

TEILGESPERRT

Masterarbeit

Julia Dibke

Fehler als Verschwendungsart –
Reduzierung von Montagefehlern durch die Anwendung
von Lean Management

Julia Dibke

**Fehler als Verschwendungsart –
Reduzierung von Montagefehlern durch die
Anwendung von Lean Management**

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung

im Studiengang Produktionstechnik und -management
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

STILL GmbH
Abteilung Center of Components Zylinder
Berzeliusstraße 10
22113 Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Randolph Isenberg

Zweitprüfer: Dipl.-Kfm., Dipl.-Ing. (FH) Christian Voigt

Abgabedatum: 27.02.2015

Zusammenfassung

Julia Dibke

Titel der Masterarbeit

Fehler als Verschwendungsart –

Reduzierung von Montagefehlern durch die Anwendung von Lean Management

Stichworte

Verschwendungsarten, Muda, Fehlerreduzierung, Lean Management, Toyota-Produktionssystem, TPS, Kaizen, PDCA, Poka Yoke, Qualitätsmanagement, Q7 Sieben Elementaren Qualitätswerkzeuge, M7, Sieben Managementwerkzeuge

Kurzzusammenfassung

Kernelement dieser Thesis ist die kontinuierliche Vermeidung von Verschwendung durch Integration eines Poka Yoke Systems bei zu vorheriger Fehleranalyse mithilfe der Q7. Bekannte Poka Yoke Beispiele wurden nach dem ermittelten Hauptfehler gefiltert, kritisiert, zusammengefasst und die Quintessenz gezogen. Das entwickelte Poka Yoke System wurde in eine ergonomische, standardisierte Arbeitsplatzgestaltung eingebettet und auf die Hubzylindervormontage der *STILL GmbH* übertragen

Julia Dibke

Master Thesis title

Defects as type of waste – Reducing of assembly defects by using Lean Management

Keywords

Types of waste, muda, reduction, defects, Lean Management, Toyota Production System, TPS, Kaizen, PDCA, Poka Yoke, quality management, Q7, Seven Tools of Quality, M7, Seven Management and Planning Tools

Abstract

Core element of this thesis is the continuous avoidance of waste by the integration of a Poka Yoke system with previous error analysis using the Q7. Known Poka Yoke examples were filtered according to the identified main flaw and then criticized, followed by the identification of their quintessence. The developed Poka Yoke system has been embedded into an ergonomical, standardized workplace design and transferred to the *STILL GmbH*.

Hinweis Teilspernung

Aus Firmeninteresse unterliegt diese Arbeit einer Teilspernung.

Die Sperrung bezieht sich auf folgende Kapitel:

3 Prozess-Analyse in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)

3.1 Aufbau und Funktion von Hubzylinderkomponenten (gesperrt)

3.2 Der Vormontageprozess – Soll-Zustand (gesperrt)

3.3 Problembeschreibung der Vormontage (gesperrt)

3.4 Auswirkungen von Vormontagefehlern (gesperrt)

3.5. Fehler-Analyse in der Vormontage (gesperrt)

3.5.1 Prozessbeobachtung – IST-Zustand (gesperrt)

3.5.2 Einführung einer weiteren Fehleraufnahme (gesperrt)

3.5.3 Ermittlung der Hauptfehler (gesperrt)

3.5.4 Prozess-FMEA der Hauptfehler (gesperrt)

3.5.5 Ermittlung der Unterfehler (gesperrt)

3.5.6 Ursachenuntersuchung (gesperrt)

5 Prozessoptimierung in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)

5.1 Verbesserungsvorschläge (gesperrt)

5.2 Standardisierungsmaßnahmen in der Vormontage (gesperrt)

5.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Ergonomie am Arbeitsplatz

5.4 Poka Yoke Lösungsvarianten (gesperrt)

5.5 Entscheidungsfindung für Poka Yoke System (gesperrt)

5.5.1 Paarweiser Vergleich (gesperrt)

5.5.2 Nutzwertanalyse (gesperrt)

6 Zusammenfassung und Ausblick

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Anhang

B Fehler-Analyse in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)

B.1 Der Vormontageprozess (gesperrt)

B.2 Auswirkungen von Vormontagefehlern

B.3 Prozessablauf für vormontierte Teile (gesperrt)

B.4 FMEA der Hauptfehler (gesperrt)

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

C Prozessoptimierung in der STILL Hubzylinderfertigung (gesperrt)

C.1 Verbesserungsvorschläge in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)

C.2 Standardisierungsmaßnahmen in der Vormontage (gesperrt)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	ii
Hinweis Teilspernung	ii
Verwendete Indizes	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abkürzungsverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
1.1 Motivation für das Thema.....	1
1.2 Zielstellung und Aufbau der Arbeit	2
2 Stand der Technik	5
2.1 Lean Management oder auch das Toyota Produktionssystem	5
2.2 Lean Techniken	6
2.2.1 Verschwendung	7
2.2.2 One-Piece-Flow	10
2.2.3 Poka Yoke.....	11
2.2.4 Standardisierung.....	17
2.2.5 Kaizen.....	17
2.3 Prozess-Analyse	18
2.3.1 Prozessbeobachtung.....	18
2.3.2 Umfassende Fehlerprüfung und -aufnahme	19
2.3.3 Qualitätstechniken.....	19
2.4 Entscheidungsfindungstechniken	26
2.4.1 Paarweiser Vergleich	26
2.4.2 Nutzwertanalyse.....	27
2.5 Vorgehensweise zur Prozessanalyse und -optimierung	28
3 Prozess-Analyse in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)....	30
3.1 Aufbau und Funktion von Hubzylinderkomponenten (gesperrt)	30
3.2 Der Vormontageprozess – Soll-Zustand (gesperrt)	30
3.3 Problembeschreibung der Vormontage (gesperrt).....	30
3.4 Auswirkungen von Vormontagefehlern (gesperrt)	30
3.5 Fehler-Analyse in der Vormontage (gesperrt).....	30
3.5.1 Prozessbeobachtung – IST-Zustand (gesperrt).....	30
3.5.2 Einführung einer weiteren Fehleraufnahme (gesperrt).....	30
3.5.3 Ermittlung der Hauptfehler (gesperrt)	30
3.5.4 Prozess-FMEA der Hauptfehler (gesperrt)	30
3.5.5 Ermittlung der Unterfehler (gesperrt)	30
3.5.6 Ursachenuntersuchung (gesperrt).....	30
4 Prozessoptimierungs-Konzept	31
4.1 Prozessoptimierung	31
4.2 Clusteranalyse angewandter Poka Yoke Systeme	34
5 Prozessoptimierung in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)	44
5.1 Verbesserungsvorschläge (gesperrt).....	44
5.2 Standardisierungsmaßnahmen in der Vormontage (gesperrt)	44
5.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Ergonomie am Arbeitsplatz.....	44
5.4 Poka Yoke Lösungsvarianten (gesperrt)	44
5.5 Entscheidungsfindung für Poka Yoke System (gesperrt).....	44

5.5.1	Paarweiser Vergleich (gesperrt)	44
5.5.2	Nutzwertanalyse (gesperrt)	44
6	Zusammenfassung und Ausblick	45
6.1	Zusammenfassung.....	45
6.2	Zusammenfassung STILL (gesperrt).....	45
6.3	Ausblick	45
6.4	Ausblick STILL (gesperrt).....	47
A	nhang.....	A-1
A	Stand der Technik - Poka Yoke.....	A-1
B	Fehler-Analyse in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)	A-2
B.1	Der Vormontageprozess (gesperrt)	A-2
B.2	Auswirkungen von Vormontagefehlern (gesperrt).....	A-2
B.3	Prozessablauf für vormontierte Teile (gesperrt).....	A-2
B.4	FMEA der Hauptfehler (gesperrt)	A-2
C	Prozessoptimierung in der STILL Hubzylinderfertigung (gesperrt).....	A-2
C.1	Verbesserungsvorschläge in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)	A-2
C.2	Standardisierungsmaßnahmen in der Vormontage (gesperrt)	A-2
	Literaturverzeichnis	i

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AKL	Automatisches Kleinteilelager
AW	Arbeitsanweisung
ELAD	Endlagendämpfung
FMEA	Fehlermöglichkeits- und einflussanalyse
i.O.	in Ordnung
KD	Kolbendeckel
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
KW	Kalenderwoche
LBS	Leitungsbruchsicherung
n.i.O.	nicht in Ordnung
OPF	One-Piece-Flow
QRK	Qualitätsregelkarte
RBG	Regalbediengerät
RPZ	Risikoprioritätszahl
TPS	Toyota-Produktionssystem

1 Einleitung

1.1 Motivation für das Thema

Lean Management ist die westliche Bezeichnung für das von Taiichi Ohno entwickelte Toyota-Produktionssystem (TPS).¹ Zentraler Bestandteil des Lean Managements ist die Eliminierung von Verschwendung². Eine der von Ohno differenzierten sieben Verschwendungsarten ist das Herstellen defekter Produkte³ und deren anschließende Korrektur, s. Kapitel 2.2.1. Demzufolge bildet die Reduzierung bzw. die Vermeidung von Fehlern ein wesentliches Element des Lean Managements.

Eine nachhaltige Technik, um diese zu vermeiden ist das von Shigeo Shingo entwickelte Poka Yoke System.⁴ Poka Yoke stammt aus dem japanischen Sprachgebrauch und bedeutet fehlerhandlungssicher, s. Kapitel 2.2.3. Demzufolge ist die Arbeitsumgebung eines Mitarbeiters so zu gestalten, dass ein Auftreten eines Fehlers nicht möglich ist, indem er in seiner Ursache abgestellt wird.⁵ Das fehlerhandlungssichere System erkennt sowohl Fehler als auch Fehlerhandlungen bereits in ihrer Entstehung im jeweiligen Prozess⁶ oder zu Beginn des Folgeprozesses.

Für das Verständnis und die Entwicklung von Fehlerreduzierung mithilfe von Poka-Yoke bestehen diverse Sammlungen von Poka Yoke Design und Poka Yoke System Beispielen zur Entdeckung und/oder Vermeidung von Herstellungsfehlern. Diese Beispiele konzentrieren sich auf folgende Fehler.

Das Bauteil bzw. ein Arbeitsgang wurde:

- fehlerhaft bearbeitet / durchgeführt,
- n.i.O. montiert,
- vergessen,
- vertauscht.

Die Beispiele stammen von japanischen Firmen aus verschiedensten Industriezweigen. In diesen Katalogen sind zahlreiche Beispiele aus der

¹ Vgl. *Stotko*. (Bedeutung Taiichi Ohno's Werkes, 1993). S.18.

² Vgl. *Zollondz*. (Lean Management, 2013). S.9.

³ Vgl. *Ohno*. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.165.

⁴ Vgl. *Shingo*. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.IX.

⁵ Vgl. *Shingo*. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.53.

⁶ Vgl. *Shingo*. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.IX.

Linienfertigung mit geringer Variantenvielfalt aufgeführt, jedoch wenige Poka-Yoke-Systeme für variablenreiche Baugruppen für Montagetätigkeiten mit Inselfertigung.

Um die Anwendbarkeit von Poka Yoke auch bei starkem Variantenreichtum zu prüfen, werden in dieser Arbeit zum einen diverse Poka Yoke Beispiele von Montagevorgängen unter Berücksichtigung der Variantenvielfalt

- neu kategorisiert,
- ggf. geändert und
- kombiniert.

Zum anderen ist in der Hubzylindervormontage der *STILL GmbH* der Bedarf einer Prozessoptimierung festgestellt worden. Die *STILL GmbH* bietet weltweit innerbetriebliche Intralogistikdienstleistungen und eine breite Palette an Flurförderfahrzeugen an⁷. In der Hubzylindervormontage werden die Hubzylinder für die Hebehydraulik von Gabelstaplern vormontiert. Zwischen dem Vormontage- und Montageprozess sind vermehrt Fehler lokalisiert aber nicht dokumentiert und weiter untersucht worden. Die Bauteile unterliegen einer Sicht-, jedoch keiner Funktionsüberprüfung. Die Fehlerentdeckung und -korrektur ist nach der Auslieferung an den Kunden ca. fünfmal höher, als wenn dieser intern festgestellt und korrigiert werden würde.

Um diese Art von Verschwendung zu vermeiden, werden im Rahmen dieser Arbeit diese Fehler:

- aufgenommen,
- analysiert,
- die Ursachen herausgearbeitet,
- mithilfe einer der herausgearbeiteten und auf die *STILL GmbH* zugeschnittene Poka Yoke Lösung reduziert.

1.2 Zielstellung und Aufbau der Arbeit

Ziel dieser Masterthesis ist die Erarbeitung eines nach Lean Prinzipien basierenden Konzeptes zur kontinuierlichen Fehler- und folglich einer Verschwendungsreduzierung, sowie dessen Implementierung am Beispiel der Vormontage in der Hubzylinderfertigung der *STILL GmbH* im Hamburger

⁷ Vgl. *STILL GmbH: Unternehmen*, 2015, <http://www.still.de/unternehmen.0.0.html>, 22.Jan.2015.

Stammhaus.

Diesbezüglich werden in Kapitel 2 anerkannte Techniken des Qualitäts- und Lean Managements skizziert und in Bezug auf ihre Verwendbarkeit untersucht, ihre Eignung gegeneinander abgewogen und ein geeignetes Konzept zur Prozessanalyse und die weitere Vorgehensweise entwickelt.

Unabhängig von der breiten Anwendungsmöglichkeit der zu entwickelnden Methode auf etwaige Produkte und Branchen wird in Kapitel 3 zur Verdeutlichung der Notwendigkeit zur Prozessoptimierung der Aufbau und die Funktionsweise der betroffenen Bauteile der *STILL GmbH* erläutert.

Folgend werden in diesem Kapitel ebenfalls die bestehenden Prozesse und Fehler mit Zuhilfenahme des zuvor entwickelten Konzeptes analysiert und anschließend die Ursachen ermittelt.

In Kapitel 4 werden Lösungsansätze zur Gestaltung funktionsfähiger und standardisierter Prozesse erarbeitet, die bei Fehlereintritt unterbrochen werden. Ein wichtiges Element dieser Prozessgestaltung ist die Poka Yoke Technik. Bestehende Poka Yoke Umsetzungen werden nach dem in Kapitel 3 ermittelten Hauptfehler gefiltert, aus ihrer bisherigen Clusterung herausgebrochen, kritisch betrachtet und ggf. geändert oder kombiniert. Kern dieses Kapitels ist die Entwicklung eines allgemeingültigen Poka-Yoke-Lösungsansatzes bei variablen Baugruppen.

In Kapitel 5 wird das Prozessoptimierungskonzept auf die *STILL* Hubzylindervormontage übertragen. Gesammelte Verbesserungsvorschläge von den Mitarbeitern und aus eigenen Beobachtungen werden zusammengeführt und nach geeigneten Kriterien zu vier Poka Yoke Lösungsideen und einbettenden Prozessoptimierungskonzepten zusammen getragen. Die Entscheidungsfindung einer finalen Lösung wird ebenfalls beleuchtet.

In der Zusammenfassung und Ausblick in Kapitel 6 werden die Ergebnisse aus den vorangegangenen Beobachtungen und Analysen zusammengefasst. Mögliche Weiterentwicklungen und Verbesserungsschleifen werden hier angedeutet.

In Anbetracht des begrenzten Umfangs der Thesis wird zugunsten der kreativen, objektiven Lösungsfindung keine betriebswirtschaftliche Gegenüberstellung der Optimierungsmaßnahmen durchgeführt.

2 Stand der Technik

2.1 Lean Management oder auch das Toyota Produktionssystem

1988 das erste Mal von Krafcik verwendet⁸, erlangte der Begriff Lean Management erst drei Jahre später mit der Veröffentlichung des Buches *The Machine that changed the World* von den Amerikanern Womack, Jones und Roos Berühmtheit. In diesem Werk verwenden die Autoren den Begriff als andere Bezeichnung für das von Ohno und weiteren japanischen Ingenieuren entwickelte Toyota Produktionssystem (TPS).⁹

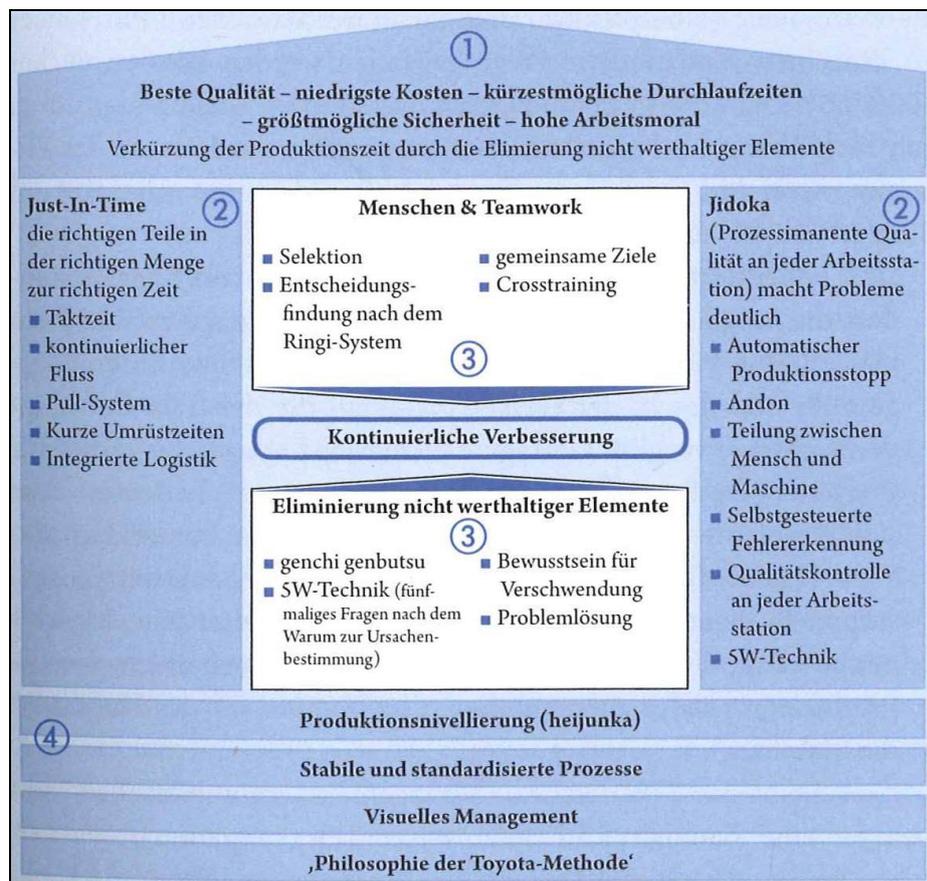


Abbildung 2.1: TPS –Haus nach Cho Fujio
Quelle: Zollondz, H.-D., Grundlagen Lean Management, München 2013. S.167
nach Liker, J.K., Der Toyota Weg, München 2006, S.65.

Der Begriff Lean Management ist folglich amerikanisch geprägt und in Japan nicht bekannt¹⁰. Fälschlicherweise wird er als schlank fehlinterpretiert, dabei bedeutet er viel eher fragil. Er beschreibt daher keinen Zustand, sondern ein

⁸ Vgl. Zollondz. (Lean Management, 2013). S.5.

⁹ Vgl. Womack, James, Roos. (Zweite Revolution, 1994) S.54.

¹⁰ Vgl. Zollondz. (Lean Management, 2013). S.7.

Managementsystem, welches bestrebt ist, die Fragilität der Wertschöpfungsströme im Gleichgewicht zu halten¹¹, während Verschwendung eliminiert wird.¹² Hierbei stehen ebenfalls der Mensch, die kontinuierliche Verbesserung und Genchi Genbutsu¹³, das Lernen durch eigene Veranschaulichung vor Ort¹⁴ im Zentrum, s. Abbildung 2.1. Nach dem 2. Weltkrieg aus der Not der Japaner entstanden, dem Kunden viele kleine Typen in kleinen Mengen anzubieten, ist Lean Management bzw. TPS auch für große Stückzahlen vieler Varianten geeignet.¹⁵

2.2 Lean Techniken

Lean Management bildet nach Implementierung ein sozial-technisches System, in dem Probleme der Organisation, Produktion und Qualität unter Zuhilfenahme von Lean Techniken von jedem Mitarbeiter gelöst werden sollen. Diese Techniken lassen sich in übergeordnete Super-Learn-Techniken einstufen¹⁶, s. Abbildung 2.2.

¹¹ Vgl. Zollondz. (Lean Management, 2013). S.XIX.

¹² Vgl. Ohno. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.37.

¹³ Vgl. Zollondz. (Lean Management, 2013). S.65.

¹⁴ Vgl. Ohno. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.13.

¹⁵ Vgl. Ohno. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.148.

¹⁶ Vgl. Zollondz. (Lean Management, 2013). S.270f.

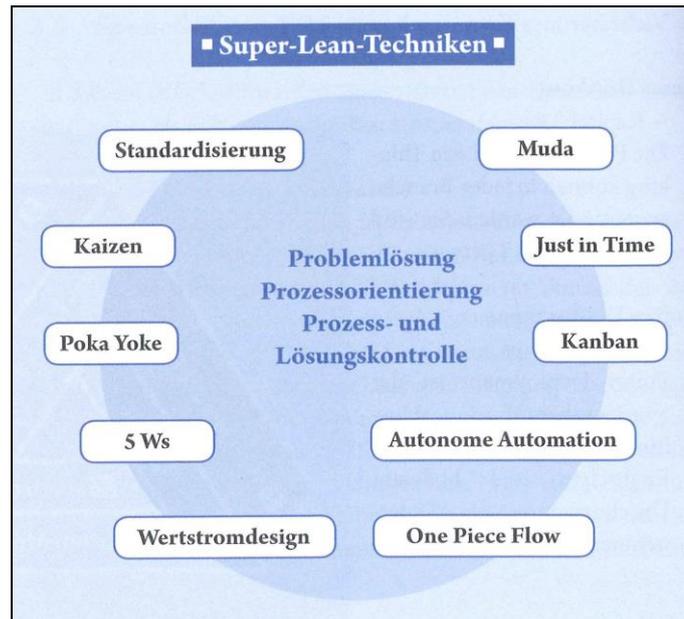


Abbildung 2.2: Super-Lean-Techniken
 Quelle: Zollondz, H.-D., Grundlagen Lean Management, München 2013. S.288

Bei Unvollständigkeit ist das System unzureichend.

Im Folgenden werden die für diese Thesis relevanten, fünf Super-Lean-Techniken:

- Muda (Verschwendung),
- One-Piece-Flow (OPF),
- Poka Yoke,
- Standardisierung,
- Kaizen

vorgestellt.

2.2.1 Verschwendung

Verschwendung, auch unter dem japanischen Begriff Muda bekannt, ist Kernelement des Lean Management, deren Beseitigung oberste Priorität besitzt.¹⁷ Sie steht der Wertschöpfung gegenüber. Wertschöpfende Tätigkeiten sind gestalts- oder charakterändernde Bearbeitungen an einem Produkt oder Aggregat.¹⁸

¹⁷ Vgl. Zollondz. (Lean Management, 2013). S.9.

¹⁸ Vgl. Ohno. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.97.

Verschwendungen sind wiederum Tätigkeiten, die Ressourcen verbrauchen aber keinen Mehrwert erschaffen.¹⁹

Taiichi Ohno definierte für die Fertigung sieben Verschwendungsarten:²⁰

- Überproduktion
- Warten
- Transport
- zu starke Bearbeitung (Überbearbeitung),
- Lagerbestand
- Bewegungen der Arbeiter
- Herstellung defekter Teile und Produkte.

Ohno deklariert hierbei die Überproduktion als Hauptverschwendungsart, da diese die meisten anderen Verschwendungsarten zur Folge hat.²¹ Die oben genannte Aufzählung entzieht sich jedoch der Vollständigkeit, da laut Ohno mindestens sieben Verschwendungsarten existieren, deren Anzahl aber nicht limitiert sei²². Diese Aussage bestätigt sich, indem seine ursprünglich genannten, sieben Verschwendungsarten mit der Zeit durch weitere Arten wie z.B.

- mangelhafte Organisation des Arbeitsprozesses²³
- Doppelarbeit²⁴
- Fläche²⁵
- ungenutzte Kreativitätspotenziale²⁶
- schlechte Ergonomie²⁷
- Personalüberschuss²⁸
- überzählige Ausrüstung²⁹

¹⁹ Vgl. *Gorecki, Pautsch*. (Praxisbuch Lean Management, 2014). S.17.

²⁰ Vgl. *Ohno*. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.165.

²¹ Vgl. *Ohno*. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.94.

²² Vgl. *Ohno*. (Workplace Management, 2013). S.175.

²³ Vgl. *Liker, Meier*. (Toyota Weg, 2009). S. 66f.

²⁴ Vgl. *STILL-internes Dokument: o.V..* (LEAN Modellfabrik, 2014). S18.

²⁵ Vgl. *STILL-internes Dokument: o.V..* (LEAN Modellfabrik, 2014). S.21.

²⁶ Vgl. *Brunner*. (Japanische Erfolgskonzepte, 2008). S.65.

²⁷ Vgl. *LEAN magazin, o.V. : 7 Verschwendungsarten, 2009-2013, <http://www.leanmagazin.de/lexikon.html?id=512>, 28.Jan.2015*

²⁸ Vgl. *Ohno*. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.94.

erweitert worden sind. Die verschiedenen Verschwendungstypen sind jedoch nicht strikt voneinander zu trennen, da die Modifikation einer Verschwendung Auswirkungen auf andere haben kann. Vorrangig ist jedoch nicht die Zuweisung der Verschwendung zu einem Typ, sondern deren kontinuierliche Beseitigung.³⁰ Zu diesem Zweck ist zwischen eliminierbarer und reduzierbarer Verschwendung zu unterscheiden³¹, So sind beispielsweise Transporte des Produktes und Bewegungen der Mitarbeiter während der Produktion unabdingbar. Entscheidend ist, welche Tätigkeiten in welcher Größenordnung notwendig sind und welche es kontinuierlich zu reduzieren gilt, s. Tabelle 2.1. Tätigkeiten, die den Mitarbeiter ohne wertschöpfend zu sein „beschäftigen“, wie beispielsweise lange Wege zurückzulegen, sollen hierbei möglichst auf das Minimum reduziert werden. Fehler wiederum sind in keinster Weise wertschöpfend, da sie Tätigkeiten wie Überprüfungen, Korrekturen, Entsorgung, Ausschuss schreiben und Neuproduktion oder Reparatur zur Folge haben. Das bereits von Henry Ford erkannte anzustrebende Ideal wäre, die Ressourcen so einzusetzen, dass es anschließend nichts zu korrigieren gäbe³².

Tabelle 2.1: Einordnung reduzierbarer und eliminierbarer Verschwendungsarten

Quelle: eigene Darstellung

Wertigkeit der Tätigkeit	Beispiel	Proz.Anteil zu allen Tätigkeiten
Wertschöpfung	alle gestalts- und charakterändernden Tätigkeiten	ca. 20%
Eliminierbare Verschwendung	Überproduktion Warten	variabel
	Überbearbeitung Herstellung defekter Teile und Produkte Mangelhafte Organisation der Arbeitsprozesse Doppelarbeit ungenutzte Kreativitätspotenziale schlechte Ergonomie Personalüberschuss überzählige Ausrüstung	
Reduzierbare Verschwendung	Transport Lagerbestand Bewegung der Arbeiter Fläche	variabel

²⁹ Vgl. *Ohno*. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.94.

³⁰ Vgl. *Ohno*. (Workplace Management, 2013) S.175.

³¹ Vgl. *STILL-internes Dokument: o.V..* (LEAN Modellfabrik, 2014). S.18.

³² Vgl. *Ohno*. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.94. zit. nach *Ford*. (Today and Tomorrow, 1926). S.90ff.

Fehler sind nutzbar, indem durch ihre Untersuchung Schwachstellen im Prozess aufgewiesen werden. Diese sind mit Hilfe jedes Mitarbeiters zu beseitigen. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der Eliminierung der Verschwendungsart Fehler unter der Berücksichtigung, die in der Analyse ermittelten Begleitverschwendungsarten zu minimieren. Es sei in diesem Zusammenhang auf den Titel dieser Thesis hingewiesen: *Fehler als Verschwendungsart – Reduzierung von Montagefehlern durch die Anwendung von Lean Management*. Im Titel wird bewusst das Wort Reduzierung anstelle von Eliminierung verwendet, da nicht alle Montagefehlerarten in dieser Arbeit betrachtet und beseitigt werden, sondern lediglich den in Kapitel 3.5.3 ermittelten Hauptfehler der *STILL* Hubzylindervormontage.

2.2.2 One-Piece-Flow

Im gleichen Atemzug mit Verschwendung sollte auf den Begriff des One-Piece-Flows (OPF) eingegangen werden. Um den Kunden schnellstmöglich unter minimalem Einsatz an Beständen, Fläche und nach sich ziehenden Verschwendungen zu beliefern, baute Ohno das TPS auf dem Prinzip des OPF auf:

„...Wo das Ford-System an der Idee festhält, vom gleichen Teil eine große Menge auf einmal herzustellen, synchronisiert das Toyota-System die Fertigung jeder Einheit. Die Idee hinter diesem Ansatz ist, dass im Markt jeder Kunde ein anderes Auto kauft, sodass die Autos einzeln nacheinander hergestellt werden sollten. Sogar auf der Stufe der Teilfertigung wird nur ein Stück auf einmal hergestellt.“³³

Andere Definitionen betonen den Mitarbeitergebundenen Arbeitsfluss, bei dem der Mitarbeiter unter Einsatz von Jobrotation das Produkt in Losgröße ¹³⁴ ohne Zwischenlagerung durch alle Prozesse bis zum Endprodukt begleitet³⁵. In dieser Arbeit wird der OPF innerhalb der Teilfertigung der Vormontage betrachtet. Demzufolge werden die Arbeitsschritte für ein Bauteil vollständig von einem Mitarbeiter ausgeführt, bis mit der Vormontage des nächsten Bauteils begonnen wird. Womack und Jones berufen sich auf eine Studie vom Psychologen Csikszentmihalyi der den OPF in Zusammenhang mit einem Erfolgserlebnis bringt:

³³ Vgl. *Ohno*. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.137.

³⁴ Vgl. o.V.: One-Piece-Flow, 2006, Rev. 07/13, <http://de.wikipedia.org/wiki/One-Piece-Flow>, 28.Jan.2015.

³⁵ Vgl. *Brunner*. (Japanische Erfolgskonzepte, 2008). S.109.

„Die typischen Arbeitsbedingungen einer Produktion von Stapeln mit Warteschlangen führen kaum zu einem psychologischen Flow-Ereignis. Die Arbeiter können nur einen Teil der Arbeit überblicken, es gibt oft kein Feedback (geschweige denn sofortiges Feedback)...Jeder Mitarbeiter verfügt über das unmittelbare Wissen zur Beurteilung, ob die Arbeit richtig gemacht wurde, und kann den Status des Gesamtsystems überblicken.“³⁶

Diese Definition bestätigt die Nutzung eines Poka Yoke System zur Unterstützung des OPF.

2.2.3 Poka Yoke

Ein wichtiges Instrument zur Vermeidung von Verschwendung ist Poka Yoke (z. Dt.: fehlhandlungssicher). Es ist ein vom Japaner Shigeo Shingo, im Rahmen seiner Mitentwicklung am TPS, konzipiertes Fehlerentdeckungs- bzw. Vermeidungssystem³⁷. Das fehlhandlungssichere System erkennt sowohl Fehler als auch Fehlhandlungen bereits in ihrer Entstehung im jeweiligen Prozess³⁸ oder zu Beginn des Folgeprozesses.

Einordnung

In Kombination mit einer Fehlerquelleninspektion wird Poka Yoke zum Erzielen einer Null-Fehler-Qualitätssicherung (Zero Quality Control) genutzt. Das System beruht sich darauf, Fehler nicht nur zu reduzieren, sondern gänzlich zu vermeiden³⁹. Demzufolge ist das Erreichen einer Nullfehlerproduktion möglich, wenn zwischen Fehlhandlungen (Ursache) und Fehlern (Wirkung) unterschieden wird. Fehler sind nach DIN 900:2005 als Nichterfüllung einer Anforderung definiert⁴⁰. Anforderungen wiederum sind festgelegte, üblicherweise vorausgesetzte oder verpflichtende Erfordernisse oder Erwartungen⁴¹.

Fehler lassen sich in drei Kategorien eingrenzen:

- menschlicher Fehler im Konstruktionsprozess / Produktionsprozess,
- Werkstoff-/ Materialfehler,
- Maschinenfehler.

³⁶ Vgl. *Womack, Jones*. (Lean Thinking, 2013). S. 83. zit. nach Csikszentmihalyi (Flow, 1990). Ohne Seitenangabe.

³⁷ Vgl. *Shingo*. (Poka Yoke –Prinzip und Technik, 1991). S.IX.

³⁸ Vgl. *Shingo*. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.IX.

³⁹ Vgl. *Hirano*. (Poka Yoke – 240 Tips, 1992). S.16.

⁴⁰ Vgl. *DIN e.V.* (Qualitätsmanagementsysteme, 2005). S.19.

⁴¹ Vgl. *DIN e.V.* (Qualitätsmanagementsysteme, 2005). S.13.

Wie bereits in der Zielstellung der Arbeit festgelegt, werden in dieser Thesis menschliche Fehler betrachtet. Sie sind die Folge einer Fehlhandlung, deren mögliche Ursachen:⁴²

- Vergesslichkeit,
- Missverständnisse,
- beim Identifizieren,
- fehlende Übung,
- Absicht,
- Versehen,
- Langsamkeit,
- fehlende Standards,
- Überraschungseffekte und
- Vorsatz

sind. Fehlhandlungen sind unvermeidbar. Fehler wiederum sind vermeidbar, wenn sie an ihrer Wurzel, den unvermeidbaren Fehlhandlungen, abgefangen werden⁴³. Zum Beispiel kann bei einem Bohrvorgang das falsche Einlegen des Werkstückes (Fehlerhandlung) mithilfe einer Fehlerquelleninspektion überprüft werden, um ein nicht korrektes Bohren (Fehler) mithilfe eines Poka Yoke Systems zu verhindern. Das Kernstück der Null-Fehler-Qualitätssicherung ist die mit 60% gewichtete Fehlerquelleninspektion, s. Abbildung 2.3.

⁴² Vgl. *Hirano*. (Poka Yoke – 240 Tips, 1992). S.30f.

⁴³ Vgl. *Shingo*. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.89.

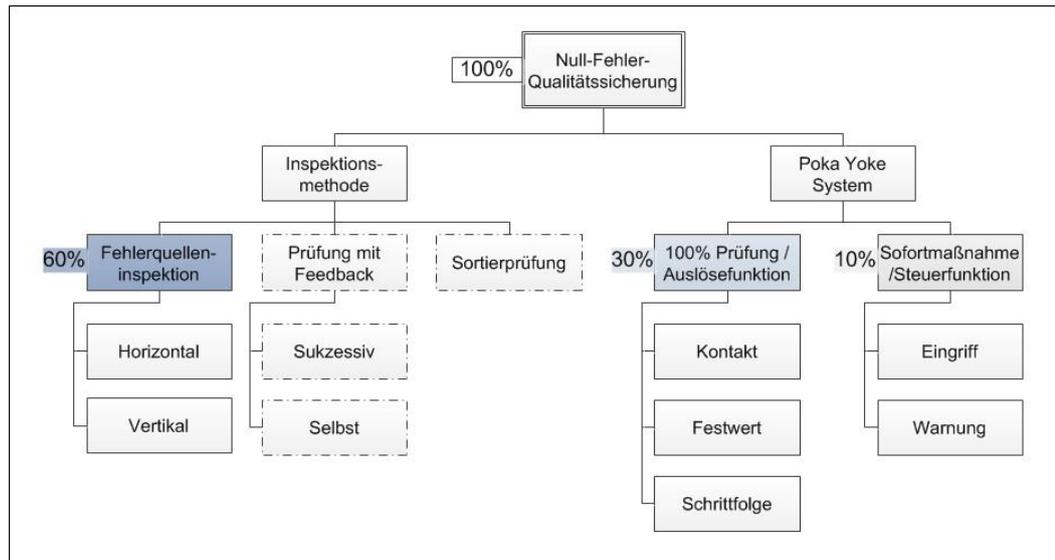


Abbildung 2.3: Aufbau der Null-Fehler-Qualitätssicherung

Quelle: eigene Darstellung nach Zahlen von Hirano, H. Poka Yoke – 240 Tips für Null-Fehler Programme, Landsberg/Lech 1992, S.16.

In Anlehnung an Shingo, S. Poka Yoke – Prinzip und Technik für eine Null-Fehler-Produktion, St. Gallen 1991, S.65ff., 105ff.

Sie überwacht Fehlhandlungen mithilfe einer durch das Poka Yoke System realisierten 100%-Prüfung. Bei Abweichungen leitet das System Sofortmaßnahmen zur Vermeidung von Fehlern ein. Finden Fehlhandlung und Fehlerquelleninspektion im selben Prozess statt, ist die Rede von einer horizontalen Fehlerquelleninspektion. Werden Fehlerquellen im folgenden Prozess geprüft, handelt es sich um eine vertikale Fehlerquelleninspektion. Je nach Anordnung der Inspektion in den Prozess, s. Abbildung 2.4 (für eine größere Ansicht s. Abbildung A.1), wird inkl. der bereits erläuterten Fehlerquelleninspektion nach drei Inspektionsmethoden unterschieden:⁴⁴

- *Fehlerquelleninspektion* (Fehlereliminierung),
- *Feedbackprüfung* (Fehlerreduzierung),
- *Sortierprüfung* (Fehlerentdeckung).

⁴⁴ Vgl. Shingo. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.65.

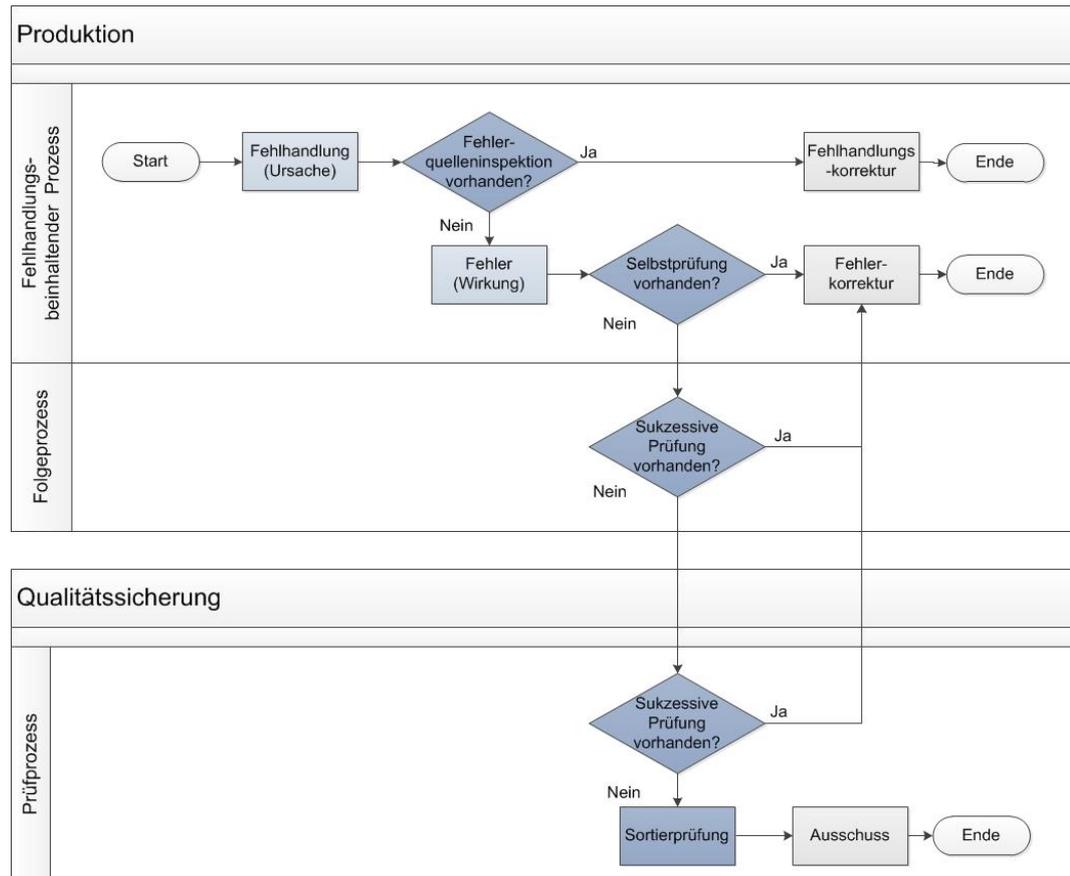


Abbildung 2.4: Beispielhafte Einordnung der Inspektionstechniken in Produktion und Qualitätssicherung

Quelle: eigene Darstellung

Feedbackprüfungen setzen im Gegensatz zur Fehlerquelleninspektion nicht in der Fehlhandlungsstufe, sondern erst nach Fehlereintritt ein. Aus diesem Grund handelt es sich trotz unmittelbarer Korrektur nicht um eine Fehlereliminierung, sondern um eine -reduzierung. Bei einer Selbstprüfung mit Feedback werden die Informationen über Abweichungen unmittelbar nach Entstehung an den verursachenden Mitarbeiter gemeldet, um eine rasche Maßnahmenenergreifung zu ermöglichen⁴⁵. Im Gegensatz hierzu wird die sukzessive Feedbackprüfung durch einen Mitarbeiter ausgeführt, der die zu prüfende Tätigkeit nicht ausgeführt hat. Bei Abweichungen wird das Bauteil zur Korrektur an den verantwortlichen Prozess zurück gereicht.⁴⁶ Sortierprüfungen dienen lediglich nach Beendigung der Bearbeitung zur Einteilung der Bauteile in Gut- oder Ausschussteile, um fehlerhafte Teile nicht bis zum Kunden vordringen zu lassen.⁴⁷ Fehler werden

⁴⁵ Vgl. Shingo. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.84.

⁴⁶ Vgl. Shingo. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.76f.

⁴⁷ Vgl. Shingo. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.65f.

folglich nur durch den Einsatz von Fehlerquelleninspektion mit Poka Yoke Systemen eliminiert und sind daher zu bevorzugen.⁴⁸

Komponenten des Poka Yoke Systems

Poka Yoke Systeme setzen sich aus zwei Komponenten zusammen:⁴⁹

- *Auslösefunktion* (technikabhängig),
- *Steuerfunktion* (aufgabenabhängig).

Das Poka Yoke System und die zu kombinierende Inspektionsmethode sind über die Auslösefunktion eng miteinander verknüpft. So gibt die Inspektionsmethode vor, wann im Prozess Fehlhandlungen oder Fehler geprüft werden. Die Auslösefunktion bildet die technische Umsetzung der Inspektion.

Sie misst unter Einsatz von Detektionseinrichtungen über das

- *Kontaktprinzip* Abweichungen über berührungslose oder nicht berührungslose ermittelte geometrische Kenngrößen, über das
- *Festwertprinzip* Plausibilitätsprüfungen wie die Anzahl der durchgeführten Operationen und über das
- *Schrittfolgeprinzip* die Abfolge von Standardbewegungen,

und löst anschließend eine Steuerfunktion aus. Das System macht über einen:

- *Eingriff*,
- *Warnsignale*

auf die Fehlhandlung bzw. den Fehler aufmerksam, s. Abbildung 2.5, die bzw. den es zu korrigieren gilt.⁵⁰ Einige Beispiele hierfür sind:⁵¹

- kein Einlegen des Bauteils in Werkzeug bei Bearbeitungsfehler möglich,
- kein Maschinenstart
 - bei Unregelmäßigkeit am Bauteil,
 - bei Bearbeitungsfehler am Bauteil,
 - bei ausgelassenem Prozessschritt,
- automatische Korrektur und Fortsetzung der Bearbeitung bei

⁴⁸ Vgl. *Shingo*. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.99.

⁴⁹ Vgl. *Shingo*. (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991). S.105.

⁵⁰ Vgl. *Hirano*. (Poka Yoke – 240 Tips, 1992). S.10f.

⁵¹ Vgl. *Ohno*. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.164.

Bearbeitungsfehlern oder ausgelassenen Prozessschritten,

- Feststellung von Unregelmäßigkeiten im nachfolgenden Arbeitsgang, um die Herstellung defekter Teile zu stoppen.

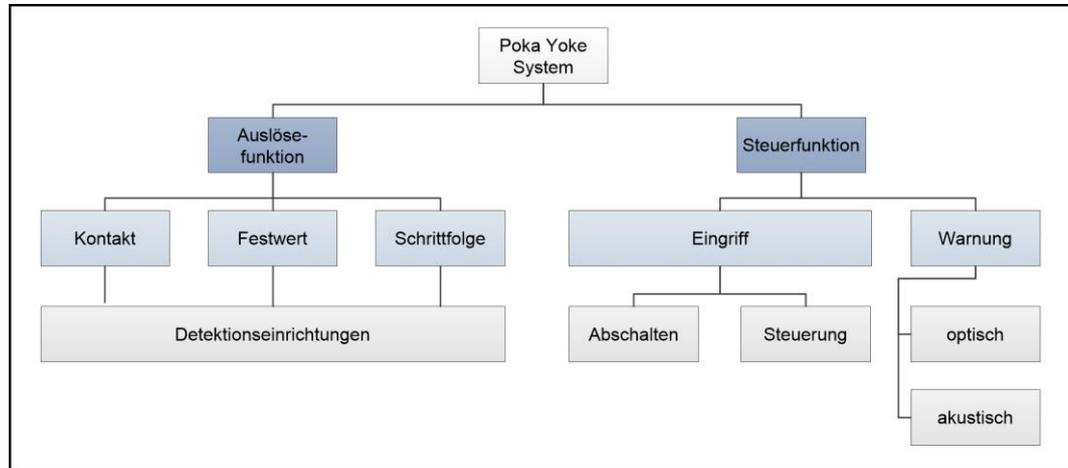


Abbildung 2.5: Aufbau von Poka Yoke Systemen

Quelle: eigene Darstellung mit Ergänzungen in Anlehnung an Shingo, S. Poka Yoke – Prinzip und Technik für eine Null-Fehler-Produktion, St. Gallen 1991, S.105ff. und Hirano, H. Poka Yoke – 240 Tips für Null-Fehler Programme, Landsberg/Lech 1992, S.10f., S.51ff.

Poka Yoke Systeme sind nicht kompliziert oder etwas neues. Das Geheimnis liegt in ihrer Anwendung.⁵²

Abgrenzung zu konstruktiven Vorkehrungen (Design Poka Yoke)

Für den weiteren Verlauf dieser Thesis, insbesondere für die Clusterung bestehender Poka Yoke Systeme in Kapitel 4.2, ist eine Abgrenzung von Poka Yoke Systemen zu konstruktiven Vorkehrungen notwendig. Nach Hirano sind konstruktive Vorkehrungen, auch Poka Yoke Design genannt, im Produkt- als auch im Betriebsmittelbereich zu finden⁵³. Hierzu zählt das beliebte Beispiel der Steckverbindung des USB-Steckers, welcher durch seine geometrische Form nur richtig eingesteckt werden kann. Eine weitere konstruktive Vorkehrung ist die Anwendung unterschiedlicher Gewindegrößen oder auch -steigungen, um ein Vertauschen von Gewindebauteilen bei der Montage zu verhindern. Im Gegensatz zu Shingos und Hiranos aufgeführten Beispielen in ihren Werken *Poka Yoke – Prinzip und Technik einer Null-Fehler-Produktion* und *Poka Yoke – 240 Tips für Null-Fehler* werden in dieser Ausarbeitung Vorrichtungen, die

⁵² Vgl. Hirano. (Poka Yoke – 240 Tips, 1992). S.11.

⁵³ Vgl. Hirano. (Poka Yoke – 240 Tips, 1992). S.10

mithilfe einer asymmetrischen Ergänzung z.B. eines Stiftes, ein falsches Einlegen verhindern, ohne eine simultane Eingriffs- oder Warnfunktion auszulösen, nicht als Poka Yoke System interpretiert.

2.2.4 Standardisierung

Standard ist Voraussetzung und das Ziel für eine kontinuierliche Verbesserung.⁵⁴

„Where there is no standard, there can be no kaizen.“⁵⁵

In dieser Ausarbeitung wird er des Weiteren als eine einheitliche Festlegung einer Arbeitsdurchführung und Arbeitsplatzgestaltung verstanden. Er soll hierbei als strukturierter Rahmen und gleichzeitig als Absicherung des Mitarbeiters gelten, während er die Ausführung der Tätigkeit und die Einarbeitung erleichtert.

Standards sind hierbei kein festgelegtes Ziel, sondern sind unter Einsatz von Kaizen von besseren Standards abzulösen.⁵⁶

2.2.5 Kaizen

Kaizen (z. Dt. kontinuierlicher Verbesserungsprozess) wird als ganzheitliches, unternehmerisches Bestreben sowohl zur kontinuierlichen Verbesserung der Qualität⁵⁷ von Produkten, Prozessen und Arbeitshandgriffen⁵⁸, als auch zur Verbesserung im Handeln und Denken aller Mitarbeiter verstanden.⁵⁹ Kontinuierliche Verbesserung gilt als Voraussetzung für Fortschritt.⁶⁰

PDCA-Zyklus

Als Technik zur kontinuierlichen Verbesserung gilt der auf Shewhart und Deming zurückgehende PDCA-Zyklus. Er setzt sich aus einer Vierer-Schrittfolge zusammen, die in einer iterativen Schleife endet.⁶¹

- *Plan*, das Problem wird beschrieben, unter Anwendung von Qualitätswerkzeugen wird es analysiert und eine Lösung ausgearbeitet. In

⁵⁴ Vgl. *Imai*. (Kaizen, 1992). S.103.

⁵⁵ Vgl. *Ohno*. (Workplace Management, 2013). S.175ff.

⁵⁶ Vgl. *Imai*. (Kaizen, 1992). S.89

⁵⁷ Vgl. *Linß*. (Qualitätsmanagement, 2011). S.628.

⁵⁸ Vgl. *Zollondz*. (Qualitätsmanagement, 2002). S. 230

⁵⁹ Vgl. *Zollondz*. (Qualitätsmanagement, 2002). S.229 nach *Rois*. (Kaizen Verbesserungsprozesse, 1999). S.32.

⁶⁰ Vgl. *Ohno*. (Toyota-Produktionssystem, 2013). S.150.

⁶¹ Vgl. *Zollondz*. (Lean Management, 2013). S.282.

japanischen Unternehmen ist diese Phase am zeitintensivsten,⁶²

- *Do*, das Geplante durchläuft eine Pilotphase,
- *Check*, das Geprüfte wird im Hinblick einer Verbesserung hinterfragt,
- *Act*, das Erreichte wird standardisiert und dient als Basis eines erneuten Zyklus, s. Abbildung 2.6.⁶³

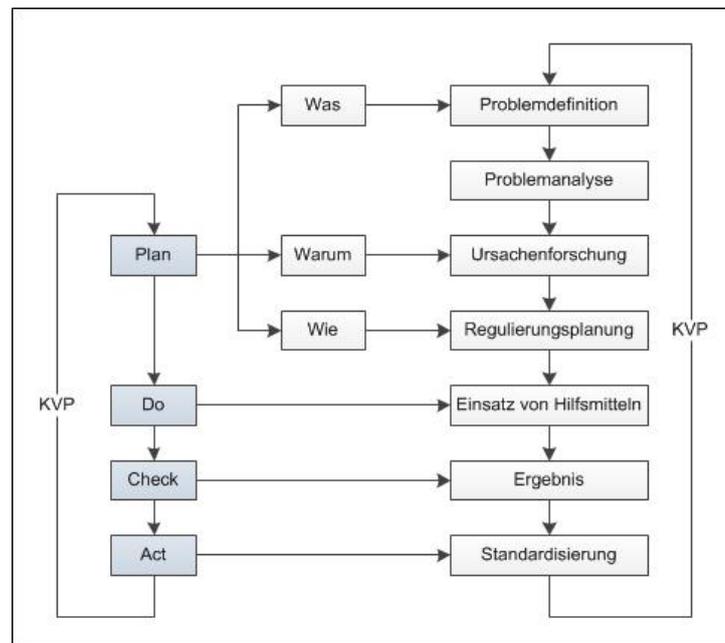


Abbildung 2.6: Problemlösungsmodell des PDCA-Zyklus

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Imai, M., *Kaizen – Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb*, München 1994. S.104.

Voraussetzung und Ergebnis des Zyklus ist eine Standardisierung.⁶⁴

Die in dieser Thesis durchgeführte Analyse und das auf die *STILL GmbH* angepasste Prozessoptimierungskonzept fallen in die Planungsphase des PDCA-Zyklus.

2.3 Prozess-Analyse

2.3.1 Prozessbeobachtung

Die Prozessbeobachtung sollte einer jeden Prozessanalyse vorangestellt sein. Der erste Schritt sollte das Verständnis desselbigen mittels Genchi Genbutsu sein. Der Prozess wird vor Ort aus erster Hand untersucht und von den

⁶² Vgl. Zollondz. (Lean Management, 2013). S.283.

⁶³ Vgl. Imai. (Kaizen, 1992). S.89

⁶⁴ Vgl. Imai. (Kaizen, 1992). S.89

Verantwortlichen verstanden.⁶⁵ Im Rahmen dieser Aussage empfiehlt es sich, nach Möglichkeit die Tätigkeiten des Prozesses selbst durchzuführen. Die Probleme, Vermutungen und Argumente des Prozesses und dessen Teilnehmer lassen sich durch eigene Erfahrungen besser nachempfinden oder widerlegen. Zudem ist die Akzeptanz der Mitarbeiter höher, wenn sich Mitarbeiter aus den produktionsbegleitenden Abteilungen ihr Problem in Ruhe vor Ort betrachten, auch selbst Fehler begehen und sie zu Wort kommen lassen.

2.3.2 Umfassende Fehlerprüfung und -aufnahme

Für eine aussagefähige Fehleranalyse sollte sichergestellt sein, dass die benötigten Daten in umfassender Form vorliegen. Umfassend bedeutet in diesem Zusammenhang nicht vollständig, sondern repräsentativ. So ist beispielsweise eine 100 %-Prüfung aussagekräftiger als eine Stichprobenprüfung. Bei einer Stichprobe wird aus einer endlichen Grundgesamtheit eine bestimmte Menge entnommen und nach gewählten Attributen oder Ergebnissen überprüft. Aufgrund dieser Ergebnisse werden Rückschlüsse auf die Qualität der Grundgesamtheit gezogen. Der Vorteil ist der geringere Prüfungsaufwand gegenüber der 100 %-Prüfung.⁶⁶ Nachteilig ist das Risiko, dass das Ergebnis der geprüften Menge nicht dem der Grundgesamtheit entspricht. Eine 100 %-Prüfung ist zwar aufwendiger, ist aber nach Shingo zu bevorzugen, s. 2.2.3.

2.3.3 Qualitätstechniken

In der folgenden Tabelle 2.2 sind gängige Qualitätstechniken skizziert. Neben ihren Anwendungen sind ihre naheliegenden Gründe zur Eignung bzw. Nichteignung für die in dieser Thesis durchzuführenden Fehleranalyse angegeben. Sie entzieht sich daher der Vollständigkeit. Die für die Analyse ausgewählten Techniken sind in der rechten Spalte markiert. Brainstorming, -writing und Mind-Mapping sind in dieser Gegenüberstellung nicht aufgeführt, da sie als Kreativitätstechniken zur Lösungsgenerierung und nicht als Analysewerkzeug angesehen werden.

Tabelle 2.2: Skizzierung, Eignung und Auswahl gängiger Qualitätstechniken

Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Jung, B.;Schweißer, S; Wappis, J.: Qualitätssicherung im Produktionsprozess, München 2013, S.56-67; Kamiske, G.F.; Brauer, J-P: Qualitätsmanagement von A bis Z, München 2011. S.124-132; Linß, G.: Qualitätsmanagement für Ingenieure, München

⁶⁵ Vgl. *Gorecki, Pautsch*. (Praxisbuch Lean Management, 2014). S. 77.

⁶⁶ Vgl. *Kamiske, Brauer*. (Qualitätsmanagement von A bis Z, 2011). S. 290f.

2011. S.165-186; Herrmann, J.; Fritz, H.: Qualitätsmanagement - Lehrbuch für Studium und Praxis, München 2011. S. 160-179; Shingo, S.: Poka Yoke - Prinzip und Technik für eine Null-Fehler-Produktion, St. Gallen 1991. S.144; Theden, P.; Colman, H.: Qualitätstechniken - Werkzeuge zur Problemlösung und ständigen Verbesserung, München 2013. S-10-64; c4pi - Center for Product-Innovation GbR, o.V.: Antizipierende Fehleranalyse, o.J., <http://www.triz-online.de/index.php?id=5562>, 14.02.1015.

Technik	Anwendung	Grund zur Eignung (1) / Nichteignung (2)	Gewählt (x)	
Sieben Elementaren Qualitätswerkzeuge (Q7)	Fehler-sammelliste	Fehlerfassung nach Art und Anzahl	(1) einfache, ausreichende Methode Fehler aufzunehmen	(x)
	Histogramm	Darstellung zur Häufigkeitsverteilung von Messwerten. Mittelwert und Streuung sind abschätzbar.	(2) in dieser Thesis angewandten Inspektionen werden keine Messwerte, sondern Fehlerarten und -anzahl aufgenommen	
	Pareto-Diagramm	Balkendiagramm mit absteigender Sortierung der Fehlerarten nach Anzahl/Kosten und prozentuale Fehlerverteilung	(1) Hauptfehlerermittlung mit Daten der Fehler-sammelliste	(x)
	Ishikawa-Diagramm	strukturiertes Diagramm zur Zerlegung des Problems in Einflüsse und Ursachen	(1) übersichtliche Darstellung, gut als Mitarbeiter-Workshop durchführbar (2) Mehrfachnennung und Beziehung von Wechselwirkungen ursprünglich nicht vorgesehen aber umgehbar	(x)
	Flussdiagramm	grafische Darstellung für Reihenfolge und logische Verknüpfung von Tätigkeiten	(1) Prüfungsanzahl und -dokumentationen, sowie Wechselwirkungen in Swimlane-Darstellung gut darstellbar	(x)
	Korrelationsdiagramm	Darstellung der Beziehung zweier Merkmale eines Objektes	(1) Untersuchung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen	(x)
	Qualitätsregelkarte	grafische Darstellung von Merkmalen aus Stichproben im zeitlichen Verlauf, inkl. Eingriffsgrenzen	(2) Basieren auf Stichproben. Für die Zielsetzung von Null-Fehlern nach Shingo nicht vertretbar. Plädiert auf Fehlerquelleninspektion und Poka Yoke	
Sieben Managementwerkzeuge (M7)	Affinitätsdiagramm	Clusterung von Daten um Zusammenhänge zu verdeutlichen	(2) Verwendung bei zukünftigen Problemen	
	Relationendiagramm	Darstellung und Bewertung von Wechselwirkungen eines Sachverhalts	(1) Setzt die im Ishikawa Diagramm ermittelten, bewerteten Ursachen zueinander (2) bei vielen Ursachen unübersichtlich, eindeutige Festlegung auf einen Grad der Ursache erforderlich	
	Portfolio	Bewertung und Ver-	(2) für Darstellung von Ist-	

		gleich verschiedener Objekte nach zwei Kriterien, dargestellt in einem Achsenkreuz	Situation und Entwicklungsmöglichkeiten, daher für Analyse irrelevant	
	Baumdiagramm	Aufbrechen eines Sachverhalts auf verschiedene Ebenen, Maßnahmenableitung zur Problemlösung	(1) festgelegtes Vorgehen verringert Risiko etwas zu Vergessen (2) Einflussgrößen wie beim Ishikawa ursprünglich nicht vorgesehen, platzinehmend	
	Matrixdiagramm	Veranschaulichung und Vergleich von Beziehungen und Wechselwirkungen von bis zu vier Dimensionen	(2) für äußerst komplexe Zusammenhänge geeignet	
	Netzplan	grafische Darstellung von Vorgängen in zeitlicher und logischer Abfolge. Abhängigkeiten und zeitkritische Zusammenhänge sind erkennbar.	(2) i.d.R. für Projektplanung verwendet, zeitliche Aspekt im zu untersuchenden Fall irrelevant	
	Problementscheidungsplan	Darstellung potenzieller Hindernisse und Gegenmaßnahmen eines Vorgehens	(2) für die Planung einer Umsetzung geeignet, für Analyse irrelevant	
	Antizipierende Fehleranalyse (TRIZ)	Beantwortung der Fragestellung, wie das Problem nicht vermieden, sondern provoziert werden kann	(2) weniger als Mitarbeiter-Workshop geeignet als Ishikawa-Diagramm, da aufwendiger	
	Radardiagramm	kreisförmige Darstellung von Stärken und Schwächen	(2) Stärken- und Schwächen für Profile besser geeignet als für Fehleranalysen	
	5-mal-Warum-Methode	Durch wiederholtes Fragen nach dem Warum einer Ursache wird sich der Kernursache genähert	(2) Anzahl der Warumfrage ist lediglich ein Anreiz um zur Kernursache zu gelangen	
	Prozess-FMEA	Risikobeurteilung auf Basis einer Kennzahlenermittlung über das Produkt der Bedeutung, Auftritts- und Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Fehlers. Prioritätensetzung für einleitende Maßnahmen und Beseitigung des Risikos.	(1) Widerlegung / Bestätigung der im Pareto-Diagramm ermittelten Hauptfehler über die in der FMEA ermittelten Kundenbedeutung (2) Wird i.d.R. zur Vorbeugung von Fehlern verwendet.	(x)

Prozessablaufdiagramm in Form des Swimlane Diagramms

Die Prozessbeobachtungen werden mithilfe des *Prozessablaufdiagramms* abgebildet. Durch Anwendung verschiedener Symbole wird in Tätigkeiten, Unterprozessen, Dokumentationen oder Entscheidungen unterschieden, die

wiederum mit Pfeilen verbunden sind. Die Pfeilrichtung gibt die Abfolgerichtung vor, s. Abbildung 2.7.

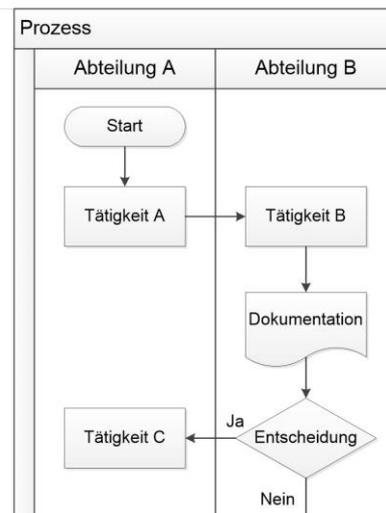


Abbildung 2.7: Swimlane-Diagramm
Quelle: eigene Darstellung

Der Unterschied eines Swimlane-Diagramms gegenüber einem gängigen Flussdiagramm sind die sogenannten Schwimmbahnen, die Funktionen, Bereiche, Abteilungen, oder andere Verantwortlichkeiten darstellen. Demzufolge wird das Diagramm auch als Funktionsübergreifendes Flussdiagramm bezeichnet. Es:

- ermöglicht ein einfaches Ablesen der Prozessvorgänge,
- stellt Verantwortungen,
- Wechselwirkungen dar,
- dient als Anleitung für bestimmte Vorgänge.

Fehlersammelliste

Die für die Analyse benötigten Daten werden nach Fehlerart und -anzahl dokumentiert. Für eine vollständige Erfassung ist die Fehlerkategorie Sonstiges einzutragen. Mithilfe dieser Vorgehensweise sind Fehlerschwerpunkte erkennbar.⁶⁷

Pareto Diagramm

⁶⁷ Vgl. *Linß*. (Qualitätsmanagement, 2011). S.165f.

Unter Anwendung der in der Fehlersammelliste eingetragenen Fehlerarten und -anzahl werden im Pareto Diagramm die Hauptfehler ermittelt und in Form eines Balkendiagramms mit der kumulierten Häufigkeit dargestellt, s. Abbildung 2.8.

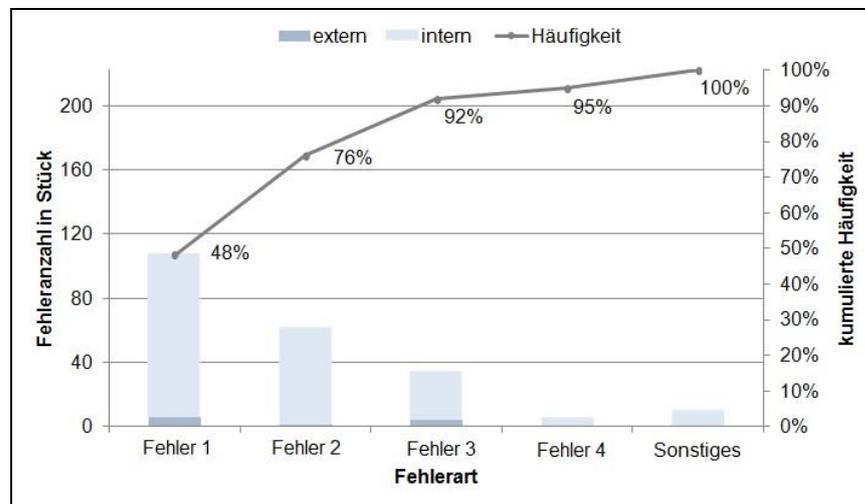


Abbildung 2.8: Pareto-Diagramm
Quelle: eigene Darstellung

Das Diagramm basiert auf dem Pareto-Prinzip, wonach 80 % der Fehler aus 20 % der Ursachen resultieren. In einem Pareto Diagramm können die Fehler in Zusammenhang mit ihrer Häufigkeit bzw. den verursachten Kosten dargestellt werden.⁶⁸ Da die Fehlerkorrekturkosten nicht stark voneinander abweichen, wird in dieser Thesis die Fehleranzahl berücksichtigt. Das Diagramm wird ebenfalls zur Ermittlung der Unterfehler verwendet. Hierfür wird der Hauptfehler in seine Bestandteile aufgebrochen. Sind beispielsweise die hauptsächlichen Fehler Beschädigungen, so wird in der Unterfehler-Analyse ermittelt, welche Arten von Beschädigungen überwiegend auftreten.

Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA)

Die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) wird i.d.R. zum Auffinden potenzieller Fehler inkl. Folgen und Ursachen verwendet. Simultan wird durch das Ermitteln und Überschreiten einer Risikoprioritätszahl (RPZ) überprüft, ob die Einleitung von abzustellenden Maßnahmen notwendig ist, s. Abbildung 2.9.

In dieser Ausarbeitung wird mittels der FMEA überprüft, ob der zuvor ermittelte Hauptfehler auch der Fehler mit der höchsten Bedeutung für den Kunden ist.

Die Risikoprioritätszahl (RPZ) ist ein Produkt der Auftrittswahrscheinlichkeit A des

⁶⁸ Vgl. *Hermann, Fritz*. (Qualitätsmanagement, 2011). S.178f.

Fehlers, deren Bedeutung B für den Kunden und der Entdeckungswahrscheinlichkeit E im Unternehmen.

$$RPZ = A \times B \times E \quad (2.1)^{69}$$

Als Grenzwert der RPZ dient die Vorgabe der STILL-Prozess-FMEA.

Ifd. Nr.:	Prozess	Fehler	Auswirkung des Fehlers	Potentielle Fehlerursache	IST-Zustand			
					A	B	E	RPZ
Ifd. Nr.:	Prozess	Fehler	empfohlene Maßnahme	durchgeführte Maßnahme	SOLL-Zustand			
					A	B	E	RPZ

Abbildung 2.9: Prozess-FMEA
Quelle: eigene Darstellung

Ishikawa Diagramm

Das Ursache-Wirkungs-Diagramm, aufgrund seines Erfinders auch als Ishikawa-Diagramm geläufig, ordnet die möglichen Ursachen einer Wirkung in Fischgrätenform zu. Als Einflussgrößen werden die 7M angenommen, s. Abbildung 2.10. Sie sind der jeweiligen Wirkung anzupassen⁷⁰ und können auch Prozessteilschritte darstellen.

⁶⁹ Vgl. *Hermann, Fritz*. (Qualitätsmanagement, 2011). S.179.

⁷⁰ Vgl. *Zollondz*. (Qualitätsmanagement, 2002). S.106ff.

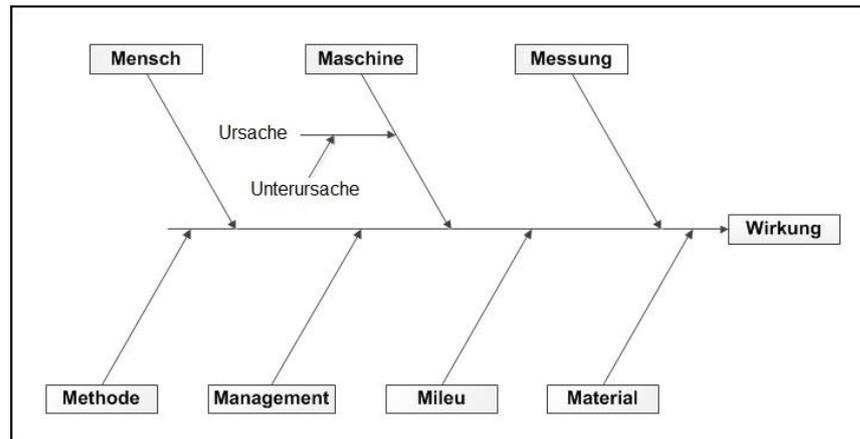


Abbildung 2.10: Aufbau des Ishikawa-Diagramms
Quelle: eigene Darstellung

Jede Ursache wird als Verzweigung einer Einflussgröße zugeordnet. Durch das Hinterfragen selbiger werden Unterursachen gefunden, die zu einer weiteren Verzweigung führen.⁷¹ Um in dieser Arbeit möglichst alle potenziellen Ursachen zu erfassen, werden diese durch Prozessbeobachtungen, Mitarbeiterinterviews und einem Mitarbeiter-Workshop erfasst. In Ermangelung einer übersichtlichen Alternative werden die Ursachen entgegen der gängigen Meinung nur einmal aufgelistet⁷², bei Bedarf mehreren Einflussgrößen, Unterursachen und Ursachen zugeordnet. Die Wechselwirkungen und die Bedeutung der Ursachen werden mit dieser Vorgehensweise ersichtlich. Eine Bewertung erfolgt auf Basis der Anzahl ihrer Benennung und durch eine Bewertung der Mitarbeiter.

Korrelationsdiagramm

Für diese Ausarbeitung bietet sich das Diagramm als Werkzeug zur Ursachenbestätigung bzw. deren -ausschluss an. Das Korrelationsdiagramm stellt die Beziehung zweier paarweise aufgenommenen Merkmale eines Objektes dar. Anhand des entstehenden Musters werden Rückschlüsse über statistischen Zusammenhang gezogen, s. Abbildung 2.11.⁷³

⁷¹ Vgl. Theden, Colsman. (Qualitätstechniken, 2013). S. 40.

⁷² Vgl. Theden, Colsman. (Qualitätstechniken, 2013). S. 39.

⁷³ Vgl. Theden, Colsman. (Qualitätstechniken, 2013). S. 31.

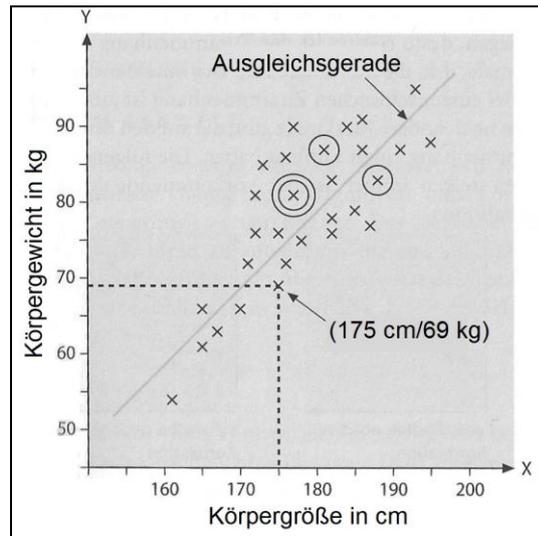


Abbildung 2.11: Korrelationsdiagramm

Quelle: Theden, P.; Colsman, H.: Qualitätstechniken Werkzeuge zur Problemlösung und ständigen Verbesserung, München 2013. S.33.

2.4 Entscheidungsfindungstechniken

Mithilfe von Entscheidungsfindungstechniken können die auf den Analyseergebnisse basierenden Maßnahmen zur Fehlereliminierung bzw. -reduzierung bewertet werden. Als geeignete Techniken bieten sich der Paarweise Vergleich und die anschließende Nutzwertanalyse an. Sie zerlegen komplexe Entscheidungen in mehrere kleine und verhindern intuitive Entscheidungen.⁷⁴

Im Paarweisen Vergleich werden die für die Entscheidungsfindung gewählten Kriterien nach ihrer Wichtigkeit bewertet. Jeweils zwei Kriterien werden gegenübergestellt und als gleich oder unterschiedlich wichtig eingestuft. Das Ergebnis ist eine prozentuale Gewichtung jedes Kriteriums. In der Nutzwertanalyse werden die Maßnahmen bzw. Lösungsvorschläge anhand der Kriterien bewertet und mit deren Gewichtung multipliziert.

2.4.1 Paarweiser Vergleich

Vorgehensweise

ausgewählte Kriterium wird in einem 2-dimensionalem Matrixdiagramm mit allen anderen Kriterien verglichen und entweder als gleich wichtig mit einer 1, als mehr

⁷⁴ Vgl. Schnurr, R.: Paarweiser Vergleich Nutzwertanalyse, 2013, Rev. 11/14, <http://www.sixsigmablackbelt.de/paarweiser-vergleich/>, 14. Feb.2015.

wichtig mit einer 2 und als weniger wichtig mit einer 0 bewertet (s. weißen Felder mit Ziffern 0 bis 2 in Abbildung 2.12).

		als						Summe	Gewichtung
		Kriterium 1	Kriterium 2	Kriterium 3	Kriterium 4	Kriterium 5	Kriterium 6		
wichtiger	Kriterium 1		2	1	1	1	1	6	20,00%
	Kriterium 2	0		1	1	1	1	4	13,33%
	Kriterium 3	1	1		2	1	1	6	20,00%
	Kriterium 4	1	1	0		1	0	3	10,00%
	Kriterium 5	1	1	1	1		1	5	16,67%
	Kriterium 6	1	1	1	2	1		6	20,00%
	Prüfsumme							30	100,00%

Abbildung 2.12: Aufbau des Paarweisen Vergleichs

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schnurr, Roland: Paarweiser Vergleich Nutzwertanalyse.xls, 14.07.2014, <http://www.sixsigmablackbelt.de/wp-content/uploads/Pairweiser-Vergleich-Nutzwertanalyse.xls>, 10.01.2015.

Bei n Kriterien ergibt diese Vorgehensweise für jedes Kriterium n-1 Vergleiche. Die Werte der Vergleiche werden im nächsten Schritt zu einer Kriteriensumme addiert und im letzten Schritt durch die Summe aller Kriteriensummen in der Anzahl n geteilt. Dieser Vergleich bildet die prozentuale Gewichtung der einzelnen Kriterien, mit denen die Bewertung der Konzepte in der darauffolgenden Nutzwertanalyse multipliziert werden

2.4.2 Nutzwertanalyse

Vorgehensweise

Die Konzepte werden anhand der ausgewählten Kriterien von einer Skala von 0 bis 10 bewertet, s. Abbildung 2.13. Eine Bewertung von 0 bedeutet das Konzept erfüllt das Kriterium nicht, eine Bewertung von 10 bedeutet das Konzept erfüllt das Kriterium ganz. Im Gegensatz zu einer Bewertung von 1 bis 3 ermöglicht diese Bewertung zum einen, dass die Summen der bewerteten Konzepte nicht zu nah beieinander liegen, und zum anderen bietet sie den Teilnehmern mithilfe einer feineren Aufspaltung der Skalierung eine präzisere Bewertungsmöglichkeit. Anschließend werden die einzelnen Bewertungen für ein Konzept mit dem Gewichtungsfaktor des jeweiligen Kriteriums multipliziert und addiert. Jedes Konzept erhält eine Gesamtbewertung zwischen 0 und 10. Das Konzept mit der höchsten Bewertung gilt i.d.R. als umzusetzendes Ergebnis. Es kann aber auch vorkommen, dass Konzepte umgesetzt werden, die nicht die höchste Bewertung

erzielt haben.

	Gewichtung	Konzept 1		Konzept 2		Konzept 3	
		Bewertung	Wert	Bewertung	Wert	Bewertung	Wert
Kriterium 1	20,00%	9	1,80	5	1,00	6	1,20
Kriterium 2	13,33%	3	0,40	4	0,53	7	0,93
Kriterium 3	20,00%	10	2,00	5	1,00	10	2,00
Kriterium 4	10,00%	7	0,70	3	0,30	6	0,60
Kriterium 5	16,67%	6	1,00	2	0,33	3	0,50
Kriterium 6	20,00%	8	1,60	8	1,60	2	0,40
	Summe		7,50		4,77		5,63

Abbildung 2.13: Aufbau der Nutzwertanalyse

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schnurr, Roland: Paarweiser Vergleich Nutzwertanalyse.xls, 14.07.2014, <http://www.sixsigmablackbelt.de/wp-content/uploads/Pairweiser-Vergleich-Nutzwertanalyse.xls>, 10.01.2015.

2.5 Vorgehensweise zur Prozessanalyse und -optimierung

Aus den vorangegangenen Betrachtungen des zweiten Kapitels und in Vorausschau auf anschließende Kapitel ergibt sich zusammengefasst folgende, in Abbildung 2.14 dargestellte Vorgehensweise. Die Vorgehensweise stellt die erste Phase des PDCA-Zyklus, die Planungsphase dar.

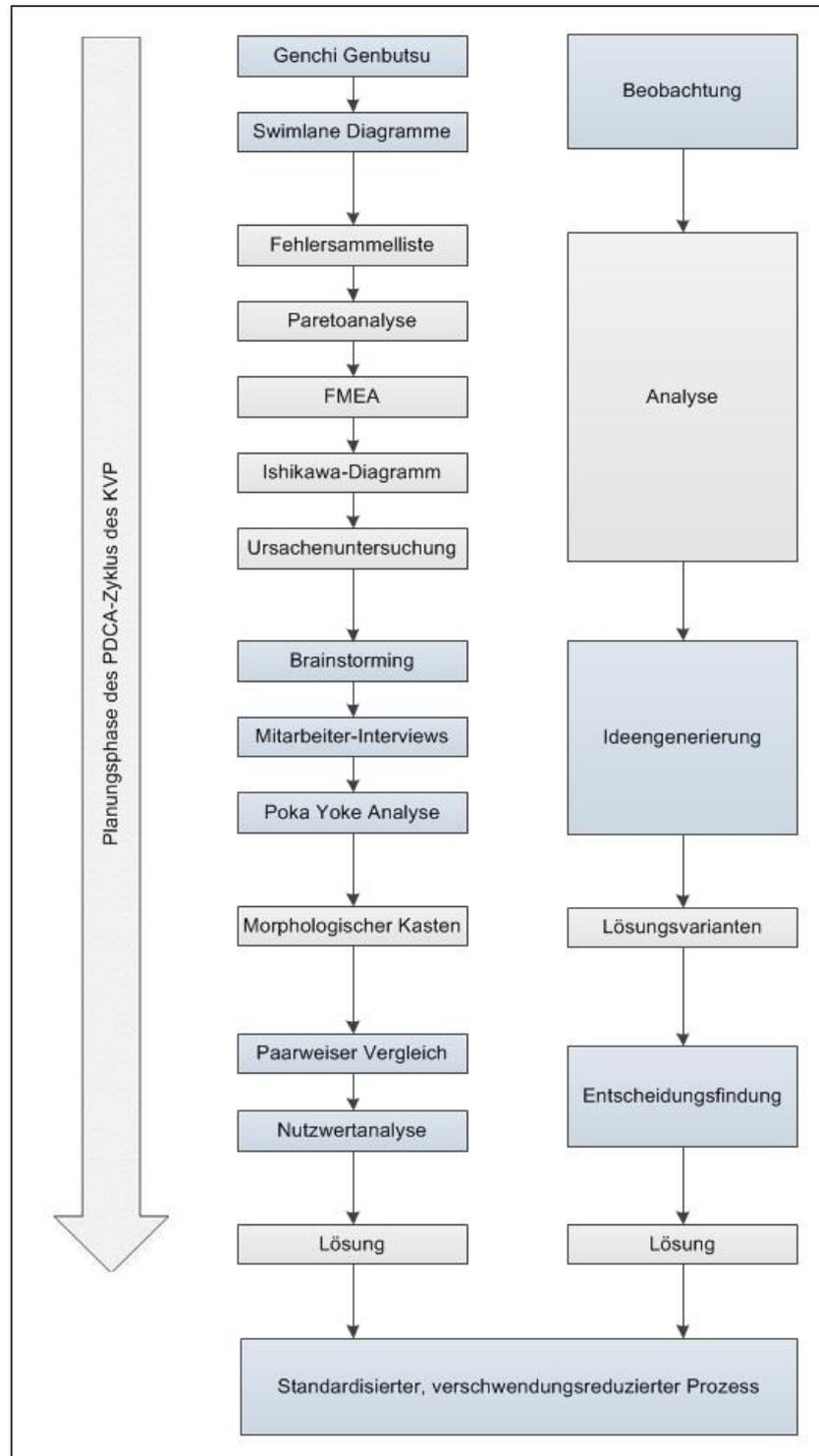


Abbildung 2.14: Vorgehensweise zur Prozessanalyse und -optimierung
Quelle: eigene Darstellung

Es sei hier anzumerken, dass bereits während der Analysephase mögliche Ursachen und Verbesserungsvorschläge in Mitarbeiterinterviews gesammelt werden.

3 Prozess-Analyse in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)

3.1 Aufbau und Funktion von Hubzylinderkomponenten (gesperrt)

3.2 Der Vormontageprozess – Soll-Zustand (gesperrt)

3.3 Problembeschreibung der Vormontage (gesperrt)

3.4 Auswirkungen von Vormontagefehlern (gesperrt)

3.5 Fehler-Analyse in der Vormontage (gesperrt)

3.5.1 Prozessbeobachtung – IST-Zustand (gesperrt)

3.5.2 Einführung einer weiteren Fehleraufnahme (gesperrt)

3.5.3 Ermittlung der Hauptfehler (gesperrt)

3.5.4 Prozess-FMEA der Hauptfehler (gesperrt)

3.5.5 Ermittlung der Unterfehler (gesperrt)

3.5.6 Ursachenuntersuchung (gesperrt)

4 Prozessoptimierungs-Konzept

4.1 Prozessoptimierung

Das folgende Prozessoptimierungskonzept soll die Frage beantworten, welche Komponenten wie zusammenspielen müssen, um Fehler als Verschwendung im Keim zu ersticken und folglich Prozesse zu stabilisieren. Shingo hat als eine der Bedingungen bereits Poka Yoke Systeme festgelegt, die auch hier eine bedeutsame Rolle spielen. Das Konzept beinhaltet folgende sieben Komponenten zur Fehlerreduzierung dargestellt, in einem Getriebeaufbau, s. Abbildung 4.1.

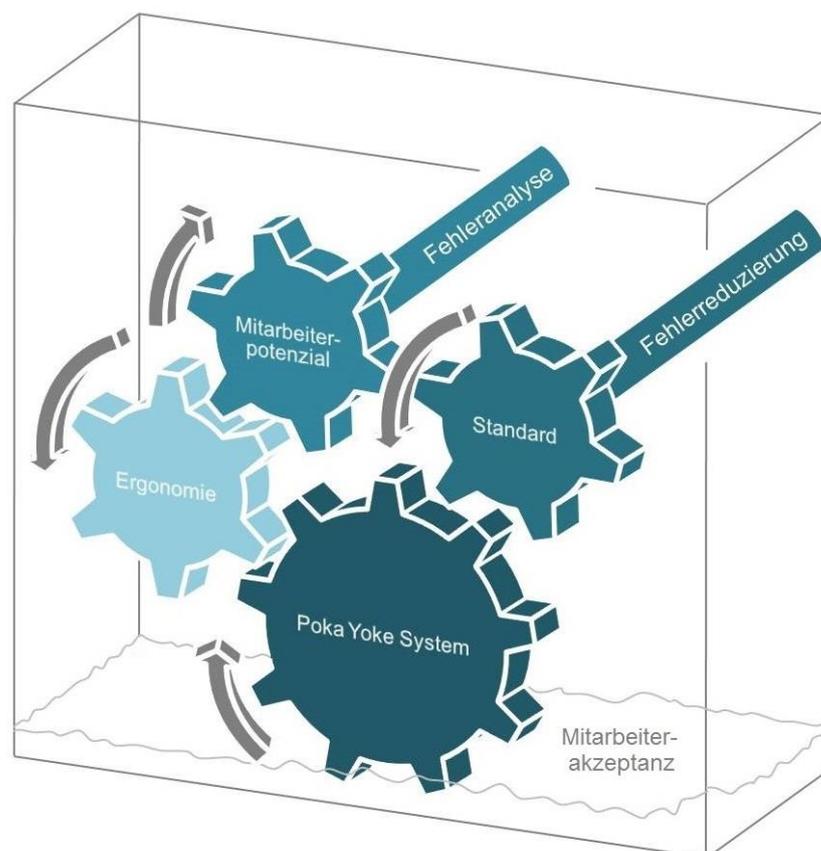


Abbildung 4.1: Prozessoptimierungskonzept
Quelle: eigene Darstellung

Das Getriebe der Prozessoptimierung besteht aus:

- Antriebswelle = Fehleranalyse
- 4 Zahnrädern = Mitarbeiterpotenzial, Ergonomie, Poka Yoke System, Standard
- Abtriebswelle = Fehlerreduzierung
- Getriebeöl = Mitarbeiterakzeptanz.

Fehleranalyse

Die Erfahrungen im Rahmen dieser Thesis haben gezeigt, dass der Antrieb aller Optimierungen eine Beschreibung und Analyse des zu lösenden Problems darstellt. Als mögliche Vorgehensweise sei hier auf Kapitel 2.5 und auf die Durchführung in Kapitel 3.5 verwiesen.

Mitarbeiterpotenzial

Das Mitarbeiterpotenzial ist direkt an die Fehleranalyse gekoppelt und gilt zugleich als Bindeglied zur ergonomischen Ausgestaltung der Arbeitsumgebung. Das Prozesswissen der Mitarbeiter ist für die Analyse und Beschreibung des betroffenen Prozesses nicht ungeachtet zu lassen. Das Mitarbeiterpotenzial kann beispielsweise in Form von Workshops, Interviews, Verbesserungsvorschlägen oder in Diskussionsrunden berücksichtigt werden.

Ergonomie

Der ergonomische Aspekt als weitere Verschwendungsart greift in das Mitarbeiterpotenzial und das Poka Yoke System. Der Erfolg eines Prozesses ist u.a. dadurch bestimmt, wie handlich und umgänglich seine Bestandteile sind. Der Mitarbeiter geht den Weg des geringsten Widerstands. Wenn die bestehenden Arbeitsbedingungen nicht optimal anpassbar sind, werden Alternativen gefunden, um diese zu umgehen. Mithilfe der Mitarbeiter können solche ergonomischen Defizite aufgewiesen und bei Einrichtung eines Poka Yoke Systems berücksichtigt werden.

Poka Yoke System

Die Ergonomie ist verzahnt mit dem Kernstück der Optimierung, dem Poka Yoke System. Um Fehler nachhaltig zu vermeiden, sind geeignete Einrichtungen auszuwählen, die den Fehler durch das Aufdecken seiner Ursache, der Fehlhandlung abwenden. Hierzu werden im folgenden Kapitel 4.2. bestehende Poka Yoke Systeme zur Fehlteilvermeidung untersucht.

Standard

Das Verständnis von Standard bzw. Standardisierung ist bereits in Kapitel 2.2.4 beschrieben. Auch hier gilt, dass für eine Fehlerreduzierung/-eliminierung eine einheitliche Vorgehensweise unabdingbar ist. Ein standardisiertes Vorgehen ist auch als Grundlage für weitere Optimierungen Voraussetzung und erleichtert

insbesondere die Ursachensuche. Ferner bezieht sich der Standard nicht nur auf eine einheitliche Umgestaltung der technischen Ausstattung, sondern auch auf die Vorgehensweisen.

Fehlerreduzierung

Der Antrieb und zugleich das Ergebnis des Konzeptes ist die Fehlerreduzierung. Alle eingesetzten Anstrengungen sollten auf dieses Ziel hinführen. Eine Reduzierung von Fehlern deutet auf einen stabilen Prozess hin.

Mitarbeiterakzeptanz

Die Mitarbeiterakzeptanz ist das Öl, welches das ganze Konzept schmiert und reibungslos am Laufen hält. Dabei gilt, je besser das Mitarbeiterpotenzial genutzt wird, desto höher ist die Mitarbeiterakzeptanz. Diese Mitarbeiter sind letztendlich diejenigen, die im zu optimierenden Prozess arbeiten und deren Akzeptanz von hoher Bedeutung ist, um den Erfolg der Verbesserung zu gewährleisten. Akzeptanz ist hierbei nicht gleichzusetzen mit etwas hinzunehmen und sich damit abfinden. Vielmehr sollen die Mitarbeiter auch ihre Ideen und ihr Wissen umgesetzt sehen und die Optimierung so hingehend akzeptieren, dass sie diese nutzen. Bestehenden Schwachstellen sollen nicht umgangen werden, sondern mit ihren Prozesskenntnissen kontinuierlich verbessert und der Prozess an sich veränderte Gegebenheiten angepasst werden.

Trotz dieser Definition sind die vier Zahnräder des Konzeptes bei ihrer Umsetzung nicht klar trennbar. Ihre Wechselwirkungen sind deutlich komplexer als in der vereinfachten Darstellung des Getriebes veranschaulicht. So greift z.B. das Mitarbeiterpotenzial auch in das Poka Yoke System. Ebenso hat eine Standardisierung Einfluss auf das Mitarbeiterpotenzial, abhängig davon wie standardisiert Prozessoptimierungsprozesse gestaltet sind. Nur einzeln betrachtet würde das Problem, die Fehlerreduzierung nicht nachhaltig und ohne die benötigte Mitarbeiterakzeptanz gelöst werden.

Durch die Berücksichtigung der Ergonomie und Nutzung des Mitarbeiterpotenzials werden neben der Fehlerreduzierung die Reduzierung zwei weiterer Verschwendungsarten berücksichtigt, s. Kapitel 2.2.1. Das Konzept ist nicht nur anwendbar auf die Vermeidung von Fehlteilen, sondern ist auch auf die Minimierung anderer Fehlerarten menschlichen Ursprungs übertragbar.

4.2 Clusteranalyse angewandter Poka Yoke Systeme

Um eine Systematik zur Verwendung von Poka Yoke Systemen zur Fehlteilvermeidung zu erkennen, wurden im folgenden Poka Yoke Beispiele aus

- *Poka Yoke 240 Tipps für Null-Fehler Programme* von H. Hirano,
- *Poka Yoke - Prinzip und Technik für eine Null-Fehler-Produktion* von S. Shingo,
- *STILL* Mechatronik Abteilung

nach dem menschlichen Fehler des Vergessen von Bauteilen bei manuellen Montageprozessen gefiltert. Hierbei wurden Ausführungen bezüglich des Auslassens von Prozessschritten nicht berücksichtigt. Nach dieser Filterung sind von 353 Poka Yoke Systemen 39 relevant für den zu untersuchenden Fehler.

Hirano und Shingo unterteilen die Systeme unterschiedlich detailliert, s. Tabelle 4.1

Tabelle 4.1: Poka Yoke Systemeinteilung nach Hirano und Shingo

Quelle: eigene Darstellung

Verfasser	Hirano	Shingo
Inspektionsmethode	Fehlervermeidung	Fehlerquelleninspektion
	Fehlerentdeckung	Feedbackprüfung (sukzessiv)
	-	Feedbackprüfung (selbst)
Regulierungsmechanismus	Abschalten	Eingriffsmethode
	Steuern	Warnmethode
	Alarm	-
Auslösefunktion	-	Kontaktmethode
		Festwertmethode
		Schrittfolgemethode

Nach der Betrachtung von Poka Yoke Systemen sind scheinbar ähnliche Systeme unterschiedlichen Inspektionsmethoden, Auslöse- und Steuerfunktionen zugeordnet. Die Beweggründe Shingos und Hiranos sind aufgrund der mäßigen Definition der Auslöse- und Steuerfunktion nicht vollständig nachvollziehbar und scheinen z.T. paradox. In Folge einer konsequenten, logischen Zuordnung der einzelnen Elemente zu den Funktionen ergibt sich nachstehende feingliedrige Einteilung der Poka Yoke Systeme, s. Abbildung 4.2.

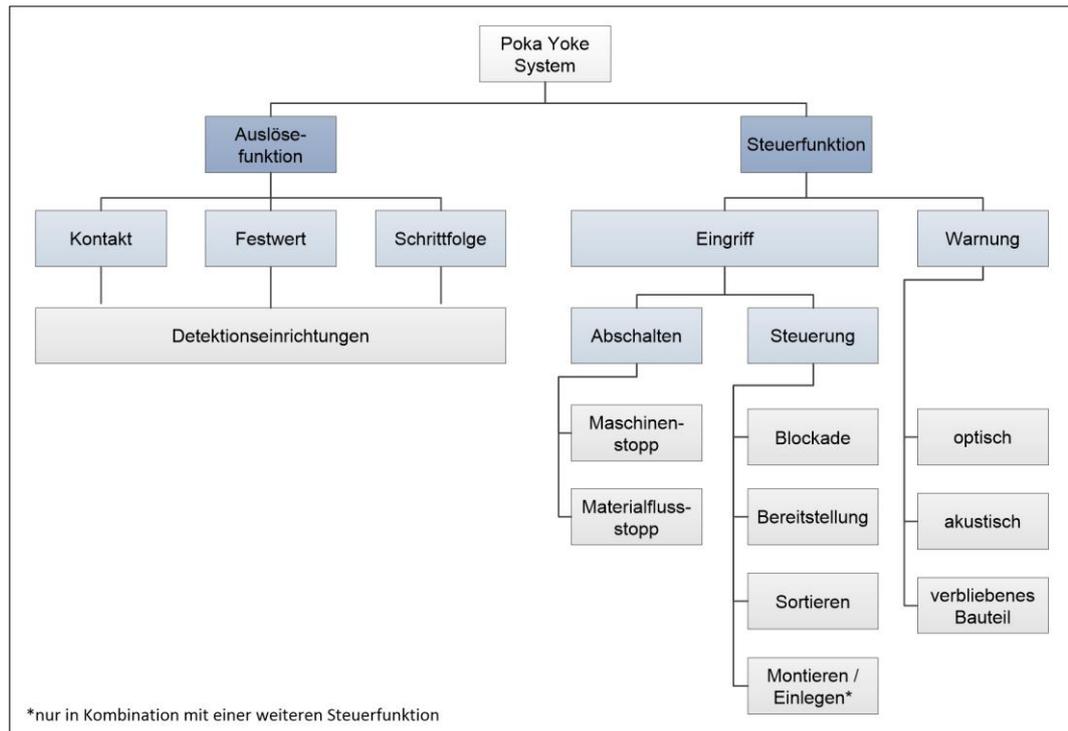


Abbildung 4.2: Poka Yoke Systemeinteilung nach Dibke
Quelle: eigene Darstellung

Die Kombination dieser Einteilung mit den 39 Poka Yoke Beispielen ergeben die in Abbildung 4.3 und Abbildung 4.4 dargestellten neu eingeteilten Systembeispiele mit den zugehörigen Inspektionsmethoden. Die Änderungen gegenüber der Einteilung nach Shingo und Hirano aus Tabelle 4.1 können über die Legenden in den Abbildungen nachverfolgt werden.

lfd. Nr.:	Poka Yoke Beispiel Nr.	Hirano (H) Shingo (S) STILL (STILL)	Auslösefunktion			Funktionsweise	Varianten-freundlichkeit Ja (J) Nein (N)	Inspektionsarten			Steuerfunktion								
			Kontaktwert	Festwert	Schrittfolge			Fehlerquelleninspektion (I) sukz. Feedbackprüfung (sukF) Feedbackprüfung selbst (Fs) Sortierprüfung (S)	Fehler-vermeidung	Fehler-entdeckung	Eingriff				Warnung				
											Abschalten		Steuerung		optisch	akustisch	verbl. Bauteil		
											Maschinen-stopp	Materialfluss-stopp	Blockade	Bereit-stellung				Sortieren	
21	50	(S)		Endschalter	Endschalter prüft Bauteilmenge, wenn Menge zu klein, Schalter n. aktiviert, Summer ertönt	(N)	(I)	x				x					x		
22	51	(S)		Abzählen	bei Betätigung des Hebels am Behälter Bereitstellung der benötigten Teile in Losgröße 1	(N)	(I)	x					x					x	
23	52	(S)		Zahlwaage	Abzählen durch Wiegen und Bereitstellung der benötigten Teile in Losgröße 1	(J)	(I)	x					x					x	
24	53	(S)		Endschalter	Endschalter registriert Entnahme von Bauteil X, bei Nichtverbauen wird Behälter von Bauteil Y nicht geöffnet	(J)	(I)	x				x							
25	57	(S)		Detektor	Detektor liest Kanban (Arbeitsanweisung) prüft Bauteile, bei Nichtvorhandensein leuchtet Lampe auf, bei Vertauschen ertönt Summer und Luftzufuhr zum Schrauben wird gestoppt	(N)	(I)	x				x					x		
26	63	(S)		photoelektronischer Schalter	Lampe leuchtet über Behälter von Bauteil X, photoelektronischer Schalter registriert Entnahme, bei Nichtverbauen Lampe über Behälter wird n. ausgeschaltet, bei Weitergabe an nächsten Prozess werden Lampe geprüft, bei leuchtender Lampe wird Linie angehalten	(J)	(I)	x				x					x		
27	68	(S)		Automatisierter Vorgang	durch Automatisierung wird beim Verschrauben Bauteil geprüft bei Nichtvorhandensein stoppt Maschine	(N)	(I)	x			x								
28	70	(S)		Modelltaste	Betätigung der Modelltaste, Bereitstellung der benötigten Teile in Losgröße 1	(N)	(I)	x					x						
29	74	(S)		photoelektronischer Schalter	photoelektronischer Schalter registriert Entnahme, bei Nichtverbauen wird nächster Prozessschritt nicht ausgeführt, Summer ertönt	(N)	(I)	x				x					x		
30	77	(S)		Betätigung von Werkzeug	bei Betätigung von Werkzeug/Montageapparat, Bereitstellung der benötigten Teile in Losgröße 1	(J)	(I)	x					x					x	
31	82	(S)		Näherungsschalter	Näherungsschalter prüft Bauteil, bei Nichtvorhandensein wird nächster Prozessschritt nicht ausgeführt	(N)	(Fs)			x		x							
32	97	(S)		Detektor	Abzählen der Bauteile, bei Abweichung wird Bauteil durch Stopper gestoppt	(N)	(Fs)	x				x							
33	98	(S)		Betätigung von Werkzeug	Betätigung von Werkzeug/Montageapparat, Bereitstellung der benötigten Teile in Losgröße 1	(J)	(Fs), (I)	x	x				x					x	
34	99	(S)		Endschalter	bei Betätigung des Endschalters durch Abstellen des Bauteils Bereitstellung der benötigten Teile in Losgröße 1	(N)	(Fs), (I)	x	x				x					x	
35	100	(S)		Hubzähler	Operationen werden gezählt, bei Abweichung ertönt Summer	(N)	(Fs)			x								x	
36	101	(S)		Überprüfungsvorrichtung	Abzählen durch Überprüfungsvorrichtung mit Markierung bei Losgröße x, bei Abweichungen Markierung unter- bzw. überschritten	(J)	(Fs)			x							x		
37	110	(S)	Stromdurchfluss		Stromdurchfluss prüft Bauteil bei Nichtvorhandensein fließt Strom, ertönt Summer, Bauteil durch Stopper gestoppt	(N)	(sukF)			x		x						x	
38	112	(S)	Fühlerstab		Fühlerstab prüft Bauteil auf Rutsche zum nächsten Prozess, bei Nichtvorhandensein fällt Bauteil in n.i.O. Behälter, es ertönt Summer	(N)	(sukF)			x					x			x	
39	-	(STILL)	Kamera		Kamera vergleicht Bauteil mit einem zuvor erstellten Referenzmuster, bei Unvollständigkeit erscheint Fehlermeldung auf dem Bild am Monitor	(J)	(Fs)			x							x		
Legende:																			
Automatisierung						Alternative/ Ergänzung z. Autor													
Linienfertigung						Einteilung von Dibke nach Autor													
Autor-wird-widersprochen						Einteilung von Dibke widerspricht sich mit Autor variantenfreundlich													

Abbildung 4.4: Poka Yoke Clustering Teil 2
Quelle: eigene Darstellung

Aus dieser Neueinteilung lassen sich folgende Regeln zur Erstellung und Einteilung von Poka Yoke Systemen und den zu kombinierenden Inspektionsmethoden, s. Abbildung 2.3, ableiten.

Regeln bezüglich der Einteilung in Inspektionsarten

- (1) Fehler können, entgegen Shingos Definition s. Kapitel 2.2.3, nicht nur durch den Einsatz einer Fehlerquelleninspektion vermieden werden, sondern auch durch eine Nutzung eines selbstdurchgeführten Feedbacks.⁷⁵
- (2) Fehlerquelleninspektion herrscht vor, wenn das betroffene Bauteil noch in Bearbeitung ist.
- (3) Wenn durch eine Steuerfunktion während der Ausführung der Tätigkeit eingegriffen wird, handelt es sich immer um eine Fehlerquelleninspektion.
- (4) Abzähloperationen gelten nur dann als Fehlerquelleninspektion, wenn die abgezählten Teile in Losgröße 1 bereitgestellt werden. Ob ein Element x von Teil X vergessen wurde zu verbauen, muss spätestens nach vermeintlicher Fertigstellung des Bauteils X entdeckt werden. Das Element x muss dem Bauteil X unmittelbar zuordenbar sein, ansonsten handelt es sich um eine selbstdurchgeführte Feedbackprüfung.

Regeln bezüglich der Auslösefunktion

- (1) Ein komplexes Poka Yoke System kann aus mehreren Auslösefunktionen bestehen. S. z.B. Abbildung 4.3 Nr. 19.
- (2) Die Anwendung der Schrittfolgenmethode impliziert einen gemeinsamen Prozessschritt aller Varianten.

Regeln bezüglich der Steuerfunktionen

- (1) Eine Abschaltfunktion herrscht nur vor, wenn eine Maschine, Hilfsmittel, Materialfluss bereits in Betrieb bzw. Fluss sind.
Blockaden und Sperrungen sind demzufolge eine Steuerung.
- (2) Entgegen Hiranos Einteilung bedingt eine Steuerung immer einen Eingriff in das System. S. Abbildung 4.3 Nr. 14.
- (3) Eingriff und Warnungen sind kombinierbar. S. Abbildung 4.3 Nr. 19.

⁷⁵ Vgl. *Shingo*. (Poka Yoke –Prinzip und Technik, 1991). S.250.

- (4) Eine Verhinderung des Einlegens/Montieren bildet nur ein Poka Yoke System in Kombination mit einer Warnfunktion. Ansonsten handelt es sich um Poka Yoke Design. S. Abbildung 4.2 und Kapitel 2.2.3.
- (5) Verbliebene Bauteile gelten als warnende Steuerungsfunktion, da deren Nichtbeachtung möglich ist. Solche Poka Yoke Systeme können ebenfalls eine Steuerung aufweisen, wenn ihr Auslösefunktion an einen Prozessschritt gekoppelt ist.

Regeln zur Beurteilung der Variantenfreundlichkeit

Bei der Beurteilung zur Variantenkompatibilität wurden die Systeme im Hinblick auf die Anwendung mit Klein- und Kleinstbauteile berücksichtigt.

- (1) Kontaktwertmethoden, die eine Berührung des Bauteils erfordern, sind nicht variantenkompatibel, da die Position bzw. der Verfahrweg des Sensors bzw. Schalters auf die jeweilige Geometrie abgestimmt sein muss.
- (2) Die Anwendung der Schrittfolgenmethode impliziert einen gemeinsamen Prozessschritt aller Varianten.

Unter Berücksichtigung der Regeln zur Beurteilung der Variantenfreundlichkeit ergeben sich die in Abbildung 4.5 aufgeführten Systembeispiele.

Hirano (H) Shingo (S) STILL (STILL)	Auslösefunktion			Funktionsweise	Varianten- freundlichkeit Ja (J) Nein (N)	Inspektionsarten			Steuerfunktion									
	Kontaktwert	Festwert	Schrittfolge			Fehlerquelleninspektion (I) sukz. Feedbackprüfung (sukF) Feedbackprüfung selbst (Fs) Sortierprüfung (S)	Fehler- vermeidung	Fehler- entdeckung	Eingriff					Warnung				
									Abschalten		Steuerung			optisch			akustisch	verbl. Bauteil
									Maschinen- stopp	Materialfluss- stopp	Blockade	Bereit- stellung	Sortieren	optisch	akustisch	verbl. Bauteil		
(H)			photo- elektronischer Schalter	photoelektronischer Schalter registriert Entnahme, folgende Behälter öffnen nur bei registrierte Entnahme	(J)	(I)	x		x									
(H)	photo- elektronischer Schalter			photoelektronischer Schalter registriert Entnahme, bei Nichtverbauen Lampe leuchtet am jeweiligen Behälter	(J)	(Fs)								x				
(H)		Abzählen		Abzählen und Bereitstellung der benötigten Teile in Losgröße x	(J)	(Fs)							x				x	
(H)	Endschalter			Endschalter registriert Entnahme, bei Nichtverbauen Lampe leuchtet nicht am jeweiligen Behälter, Linienstopp, wenn nicht alle Lampen der Behälter leuchten	(J)	(I)	x			x						x		
(S)		Zählwaage		Abzählen durch Wiegen und Bereitstellung der benötigten Teile in Losgröße 1	(J)	(I)	x						x				x	
(S)			Endschalter	Endschalter registriert Entnahme von Bauteil X, bei Nichtverbauen wird Behälter von Bauteil Y nicht geöffnet Lampe leuchtet über Behälter von Bauteil X,	(J)	(I)	x				x							
(S)			photo- elektronischer Schalter	photoelektronischer Schalter registriert Entnahme, bei Nichtverbauen Lampe über Behälter wird n. ausgeschaltet, bei Weitergabe an nächsten Prozess werden Lampe geprüft, bei leuchtender Lampe wird Linie angehalten	(J)	(I)	x			x						x		
(S)			Betätigung von Werkzeug	bei Betätigung von Werkzeug/Montageapparat, Bereitstellung der benötigten Teile in Losgröße 1	(J)	(I)	x						x				x	
(S)		Betätigung von Werkzeug	Betätigung von Werkzeug	bei Betätigung von Werkzeug/Montageapparat, Bereitstellung der benötigten Teile in Losgröße 1	(J)	(Fs), (I)	x	x					x				x	
(S)		Überprüfungs- vorrichtung		Abzählen durch Überprüfungsvorrichtung mit Markierung bei Losgröße x, bei Abweichungen Markierung unter- bzw. überschritten	(J)	(Fs)									x			
(STILL)	Kamera			Kamera vergleicht Bauteil mit einem zuvor erstellten Referenzmuster, bei Unvollständigkeit erscheint Fehlermeldung auf dem Bild am Monitor	(J)	(Fs)									x			
				Legende:														
				Automatisierung	Alternative/ Ergänzung z. Autor													
				Linienfertigung	Einteilung von Dibe nach Autor													
				Autor wird widersprochen	Einteilung von Dibe widerspricht sich mit Autor													
					variantenfreundlich													

Abbildung 4.5: Poka Yoke Clustering nach Variantenfreundlichkeit
Quelle: eigene Darstellung

Fünf variantenkompatible Poka Yoke Systeme

Nach einer Clusterung der variantenkompatiblen Systeme generieren sich die fünf folgenden Poka Yoke Systemtypen zur Reduzierung bzw. Vermeidung von Fehlteilen, s. Tabelle 4.2.

Tabelle 4.2: Poka Yoke Systemtypen für Fehlteile nach Dibke

Quelle: eigene Darstellung

Nr.	1	2	3	4	5
Name	Behälter	Waage	Prozessschritt	AOI	Abzähl- vorrichtung
Inspektions- methode	(I), (Fs)	(I) Losgröße 1 (Fs) Losgröße X	(I)	(Fs)	(Fs)
Auslöse- funktion	Kontakt / Schrittfolge	Festwert	Schrittfolge/ Festwert	Kontakt	Festwert
Steuer- funktion	(I) Eingriff- Steuerung - Blockade (Fs) Warnung - optisch	Eingriff - Steuerung - Bereitstellung Warnung - Verbliebenes Bauteil	Eingriff - Steuerung - Bereitstellung	Warnung - optisch	Warnung - optisch
Funktions- weise	(I) Behälter öffnen sich durch Schalter oder Bedie- nen des vorigen Behälters (Fs) durch den Schalter registrierte Entnahme wird durch Lampe signalisiert	Abzählen der Bauteile in Losgröße 1 oder X, bei unvollstän- diger Vormon- tage verbleibt Restmenge	bei Ausfüh- rung eines automatisier- ten Prozess- schrittes werden die zu montierenden Bauteile bereitgestellt	Überprüfung auf Vollstän- digkeit durch automatisier- tes Fotogra- fieren und Kontrast- abgleich zum Refer- enzmuster	Bauteile werden anhand einer Lehre auf Losgröße "abgezählt"
Varianten- kompatibilität	sehr gut	sehr gut	gut	gut	gut

Die Abstufungen bezüglich der Variantenkompatibilität ergeben sich wie folgt:

- (1) Behältersysteme sind variantenkompatibel. Sie sind unabhängig von der Geometrie, sowie der Bereitstellung der Bauteilelemente aus einem beliebigen Lagersystem einsetzbar.
- (2) Zählwaagen sind variantenfreundlich, da das Einzelgewicht eines Bauteiltyps durch zu vorigem Wiegen und Drücken einer einzigen Taste kalibriert werden und die zu zählende Menge somit ermittelt werden kann.

- (3) Die Prozessschrittmethode impliziert einen gemeinsamen Prozessschritt aller Varianten.
- (4) AOI sind insoweit variantenkompatibel, solange sich die Erstellung der benötigten Referenzmuster aller Bauteiltypen zum Kontrastabgleich im Verhältnis zum gewonnenen Nutzen lohnen.
- (5) Abzählvorrichtungen bedingen ähnlich wie die AOI Varianten- oder Einzelteilanzahl entsprechende Vorrichtungen oder besser noch austauschbare Schablonen für die Vorrichtungen der Bauteiltypen

Kombination variablenkompatibler Poka Yoke Systeme

Als Basis zur Kombination eignen sich Typ 1 und 2 aufgrund ihrer sehr guten Variantenkompatibilität. Typ 2 ist jedoch wegen ähnlicher Funktionen weniger zur Kombination, beispielsweise bei der Kopplung an das Behältersystem bei Losgröße 1, geeignet. Eine Verwendung mit dem Behältersystem hat nur bei Befüllungen mit Losgrößen >1 Sinn, ansonsten handelt es sich um eine doppelte Bereitstellung. Die Waage und die Abzählvorrichtung beruhen wiederum beide auf eine Ermittlung eines Festwertes. Eine Kombination erschließt keinen Mehrwert und wäre lediglich eine doppelte Inspektion. Die Kombination mittels einer AOI würde zwei zusätzliche Handlungen zu dem Montageprozess für den Monteur nach sich ziehen, und zwar das Abwiegen sowie das Positionieren unter der Kamera. Diese Kombination wäre nur zu empfehlen, wenn das Kamerasystem im Materialfluss integriert ist. Eine Anwendung der AOI mit dem Behältersystem von Typ 1 beruht in Folge gleicher Funktionen auf denselben Prinzipien.

Die Ergänzung des Behältersystems mit der Idee der Abzählvorrichtung, genauer, eine Abweichung durch eine Festwertermittlung auszusprechen, ist wiederum sinnvoll, da die Abweichung nicht nur anhand von aufleuchtenden Lampen signalisiert, sondern auch genau beziffert wird. Desweiteren ist die Kopplung eines automatisierten Prozessschrittes an die Öffnung der Behälter eine Absicherung sowohl zum Ausführen des Prozessschrittes als auch des Verbauens der in den Behältern befindlichen Elemente.

Aus diesen Möglichkeiten ergeben sich folgende zwei kombinierte Poka Yoke Systeme, s. Tabelle 4.3.

Tabelle 4.3: Kombinierte Poka Yoke Systeme nach Dibke

Quelle: eigene Darstellung

Name	Behältersystem mit Zählvorgang	Behältersystem mit Kopplung an Prozessschritt
Inspektionsmethode	(Fs)	(I)
Auslösefunktion	Kontakt + Festwert	Kontakt + Schrittfolge
Steuerfunktion	Warnung - optisch	Eingriff- Steuerung - Bereitstellung
Funktionsweise	durch einen photoelektrischen Schalter registrierte Entnahme wird durch Lampe und Zählanzeige signalisiert	Durch Ausführung eines automatisierten Prozessschrittes öffnen sich Behälter, nach Entnahme schließt sich der Behälter
Variantenkompatibilität	sehr gut	gut

Um diese beiden Systeme als mögliche Prozessoptimierung verwenden zu können, sollte sich zur Eignung ein Überblick über die Größe der vorzumontierenden Bauteile, deren Variantenvielfalt und gemeinsame Prozessschritte ermittelt werden.

5 Prozessoptimierung in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)

5.1 Verbesserungsvorschläge (gesperrt)

5.2 Standardisierungsmaßnahmen in der Vormontage (gesperrt)

5.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Ergonomie am Arbeitsplatz

5.4 Poka Yoke Lösungsvarianten (gesperrt)

5.5 Entscheidungsfindung für Poka Yoke System (gesperrt)

5.5.1 Paarweiser Vergleich (gesperrt)

5.5.2 Nutzwertanalyse (gesperrt)

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Die kontinuierliche Reduzierung von Verschwendung, beispielsweise in Form von Fehlern, ist das oberste Ziel des Lean Managements, welches auf dem Toyota-Produktionssystem beruht. Die Lean-Technik Poka Yoke geht soweit, Fehler zu verhindern, indem Fehlhandlungen als Ursache von Fehlern rechtzeitig identifiziert werden. Ausgelöst durch einen abweichenden Kontakt, einer Zählung oder Schrittfolge wird der Prozessausführende durch Warn-, Steuer- oder Eingriffssysteme auf die Fehlhandlung aufmerksam gemacht. Die Fehler werden vermieden, wenn dieser Vorgang nicht auf der Fehler- sondern auf der Fehlhandlungsstufe erfolgt.

Um die Bedingungen für das Poka Yoke Systems festzulegen, gilt es, den Fehler samt seiner Ursachen zu identifizieren. Diese Fehleranalyse sollte auf einem fundierten Prozessverständnis und einer repräsentativen Fehleraufnahme beruhen. Aus einem Pool von Qualitätstechniken wurden mit Bezug auf die Zielstellung dieser Thesis geeignete Analysewerkzeuge miteinander verglichen, ausgewählt und eine Planungsphase des PDCA-Zyklus entwickelt.

Nach dem konzipierten Prozessoptimierungskonzept sind die Werkzeuge unter Berücksichtigung des Mitarbeiterpotenzials anzuwenden und Ursachen sowie Verbesserungsvorschläge zu erarbeiten. Das Prozessoptimierungskonzept ist ein verzahntes System unter Anwendung des Mitarbeiterpotenzials, ergonomischer und standardisierter Aspekte, sowie dem Herzstück, der Poka Yoke Systeme, zur Fehlerreduzierung. Geölt wird dieses System durch die Mitarbeiterakzeptanz in Abhängigkeit zur Ausschöpfung des Mitarbeiterpotenzials.

Die Clusterung bestehender Poka Yoke Systeme nach vergessenen, variantenreichen Kleinst- und Kleinbauteilen führte zu einer Regelerstellung zur Einteilung von Poka Yoke Systemen und zur Generierung von fünf Poka Yoke Systemtypen, die wiederum zu zwei Poka Yoke Systemen kombiniert worden sind.

6.2 Zusammenfassung STILL (gesperrt)

6.3 Ausblick

Im Mitarbeiter-Workshop und in der Phase der Ideengenerierung wurden die Grenzen von Analyse- und Ideenfindungstechniken erreicht. In vielen Qualitätsmanagementbüchern ist die Rede von Mitarbeiterintegration in Analyse-

und kontinuierliche Verbesserungsprozesse. Einige Qualitätstechniken, beispielsweise die Q7, sind eigens für den Zweck zur Nutzung der prozessausführenden Mitarbeiter entwickelt worden.¹ Die Erfahrungen im Rahmen dieser Thesis haben gezeigt, dass die Methoden nicht 1:1 umsetzbar sind, wenn die äußeren Rahmenbedingungen nicht geschaffen wurden. Die Methoden waren hilfreich, aber das Mitarbeiterpotenzial ist nicht ausgeschöpft worden. So ist ein Workshop zur Ursachenfindung z.B. fruchtbarer, wenn den Mitarbeitern die Vorgehensweise von Analysetechniken, beispielsweise eines Ishikawa-Diagramms, bereits vor Problemeintritt durch ein kontinuierliches Schulungssystem, vertraut sind. Das Ziel kontinuierlicher Verbesserung sollte folglich das Schaffen einer Arbeitsumgebung sein, indem möglichst jeder Mitarbeiter die Chance hat und möglichst viele Mitarbeiter die Motivation verspüren, Prozesse aus eigenen Stücken optimieren zu wollen.² Es stellt sich demnach nicht die Frage, *Was* für Qualitätstechniken der prozesseingebundene Mitarbeiter anwenden sollte, sondern *Wie* sie angewendet und *Wann* sie vermittelt werden sollten. Diese Erkenntnis wird auch in Womack und Jones *Lean Thinking* bestätigt.³

Im Rahmen der durchgeführten Clusterung von Poka Yoke Systemen nach Fehlteilen japanischer Firmen wäre es interessant, auch solche Systeme zu betrachten, die fehlende Arbeitsschritte berücksichtigen und in westlichen Industrienationen umgesetzt worden sind. Folgenden Fragestellungen könnte nachgegangen werden:

- Werden überwiegend Systeme zur Fehlervermeidung oder Fehlerentdeckung eingesetzt?
- Welche Prinzipien werden am häufigsten angewendet?
- Sind die Poka Yoke Vorschläge von den betroffenen Mitarbeitern oder aus produktionsbegleitenden Bereichen eingereicht worden?
- Werden Poka Yoke Lösungen als Komplettsystem eingekauft oder in der eigenen Entwicklungsabteilung konstruiert?

¹ Vgl. Kamiske, Brauer. (Qualitätsmanagement von A bis Z, 2011). S.219.

² Vgl. Zollondz. (Qualitätsmanagement, 2002). S.229 nach Rois. (Kaizen Verbesserungsprozesse, 1999). S.32.

³ Vgl. Womack, Jones. (Lean Thinking, 2013). S.310f.

6.4 Ausblick STILL (gesperrt)

Anhang

A Stand der Technik - Poka Yoke

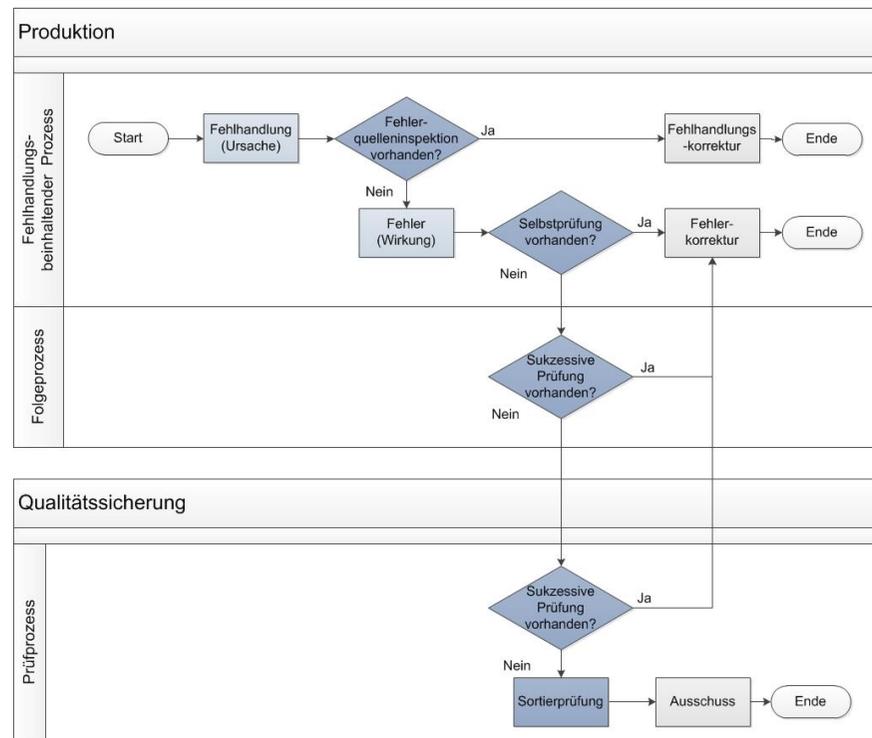


Abbildung A.1: Einordnung der Inspektionsarten in Produktion und Qualitätssicherung
 Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an

- B Fehler-Analyse in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)**
 - B.1 Der Vormontageprozess (gesperrt)**
 - B.2 Auswirkungen von Vormontagefehlern (gesperrt)**
 - B.3 Prozessablauf für vormontierte Teile (gesperrt)**
 - B.4 FMEA der Hauptfehler (gesperrt)**

- C Prozessoptimierung in der STILL Hubzylinderfertigung (gesperrt)**
 - C.1 Verbesserungsvorschläge in der STILL Hubzylinder-Vormontage (gesperrt)**
 - C.2 Standardisierungsmaßnahmen in der Vormontage (gesperrt)**

Literaturverzeichnis

Literatur

- Brunner, F. J.: (Japanische Erfolgskonzepte, 2008):
Japanische Erfolgskonzepte, Carl Hanser Verlag,
München, 2008.
- Csikszentmihalyi, M.:(Flow, 1990):
Flow: The Psychology of Optimal Experience, Harper
Perennial, New York, 1990.
- DIN e.V.: (Qualitätsmanagementsysteme, 2005):
Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe,
Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- Ford, H.: (Today and Tomorrow, 1926):
Today and Tomorrow, Doubleday and Company, New
York, 1926.
- Hirano, H.: (Poka Yoke – 240 Tips, 1992):
Poka Yoke 240 Tipps für Null-Fehler Programme, Verlag
moderne industrie AG, Landsberg/Lech, 1992. Übers. von
Jochen P. Sondermann.
- Imai, M. (Kaizen, 1994):
Kaizen – Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im
Wettbewerb, 12. Aufl., Wirtschaftsverlag Langen Müller
Herbig, München, 1994. Übers. von Franz Nitsch.
- Gorecki, P.;
Pautsch, P.: (Praxisbuch Lean Management, 2014):
Praxisbuch Lean Management – Der Weg zur operative
Excellence, 2., überarbeitete Aufl., Carl Hanser Verlag,
München, 2014.
- Kamiske, G. F.: (Management, 2005):
Es lag am Management, in: QZ Jahrgang 50 7/2005, Carl
Hanser Verlag, München, 2005.
- Kamiske, G. F.;
Brauer, J-P: (Qualitätsmanagement von A bis Z, 2011):
Qualitätsmanagement von A bis Z – Wichtige Begriffe des
Qualitätsmanagements und ihre Bedeutung, 7. Aufl., Carl
Hanser Verlag, München, 2011.
- Liker, J. K.;
Meier, D. P.: (Toyota Weg, 2009):
Praxisbuch Der Toyota Weg, Finanzbuch Verlag,
München,
2009. Übers. von Almuth Braun

- Linß, G.: (Qualitätsmanagement, 2011):
Qualitätsmanagement für Ingenieure, 3. Aufl., Carl Hanser Verlag, München, 2011.
- Ohno, T.: (Toyota-Produktionssystem, 2013):
Das Toyota-Produktionssystem, 3. Aufl., Campus Verlag GmbH, Frankfurt/Main, 2013. Übers. von Wilfried Hof.
- Ohno, T.: (Workplace Management, 2013):
Taiichi Ohno's Workplace Management, Special 100th Birthday Edition, McGraw-Hill Companies, Inc., o.O., 2013. Ins Englische übers. von Jon Miller.
- Rois, A.: (Kaizen Verbesserungsprozesse, 1999):
Kaizen Verbesserungsprozesse in der Autoindustrie, Linde Verlag Ges.m.b.H., Wien, 1999.
- Shingo, S.: (Poka Yoke – Prinzip und Technik, 1991):
Poka Yoke - Prinzip und Technik für eine Null-Fehler-Produktion, gfmt – Gesellschaft für Management und Technologie AG, St. Gallen, 1991. Übers. von Jochen Peter Sondermann.
- Shingo, S.: (Zero Quality Control, 1986):
Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System, Productivity Inc., Norwalk, 1986. Ins Englische übers. von Andrew P. Dillon.
- Theden, P.;
Colsman, H.: (Qualitätstechniken, 2013):
Qualitätstechniken Werkzeuge zur Problemlösung und ständigen Verbesserung, 5. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2013.
- Womack, J. P.;
Jones, D.T.: (Lean Thinking, 2013):
Lean Thinking Ballast abwerfen, Unternehmensgewinne steigern, Campus Verlag GmbH, Frankfurt am Main / New York 2013. Übers. von Hans-Peter Meyer und Maria Bühler.
- Womack, J. P.;
Jones, D. T.;
Roos D.: (Zweite Revolution, 1994):
Die zweite Revolution in der Automobilindustrie, 8. Aufl., Campus Verlag GmbH, Frankfurt/Main, 1994. Übers. von Wilfried Hof.
- Zollondz, H.-D.: (Lean Management, 2013):
Grundlagen Lean Management, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2013.

Zollondz, H.-D.: (Qualitätsmanagement, 2002):
Grundlagen Qualitätsmanagement, Oldenbourg
Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2002.

STILL-interne Dokumente

Acksen, T.: (Produktschulung ELADoben, 2004):_Produktschulung
ELADoben KST503.ppt, Hamburg, 2004.

Stemmjack, R.,
VDMA: (Dichtsysteme, 2001): Dichtsysteme für fluidtechnische
Anwendungen – Lehrmaterial, Frankfurt am Main, 2001.

o.V.: (Lean Modellfabrik, 2014):
Schulungsunterlagen LEAN Modellfabrik Version 3.7,
Hamburg, 12.05. 2014.

Internetquellen

o.V.: One-Piece-Flow, 2006, Rev. 07/13,
http://de.wikipedia.org/wiki/One-Piece-Flow#cite_note-1, 28.Jan.2015.

o.V.: Schlanke Produktion, 2004, Rev. 12/14,
http://de.wikipedia.org/wiki/Schlanke_Produktion#cite_ref-2, 20.Jan.2015.

LEAN magazin, o.V.: 7 Verschwendungsarten, 2009-2013
<http://www.leanmagazin.de/lexikon.html?id=512>, 28.Jan.2015

Schnurr, R.: Paarweiser Vergleich Nutzwertanalyse, 2013, Rev. 11/14,
<http://www.sixsigmablackbelt.de/paarweiser-vergleich/>, 14. Feb.2015.

Schnurr, Roland: Paarweiser Vergleich Nutzwertanalyse.xls, 14.07.2014,
<http://www.sixsigmablackbelt.de/wp-content/uploads/Paarweiser-Vergleich-Nutzwertanalyse.xls>, 10.Jan.2015.

STILL GmbH, o.V.: Gabelstapler und Lagertechnik von STILL, 2015,
<http://www.still.de/produkte.0.0.html>, 11.Jan.2015.