilt es, ein gemeinsames **Verständnis zur Design Challenge**, die bewältigt werden soll, aufzubauen. Hierfür werden typische User in relevanten Situationen und mit ihren Problemen, die sie zu bewältigen haben, analysiert. Diese Analyse erfolgt mittels einer Befragung und einer Beobachtung. Bestehende Lösungen, die am Markt verfügbar sind, werden getestet und Experten werden befragt, um ein Fachwissen zur Design Challenge aufzubauen.

Die Erkenntnisse, die in der vorherigen Phase gewonnen wurden, werden in dieser Phase ausgetauscht, interpretiert und gewichtet. Es werden **typische User** beschrieben, indem Nutzerprofile erstellt werden. Auf Basis der Nutzerprofile werden Bedürfnisse hinsichtlich der gewünschten Funktionen, Anforderungen und Erfahrungen von Produkten und Dienstleistungen abgeleitet.

In dieser Phase werden mittels des Einsatzes von Kreativitätstechniken **Ideen gewonnen**, die dazu dienen sollen, die zuvor identifizierten Bedürfnisse zu erfüllen. Diese Ideen werden gruppiert und überarbeitet. Anschließend werden die Ideen beschrieben und bewertet.

Die gewonnen Ideen dienen dazu, **Prototypen zu entwickeln**. Ein Prototyp stellt somit eine Lösung für die beschriebene Herausforderung dar. Prototypen können in unterschiedlichen Formen entwickelt werden. Im Anschluss an die Entwicklung von Prototypen werden diese verbessert und kombiniert.

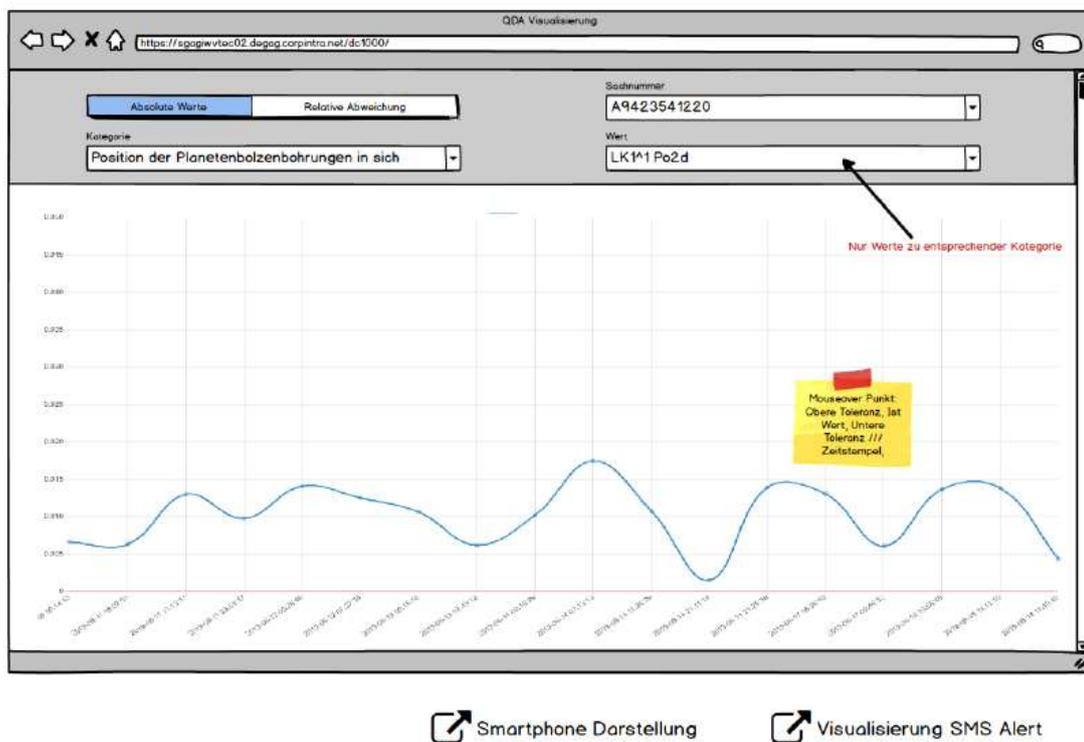
Die unterschiedlichen **Prototypen** werden den Nutzern vorgestellt, um sie anschließend mit den Nutzern zu **testen**. Dabei sollen wichtige Erfahrungen, auch hinsichtlich der Verwendung von Prototypen, gewonnen werden. Prototypen werden ebenso am Markt getestet. Die gewonnenen Erfahrungen dienen anschließend der Verbesserung und Weiterentwicklung von Prototypen. Anhand der Bewertung der Prototypen wird ein Erfolg versprechender Prototyp ausgewählt.

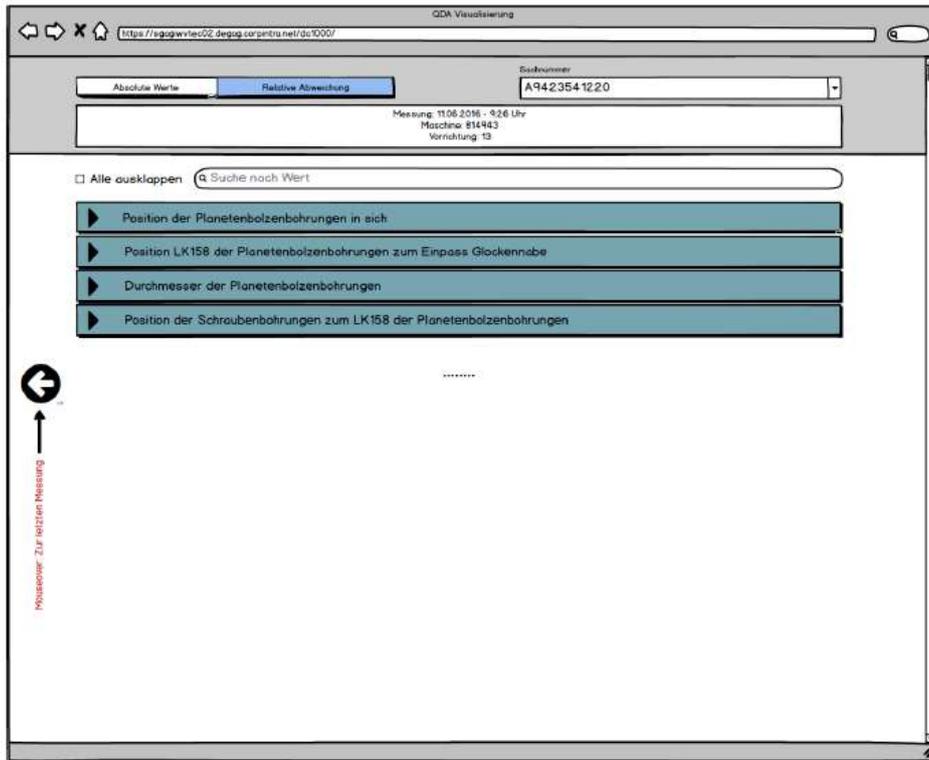
In dieser Phase erfolgt mithilfe eines einheitlichen Rasters die Entwicklung eines Geschäftsmodells, das den **Prototyp** für ein Produkt oder eine Dienstleistung **integriert**. Somit liegt ein Geschäftsmodell mit folgenden fünf Dimensionen vor: Kundendimension, Nutzendimension, Wertschöpfungsdimension, Partnerdimension, Finanzdimension. Die sieben Phasen des Vorgehensmodells bauen aufeinander. Wie bereits bei den Prinzipien des Design Thinking erwähnt wurde, verlaufen die Phasen nicht linear, sondern iterativ. Nachfolgend ist ein Beispiel für ein Design Thinking Projekt beschrieben, das im Rahmen der Erläuterung der Techniken detaillierter erläutert wird.

### 3.5.2 Konzeption eines App-Demonstrator

Auf Basis der durchgeführten Interviews und Workshops sowie der Design-Thinking Prozesses wurden zur Konzeption des App-Demonstrators sogenannte Mockups erstellt. Ein Mockup (aus dem Engl.: Attrappe, Nachbildung) ist ein digital gestalteter Entwurf von einer Website und/oder App. Mockups dienen in der frühen Konzipierungsphase der Visualisierung von Ideen und Konzepten im Rahmen des Webdesigns. Sie beinhalten Navigationsstruktur, Site- und Design-Elemente im Detail. Mockups reichen von mit Bildbearbeitungsprogrammen erstellten Vorlagen ohne Funktionalität bis hin zu Entwürfen, die mit speziellen Mockup-Tools erstellt werden und in denen Bedienelemente bereits mit einfachen Funktionen verknüpft sind.

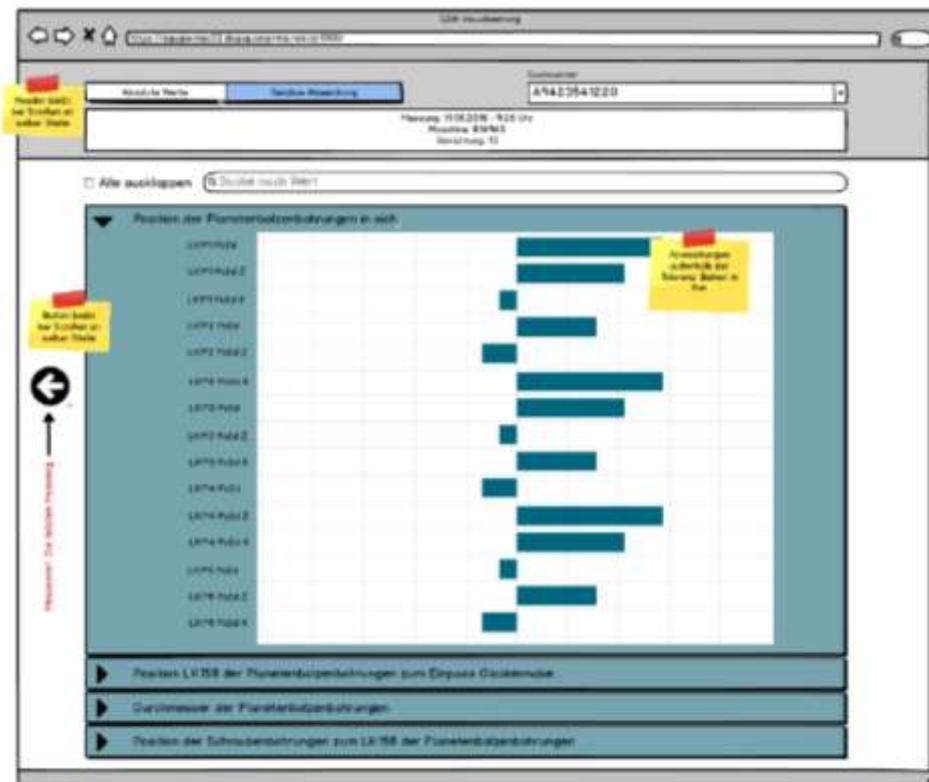
Der Aufbau soll anhand der folgenden Mockups gezeigt werden. Der App-Demonstrator ist nach Ende der Projektlaufzeit bei den Instituten auf Nachfrage erhältlich.





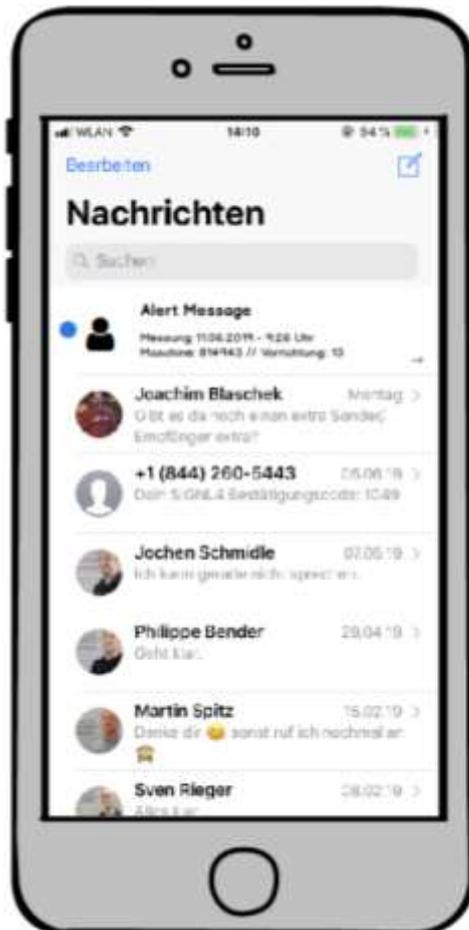
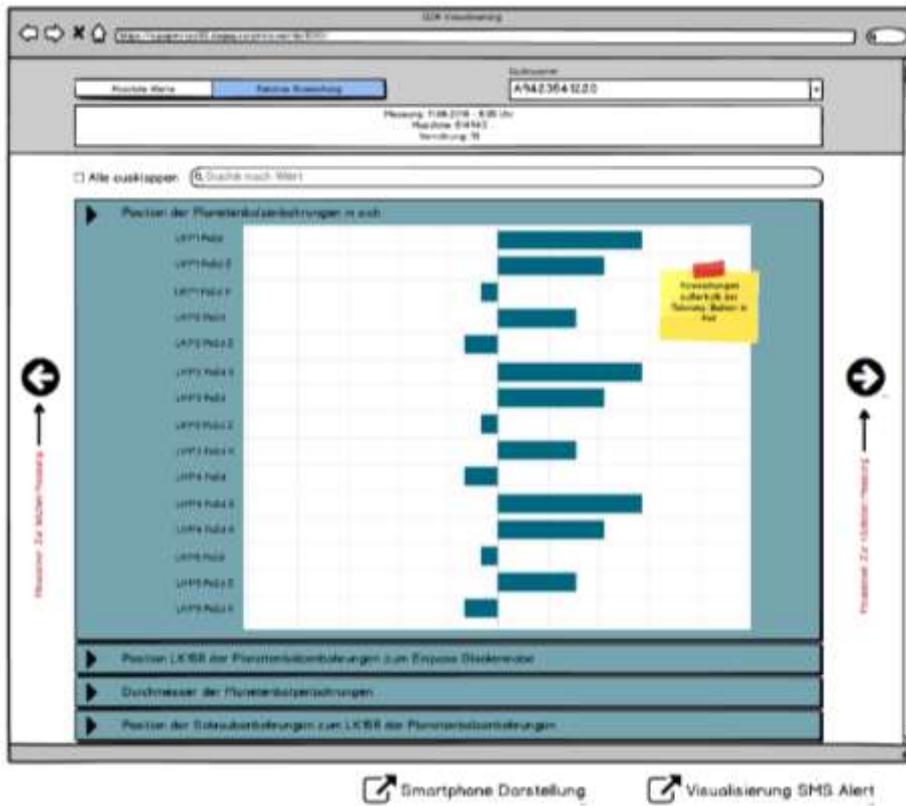
Smartphone Darstellung

Visualisierung SMS Alert



Smartphone Darstellung

Visualisierung SMS Alert



Visualisierung QDA Daten  
Smartphone Darstellung



 Zur Visualisierung QDA Daten

 Smartphone Darstellung



 Zur Visualisierung QDA Daten

 Visualisierung SMS Alert



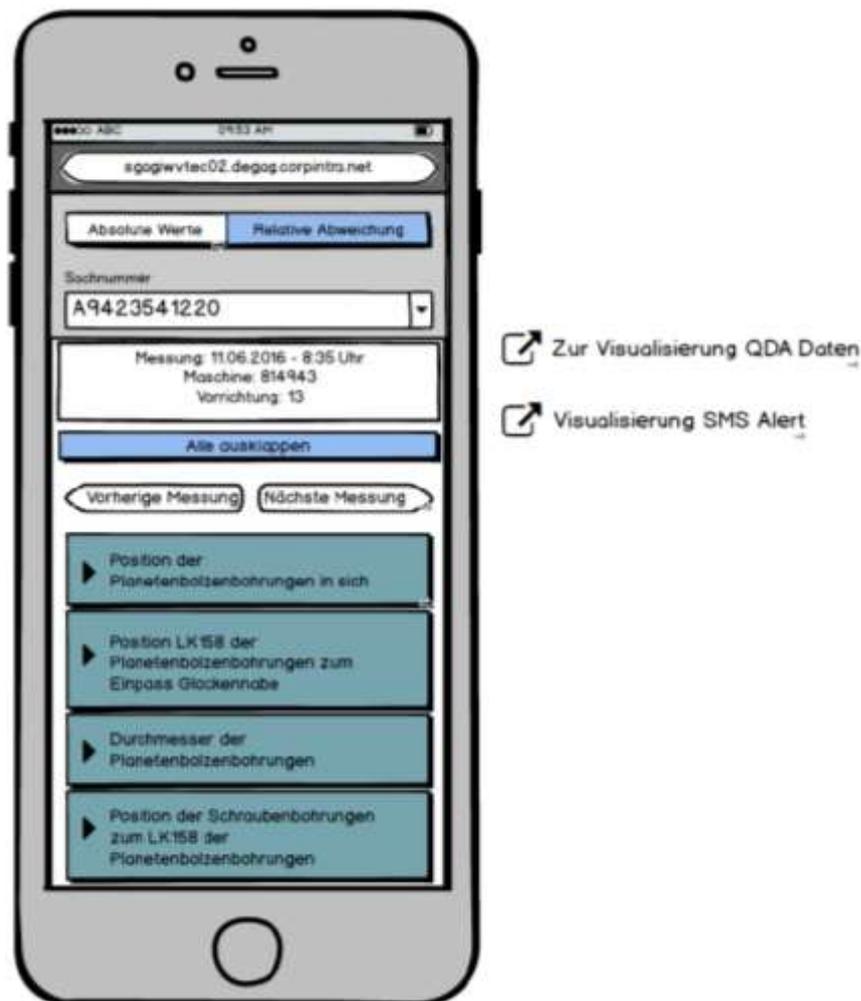
 Zur Visualisierung QDA Daten

 Visualisierung SMS Alert



 Zur Visualisierung QDA Daten

 Visualisierung SMS Alert



### 3.5.3 Benötigte und eingesetzte Ressourcen

Entsprechend des Finanzierungsplans wurde die Forschungsarbeit innerhalb dieses APs durch wissenschaftliches Personal durchgeführt. Seitens der Forschungsstellen wurden dafür 5,59 Personenmonate (PM) aufgewendet. Von diesen 6 PM entfielen 1,59 PM auf das IPRI und 4 PM auf das wbk.

## **4. Innovativer Beitrag und Nutzen für KMU**

In den folgenden Unterkapiteln wird zum einen der innovative Beitrag des vorliegenden Projekts erläutert. Zum anderen werden der wissenschaftlich-technischer sowie der wirtschaftliche Nutzen der erzielten Ergebnisse für die KMU diskutiert. Als letzter Punkt werden die industriellen Anwendungsmöglichkeiten der Projektergebnisse vorgestellt.

### **4.1 Innovativer Beitrag der erzielten Ergebnisse**

Der Innovationsbeitrag der Forschungsergebnisse liegt in der Möglichkeit für KMU echtzeitdatenbasierte Kennzahlen gezielt auszuwählen, deren Nutzen zu bewerten, das SFM zu einem echtzeitdatenbasierten SFM weiterzuentwickeln.

Es wurde erstmals untersucht, wie echtzeitdatenbasierten Kennzahlen gezielt zur Ausschöpfung von Produktivitätspotenzialen genutzt werden können. Die KMU werden dabei unterstützt, die hierfür relevanten und geeigneten Kennzahlen auszuwählen. Somit wird in diesem Forschungsvorhaben das SFM durch die Integration echtzeitdatenbasierter Kennzahlen zu einem echtzeitdatenbasierten SFM in KMU weiterentwickelt.

Es wurde erstmals ein Vorgehen erarbeitet wie der Nutzen echtzeitdatenbasierter Kennzahlen im Shopfloormanagement quantifiziert werden kann. Hierbei wurde untersucht wie durch den mobilen echtzeitbasierten Einsatz von Kennzahlen schnellere Entscheidungen im Rahmen des SFM getroffen werden können (z.B. Veränderung der Auftragsreihenfolge auf Basis von Verfügbarkeitsdaten in Echtzeit zur Reduktion von Stillstandzeiten). Das erarbeitete Vorgehen kann auch auf andere Branchen und Kontexte übertragen werden. Dementsprechend besitzt das Vorhaben ein hohes Innovationspotenzial, das nicht nur spezifische Wirtschaftszweige adressiert, sondern branchenübergreifend wirtschaftliche Potentiale generiert.

### **4.2 Wissenschaftlich-technischer Nutzen der erzielten Ergebnisse für KMU**

Den KMU der vier umsatzstärksten Branchen des verarbeitenden Gewerbes: Maschinenbau, Chemische Erzeugnisse, Kraftwagen und Kraftwagenteile sowie die elektrische Ausrüstung werden durch das Forschungsvorhaben dabei unterstützt durch eine echtzeitdatenbasierte Kennzahlensteuerung prozess- und verhaltenstechnische Optimierungen zu erzielen und dadurch ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Sie werden dabei unterstützt eine echtzeitdatenbasierte Kennzahlensteuerung auf dem Shopfloor zu entwickeln. Es wird deutlich, dass das Forschungsvorhaben einen sehr großen potenziellen Nutzerkreis adressiert, der überwiegend KMU umfasst.

### **4.3 Wirtschaftlicher Nutzen der erzielten Ergebnisse für KMU**

Aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens ergeben sich unmittelbare und mittelbare Nutzen für KMU.

Durch die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens wird den produzierenden KMU aufgezeigt, wie sich der Einsatz von Echtzeitdaten im Rahmen des SFM auswirken kann und wie sie geeignete Kennzahlen zur echtzeitdatenbasierten Anwendung auswählen und einsetzen.

Durch den Einsatz echtzeitdatenbasierter Kennzahlen wird die Transparenz in der Produktion erhöht. Hierdurch ist zunächst eine starke Fokussierung der Produktion auf die strategischen Zielsetzungen des Unternehmens möglich.

Darüber hinaus können Probleme und Störfälle auf dem Shopfloor schneller erkannt werden. Dadurch kann auch schneller auf die Probleme und Störfälle reagiert werden, wodurch Ausschuss, Nacharbeit oder Störzeiten reduziert werden. Es führt demnach zu **Produktivitäts-** und **Umsatzsteigerungen** sowie **Kostensenkungen**.

Neben dem unmittelbaren Nutzen entsteht für die Unternehmen auch ein mittelbarer Nutzen. Durch die Ergebnisse des Forschungsvorhabens wird eine **Verbesserung der Qualitätssicherung** erreicht. Wird beispielsweise die Qualität eines produzierten Teils in Echtzeit erfasst, kann schon während der Produktion bei Abweichungen zu den Soll-Werten ein Gegensteuern und direkte Nacharbeit erfolgen.

Neben der Qualitätssicherung kann die **Prozesssicherheit** erhöht werden. Durch die Auswertung der Echtzeitdaten können auf Basis der Anpassung der Auftragsreihenfolge, eine Flexibilisierung der Planung von Personalkapazitäten und somit Flaschenhalseffekte vermieden werden.

Darüber hinaus führt die **Weiterentwicklung** eines **SFM** zu einem **echtzeitdatenbasierten SFM** zu einer größeren Zufriedenheit der Mitarbeiter. Durch die größere Transparenz innerhalb der Produktions- und Logistikprozesse bekommen diese ein besseres Prozessverständnis und haben größere Handlungsspielräume, da die Kommunikation von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen den Informationsgehalt steigert.

#### **4.4 Industrielle Anwendungsmöglichkeiten der erzielten Ergebnisse**

Die **industriellen Anwendungsmöglichkeiten** der Forschungsergebnisse nach Projektende in die unternehmerische Praxis werden als sehr gut eingeschätzt, da die Forschungsergebnisse praxisorientierte Lösungen liefern und gemeinsam mit Unternehmen erarbeitet, erprobt und validiert wurden. Damit wurde sichergestellt, dass die Ergebnisse **praxisrelevant** sind und **unmittelbar angewendet** werden können.

Die erzielten **Ergebnisse** des Forschungsprojekts sind für alle Unternehmen **zugänglich**. Im **Transferkonzept** wurden zudem Maßnahmen ergriffen, um die Ergebnisse während und nach der Projektlaufzeit zeitnah zu **verbreiten** und dem potentiellen Nutzerkreis zur Verfügung zu stellen. Durch die Transfermaßnahmen wurde und wird eine Vielzahl an Unternehmen erreicht.

Für die industrielle Anwendung der erzielten Ergebnisse ist es zudem förderlich, dass **keine zusätzlichen finanziellen Mittel** für die Umsetzung der Ergebnisse aufgebracht werden müssen. Dies ist insbesondere für KMU mit begrenzten Ressourcen relevant. Zur Verbesserung der Möglichkeiten der industriellen Anwendung wurden die Projektergebnisse in Form eines **Software-Demonstrators** zur unternehmerischen Anwendung bereitgestellt. Für die Anwendung des Software-Demonstrators sind von den Unternehmen **keine besonderen technischen Voraussetzungen** notwendig. Somit wird die Finanzierbarkeit Anwendung der Forschungsergebnisse als sehr gut eingeschätzt, da eine Investition in Soft- oder Hardware nicht notwendig ist.

## 5. Veröffentlichungen und Transfermaßnahmen Projektbegleitender Ausschuss im Projekt

### 5.1 Projektbegleitender Ausschuss im Projekt

Durch die aktive Einbindung des Projektbegleitenden Ausschusses wurden einerseits die Praxisrelevanz und andererseits die Verbreitung der Ergebnisse sichergestellt. Während der Projektlaufzeit wurden die Ergebnisse mehrmals im Jahr auf den Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses präsentiert und durch Fachvorträge sowie Veröffentlichungen weiteren Firmen zugänglich gemacht. **Hierfür und für die Dokumentation im Projekt wurden im Rahmen des Arbeitspakets 6 von IPRI und wbk jeweils 3 PM aufgewendet.** Die Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses sind die in Tabelle 5 aufgeführten Unternehmen.

Tabelle 5: Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses (PA)

Unternehmen	KMU	Ansprechpartner
Alutec metal innovations GmbH & Co. KG	X	Uwe Gettler
Balluff GmbH		Andreas Schönle
BMG MIS GmbH		Dr. Reiner Bayrle
Brand KG		Dr. Ottmar Müller
CAS Software AG	X	Uwe Presler
era contact GmbH	X	Bernd Geiger
ESTA Apparatebau GmbH & Co. KG	X	Phillip Raunitschke
EUCHNER GmbH & Co. KG	X	Peter Dieterich
FormiKA GmbH	X	Dr. Markus Herm
GEFASOFT GmbH	X	Dr. Daniel Schütz
Gewatc GmbH & Co. KG	X	Dr. Reinhold Walz
Henkel AG & Co. KGaA		Steffen Engelhardt
HKR Seuffer Automotive GmbH & Co. KG	X	Thomas Günther
Recaro Aircraft Seating GmbH & Co. KG		Esther Smart
AFSMI (Verbreitungspartner)		Till Post
MANUFUTURE-BW e.V. (Verbreitungspartner)		Gunther Rieger
VDMA Baden-Württemberg (Verbreitungspartner)		Dr. Tobias Weber

Der Projektbegleitende Ausschuss trat **mehrmals** zu einer gemeinsamen Sitzung zusammen, in denen die bisherigen Ergebnisse **diskutiert** und das weitere **Vorgehen abgestimmt** wurde. Für jede dieser Sitzungen wurden inhaltliche Schwerpunkte festgelegt (vgl. Tabelle 6). Zwischen den Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses fanden Arbeitstreffen bei den Unternehmen vor Ort und in den Forschungsstellen statt, sodass ein Treffen des gesamten projektbegleitenden Ausschuss zum Ende des Projekts am 03. Juli 2019 stattfinden sollte. Dieses Treffen musste aufgrund zahlreicher kurzfristiger Absagen der Unternehmen abgesagt werden. Es wird zum Zeitpunkt des Abschlusses dieses Projekts noch ein Termin zu einem Ersatztreffen abgestimmt, das nach Ende der Projektlaufzeit stattfindet.

**Tabelle 6: Sitzungen des PA und inhaltliche Schwerpunkte der jeweiligen Sitzung**

Datum	Ort	Schwerpunkt
06.07.2017	Karlsruhe, wbk	1. Treffen des projektbegleitenden Ausschuss zur Vorstellung der Unternehmen und des Projekts
06.03.2018	Recaro, Schwäbisch Hall	2. Treffen des projektbegleitenden Ausschuss zur Vorstellung von Zwischenergebnissen zur Erarbeitung eines Vorgehens zur Integration echtzeitdatenbasierter Kennzahlen im Shopfloormanagement

## 5.2 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft lt. Antrag während der Projektlaufzeit

**Tabelle 7: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft lt. Antrag während der Projektlaufzeit**

Maßnahmen	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
<b>Bekanntmachung der Projektergebnisse in einem Digital Videoblog (Vlog)</b>	Bekanntmachung des Projekts und der Ergebnisse	Zur Präsentation der Projektergebnisse der Arbeitspakete gibt es einen Vlog zum Projektende	Zum Projektende; Einbindung auf Projekthomepage
<b>Presse-/ Öffentlichkeitsarbeit</b>	Bekanntmachung des Projekts und der Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 Pressemitteilungen über den IDW - Informationsdienst Wissenschaft</li> <li>• IPRI- und wbk Homepage</li> <li>• IPRI-Journal (Sommer 2016, Sommer 2017)</li> <li>• IPRI Jahresbericht</li> <li>• wbk Jahrbuch</li> </ul>	Pressemitteilung: <a href="https://idw-online.de/de/news673719">https://idw-online.de/de/news673719</a> IPRI Jahresbericht 2017, 2018, 2019 IPRI Journal 2017, 2018, 2019
<b>Vorstellung der Projektergebnisse auf Konferenzen und Fachzeitschriften</b>	Bekanntmachung des Projekts und der Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mindestens ein wissenschaftlicher Vortrag, z.B. CIRP CMS</li> <li>• mindestens zwei Veröffentlichungen in Fachzeitschriften z.B. ZWF, wt-online, Controller-Magazin</li> </ul>	Lanza et al. (2018), „Auf dem Weg zum Digitalen Shopfloor Management“. Eine Studie zum Stand der Echtzeitentscheidungsfähigkeit und des Industrie 4.0-Reifegrads.
<b>Vorstellung des Projekts in diversen Arbeitskreisen und Fachtagungen</b>	Bekanntmachung des Projekts und der Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitzung des OEE Betriebskreises des wbk</li> <li>• Jährliche Herbsttagung am wbk</li> <li>• Arbeitskreis 4.0 des IPRI</li> <li>• Arbeitskreis „Produktionslogistik für die variantenreiche Serienfertigung“</li> <li>• Fachtagungen wie z.B. „Innovationsnetzwerk-SBH e.V“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorstellung des Projekts auf zwei IPRI-Veranstaltungen:</li> <li>• <b>Symposium:</b> Symposium „Datenschätze im Unternehmen heben“, 28.06.2017, 12:00 bis 16:30 Uhr, Haus der Wirtschaft der IHK Ulm, Olgastraße 95-101, 89073 Ulm</li> <li>• <b>Serviceforum:</b> 3. Serviceforum Region Stuttgart „Neue Service-Produkte im Digitalen Zeitalter“, 04.07.2017, 9:00 bis 17:00 Uhr, Schwabenlandhalle Fellbach, Tairnerstraße 7, 70734 Fellbach</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorstellung des Projekts auf Schmalenbach AK Innovationsmanagement für neue Produkte (23.11.2017)</li> </ul>
<b>Präsenz im Internet</b>	Bekanntmachen der Ergebnisse und Termine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projekt-Webseite</li> <li>• IPRI- und wbk Webseite,</li> </ul>	<p>Homepage:  <a href="https://www.ipri-institute.com/shopfloorpulse">https://www.ipri-institute.com/shopfloorpulse</a></p> <p>BVL-Homepage:  <a href="https://www.bvl.de/service/forschungsfoerderung/laufende-projekte/projekte/19372-shopfloorpulse">https://www.bvl.de/service/forschungsfoerderung/laufende-projekte/projekte/19372-shopfloorpulse</a></p> <p>Forschungs-Blog: Neues aus der Forschung (www.neues-aus-der-forschung.de)</p>
<b>Integration in die Lehre</b>	Integration in die Vorlesung „Einführung Business Analytics“ an der Universität Ulm	Entwurf von mind. drei Vorlesungsfolien für die Vorlesung „Einführung Business Analytics“ an der Universität Ulm	Einbindung der Folien für das kommende Semester konzipiert.

### 5.3 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft lt. Antrag (nach Projektende)

Tabelle 8: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft nach Projektende

Maßnahmen	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
<b>Seminar in der IPRI-Seminarreihe/ in der wbk Seminarreihe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualifizierung von Mitarbeitern aus KMU</li> <li>• Integration der Inhalte in wbk-Lernfabrik</li> </ul>	wbk Lernfabrik KIT	Wurde bereits während der Projektlaufzeit in die Seminarreihe des wbk integriert. Durchgeführt wurde das Seminar am 28.02.2018 und 01.03.2018
<b>Veröffentlichung in Fachzeitschriften</b>	Bekanntmachung der Projektergebnisse	Veröffentlichungen in Fachzeitschriften z.B. ZWF, wt-online	Nach Ende der Projektlaufzeit
<b>Webinar/ Webcast</b>	Diskussion von Zwischenergebnissen mit KMU	Internet	Nach Ende der Projektlaufzeit
<b>Angebot von Beratungsprojekten</b>	Unterstützung von KMU bei individuellen Problemstellungen	vor Ort bei den KMU	Nach Ende der Projektlaufzeit
<b>Integration in die Lehre</b>	Integration in die Vorlesung „Einführung Business Analytics“ an der Universität Ulm	Entwurf von mind. drei Vorlesungsfolien für die Vorlesung „Einführung Business Analytics“ an der Universität Ulm	Nach Ende der Projektlaufzeit

<b>Integration in das Lehrbuch Business Analytics von Prof. M. Seiter</b>	Qualifizierung von Fach-und Führungskräften zum Thema Business Analytics	1. Auflage des Buches voraussichtlich 2019/2020	Nach Ende der Projektlaufzeit
---	--	---	-------------------------------

#### 5.4 Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts

Das Vorgehen zur Auswahl und Bewertung von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen im Shopfloormanagement ermöglichen die Weiterentwicklung des eigenen Shopfloormanagements. Mit dem Einsatz von echtzeitdatenbasierten Kennzahlen wird ein hoch aktuelles Thema der Praxis und Forschung aufgegriffen. Das Forschungsvorhaben hat somit eine große praktische Relevanz und kann vor allem für mittelständische produzierende Unternehmen einen wichtigen Wettbewerbsbeitrag leisten. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse nach Projektende in der Praxis großen Anklang finden werden. Die Erarbeitung von Möglichkeiten zum Einsatz und zur Bewertung echtzeitdatenbasierter Kennzahlen, Handlungsempfehlungen zur Integration von echtzeitdatenbasierter Kennzahlen in das Reporting und der Softwaredemonstrator erhöht die Wahrscheinlichkeit der Umsetzung in den Unternehmen, was wiederum die Verbreitungswahrscheinlichkeit deutlich erhöht. Es ist also davon auszugehen, dass die Projektergebnisse in der Praxis **unmittelbar angewendet** werden und auch einen entsprechenden positiven Wettbewerbsbeitrag leisten können. Da bei Konzeption des Forschungsvorhabens besonderer Wert auf eine möglichst **direkte Anwendbarkeit in der Praxis** gelegt wurde, ist mit einer hohen Verbreitung in der Praxis zu rechnen.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach Projektende sind groß. Durch die Validierung der Ergebnisse mit den beteiligten Unternehmen und dem umfassenden Transfer der Ergebnisse in die Wirtschaft ist von einer direkten Anwendbarkeit und einer Verbreitung bei den Unternehmen auszugehen. Hierzu diene und dient auch das entwickelte Seminar. Aufgrund der hohen praktischen Relevanz der Fragestellung ist mit einer breiten Anwendung (und Erweiterung) des entwickelten Vorgehens auch nach Projektende zu rechnen. Hierzu dienen darüber hinaus die oben genannten Veröffentlichungen und Vorträge.

## 6. Durchführende Forschungsstellen

### 6.1 International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH

Die IPRI – International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH wurde gegründet mit der Zielsetzung, Forschung auf dem Gebiet des Performance Management von Organisationen, Unternehmen und Unternehmensnetzwerken zu betreiben. Unter Leitung von Prof. Dr. Mischa Seiter untersucht IPRI in Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und kleinen und mittelständischen Unternehmen die Wirkungszusammenhänge und Potenziale in den Bereichen Controlling, Finanzen, Logistik und Produktion. Die Forschungsstelle arbeitet eng mit der Bundesvereinigung Logistik e. V., dem VDMA und Unterverbänden (Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V., Forschungsvereinigung Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik e. V.) sowie der IHK zusammen. Zudem wird der Kontakt zu Experten aus der Praxis über regelmäßige Veranstaltungen und Workshops hergestellt. Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen wurden mehrere wissenschaftliche Mitarbeiter beschäftigt. Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

Forschungsstelle 1	IPRI International Performance Research Institute gGmbH
Anschrift	Königstraße 5, 70173 Stuttgart
Leiter der Forschungsstelle	Prof. Dr. Mischa Seiter
Projektleitung	Timo Maurer, M.Sc.
Kontakt	Tel.: 0711/ 6203268-8026, <a href="http://www.ipri-institute.com">www.ipri-institute.com</a>

### 6.2 wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Das wbk Institut für Produktionstechnik beschäftigt sich mit der Planung und Optimierung von Produktions- und Qualitätssicherungssystemen sowie Fertigungsverfahren. Der Lehrstuhl von Frau Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza widmet sich dem Themengebiet der Produktionssysteme und des Qualitätsmanagements. Die menschenzentrierte Gestaltung der digitalisierten Arbeitswelt ist Forschungsgegenstand in mehreren Projekten darunter die Verbundprojekte Intro 4.0 und Pro-Data. ShopfloorPulse stellt daher ein wichtiger Pfeiler dieses Forschungsschwerpunkts dar. Zur Realisierung dieses Projekts waren über den gesamten Projektzeitraum entsprechend der Bewilligung wissenschaftliche Hilfskräfte und akademische Mitarbeiter beschäftigt. Dank des intensiven Kontakts und stetigen Austauschs mit Industrieunternehmen im Rahmen des Arbeitskreises des Projekts konnte die umfassende Studie zum Ist-Stand des Shopfloor Managements und dessen Weiterentwicklung erstellt werden. Die Lernfabrik Globale Produktion des wbk wurde im Rahmen des Projekts für die Durchführung von Experimenten genutzt und um die Projektergebnisse im Rahmen von Veranstaltungen an die Industrie, insbesondere KMU weiterzugeben.

Forschungsstelle 2	wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Anschrift	Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe
Leiter der Forschungsstelle	Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Projektleitung	Constantin Hofmann, M.Sc. (wbk)
Kontakt	Tel.: 0721/608-44153, <a href="http://www.wbk.kit.edu">www.wbk.kit.edu</a>

## **7. Förderhinweis**

*Das IGF-Vorhaben 19372 N der Bundesvereinigung Logistik e.V. – BVL, Schlachte 31, 28195 Bremen, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.*

## 8. Literaturverzeichnis

Acatech (2015): SMART SERVICE WELT- Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Berlin.

Agiplan, Fraunhofer IML & ZENIT GmbH (2015), Erschließen der Potenziale der Anwendung von 'Industrie 4.0' im Mittelstand - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).

Andelfinger, V. (2017): Einführung. In: V. Andelfinger und T. Hänisch (Hg.): Industrie 4.0. Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 1–8.

Azvine, B., Cui, Z., Nauck, D. & Majeed, B. (2006), „Real time business intelligence for the adaptive enterprise“, in: E-Commerce Technology, 2006. The 8th IEEE International Conference on and Enterprise Computing, E-Commerce, and E-Services, The 3rd IEEE International Conference.

Bald, J. (2013): Effizienzhebel Echtzeit-Kennzahlen: Zusammenführung von Produktions-IT und RFID, [http://www.it-production.com/index.php?seite=einzel\\_artikel\\_ansicht&id=59965](http://www.it-production.com/index.php?seite=einzel_artikel_ansicht&id=59965) , zuletzt aufgerufen am: 12.08.2016.

Bauer, Jürgen; Hayessen, Egbert (2009): 100 Produktionskennzahlen. 1. Aufl. Wiesbaden: Come-tis.

Bauernhansl, T. (2017): Die Vierte Industrielle Revolution - Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl und M. ten Hompel (Hg.): Handbuch Industrie 4.0. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Bd. 4. Berlin: Springer Vieweg (4), S.5–35.

Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hg.) (2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8>.

Becker, K. (2015): Arbeiten in der Industrie 4.0 - Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. In: A. Botthof und E. Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 23–29.

Bertagnolli, F. (2018), Lean Management: Einführung und Vertiefung in die japanische Management-Philosophie, Springer Gabler, Wiesbaden.

Bevan, N. (2009), „International Standards for Usability Should Be More Widely Used“, in: Journal of Usability Studies, Bd. 4, Nr. 3, S. 106–113. <http://dx.doi.org/10.1.1.177.1356>.

Bibliographisches Institut GmbH (Hg.): Dokumentenanalyse, die. <https://www.duden.de/node/835918/revisions/1194293/view> [24.01.2018].

Biehl, E. (2018), Studie zum Ist-Stand des Shopfloor Managements bezüglich der Echtzeitfähigkeit und des Industrie 4.0-Reifegrades, Masterarbeit, Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

BITKOM (Hg.) (2014): Big-Data-Technologien - Wissen für Entscheider. Leitfaden. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. Berlin. Bonazzi, G.; Tacke, V. (2014): Geschichte des organisatorischen Denkens. 2. Aufl. 2014. Wiesbaden: Springer VS.

Bitkom; Fraunhofer (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Studie. Berlin/Stuttgart.

BMWi (2015): Industrie 4.0 - Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0. BMWi. Berlin.

BMWi (2015): Studie „Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand“. Mülheim an der Ruhr.

Boehm, B. W. (1981), „Software Engineering Economics“, in: Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc, Bd. 22, Nr. 5, S. 269–280. <http://dx.doi.org/10.1109/TSE.1984.5010193>.

Boos, W., Salmen, M., Kuhlmann, T. & Wiese, J. (2017), „Neue Trends im Shopfloor-Management“, in: WT Werkstattstechnik, Bd. 107, Nr. 7-8, S. 541–545.

Braun, Y. (2016), Entwicklung eines Anforderungsprofils für die Digitalisierung des Shopfloor-Managements anhand einer Vergleichsstudie, Masterarbeit, Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Bruder, M. (2018), OEEsmart. <http://oeesmart.eu/> [2018-04-25].

Brown, T. (2008). Design thinking. Harvard Business Review, 86(6), 84. Curedale, R. (2013). Design thinking. Topanga: Design Community College.

Brunner, F. J. (2008): Japanische Erfolgskonzepte: KAIZEN, KVP, Lean Production Management, Total Productive Maintenance Shopfloor Management, Toyota Production System. 1. Aufl.: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

Brunner, F. J. (2017), Japanische Erfolgskonzepte : Kaizen, KVP, Lean-Production-Management, Total Productive Maintenance, Shopfloor Management, Toyota Production Management, GD3-Lean Development, 4. Aufl., Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <http://dx.doi.org/10.3139/9783446427396>.

Brynjolfsson, E.; McAfee, A. (2016): The second machine age. Wie die nächste digitale Revolution unser aller Leben verändern wird. 6. Auflage. Kulmbach: Börsenmedien.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2017a): Hintergrund zur Plattform Industrie 4.0. <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Plattform/Plattform-Industrie-40/plattform-industrie-40.html> [02.10.2017].

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2017b): Was ist Industrie 4.0? Die vierte industrielle Revolution: Auf dem Weg zur intelligenten und flexiblen Produktion. <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html> [02.10.2017].

Cohn, M. (2010), User Stories: für die agile Software-Entwicklung mit Scrum, XP u.a., 1. Aufl., Mitp-Verlag. Davis, F. D. (1989), „Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Ac-

ceptance of Information Technology“, in: MIS Quarterly, Bd. 13, Nr. 3, S. 319–340. <http://dx.doi.org/10.2307/249008>.

CSC (2015): CSC-Studie "Industrie 4.0" Ländervergleich Dach - Ergebnisse.

Curedale, R. (2013). Design thinking. Topanga: Design Community College.

Davenport, T. (2014): Big Data @ Work. Chancen erkennen, Risiken verstehen. München: Vahlen.

Davenport, T.H., Harris, J.G. (2007): Competing on Analytics: The New Science of Winning, Harvard Business School Press.

De Leeuw, S., Van den Berg, J. P. (2011): Improving operational performance by influencing shopfloor behavior via performance management practices, Journal of Operations Management, Volume 29, Issue 3, S.224-235.

Deutsche MTM-Vereinigung e.V. (2017): Das MTM-Prozessbausteinsystem. Hg. v. Knuth Jasker. Hamburg. <https://www.dmtm.com/institut/methodentools/mtmtools/> [09.10.2017].

Deutsches Institut für Normung (2011), DIN EN ISO 9241- 210:2011-01, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme, Beuth-Verlag, Berlin.

Dietrich, Edgar; Schulze, Alfred; Weber, Stefan (2007): Kennzahlensystem für die Qualitätsbeurteilung in der industriellen Produktion. Q-DAS CAMERA Konzept. 1. Aufl. s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag.

DIN-Normenausschuss Ergonomie (2008), DIN EN ISO 9241-110 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-110:2006).

DIN-Normenausschuss Ergonomie (2011), DIN EN ISO 9241-210 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010).

DIN-Normenausschuss Ergonomie (2016), DIN EN ISO 9241-11 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte (ISO/DIS 9241-11.2:2016).

DIN-Normenausschuss Informationstechnik und Anwendungen (2011), ISO/IEC 25010:2011 System und Software-Engineering - Qualitätskriterien und Bewertung von System und Softwareprodukten (SQuaRE) - Qualitätsmodell und Leitlinien. Dinkelmann, M. (), Shopfloormanagement - Führen am Ort des Geschehens, Ditzingen, Deutschland.

Dombrowski, U.; Mielke, T. (Hg.) (2015): Ganzheitliche Produktionssysteme. Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch).

Dombrowski, U.; Richter, T.; Ebentreich, D. (2015a): Auf dem Weg in die vierte industrielle Revolution. Ganzheitliche Produktionssysteme zur Gestaltung der Industrie-4.0-Architektur. In: Zeitschrift Führung und Organisation 84 (3), S. 157–163.

Dombrowski, U.; Richter, T.; Ebentreich, D. (2015b): Ganzheitliche Produktionssysteme und Industrie 4.0. Ein Ansatz zur standardisierten Arbeit im flexiblen Produktionsumfeld. In: *Industrie Management* (3), S. 53–56.

Dombrowski, U.; Richter, T.; Krenkel P. (2017): Wechselwirkungen von Ganzheitlichen Produktionssystemen und Industrie 4.0. Eine Use-Case-Analyse. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 112, S. 430–433.

Duden (2018), Duden | Echtzeitbetrieb | Rechtschreibung, Bedeutung, Definition. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Echtzeitbetrieb> [2018-07-21].

Eaidgah, Y., Maki, A. A., Kurczewski, K. & Abdekhodae, A. (2016), „Visual management, performance management and continuous improvement: A lean manufacturing approach“, in: *International Journal of Lean Six Sigma*, Bd. 7, Nr. 2, S. 187–210. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2014-0028799>.

Ebert, C. (2014), *Systematisches Requirements Engineering: Anforderungen ermitteln, dokumentieren, analysieren und verwalten*, 5. Aufl., dpunkt.verlag GmbH, Heidelberg, Deutschland.

Eilermann, B. & Wandke, H. (2014), „Nutzungserleben betrieblicher Informationssysteme“, in: *Betriebliche Informationssysteme in der Automobilproduktion*, Hrsg. B. Rudow & H.-C. Heidecke, De Gruyter Oldenbourg, S. 95–130.

Erbeldinger, J., & Ramge, T. (2015). *Durch die Decke denken*. München: Redline Verlag.

EverleanUG (2018), Everlean - Gemeinsam Veränderung vorantreiben. <https://www.everlean.de/produkt/> [2018-04-28].

Fast-Berglund, Å., Harlin, U. & Åkerman, M. (2016), „Digitalisation of meetings - From whiteboards to smart-boards“, in: *Procedia CIRP*, Bd. 41, S. 1125–1130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.120>.

Fiebig, S., Lehmann, M., Wonneberger, K.-U. & Münnich, M. (2014), „Informationen auf dem Shopfloor“, in: *Betriebliche Informationssysteme in der Automobilproduktion*, Hrsg. B. Rudow & H.-C. Heidecke, De Gruyter Oldenbourg, München, S. 231–259.

Fiedler-Winter, R. (2001): *Ideenmanagement. Mitarbeitervorschläge als Schlüssel zum Erfolg*. München: Mi-Wirtschaftsbuch.

Flick, U. (2017), *Qualitative Sozialforschung : eine Einführung*, 8. Aufl., Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek.

Forcam GmbH (2018): *Die Kraft der Produktivität*. Ravensburg. <http://forcam.de/de/content/forcam-force%E2%84%A2> [08.01.2018].

Gabriel, S. (2015): Vorwort. In: *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.): Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft. Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation*. Berlin, S. 2.

Gaitzsch, T., Ziegler, V. (2010): Shop Floor Empowerment – KVP-Implementierung in Schichtteams. In: *Moscho, A., Richter, A. (Hrsg.): Inhouse-Consulting in Deutschland*, Gablert, S.169-190.

Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T. & Schlund, S. (2013), Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Hrsg. D. Spath, Fraunhofer Verlag, Stuttgart. Howson, C., Sallam, R., Richardson, J. Tapadinhas, J., Idoine, C., Woodward, A., Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms, Gartner Inc., <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-4JT7ECY&ct=171102&st=sb> (01.07.2018)

Gerberich, T. (2011): LEAN oder MES in der Automobilzulieferindustrie. Ein Vorgehensmodell zur fallspezifischen Auswahl. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler.

Gladen, Werner (2014): Performance Measurement. Controlling mit Kennzahlen. 6., überarb. Aufl. 2014. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Gloger, B. (2016): Scrum. Produkte zuverlässig und schnell entwickeln. 5., überarbeitete Auflage. München: Hanser. Dashboard for Manufacturing. In: The International Academy for Production Engineering (Hg.): Procedia CIRP, Bd. 7 (7), S. 205–210.

Gluchowski, P., Gabriel, R. & Dittmar, C. (2008), Management Support Systeme und Business Intelligence: Computergestützte Informationssysteme für Fach- und Führungskräfte, 2. Aufl., Springer Verlag, Berlin.

Gorecky, D., Schmitt, M. & Loskyll, M. (2014), „Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter“, in: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Hrsg. T. Bauernhansl, M. ten Hompel & B. Vogel-Heuser, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 525–542. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8\\_26](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8_26).

Götze, U. (2014), Investitionsrechnung – Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben, Springer, Berlin Heidelberg.

Götze, U., Bloech, J. (2003), Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben, Springer, Berlin Heidelberg.

Gräf, J., Heinzemann, M. (2011): Modernes Management Reporting: Inhalte, Gestaltungsempfehlungen und IT-Umsetzung, in: Gleich, R., Klein, A. (Hrsg.), Der Controlling-Berater, Bd. 18, 2011, S. 23-46.

Gröger, C. (2015), Advanced Manufacturing Analytics: Datengetriebene Optimierung von Fertigungsprozessen, September, BoD - Books on Demand.

Gröger, C., Stach, C., Mitschang, B. & Westkämper, E. (2016), „A mobile dashboard for analytics-based information provisioning on the shop floor“, in: International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Bd. 29, Nr. 12, S. 1335–1354. <http://dx.doi.org/10.1080/0951192X.2016.1187292>.

Grundnig, A.; Meitinger, S. (2013): Führung ist nicht alles - aber ohne Führung ist alles nichts. Shopfloor-Management bewirkt nachhaltige Effizienzsteigerung. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 108, S. 133–136.

Hagerty, J. (2016), „2017 Planning Guide for Data Management and Analytics“, Techn. Ber., Gartner, Inc. [https://www.gartner.com/binaries/content/assets/events/keywords/catalyst/catus8/2017\\_planning\\_guide\\_for\\_data\\_analytics.pdf](https://www.gartner.com/binaries/content/assets/events/keywords/catalyst/catus8/2017_planning_guide_for_data_analytics.pdf).

Han, J.; Kamber M.; Pei, J. (2012): Data Mining. Concepts and Techniques. 3. Aufl. Waltham: Morgan Kaufmann (The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems).

Heinecke, A. M. (2012), Mensch-Computer-Interaktion: Basiswissen für Entwickler und Gestalter, 2. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Hensel, R. (2012): Industrie-4.0-Konzepte rütteln an der Automatisierungspyramide. In: VDI-Nachrichten 2012, 07.12.2012.

Hertle, C., Hambach, J., Meißner, A., Rossmann, S. & Metternich, J. (2017), „Digitales Shopfloor Management - Neue Impulse für die Verbesserung in der Werkstatt“, in: PRODUCTIVITY Management, GITO Verlag, Berlin, Bd. 22, Nr. 1, S. 59–61.

Hertle, C., Siedelhofer, C., Metternich, J. & Abele, E. (2015), “The next generation shop floor management - how to continuously develop competencies in manufacturing environments“, in: The 23rd International Conference on Production Research 2015, S. 1-10.

Hertle, C., Tisch, M., Metternich, J. & Abele, E. (2017), “Das Darmstädter Shopfloor Management-Modell“, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Bd. 112, Nr. 3, S. 118-121.

Hirsch-Kreinsen, H. (2015): Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: A. Botthof und E. Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 89– 98.

Hofmann, C. (2016): Konzeption eines digitalen, nutzerzentrierten Shopfloor-Management-Systems unter Verwendung von Gamification. Karlsruhe.

Hofmann, J. (2016), „Voraussetzungen für den Einsatz von MES schaffen - Erfahrungsbericht aus Sicht einer Fertigung“, in: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe, Hrsg. R. Obermaier, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, S. 255–269.

Horváth, Péter (2009): Das Controllingkonzept. Der Weg zu einem wirkungsvollen Controlling-system. 7., vollst. überarb. Aufl., Orig.-Ausg. München: Dt. Taschenbuch-Verl. (dtv Beck-Wirtschaftsberater, 5812).

Horváth, Péter (2015): Controlling. 13. Aufl. München: Franz Vahlen. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=4345849>.

Horváth, Peter (Hrsg.) (2008): Grundlagen des Management-Reportings. Unter Mitarbeit von Horváth P., Gleich R. und Michel U. München (Management Reporting – Grundlagen, Praxis und Perspektiven, Horváth P., Gleich R., Michel U.).

Horváth, Péter; Michel, Uwe (Hg.) (2015): Controlling im digitalen Zeitalter. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.

Horváth, Péter; Reichmann, Thomas (2002): Vahlens Großes Controllinglexikon. 2. Aufl.: Vahlen.

Huber, W. (2016): Industrie 4.0 in der Automobilproduktion. Ein Praxisbuch. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Hurtz, A. & Stolz, M. (2013), Shop-Floor-Management: Wirksam führen vor Ort, 1. auflage. Aufl., BusinessVillage GmbH, Göttingen.

Hurtz, Albert; Stolz Martina (2015): Shop-Floor-Management: Wirksam führen vor Ort. 2. Aufl.: BusinessVillage.

Ideo. (2015). <http://www.ideo.com/about/>. Zugegriffen: 22. Mai 2015.

Infinite Design Consultants (2014): LeanApp The Kaizen Event App for iPad. <http://leanapp.info/#features> [08.01.2018].

Kagermann, H. (2014), "Chancen von Industrie 4.0 nutzen", in: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration, Hrsg. T. Bauernhansl, M. ten Hompel & B. Vogel-Heuser, Springer Vieweg, Wiesbaden, S. 603–614.

Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. (Hg.) (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt/Main.

Kammüller, M. & Guber, F. (2018), SYNCHRO. Das Buch: Der lange Weg zur Exzellenz bei TRUMPF, 1. Aufl., LOG\_X Verlag GmbH.

Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F. & Tsuji, S. (1984), „Attractive quality and must-be quality“, in: Journal of the Japanese Society for Quality Control, Bd. 14, Nr. 2, S. 39–48. [http://dx.doi.org/10.1108/S1876-0562\(2013\)000007012](http://dx.doi.org/10.1108/S1876-0562(2013)000007012). KAP IT SAS (2018), iObeya. <https://www.iobeya.com/> [2018-04-25].

KAP IT SAS (2017): Digital Visual Management for Lean & Agile companies. <http://www.iobeya.com/en/> [08.01.2018]

Kaplan, Robert S.; Norton, David P. (1995): Putting the Balanced Scorecard to Work. Hg. v. Harvard Business Review. Online verfügbar unter <https://hbr.org/1993/09/putting-the-balanced-scorecard-to-work>.

Kaplan, Robert S.; Norton, David P. (1996): Using the balanced scorecard as a strategic management system. Hg. v. Harvard Business Review.

Karlstetter, F. (2017): Was ist eine REST API? Hg. v. Vogel IT-Medien GmbH. Augsburg. Online verfügbar unter <https://www.cloudcomputing-insider.de/was-ist-eine-rest-api-a-611116/>, zu-letzt geprüft am 13.02.2018.

Kemper, H.; Mehanna, W.; Baars, H. (2010): Business Intelligence - Grundlagen und praktische Anwendungen. Eine Einführung in die IT-basierte Managementunterstützung. 3., überarbeitete und erw. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

Kese, D.; Terstegen, S. (2017): Industrie 4.0-Reifegradmodelle. Hg. v. ifaa - Institut für angewandte Arbeitswissenschaften. Düsseldorf.

Kieninger, Michael; Mehanna, Walid; Michel, Uwe (2015): Auswirkungen der Digitalisierung auf die Unternehmenssteuerung. In: Péter Horváth und Uwe Michel (Hg.): Controlling im digitalen Zeitalter. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, S. 3–13.

Klein, Andreas; Schnell, Harald (Hg.) (2012): Controlling-Instrumente in der Produktion. [Grundlagen und Methoden ; Kennzahlen und Berichtswesen ; Verbesserung von Prozessen und Durchlaufzeiten ; Minimierung von Beständen und Materialeinsatz]. Freiburg: Haufe (Der Controlling-Berater, 22).

Kletti, J. (2015), MES - Manufacturing Execution System, 2. Aufl., Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-46902-6>. Krcmar, H. (2015), Informationsmanagement, 5. Aufl., Springer Gabler.

Kletti, J. (2015a): Das MES für die Zukunft. In: J. Kletti (Hg.): MES - Manufacturing Execution System. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S.269–278.

Kletti, J. (2015b): MES als Werkzeug für die perfekte Produktion. In: J. Kletti (Hg.): MES - Manufacturing Execution System. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 19–30.

Kletti, J. (2015c): Moderne Instrumente des Informationsmanagements. In: J. Kletti (Hg.): MES - Manufacturing Execution System. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 173–197.

Kollmann, T. (2016), "Digitaler Wandel - wir können das! So muss Deutschland den digitalen Wandel angehen" in: Manager Magazin, <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/artikel/digitalisierung-so-muss-deutschland-den-digitalen-wandel-angehen-a-1074696.html> [22.03.2018]. Lanza, G., Nyhuis, P., Fisel, J., Jacob, A., Nielsen, L., Schmidt, M., Stricker, N.(2018), Wandlungsfähige, menschenzentrierte Strukturen in Fabriken und Netzwerken der Industrie 4.0 (acatech Studie), München: Herbert Utz Verlage

Krzywdzinski, M.; Jürgens, U.; Pfeiffer, S. (2015): Die vierte Revolution. Wandel der Produktionsarbeit im Digitalisierungszeitalter. In: WZB Mitteilungen (149), S. 6–9.

Kübler, F., Hamacher, M., Steinhilper, R., Schönig, S. (2013): Energie-OEE – Messbare Produktivitäts- und Effizienzsteigerung in der Produktion. In: Productivity Management 04/2013.

Kudernatsch, D. (Hg.) (2013): Hoshin Kanri. Unternehmensweite Strategieumsetzung mit Lean-Management-Tools. Stuttgart: Schäffer Poeschel.

Kürzel, A. (2017): Produktionssystem, Fertigungssteuerung, Toyota und Kata -. durch Konsequenz zur Exzellenz. 4. Aufl. Norderstedt: Books on demand.

Lanza, G. (2016): Integrierte Produktionsplanung. wbk - Instiut für Produktionstechnik. Karlsruhe.

Leyendecker, B. & Pötters, P. (2017), Shopfloor Management: Führen am Ort des Geschehens, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

Liedtka, J., & Ogilvie, T. (2011). Designing for growth. New York: Columbia Business School.

Lödding, Hermann (2008): Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).

Lödding, Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann: Gedanken zu einem abgestimmten Management von Kosten, Zeit und Qualität. In: Enterprise-Integration, S. 23–35. Online verfügbar unter [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-41891-4\\_3/fulltext.html](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-41891-4_3/fulltext.html).

Lucke, D., Constantinescu, C. & Westkämper, E. (2008), „Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing“, in: Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, Hrsg. M. Mitsuishi, K. Ueda & F. Kimura, Springer London, London, S. 115–118.

Mädche, A. & Wruk, D. (2014), „Nutzerzentrierte Informationssysteme für den deutschen Mittelstand“, in: Mittelstand-Digital Wissenschaft trifft Praxis: Usability betrieblicher IT-Anwendungen, S. 6–17.

May, Constantin; Koch, Arno (2008): Overall Equipment Effectiveness (OEE). Werkzeug zur Produktivitätssteigerung. In: Zeitschrift der Unternehmensberatung (ZUb) (6), S. 245–250.

Mayer, Reinhold (2013): Muster erfolgreicher Exzellenzprogramme in der Produktion. Kernelemente, Vorgehensweisen, Handlungsempfehlungen. In: Zeitschrift für Controlling 25 (8/9), S. 458–466.

Mayring, P. (1983), Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Technik, Beltz, Weinheim.

McKinsey & Co.; VDMA (2014): Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau. Erfolgreich in einem dynamischen Umfeld agieren.

McKinsey (2013): Disruptive technologies: Advances that will transform life, business and the globale economy. Hg. v. McKinsey Global Institute.

Metternich, J.; Müller, M.; Meudt, T.; Schaede, C. (2017): Lean 4.0 - zwischen Widerspruch und Vision. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 112, S. 346–348.

Meyer, Gerrit (2015): Schlussbericht zu dem IGF-Vorhaben StöGröM. Nachhaltiges Störgrößenmanagement in produzierenden KMU.

Müller, R., Vette, M., Hörauf, L., Speicher, C. & Burkhard, D. (2017), „Menschzentriertes Informationstool zur innerbetrieblichen Vernetzung“, in: Mensch und Computer 2017 - Workshopband, Hrsg. M. Burghardt, R. Wimmer, C. Wolff & C. Womser-Hacker, Gesellschaft für Informatik e.V., Regensburg, S. 12. <http://dx.doi.org/10.18420/muc2017-ws04-0393>.

Nelles, J., Kuz, S., Mertens, A. & Schlick, C. M. (2016), „Human-centered design of assistance systems for production planning and control: The role of the human in Industry 4.0“, in: 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)IEEE, S. 2099–2104. <http://dx.doi.org/10.1109/ICIT.2016.7475093>.

Nersesian, R. (2000): Trends and tools for operations management. An updated guide for executives and managers. Westport, CT: Quorum.

Nielsen, J. (1993), Usability engineering, Academic Press.

O’Loughlin, E. (2018) (Software Advice Inc.), FrontRunners® for Project Management, March 2018, <https://www.softwareadvice.com/project-management/#top-products> [02.08.2018]

Obermaier, R. & Kirsch, V. (2017), „Betriebswirtschaftliche Wirkungen digital vernetzter Fertigungssysteme - Eine Analyse des Einsatzes moderner Manufacturing Execution Systeme in der verarbeitenden Industrie“, in: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe, Hrsg. R. Obermaier, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, S. 191–217.

Obermaier, R. (Hg.) (2017): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. 2. Aufl. 2017. Wiesbaden: Springer Gabler.

Ohno, T. (2013), Das Toyota-Produktionssystem, 3. Aufl., Campus Verlag.

Peissner, M. & Hipp, C. (2013), Potenziale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen, Fraunhofer-Verlag, Stuttgart.

Peters, R. (2009), Shopfloor Management: Führen am Ort der Wertschöpfung, LOG X, Stuttgart.

Pietsch, T. (2003), Bewertung von Informations- und Kommunikationssystemen – ein Vergleich betriebswirtschaftlicher Verfahren, 2. Auflage, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Plattner, H., Meinel, C., & Weinberg, U. (2009). Design Thinking. Innovation lernen, Ideenwelten öffnen. München: mi.

Pohl, K. & Rupp, C. (2015), Basiswissen Requirements Engineering, 4., überar. Aufl., dpunkt.verlag GmbH, Heidelberg.

Pohl, K.; Rupp, C. (2015): Basiswissen Requirements Engineering. Aus- und Weiterbildung zum "Certified Professional for Requirements Engineering"; Foundation Level nach IREB-Standard. 4., überarbeitete Auflage. Heidelberg: dpunkt.verlag.

Porter, Michael; Heppelmann, J.: How Smart, Connected Products are Transforming Competition. In: Harvard Business Review Nr. 11; Vol. 92, S. 64–88.

Pötter, T.; Vogel-Heuser, B. (2017): Enabling Industrie 4.0. Chancen und Nutzen für die Prozessindustrie. In: B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl und M. ten Hompel (Hg.): Handbuch Industrie 4.0. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Berlin: Springer Vieweg (4), S. 159–171.

Powell, D.; Binder, A.; Arica, E. (2013): MES Support for Lean Production. In: C. Emmanouilidis, M. Taisch und D. Kiritsis (Hg.): Advances in production management systems. Competitive manufacturing for innovative products and services, IFIP WG 5.7 international conference, APMS 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 398. Heidelberg: Springer, S. 128–135.

Preim, B. & Dachsel, R. (2015), Interaktive Systeme Band 2: User Interface Engineering, 3D-Interaktion, 2. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

PwC (2014): Industrie 4.0 Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution.

QlikTech GmbH (2017): SQL-Einschränkungen waren gestern. Heute haben Ihre Erkenntnisse keine Grenzen. Hg. v. Wolfgang Kobek. Düsseldorf. [www.qlik.com/de-de/products/why-qlik-is-different](http://www.qlik.com/de-de/products/why-qlik-is-different) [14.12.2017].

Reichmann, Thomas; Lachnit, Laurenz: Planung, Steuerung und Kontrolle mit Hilfe von Kennzahlen. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung.

Reinhart, G. & Zühlke, D. (2017), „Von CIM zu Industrie 4.0“, in: Handbuch Industrie 4.0 Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik, Hrsg. G. Reinhart, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, S. XXXI –XL. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-12388-8\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-12388-8_4).

Reinhart, G., Bengler, K., Dollinger, C., Intra, C., Lock, C., Popova-Dlogosch, S., Rimpau, C., Schmidler, J., Teubner, S. & Vernim, S. (2017), „Der Mensch in der Produktion von Morgen“, in: Handbuch Industrie 4.0 Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik, Hrsg. G. Reinhart, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, S. 51–88.

Reinheimer, S. (Hg.) (2017): Industrie 4.0. Herausforderungen, Konzepte und Praxisbeispiele. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Reiss, M.; Reimann, S. (2015): Das Data Lake Konzept: Der Schatz im Datensee. Hg. v. IT Verlag für Informationstechnik GmbH. Sauerlach. <https://www.it-daily.net/it-management/big-data-analytics/11222-das-data-lake-konzept-der-schatz-im-datensee> [07.02.2018].

Reitz, A. (2014): Lean TPM. In 12 Schritten zum schlanken Managementsystem; effektive Prozesse für alle Unternehmensbereiche; gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit durch KVP; Erfolg messen mit der Lean-TPM-Scorecard. 3., unveränd. Aufl. München: Mi-Wirtschaftsbuch.

Richter, M. & Flückiger, M. (2016), Usability und UX kompakt: Produkte für Menschen, 4. Aufl., Springer Vieweg.

Riegger, M. (2011), „Großer Qualitätssprung durch Shopfloor Management“, in: Maschinen-Markt, Bd. 27, S. 4.

Riezebos, J.; Klingenberg, W.; Hicks, C. (2009): Lean Production and information technology. Connection or contradiction? In: Computers in Industry 60 (4), S. 237–247.

Roland Berger (2014): Industry 4.0 - The new industrial revolution. How Europe will succeed. München.

Roland Berger Strategy Consultants (Hrsg.) (2015): Analysen zur Studie: Die digitale Transformation der Industrie. Detailbetrachtungen von Roland Berger Strategy Consultants im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie e.V. (BDI).

Römer, T., Stockinger, C. & Bier, L. (2017), „Evaluation of a real-time feedback solution for ergonomic parameters using smart sensors and user centered design“, in: Advances in Ergonomics Modeling, Usability & Special Populations AHFE 2016 International Conference on Human Factors and System Interactions, Hrsg. M. Soares, C. Falcao & T. Z. Ahram, Bd. 486, Springer International Publishing, Cham, S. 3–14.

Rudow, B. (2014), „Betriebliche Informationssysteme in der Automobilproduktion als sozio-technische Systeme - psychologische Aspekte“, in: Betriebliche Informationssysteme in der Automobilproduktion, Hrsg. B. Rudow & H.-C. Heidecke, De Gruyter Oldenbourg, München, S. 57–94.

Rudow, B., Heidecke, H.-C. & Neubauer, W. (2014), „Betriebliche Informationssysteme in der Automobilproduktion“, in: Betriebliche Informationssysteme in der Automobilproduktion, Hrsg. B. Rudow & H.-C. Heidecke, De Gruyter Oldenbourg, München, S. 1–55.

Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000), „Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being“, in: *American Psychologist*, Bd. 1, Nr. 55, S. 68 –78. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>.

Sandt, Joachim (1995): Performance measurement. In: *Controlling and Management* (49(6)), S. 429–447.

Sarodnick, F. & Brau, H. (2006), *Methoden der Usability Evaluation: Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung*, 1. Aufl., Verlag Hans Huber.

Schäfer, H. (2005), *Unternehmensinvestition – Grundzüge in Theorie und Management*.

Schallmo, D. (2017), *Design Thinking erfolgreiche anwenden – So entwickeln Sie in 7 Phasen kundenorientierte Produkte und Dienstleistungen*, Gabler Verlag.

Schickler, M., Reichert, M., Pryss, R., Schobel, J., Schlee, W. & Langguth, B. (2015), „Arten der Anwendungsentwicklung“, in: *Entwicklung mobiler Apps* eXamen.pressSpringer Vieweg, Berlin, Heidelberg, S. 17–24. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33057-5\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33057-5_4).

Schlick, C.; Moser, K.; Schenk, M. (2014): *Flexible Produktionskapazität innovativ managen. Handlungsempfehlungen für die flexible Gestaltung von Produktionssystemen in kleinen und mittleren Unternehmen*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

Schlick, J., Stephan, P., Loskyll, M. & Lappe, D. (2014), „Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung“, in: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Hrsg. T. Bauernhansl, M. ten Hompel & B. Vogel-Heuser, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 57–84.

Scholz, P. (2005), *Softwareentwicklung eingebetteter Systeme: Grundlagen, Modellierung, Qualitätssicherung*, Springer, Berlin.

Schön, D. (2012): *Planung und Reporting im Mittelstand*, Springer Gabler, Wiesbaden.

Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M. & Wahlster, W. (2017), „Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten“, in: *acatech STUDIE*, S. 1–62.

Schuh, G., Potente, T., Thomas, C. & Hauptvogel, A. (2014), „Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme“, in: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Hrsg. T. Bauernhansl, M. ten Hompel & B. Vogel-Heuser, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 277–295.

Schuh, G.; Anderl, R.; Gausemeier, J.; ten Hompel, M.; Wahlster, W. (2017): *Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten*. acatech STUDIE. München: Herbert Utz Verlag.

Schwarz-Kocher, Martin; Salm, Rainer (2016): *Industriearbeit im Wandel des aktuellen Rationalisierungsparadigmas*. In: *AIS Studien* 9 (1), S. 5–24.

Seiter, M. (2017): *Business Analytics. Effektive Nutzung fortschrittlicher Algorithmen in der Unternehmenssteuerung*. München: Vahlen.

Seiter, Mischa (2016): Roadmap Industrie 4.0. Ihr Weg zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0: mit Praxisbeispielen der Unternehmen Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, ESTA; Apparatebau GmbH & Co. KG; EUCHNER GmbH + Co. KG; Günther Wirth Hartmetallwerkzeuge Betriebs-GmbH; KSB Aktiengesellschaft und TRUMPF GmbH + Co. KG. Hamburg: tredition GmbH.

Sejdić, Goran (2015): Echtzeitsteuerung. In: CON 27 (8-9), S. 518–519.

Sharp, H.; Finkelstein, A.; Galal, G. (1999): Stakeholder Identification in the Requirements Engineering Process. In: A. Cammelli, A. Min Tjoa und R. Wagner (Hg.): 10th International Workshop Database and Expert System Applications. Florenz. IEEE CS Press, S. 387–391.

Siepmann, D. (2016): Industrie 4.0 - Grundlagen und Gesamtzusammenhang. Industrie 4.0 - Struktur und Historie. In: A. Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. 1. Aufl. 2016. Berlin: Springer Gabler, S. 19–33.

Soder, J. (2014): Use Case Production: Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0. In: T. Bauernhansl, M. ten Hompel und B. Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung - Technologien - Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 85– 102.

Soltany Noory, Alireza (2013): Shop Floor Management. Führen am Ort der Wertschöpfung. Berlin: epubli GmbH.

Spath, Dieter (2013): Produktionsarbeit der Zukunft. Industrie 4.0. Hg. v. Fraunhofer Verlag. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. Stuttgart.

Stahlmann, M. (1993): Die Erste Revolution in der Autoindustrie. Management und Arbeitspolitik von 1900-1940. Frankfurt/Main: Campus. Staufen AG;

Statistisches Bundesamt (2015): Statistisches Jahrbuch 2015. Wiesbaden.

Staufen AG & Institut PTW der TU Darmstadt (2016), 25 Jahre Lean Management - Lean Gestern, Heute und Morgen 2015, Köngen. [https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-studie-25-jahre-lean-management-2016-de\\_DE.pdf](https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-studie-25-jahre-lean-management-2016-de_DE.pdf).

Staufen AG (2016), Virtuelles Shopfloor Management - Komplexe Prozesse steuern und globale Organisationen führen. [https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/1-Brochures/2-Brochures-DE/STAUFEN.-broschuere-virtuelles-shopfloor-management-de\\_DE.pdf](https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/1-Brochures/2-Brochures-DE/STAUFEN.-broschuere-virtuelles-shopfloor-management-de_DE.pdf) [2018-07-04].

Steinhilper, Rolf (2014): Ressourceneffizienzsteigerung durch Visualisierung von Abläufen und Einbindung der Mitarbeiterverantwortung. Resource Efficiency through Visualisation and Employee's Responsibility (REVisER). Hg. v. Lehrstuhl für umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth. Bayreuth.

Steinhoff, Falk; Pointner, Timo (2016): FAQ - Lean Management. 100 Fragen - 100 Antworten. 1. Auflage.

Stocker, A., Brandl, P., Michalczyk, R. & Rosenberger, M. (2014), „Mensch-zentrierte IKT-Lösungen in einer Smart Factory“, in: Elektrotechnik und Informationstechnik, Bd. 131, Nr. 7, S. 207–211.

Stockinger, C., Verma, R. & König, C. (2017), „Konzipierung einer Cockpit-Applikation für smarte Fabriken zum Abbau von Komplexität“, in: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Bd. 71, Nr. 4, S. 224–232. <http://dx.doi.org/10.1007/s41449-017-0077-4>.

Strack, Rainer; Villis, Ulrich: RAVE TM: die nächste Generation im Shareholder Value Management. In: Journal of business economics: JBE 71 (1).

Sugimori, Y.; Kusunoki, K.; Cho, F.; Uchikawa, S. (1977): Toyota production system and Kan-ban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. In: International Journal of Production Research 15 (6), S. 553–564.

Suzaki, K. (1993), The New Shop Floor Management - Empowering People for Continuous Improvement, Simon and Schuster. VDI-Fachbereich Fabrikplanung und -betrieb (2012), „VDI 2870 Blatt 1 Ganzheitliche Produktionssysteme - Grundlagen, Einführung und Bewertung“, in: VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren - Band 1: Grundlagen und Planung VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik.

Suzaki, K. (1994), Die ungenutzten Potentiale: neues Management im Produktionsbetrieb, Hanser, München.

Thalmann, S.; Pammer-Schindler, V. (2017): Die Rolle des Mitarbeiters in der Smart Factory. In: wissensmanagement (3), S. 40–42.

The BI Survey (2017): Data Discovery: A Closer Look at One of 2017's Most Important BI Trends. Würzburg. <https://bi-survey.com/data-discovery> [07.02.2018].

Tiedemann, M. (2017): Greenfield vs. Brownfield - Jede Fabrik und jedes Unternehmen kann Teil der Industrie 4.0 werden. Hg. v. Alexander Thamm GmbH. München. <https://www.alexanderthamm.com/artikel/industrie-4-0-greenfield-vs-brownfield-jede-fabrik-und-jedes-unternehmen-kann-teil-der-industrie-4-0-werden/> [13.02.2018].

Treder, M. (2016): Wireframing, Prototyping, Mockuping - What's the Difference? <https://designmodo.com/wireframing-prototyping-mockuping/> [07.02.2018].

VDMA Einheitsblattes 34160 (2006), Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen.

VDI-Fachbereich Fabrikplanung und -betrieb (2013), „VDI 2870 Blatt 2 Ganzheitliche Produktionssysteme - Methodenkatalog“, in: VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren - Band 1: Grundlagen und Planung VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik.

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2015), VDI 5600 Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems - MES).

VDI-Richtlinie 5600, Oktober 2016: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems - MES).

VDMA (2015): Statistisches Handbuch für den Maschinenbau 2015.

Vernim, S.; Wehrle, P.; Reinhart, G. (2016): Entwicklungstendenzen für die Produktionsarbeit von morgen. In: ZWF 111 (9), S. 569–572.

Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; ten Hompel, M. (Hg.) (2017): Handbuch Industrie 4.0. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Berlin: Springer Vieweg (4).

Wagner, G. (2017): Digital Leadership - die Führungskraft im Zeitalter von Industrie 4.0. In: V. Andelfinger und T. Hänisch (Hg.): Industrie 4.0. Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 165–214.

Wang, T.; Zhang, Y. F.; Zang, D. X. (2016): Real-Time Visibility and Traceability Framework for Discrete Manufacturing Shopfloor. In: Proceedings of the 22nd International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2015, S. 763–772.

Weber, Jürgen; Schäffer, Utz (2011): Einführung in das Controlling. 13. Aufl. s.l.: Schäffer-Poeschel Verlag. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10773077>.

Webster, S. A. (2015), Bosch Rexroth: The Smart Factory is Now. <http://www.sme.org/MEMagazine/Article.aspx?id=8589936788> [2018-04-29].

Werbach, K.; Hunter, D. (2012): For the win. How game thinking can revolutionize your business. Philadelphia, PA: Wharton Digital Press.

Wirdemann, R. & Mainusch, J. (2017), Scrum mit User Stories, 3. Aufl., Hanser, München.

Wlcek, Helmut (2014): Produktions- und Logistikcontrolling. Vorlesungsskript. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe. Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme.

Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D. (1990), The Machine that Changed the World, Simon and Schuster.

Womack, J.; Jones, D.; Roos, D. (1994): Die zweite Revolution in der Autoindustrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology. 8., durchges. Aufl., kart. Ausg. Frankfurt/Main, New York: Campus-Verlag.

Zühlke, D. (2012), Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen - Useware-Engineering für technische Systeme, 2. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Zur Mühlen, M. & Shapiro, R. M. (2009), „Business Process Analytics“, in: Handbook on Business Process Management, Hrsg. M. Rosemann & J. vom Brocke, Springer Berlin Heidelberg, 2. Aufl., S. 137–157. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-01982-1\\_7](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-01982-1_7).

ZVEI Betriebswirtschaftlicher Ausschuss des Zentralverbandes Elektrotechnik und Elektronikindustrie (1989): ZVEI-Kennzahlensystem. Ein Instrument Zur Unternehmenssteuerung, 4. Auflage, ZVEI (Hrsg.), Mindelheim, 1989.