



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Auslageexemplar

Bachelorthesis

in Kooperation der mit der Autoliv B.V. & Co. KG

zur Erlangung des Grades eines Bachelor-Ingenieurs (FH)
im Studiengang Produktionstechnik und -management,
Studienrichtung Produktionsmanagement

„Steigerung der Prozesssicherheit und Produktqualität einer Montagelinie während des Serienanlaufes“

Name: Ugur Dolan

Matrikelnr.: 1860790

Vorgelegt am: 31.08.2011

Referent: Prof. Dr.-Ing. Randolph Isenberg

Produktionsmanagement

Korreferent: Dipl.-Ing. Ernest Ebinger

Leitender Projektingenieur RPP R230.2, Autoliv



Abstract

Im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit wurde eine neue Montagelinie, bei dem Automobillieferanten „Autoliv B.V. & Co. KG“, in Bezug auf die Produkt- und Prozessqualität untersucht und optimiert. Grundlegendes Ziel dieser Arbeit ist es, die prozess- und produktrelevanten Fehler, welche eine Prozessfreigabe durch den Kunden verhindern könnte, abzustellen.

Auf der neuen Montagelinie „Multiline“ sollen zukünftig die neuen Sicherheitsgurt-Retraktoren der Produkte R230.2 und R200.2 PPMI, mit jeweils 2 Produktvarianten, gefertigt werden. Der Beginn der Serienproduktion ist für September 2011 geplant. Bis dato müssen Probleme und Schwachstellen in den Prozessen, welche die Produktqualität beeinträchtigen, beseitigt werden.

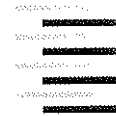
Den Ausgangspunkt dieser Arbeit bilden Vorkenntnisse von Fehlern und Störungen an Produkten oder Prozessen, die während der Montage an der Montagelinie und entlang der Wertschöpfungskette entstehen oder entstehen könnten. Auf Basis einer Ist-Analyse wurden mit Werkzeugen des Six Sigma, Lean Production und Qualitätsmanagements Verbesserungen an Produkten und Prozessen realisiert.

In der Ist-Analyse wurde, neben der Vorstellung von Produkten und der Montagelinie, eine ausführliche Schwachstellenbetrachtung durchgeführt. Die verwendeten Methoden hierfür sind die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse, Simogramme, Flow Charts und die Versuchsplanung.

Für eine erfolgreiche Beseitigung der Schwachstellen wurden Soll-Konzepte erarbeitet und bewertet. Im Weiteren waren einige Versuchsreihen notwendig, die durch DoE-Versuchspläne modelliert, strukturiert und durchgeführt wurden. Zur Unterstützung, Modellierung und Auswertung der Versuche kam eine statistische Auswertungssoftware zum Einsatz.

Die optimierenden Maßnahmen sind während der Bearbeitungszeit dieser Arbeit teilweise schon umgesetzt und dokumentiert worden.

Im Rahmen des Lessons Learned sind desweiteren Empfehlungen und Vorschläge für zukünftige Projekte ausgesprochen worden, die eine Prozess-, Qualitäts- oder Kostenverbesserung für Montagelinien hervorrufen können.



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences
Department Maschinenbau und Produktion

Aufgabenstellung

für die Bachelorthesis

von Herrn/Frau **Ugur Dolan**

Matrikel-Nummer: **1860790**

Thema: **Steigerung der Prozesssicherheit und Produktqualität einer Montagelinie während des Serienlaufes.**

Schwerpunkte:

Für den globalen Produktionsanlauf zwei neuer Sicherheitsgurtsysteme für die Automobilindustrie ist eine neue Retraktor-Produktionslinie, welche auf One-Piece-Flow Prinzipien beruht, entwickelt und hergestellt worden. Die Prozesse und Anlagen der Produktionslinie wurden in Deutschland konzipiert und hergestellt.

Nach einer Erprobungs- und Nullserienphase im deutschen Hauptwerk wird die Produktionslinie nach Ungarn verlagert, um dort die Serienproduktion aufzunehmen. Infolge des anstehenden Serienanlaufes der neuen Produkte muss die Anlagenqualität und die Stabilität der Prozesse sichergestellt werden. Des Weiteren gilt es, eine konstante Produktqualität in Bezug auf gesetzliche und kundenspezifische Anforderungen zu gewährleisten.

Die Schwerpunkte dieser Arbeit beinhalten das Aufdecken von Schwachstellen im Ist-Ablauf der Teilprozesse und deren Analyse mittels FMEA-Bewertung. Die Analyse und Auswertung von Maschinenparameter wird mittels statistischen Versuchsplanungen (DoE) durchgeführt.

Es soll nachfolgend ein Konzept mit optimierenden Lösungsansätzen ausgearbeitet und umgesetzt werden.

3.5.11

Datum

[Signature]
1. Prüfer/in

ILS



Formblatt Erklärung zur selbständigen Bearbeitung einer ausgeführten Bachelorthesis

Zur Erläuterung des Zwecks dieses Blattes:

§ 16 Abs. 5 der APSO-TI-BM lautet:

„Zusammen mit der Thesis ist eine schriftliche Erklärung abzugeben, aus der hervorgeht, dass die Arbeit – bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit (§18 Absatz 1) – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Dieses Blatt mit der folgenden Erklärung ist nach Fertigstellung der Arbeit durch jede/n Kandidat/en/in auszufüllen und jeweils mit **Originalunterschrift** (keine Ablichtungen !) **als letztes Blatt des als Prüfungsexemplar der Bachelorthesis gekennzeichneten Exemplars einzubinden.**

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann - auch nachträglich - zur Ungültigkeit der Bachelor-Abschlusses führen.

Erklärung

Hiermit versichere ich,

Name: Dolan Vorname: Ugur

daß ich die vorliegende Bachelorthesis – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema

„Steigerung der Prozesssicherheit und
Produktqualität einer Montageline während
des Serienanlaufes

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der Bachelorthesis ist erfolgt durch

Hamburg 29.08.2011 U. Dolan
Ort Datum Unterschrift im Original

Sperrvermerk

Die vorliegende Bachelorarbeit ist teil gesperrt. Die gesperrten Kapitel beinhalten interne und vertrauliche Informationen der Autoliv B.V. & Co. KG und sind im Inhaltsverzeichnis mit dem Zusatz „(Gesperrt)“ gekennzeichnet. Eine Weitergabe oder Veröffentlichung des gesperrten Inhalts der Arbeit und der beiliegenden Daten im Gesamten oder in Teilen ist grundsätzlich untersagt. Es dürfen keinerlei Kopien oder Abschriften – auch in digitaler Form – gefertigt werden. Ausnahmen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Autoliv B.V. & Co. KG.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Chance nutzen und mich bei der Autoliv B.V. & Co. KG und dem Plattformleiter des RPP R30/R230 Teams, Dipl.-Ing. Niko Kittler, für die Möglichkeit zur Erstellung dieser Bachelor Thesis bedanken.

Weiter bedanke ich mich bei Herr Prof. Isenberg und bei meinem firmeninternen Betreuer, Dipl.-Ing. Ernest Ebinger, für die Betreuung dieser Thesis.

Ein besonderer Dank gilt auch Dipl.-Ing. Juri Kraus und Dr. math. Astrid Ruck, welche mich mit Ihrem Expertenwissen bei der Durchführung und Analyse der Versuchsreihen sehr unterschützt haben.

Ferner bedanke ich mich bei allen weiteren Personen die zum Gelingen dieser Arbeit in jeglicher Form beigetragen haben.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis.....	X
Abkürzungsverzeichnis.....	XI
1 Einleitung	1
1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	1
1.2 Aufbau der Thesis.....	2
1.3 Das Unternehmen	3
1.3.1 Autoliv Inc.....	3
1.3.2 Produktportfolio.....	3
1.3.3 Standort ANG	4
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Methoden der modernen Produktionsgestaltung	5
2.1.1 Lean Production und APS.....	5
2.1.2 One-Piece-Flow	6
2.1.3 Rabbit Run.....	7
2.1.4 Chaku Chaku.....	7
2.1.5 Standardisierung durch MPS (Gesperrt)	8
2.1.6 Poka Yoke	8
2.2 Prozesse darstellen und bewerten	9
2.2.1 Flow Charts.....	9
2.2.2 Simultaneous Motion Chart	9
2.2.3 Ergonomie	10
2.2.4 Taktzeitbewertung	11
2.3 Qualitätsmanagement	12
2.3.1 Total Quality Management	12
2.3.2 Zertifizierung eines QM-Systems	13
2.3.3 Six Sigma.....	14
2.3.4 Besondere Merkmale.....	15
2.3.5 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse.....	16

2.4	Statistische Versuchsplanung – Design of Experiments	17
2.4.1	Grundbegriffe der DoE	18
2.4.2	Versuchspläne	21
2.4.3	Statistische Grundlagen	25
2.4.4	Modellierung eines statistischen Versuchsplans	28
2.4.5	Statistische Auswertung mit Minitab 15	29
2.5	Sensoren, Maschinenelemente und Messtechnik.....	34
2.6	Anforderungen an das Produkt und die Prozesse	36
2.6.1	Gesetzliche Anforderungen.....	36
2.6.2	Kundenanforderungen	36
2.6.3	Sicherheitsanforderungen an die Betriebsmittel	37
3	<i>Ist-Zustand (Gesperrt)</i>	39
3.1	Retraktoren (Gesperrt)	39
3.1.1	R230.2 LL – Retraktor (Gesperrt).....	39
3.1.2	R230.2 LLA – Retraktor (Gesperrt)	39
3.2.3	R200.2 LL PPMI und R200.2 LLA PPMI – Retraktoren (Gesperrt)	39
3.2	Die Montagelinie „Multiline“ (Gesperrt).....	39
3.2.1	Layout (Gesperrt)	39
3.2.2	Darstellung der Montagevorgänge an den Stationen (Gesperrt)	39
3.2.3	Sicherstellung der Produktqualität an der Multiline (Gesperrt).....	39
3.3	Skipping of Station 10 (Gesperrt).....	39
3.3.1	FMEA Bewertung von „Skipping of Station 10“ (Gesperrt)	39
3.3.2	Flow Chart und Simogramm der Station 20 (Gesperrt).....	39
3.3.3	Ist-Prozesse und Kennzahlen (Gesperrt)	40
3.4	Stopfprozess an der Station 50.1 (Gesperrt).....	40
3.4.1	FMEA Bewertung eines beschädigten Twinballclips (Gesperrt).....	40
3.4.2	Prozessbeschreibung und relevante Parameter (Gesperrt)	40
4	<i>Lösungsfindung und Versuchsdurchführung (Gesperrt)</i>	41
4.1	Konzepterarbeitung zur Detektion von „Skipping of Station 10“ (Gesperrt)	41
4.1.1	Vier Grob-Konzepte und Vorschläge zur Detektion (Gesperrt).....	41
4.1.2	Auswahl eines Konzepts (Gesperrt)	41
4.1.3	FMEA-Bewertung des Sollkonzepts (Gesperrt)	41
4.1.4	Ergonomische und taktzeittechnische Betrachtung des Sollkonzepts (Gesperrt)	41

4.1.5	Festlegen der Prüfkraft für den Prüfcylinder (Gesperrt)	41
4.1.6	Auswirkung der Prüfkraft auf die Abzugskraft (Gesperrt).....	41
4.1.7	Erstellung des Lastenheftes für die Prüfstation (Gesperrt).....	41
4.2	Konstruktive Modifizierung zur Optimierung des Stopfprozesses (Gesperrt).....	41
4.2.1	Modifizierung des Twinballclips (Gesperrt).....	41
4.2.2	Modifizierung der Rohrverjüngung (Gesperrt).....	42
4.3	Durchführung der DoE (Gesperrt).....	42
4.3.1	Versuchsaufbau (Gesperrt)	42
4.3.2	Vorversuche zur Spezifikationsauslegung (Gesperrt).....	42
4.3.3	Erstellung des Versuchsplans (Gesperrt).....	42
4.3.4	Analyse der Ergebnisse aus dem 2^{5-1} -Versuchsplan mit Center-Point (Gesperrt).....	42
4.3.5	Erweiterung des Versuchsplans mit flächenzentrierten Sternpunkten (Gesperrt)	42
4.3.6	Eingrenzung des Versuchsraum und der Faktoren (Gesperrt)	42
4.3.7	Optimierungsgrad gegenüber der Voreinstellung (Gesperrt)	42
5	Auswertung und Beurteilung (Gesperrt)	43
5.1	„Skipping of Station 10“ (Gesperrt)	43
5.1.1	Beurteilung des Konzepts (Gesperrt)	43
5.1.2	Umsetzung des Konzepts (Gesperrt).....	43
5.2	Stopfprozess an der Station 50.1 (Gesperrt).....	43
5.2.1	Prozessbewertung der optimierenden Einstellung (Gesperrt).....	43
5.2.2	Umsetzung und Re-Qualifizierung der Optimierung an der Station 50.1 (Gesperrt)	43
6	Zusammenfassung und Fazit	44
	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	46
	Anhang (Gesperrt).....	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Produktportfolio der Autoliv Inc.	4
Abbildung 2: APS Haus	6
Abbildung 3: Flow Chart Symbole	9
Abbildung 4: TQM Interpretation über Time-Quality-Money	13
Abbildung 5: Schritte in einem Six Sigma Projekt nach DMAIC.....	15
Abbildung 6: Systematische Darstellung des untersuchten Systems	18
Abbildung 7: Versuchsraum eines 2^2 -Versuchsplanes	20
Abbildung 8: Versuchsraum eines 2^3 -Versuchsplans	22
Abbildung 9: 2^3 -Versuchsraum mit CP	23
Abbildung 10: 2^3 -Versuchsraum mit CP und Sternpunkten	24
Abbildung 11: 3^k -Versuchsraum	24
Abbildung 12: Histogramm einer Normalverteilung.....	25
Abbildung 13: Normalverteilungskurve mit σ -Level.....	27
Abbildung 14: Bestimmung des Strichprobenumfangs	30
Abbildung 15: W-Netz eines normalverteilten Stichprobenumfangs	31
Abbildung 16: W-Netz eines nicht normalverteilten Stichprobenumfangs	31
Abbildung 17: Beschreibung eines Boxplot.....	32
Abbildung 18: Fitted-Line-Diagramm.....	33
Abbildung 19: Steigung- Effekt- Abhängigkeit.....	33

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Brutto- Netto-Arbeitszeit in ANG.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 2: Unterteilung der Six Sigma Level</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 3: Versuchsplan für 2 Faktoren mit 2 Faktorstufen</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 4: Aufbau von 2^k-Versuchen⁵⁰</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 5: 2^3- Versuchsplantabelle mit CP</i>	<i>23</i>

Abkürzungsverzeichnis

ALH	-	Autoliv Hungary
ALU	-	Autoliv Europe
AMX	-	Autoliv Mexico
ANG	-	Autoliv North Germany
APS	-	Autoliv Produktion System
BMV	-	Betriebsmittelverordnung
CS	-	Car Sensitive
CP	-	Center Point
DMAIC	-	Define-Measure-Analyse-Improve-Control
DoE	-	Design of Experiments
ECE	-	Economic Commission for Europe
ECU	-	Electronic Control Unit
EMS	-	European Manufacturing Standard
FMEA	-	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
FMVSS	-	Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations
H ₀	-	Nullhypothese
H ₁	-	alternative Hypothese
i.O.	-	in Ordnung
LL	-	Load Limiting
LLA	-	Load Limiting Adaptive
MGG	-	Multigasgenerator
MPS	-	Manufacturing Process Specification
NHA	-	Nanjing Hongouang-Autoliv Safety Systems
n.i.O.	-	nicht in Ordnung
PPM	-	Parts per Million
QM	-	Qualitätsmanagement
QS	-	Qualitätsmanagement-System
RP	-	Rotational Pretentioner
RPP	-	Regional Process Platform
RPZ	-	Risiko-Prioritätszahl
SC	-	Significant Characteristics
SPS	-	Speicherprogrammierbare Steuerung
TQM	-	Total Quality Management
TPU	-	Time Per Unit
WS	-	Webbing Sensitive

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Der immer höher werdende Kostendruck und die damit verbundenen Verkürzungen von Entwicklungszeiten für Produktionsanlagen können sich oftmals negativ auf die Stabilität von Herstellungsprozessen und die Produktqualität auswirken.

Einige wichtige Aspekte, die zeitlich zwischen der Entwicklungs- und der Serienanlaufphase neuer Produkte über neuen Fertigungslinien liegen, werden mangels zeitlicher Kapazitäten nicht rechtzeitig betrachtet oder übersehen. Umso wichtiger ist es auf effiziente Werkzeuge zurückzugreifen, mit denen man gezielt vor einem Serienanlauf Schwachstellen entdecken und bewerten kann, um anschließend Maßnahmen zur Optimierung einzuleiten.

Die Qualität der Produkte und Prozesse wird umso bedeutender, wenn die Erzeugnisse eines Unternehmens die Sicherung von Menschenleben bewirken sollen. Auch die Autoliv B.V. & Co. KG, welcher direkter Zulieferer von Sicherheitssystemen für die Automobilindustrie ist, gehört zu einem solchen Unternehmen. Effizienz- und Qualitätsanforderungen von Seiten der Kunden sind enorm hoch im Automobilssektor. Diese sichern Automobilhersteller unter anderem durch detaillierte Kundenaudits zur Prozessfreigabe der Herstellungsprozesse von neuen Anlagen und/oder Produkten. Umso wichtiger ist es für Zulieferunternehmen Schwachstellen in der Produktion rechtzeitig zu beseitigen bzw. Lösungswege in Anlauf zu haben, um somit die Prozessfreigaben sicherzustellen.

Im Zuge der anstehenden Serieneinführung der neuen Gurtsysteme R230.2LL(x) und R200.2 LL(A) PPMI, wurde von Autoliv und dem Sonderanlagenhersteller Westphal-Mechanik eine Montagelinie in Einzelstationsbauweise entwickelt und hergestellt. Die Montagelinie wurde auf größtmögliche Flexibilität ausgelegt und beruht weiter auf One-Piece-Flow und Rabbit Run Prinzipien. Nach einer Null-Serien- und Erprobungsphase im Werk Autoliv North Germany (ANG) wird die Montagelinie „Multilinie“ nach Autoliv Hungary (ALH) verlagert, um dort die Serienproduktion aufzunehmen.

Gegenstand dieser Arbeit ist es, die Wertschöpfungsprozesse der Anlagen im Einzelnen, aber auch die der Montagelinie im Gesamten vor der Verlagerung nach ALH zu analysieren und Schwachstellen aufzuzeigen. Desweiteren sollen optimierende Maßnahmen erarbeitet und umgesetzt werden, welche eine anzustrebende Produktqualität und Prozesssicherheit gewährleisten. Im Rahmen dieser Arbeit wurden größtenteils Methoden und Konzepte des

Lean Production, Six Sigma, Qualitätsmanagement und werksinternen Autoliv Standards angewendet.

1.2 Aufbau der Thesis

Im ersten Kapitel dieser Thesis wurden bereits die Aufgabenstellung und Zielsetzung dieser Arbeit dargestellt. Im Anschluss folgen die Vorstellung des Unternehmens Autoliv Inc., dessen Produktportfolio und des Standorts ANG.

Das zweite Kapitel dient zur Vorstellung der theoretischen Grundlagen. Der Leser soll hier auf die Thematiken, welche für die Durchführung und den Aufbau dieser Arbeit entscheidend sind, herangeführt werden. Auf diesen wissenschaftlichen Kenntnissen wird im Folgenden diese Arbeit aufgebaut.

Das dritte Kapitel bietet eine detaillierte Wiedergabe der Ausgangssituation, indem zunächst die Produkte und Produktionsanlagen vorgestellt werden. Anschließend werden in diesem Kapitel auch die Schwachstellen aufgezeigt und bewertet. Die einzelnen Versuchsaufbauten und Vorversuche, die Bestandteil dieser Arbeit waren, sind ebenfalls hier abgebildet.

Eine Lösungs- und Konzeptarbeit, für die aus dem Kapitel 3 polarisierten Problemstellungen, erfolgt im Kapitel 4. Ein weiterer Bestandteil dieses Kapitels ist die Durchführung und Analyse der Teilergebnisse vom Design of Experiments (DoE).

Kapitel 5 dient zur Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse, welche sich aus dem Kapitel zuvor ergeben haben. Hier wird, anders als im Kapitel 4, die Betrachtung nicht nur auf den einzelnen Prozess gesetzt, sondern der Effekt auf die gesamte Prozesskette betrachtet oder es wird auf weitere Auswirkungen und Einflüsse eingegangen.

Im Kapitel 6 werden die gesamte Arbeit und die Ergebnisse nochmal im kurzen zusammengefasst und Bezug auf die Einleitung und Aufgabenstellung genommen. Zudem werden Anregungen und Vorschläge zu weiteren Optimierungsmöglichkeiten abgegeben.

1.3 Das Unternehmen

1.3.1 Autoliv Inc.

Die Wurzeln von Autoliv begannen 1953 mit der Gründung eines Reparaturservice von Lennart Lindblad im schwedischen Vårgårda. Im Jahre 1956 wurde der erste Sicherheitsgurt produziert. Der Markenname LIV für Sicherheitsgurte stellt zum einen die doppeldeutig zu dem im schwedischen Wort Leben her, stand aber in erster Linie für Lindblads (Autoservice) in Vårgårda.

Das Unternehmen entwickelt, produziert und vertreibt Sicherheitssysteme für Automobile und beliefert Produkte an alle namenhaften Automobilhersteller. Nach der Fusion mit dem amerikanischen Unternehmen Morton ASP, welcher ebenfalls Lieferant für Automobile Sicherheitssysteme ist, agiert Autoliv als eines der führenden Unternehmen seiner Branche. Der Hauptsitz befindet sich im schwedischen Stockholm.

Aus 29 Ländern mit insgesamt 80 Standorten Weltweit beliefert Autoliv die lokalen Märkte mit Produkten. Die Standorte sind dabei den regionalen Leitungen Autoliv Europe (AEU), Autoliv America (AAM) und Autoliv Asia (ALA) unterteilt. Global sind auf die Standorte 20 Crash- und elf Technik-Zentren verteilt, deren Focus auf Forschung und Entwicklung liegt.¹

Im Jahr 2010 produzierte Autoliv unter anderem 121 Millionen Sicherheitsgurte und 85 Airbags und erwirtschaftete, mit einer globalen Belegschaft von ca. 43.000 Angestellten, 7,171 Milliarden US-Dollar.²

1.3.2 Produktportfolio

Das Produktportfolio vom Kerngeschäft beinhaltet Insassenschutzsysteme, Fahrerassistenzsysteme und aktive Sicherheitssysteme. Im Bereich Insassenschutzsysteme ist Autoliv weltweit Marktführer.

¹ Vgl. Autoliv INC. (2011), *Annual Report 2010: Making Driving Safer*, S. 8.

² Vgl. *Ibid.*, S. 3ff.

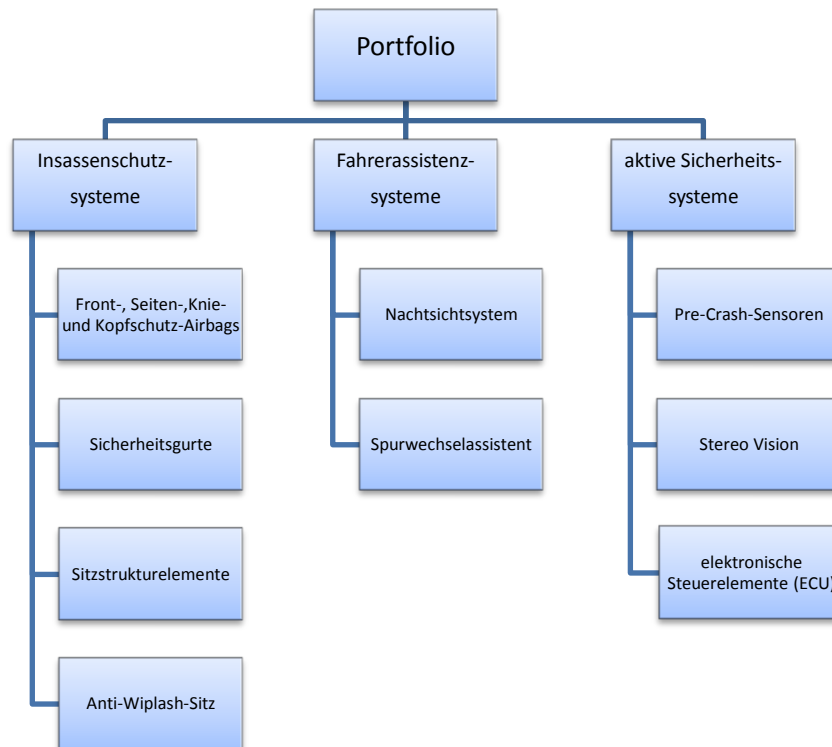


Abbildung 1: Produktportfolio der Autoliv Inc.³

1.3.3 Standort ANG

Der Standort ANG in Elmshorn bildet mit seinen rund 1000 Mitarbeitern den Hauptsitz der Autoliv B.V. & Co. KG, welche eine Tochtergesellschaft der Autoliv Inc. ist. Neben der Produktion von diversen Sicherheitsgurten bildet das Werk auch ein Core Competence Center (CCC), welche die Betreuung und Entwicklung von Sicherheitsgurten, der Herstellungsprozesse und Fertigungsanlagen umfasst. Zudem beinhalten das Elmshorner Werk ein Technik-Center und einen Crash-Prüfstand.

Die Betriebsstätten Dachau (CCC für Airbags), Braunschweig (Produktion von Airbags), Döbeln (Produktion von Gurten) und Sopronkövesd in Ungarn werden ebenfalls unter der Autoliv B.V. & Co. KG geführt. Weiter sind die Autoliv Stakupress GmbH in Norderstedt und die Autoliv Protektor GmbH in Lübeck hundertprozentige Tochterunternehmen der Autoliv B.V. & Co. KG.

³ Eigene Darstellung

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Methoden der modernen Produktionsgestaltung

2.1.1 Lean Production und APS

Lean Production, im deutschen Sprachraum auch „Schlanke Produktion“ genannt, beschreibt die von dem japanischen Automobilhersteller Toyota unter dem Namen „Toyota-Production-System“ erstmals angewandte und von Womack, Jones und Roos in der sogenannten MIT-Studie (USA) weiterentwickelte und systematisierte Produktionsstrategie. Der Grundgedanke des Lean Production ist die Kostenreduzierung in der Produktion. Bei der Herstellung von Produkten soll ein Minimum an Aufwand bezüglich Betriebsmitteln, Materialien, Teile, Platz und Arbeitszeit aufgebracht werden. Jegliche Art von nicht wertschöpfendem Aufwand wird als Muda (jap. für Verschwendung) betrachtet.⁴

Arten von Muda sind:

- Überproduktion
- Transport
- Lange Wege
- Der Prozess selbst
- Ungenutztes Personal
- Hohe Bestände
- Fehlerhafte Produkte

Durch die Einführung der schlanken Produktion sollen geringere Bestände, die Reduktion des Personals, der Fabrikfläche, Lagerbestände, Rüstzeiten, Fehlerzahlen und Entwicklungszeiten bewirkt werden. Gleichzeitig soll eine Steigerung der Produktivität und Produktvielfalt erfolgen.⁵ Die Wertschöpfenden Tätigkeiten sind zudem auf die Erfüllung der Kundenzufriedenheit und des Kundenwunsches ausgelegt. Zur Zielerreichung bedient sich Lean Production an effizienten Methoden und Werkzeugen wie z.B. Kaizen, Total-Quality-Management (TQM), Just-In-Time, 5S oder Kanban.

Bei Autoliv wird der Grundgedanke von Lean über das Autoliv-Production-System (APS) verfolgt und erweitert. Das APS ist weltweit für alle Autoliv-Standorte bindend, wodurch überall dieselben Herstellungsvisionen und -methoden geschaffen und dadurch ein hohes

⁴ Vgl. Matyas, K. (2001), *Taschenbuch produktionsmanagement*, S. 83ff.

⁵ Vgl. *Ibid.*, S. 87.

Maß an Standardisierung erreicht wird.⁶ Es beschreibt und formalisiert zudem die Produktionskultur des Unternehmens.

Zur Veranschaulichung des APS wurde ein Haus zur Verwendung gezogen (vgl. Abbildung 2). Das Haus besteht aus den drei Grundelementen Fundament, Säulen und Dach. Das Fundament bildet mit seinen fünf Elementen die Basis für das APS Haus. Zur Errichtung des Hauses und damit zur Erreichung der Betriebsziele erhält das Haus drei Säulen, worin die wichtigsten Tools und Methoden abgebildet sind. Das Dach steht repräsentativ für die Ziele und den Erfolg des Unternehmens, um in der Zukunft weiter wirtschaftlich und wettbewerbsfähig zu bleiben und Kundenzufriedenheit gewährleisten zu können.

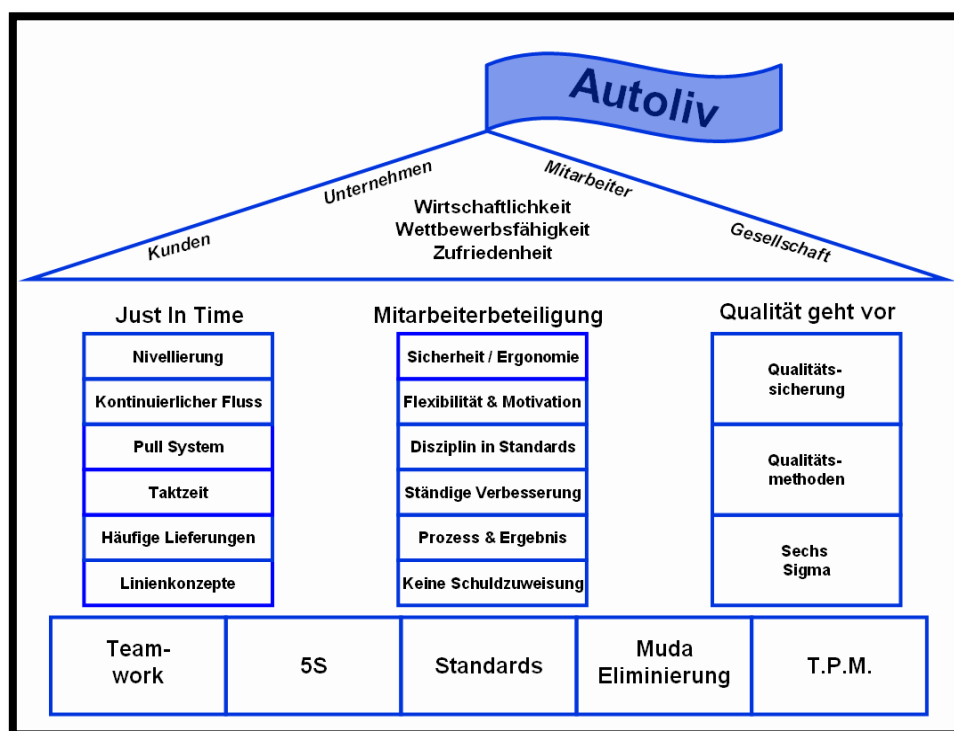


Abbildung 2: APS Haus⁷

2.1.2 One-Piece-Flow

One-Piece-Flow ist Bestandteil des Lean Production und bildet die Grundlage des Fließprinzips. Bei One-Piece-Flow werden die Wertschöpfung erlangenden Produkte direkt nach einer Bearbeitung an den nächsten Prozess/Arbeitstakt weitergegeben. Puffer oder

⁶ Vgl. Autoliv INC. (2011), *Autoliv Production System: Booklet*, S. 5.

⁷ Autoliv B.V. & Co. KG, *APS Grundlagen*

Zwischenlagerung sind nicht vorhanden, wodurch vor einem Bearbeitungsschritt immer nur maximal ein Werkstück zur weiteren Bearbeitung bereit liegt. Steht ein nachgelegter Prozess still, darf der vorgelagerte Prozess dadurch auch keine weiteren Werkstücke produzieren. Es können aber auch bearbeitungsfreie Wartezeiten durch nicht ausgetaktete Arbeitsschritte entstehen. Die entstehenden Wartezeiten bilden jedoch auch die Grundlage für eine effektive Analyse und Problembhebung, da durch ihr Auftreten Probleme und Schwachstellen erst erkannt werden. Durch diese Fertigungsmethode wird eine Reduzierung der Durchlaufzeit und des Platzbedarfes (keine Plätze für Materialpuffer) mit gleichzeitiger Erhöhung der Flexibilität und Produktivität erreicht. Zudem reduziert sich die Kapitalbindung des Unternehmens durch die geringeren Bestände.⁸

2.1.3 Rabbit Run

Eine Erweiterung des ursprünglichen One-Piece-Flow bildet das Rabbit Run oder auch „mitarbeitergebundener Arbeitsfluss“ genannt. Anstelle einer starren Arbeiter-Maschine Zuteilung, wird beim Rabbit Run das Produkt durch den Werker entlang der gesamten Wertschöpfungskette einer Produktionslinie begleitet. D.h., dass ein Arbeiter alle Prozessschritte zum Fertigstellen eines Produktes durchläuft und vollzieht. Damit kann die Ausbringungsmenge flexibel anhand der Mitarbeiteranzahl gesteuert werden. Um Laufwege möglichst kurz zu halten, sind die Maschinen einer Produktionslinie mit Rabbit Run Auslegung U-förmig angeordnet.⁹

2.1.4 Chaku Chaku

Das Chaku Chaku Prinzip ist eine Betriebsweise, bei dem der Schwerpunkt der manuellen Tätigkeiten auf das Be- und Entladen von automatisierten oder teilautomatisierten Produktionslinien und den Transport der Werkstücke zwischen den Maschinen gelegt ist. Der Name „Chaku Chaku“ kommt aus dem Japanischen und steht im deutschen für „Laden-Laden“.¹⁰ Besonders in Kombination mit One-Piece-Flow und Rabbit-Run ist das Konzept um Chaku Chaku sehr effizient. Durch eine so ausgelegte Produktionslinie können Wartezeiten auf die Beendigung automatisierter Prozesse enorm verringert oder sogar ganz beseitigt werden.

⁸ Vgl. Dickmann, Philipp (2009), *Schlanker Materialfluss mit Lean-production, Kanban und Innovationen*, S. 18f.

⁹ Vgl. Schlick, Christopher (2010b), *Arbeitswissenschaft*, S. 482.

¹⁰ Vgl. Günther, H.-O. (2005), *Supply-chain-Management und Logistik*, S. 248.

Sobald ein Werker an einer Be- und Entladestelle ankommt, ist im Idealfall der Bearbeitungsprozess, der von dem vorangegangenen Werker gestartet worden war, beendet. Der Werker muss lediglich das fertige Werkstück aus dem Nest entnehmen und das unbearbeitete darin einfügen. Falls kein automatischer Prozessstart vorgesehen ist, startet der Werker anschließend den Bearbeitungsprozess und bewegt sich mit dem entnommenen fertigen Werkstück zum nachgelagerten Bearbeitungsprozess. Durch ein solches Fertigungsprinzip kann ein hohes Maß an Flexibilität bezüglich Varianten und Produktionsschwankungen erreicht werden. Gleichzeitig erhält man durch die Reduzierung der Durchlaufzeit einen positiven Effekt auf die Produktivität.¹¹

2.1.5 Standardisierung durch MPS (Gesperrt)

2.1.6 Poka Yoke

Poka Yoke wurde im Rahmen des Toyota Production System von Shigeo im Jahre 1969 entwickelt und bedeutet zu Deutsch „Vermeidung unbeabsichtigter Fehler“. Die Methode zielt dabei auf die Entdeckung bzw. Verhinderung von Fehlern ab, welche innerhalb von Fertigungsprozessen ungewollt durch den Menschen hervorgerufen werden können. Fehlhandlungen, wie Unaufmerksamkeit, Auslassen, Vertauschen, Vergessen, Falschablesen etc., liegen in der Natur des Menschen und können mit Sicherheit nie ausgeschlossen werden. Ferner können Stress, Müdigkeit und Schlechte Arbeitsbedingungen diese Fehlhandlungen noch begünstigen.¹²

Durch Poka Yoke sollen, bevor aus den Fehlern Folgefehler resultieren, die Fehlerquellen durch einfache Vorrichtungen und Vorgehensweisen idealerweise verhindert oder zumindest entdeckt werden. Durch eine robuste Gestaltung von Produkten und Prozessen wird das Ziel der Fehlervermeidung am Entstehungsort verfolgt.¹³

Das Poka Yoke kann zusätzlich durch ein Fehlererkennungssystem ergänzt werden. Dadurch werden Probleme und Fehler im Herstellungsprozess mit Hilfe von Prüfsensoren erkannt, die Maschine angehalten und die Fehlerart gemeldet. Bei der Autoliv werden Fehler über ein Touch-Display gemeldet, an der Maschine archiviert und die Entsorgung des fehlerbehafteten Werkstücks eingefordert und geprüft. Dieser Ablauf ist in einer SPS-

¹¹ Vgl. Schlick, Christopher (2010a), *Arbeitswissenschaft*, S. 482.

¹² Vgl. Kamiske, Gerd F. (2008), *Qualitätsmanagement von A bis Z*, S. 116f.

¹³ Vgl. Linß, Gerhard (2005), *Qualitätsmanagement für Ingenieure*, S. 301.

Prozesskette eingebunden und ermöglicht vor dessen Beendigung keine weitere Serienproduktion. Somit ist eine weitere Wertschöpfung an den fehlerhaften Werkstücken ausgeschlossen und deren Ausschleusung aus der Produktion sichergestellt.

2.2 Prozesse darstellen und bewerten

2.2.1 Flow Charts

Flow Chart (eng. für „Flussplan“) ist eine Visualisierungsmethode um Prozesse zu modellieren und darzustellen. In dem Flow Chart werden Tätigkeiten und Entscheidungen, welche den Prozessen unterliegen, unterschieden und deren Flüsse zueinander dargestellt. Die Symbole sind durch die DIN 66001 und der ISO genormt.¹⁴ Bei Autoliv wurden die genormten Symbole mit SC- / CC-Merkmal-Symbolen ergänzt und werden nach Abbildung 3 zur Darstellung von Prozessen herangezogen. Vorteil dieser Visualisierungsmethode ist, dass auf einfache und übersichtliche Weise die Prozesse veranschaulicht werden.

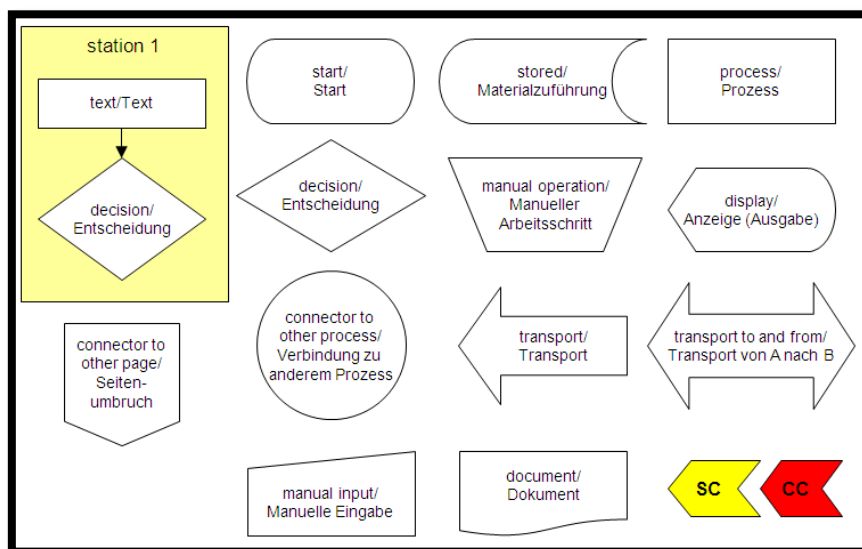


Abbildung 3: Flow Chart Symbole¹⁵

2.2.2 Simultaneous Motion Chart

Das Simultaneous Motion Chart (Kurzform: Simogramm) ist eine Aufzeichnungsmethode zur Optimierung des Ausführens von Arbeitsaufgaben und -abläufen. Es wird zudem häufig auch

¹⁴ Vgl. Schönsleben, Paul (2001), *Integriertes Informationsmanagement*, S. 194.

¹⁵ Autoliv B.V. & Co. KG, *Flow Chart Station 20-Multiline*

als Instrument für Zeitaufnahmen verwendet. Das Ausführen von Handhabungen wird detailgetreu beschrieben und aufgezeichnet.¹⁶

Bei Autoliv werden Simogramme mittels eines auf Microsoft Excel basierenden Tool, einer Visual-Basic Applikation, erstellt. Damit ist es möglich die Prozesse in automatische und manuelle zu zerlegen, Verknüpfungen für deren Abfolgen zu definieren, Zeitanalysen anzeigen zu lassen und ein grafisches Abbild der Prozesse zu generieren.

Besonders bei der Auslegung der maximal zur Verfügung stehenden Automatikzeiten ist dieses Werkzeug sehr hilfreich, da diese unmittelbar von den manuellen Zeiten abhängen. Um wirtschaftlich zu produzieren und Wartezeiten an Anlagen zu vermeiden, sollte der Automatikprozess möglichst schneller ausgelegt sein als der manuelle Prozess. Damit entstehen keine Wartezeiten auf das Beenden eines vorangegangenen automatischen Prozesses und der Werker kann direkt nach der manuellen Montage das Produkt in den automatischen Prozess einschleusen.

Die manuellen Handhabungszeiten für Simogramme können mittels Refa-Methoden, Schätzungen, oder Zeitmessungen herangezogen werden. Im Folgenden ist eine ergonomische Betrachtung der manuellen Prozesse nötig, um Kollisionen bei den unterschiedlichen Zielsetzungen zu vermeiden.

Eine Funktions- und Betriebsanleitung für das Autoliv Simogramm ist in dem Anhang A1 hinterlegt.

2.2.3 Ergonomie

Die Ergonomie ist eine Wissenschaft, die sich mit der menschengerechten Gestaltung von Arbeitsinhalten und Arbeitsbedingungen befasst. Die Arbeiten sind dabei so auszulegen, dass sie die menschlichen Körperabmessungen, Seh- und Wirkräume berücksichtigen und die körperlichen und psychischen Belastungen der Arbeitenden nicht beeinträchtigen oder schädigen.¹⁷ Ferner können Beeinträchtigungen, Schädigungen und Aufmerksamkeitsverlust auch durch monotone Arbeiten entstehen.

Neben der empirischen Untersuchung der Größen verschiedener Gliedmaße und Körperteile gelten auch das Alter, Geschlecht, Statur und Bevölkerungsgruppe als Einflussfaktoren der Anthropometrie.¹⁸ Bei der räumlichen Gestaltung des Arbeitssystems sind die Beziehungen

¹⁶ Vgl. Bergmann, Rainer (2008), *Organisation und Projektmanagement*, S. 113.

¹⁷ Vgl. Verband für Arbeitsgestaltung (1993), *Grundlagen der Arbeitsgestaltung*, S. 193.

¹⁸ Vgl. Rüschemschmidt, Heinz (2004), *Ergonomie im Arbeitsschutz*, S. 55.

zwischen Mensch und Arbeitssystem so zu setzen, dass die Arbeitshöhe auf die Maße des menschlichen Körpers ausgelegt, Greifwege kurz und Bewegungen einfach gehalten werden, um dadurch die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten und Belastungen zeitlich kurz zu halten. Eine arbeitswissenschaftliche Planung hat weiter die Zielsetzung der gemeinsamen Verbesserung von Humanität und Produktivität. Wirtschaftliche Aspekte sind somit ebenfalls im Fokus der Betrachtung und können mitunter sogar, durch eine ergonomisch sinnvolle Auslegung von Arbeitsplätzen und Arbeiten, verbessert werden.

2.2.4 Taktzeitbewertung

Bei der Autoliv werden Taktzeiten durch die TPU und LMPU dargestellt. Die TPU bedeutet „Time Per Unit“ und stellt die benötigte Zeit dar, die zur Fertigstellung eines Produktes oder Prozesses benötigt wird. Im Rabbit-Run mit Chaku Chaku laufen nur die Hauptzeiten bzw. Handhabungszeiten in die TPU ein, da die Automatikzeiten in der Regel in der Nebenzeit ablaufen. Die Formel zur Berechnung der TPU ist in (1) dargestellt.

$$\text{TPU} = \frac{\text{Anzahl Personal} \cdot 60 \text{ Minuten}}{\text{Anzahl Teile}} \quad (1)$$

Um Daten für eine Schicht oder eine Produktionsperiode zu gewinnen, müssen Netto-Arbeitszeit der Angestellten betrachtet werden. Die Brutto-Arbeitszeit eines Produktionsangestellten pro Schicht beträgt bei der Autoliv B.V. & Co. KG 7,24 Std. am Tag. Die Nettozeit ergibt sich aus der Bruttozeit abzüglich der Pausen, Rüstzeiten, Verweilzeiten etc. und beläuft sich nach Tabelle 1 auf 359 Minuten.

Arbeitszeiten für 3-Schicht [Minuten]	
Arbeitszeit	435
persönliche Verweilzeit	22
sachliche Verweilzeit	11
Rüsten	20
Störungen	18
Gruppengespräche	5
Netto-Arbeitszeit	359

Tabelle 1: Brutto- Netto-Arbeitszeit in ANG

Die LMPU wird im Rahmen dieser Arbeit nicht verwendet.

2.3 Qualitätsmanagement

Die zunehmende Komplexität von Produkten und deren Produktionslinien rückt die Frage nach Qualität immer mehr in den Vordergrund des unternehmerischen Handelns.¹⁹ Das Qualitätsmanagement zählt heute zu einer der wichtigsten Kerndisziplinen eines Unternehmens, um profitabel und wirtschaftlich agieren zu können. Lieferanten versprechen sich durch ein funktionierendes QM-System vor allem Vorteile bei der

- Vertrauensschaffung zwischen Kunden und Lieferanten.
- Verbesserung von betrieblichen Abläufen und ihrer Dokumentation.
- Schaffung von Vertrauen in die eigenen Geschäftsprozesse der Organisation.
- Entlastungsmöglichkeit im Produkthaftungsfall.²⁰

Im Sinne des Qualitätsmanagements gibt es eine Fülle von Methoden und Werkzeugen, die alle ihre spezifischen Anwendungen finden.

2.3.1 Total Quality Management

TQM ist ein langfristig angelegtes Managementkonzept, welches von der Unternehmensleitung organisiert und den Mitarbeitern getragen wird.²¹ Die Einbeziehung der Qualitätsthemen für Produkte und Prozesse in alle Geschäftsbereiche des Unternehmens und deren Ausrichtung auf den Kunden sind grundlegende Philosophien des TQM.²²

Umfassendes QM bezieht sich vor allem auch auf die drei Erfolgsfaktoren, Time, Quality und Money, weshalb die Abkürzung „TQM“ auch als „Time-Quality-Money“ übersetzt werden kann.²³

¹⁹ Vgl. Linß, Gerhard (2005), *Qualitätsmanagement für Ingenieure*, S. 1.

²⁰ Vgl. *Ibid.*, S. 29f.

²¹ Vgl. Matyas, K. (2001), *Taschenbuch produktionsmanagement*, S. 237.

²² Vgl. Linß, Gerhard (2005), *Qualitätsmanagement für Ingenieure*, S. 454.

²³ Vgl. *Ibid.*, S. 454.

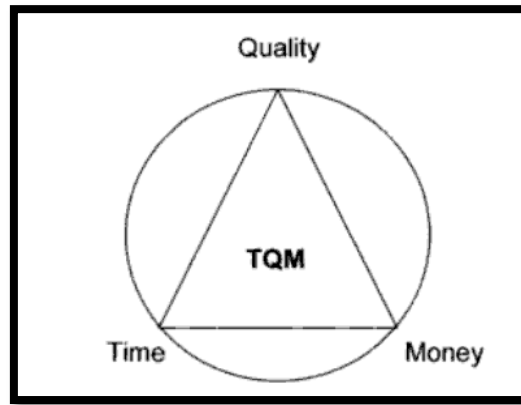


Abbildung 4: TQM Interpretation über Time-Quality-Money²⁴

Zur Erfüllung der Ziele, wie die Kundenzufriedenheit oder Qualitätsverbesserung, bedient sich die TQM an Methoden wie Kaizen oder international anerkannten Zertifizierungen.²⁵

2.3.2 Zertifizierung eines QM-Systems

Mit der Zertifizierung eines Unternehmens von einer neutralen Seite wird bescheinigt, dass das Unternehmen in der Lage ist die vom Kunden geforderte Qualität in Bezug auf dessen Produkte und Dienstleistungen zu liefern. Die ISO 9000 ist eine internationale Zertifizierungsmethode, welche die Mindestbestandteile und Anforderungen an ein QM-System beschreibt und sich als internationaler Standard durchgesetzt hat.

Die Zertifizierung nach der ISO 9000er Familie enthält im Weiteren die Normen ISO 9000/1, 9001, 9002, 9003 und 9004. Die Norm ISO 9000 beschreibt lediglich die Grundlagen und Begriffe zu Qualitätsmanagementsystemen. Die weitreichendste Norm ist die ISO 9001, die alle Punkte der Normen ISO 9002 und 9003 enthält. Sie beinhaltet die Bereiche Entwicklung, Produktion, Montage und Kundendienst. Damit umschließt die ISO 9001 den gesamten Produktlebenszyklus, von der Produktentwicklung bis zum Kundeneinsatz. Die Normen DIN EN ISO 9000/1 und 9004 geben Hilfestellung zur Umsetzung der oben genannten Normen. In Bezug auf diese Arbeit hat der Punkt „Einstellarbeiten sowie Funktions- und Leistungsnachweis am Prüfstand erbringen und Überwachung durch das Qualitätswesen“²⁶, für die Organisationseinheit Produktion, eine zentrale Bedeutung.

²⁴ Linß, Gerhard (2005), *Qualitätsmanagement für Ingenieure*, S. 454

²⁵ Vgl. Matyas, K. (2001), *Taschenbuch Produktionsmanagement*, S. 237f.

²⁶ Vgl. Hering, Ekbert (1997), *Zertifizierung nach DIN EN ISO 9000*, S. 15.

Eine auf die Automobilindustrie ausgelegte und ähnlich der ISO 9001 aufgebaute Norm ist die QS 9000. Die VDA 6.1 ist ebenfalls eine Zertifizierungsmethode für Automobilindustrie und wurde vom Verband der Deutschen Automobilhersteller eingeführt. Da in der Vergangenheit in vielen Unternehmen nach beiden Normen, VDA 6.1 und QS 9000, parallel zertifiziert wurde, sind diese in der ISO/TS 16949 zusammenfasst worden.²⁷

Die Autoliv B.V. & Co. KG unterliegt den Standards der ISO/TS 16949. Diese beinhaltet alle übrigen hier vorgestellten Normen und geht im Anforderungskatalog noch über diese hinaus.

2.3.3 Six Sigma

Six Sigma ist eine Methode des Qualitätsmanagement, die Ende der 70er Jahre in den USA entwickelt wurde. Die Methode zielt auf die kontinuierliche Verbesserung und Optimierung von Geschäftsprozessen ab.²⁸ Dabei geht es vorrangig um ein systematisches Vorgehen mittels statistischen Methoden, um Fehler zu reduzieren oder idealerweise ganz zu vermeiden. Aus der Namensgebung Sechs Sigma ergibt sich die Zielsetzung der Methode. Bei 6σ liegen 3,4 Parts per Million (PPM) außerhalb der Normalverteilung und den definierten Grenzen aus $+6S$ und $-6S$. Die 3,4 PPM ist auch die maximal tolerierte Anzahl an Fehlern zum Erreichen des Six Sigma Levels. Weitere Level und ihre Grenzen sind in der Tabelle 2 einzusehen.

Sigma	Anzahl Fehler pro DPMO	Fehlerfrei %
1	691462	30,85
2	308538	69,15
3	66807	93,32
4	6210	99,38
5	233	99,97673
6	3,4	99,99966

Tabelle 2: Unterteilung der Six Sigma Level

Die geläufigste Methode für Six Sigma Projekte ist Define- Measure- Analyze- Improve- Control (DMAIC).

²⁷ Vgl. Matyas, K. (2001), *Taschenbuch Produktionsmanagement*, S. 213ff.

²⁸ Vgl. Vahrenkamp, Richard (2008), *Produktionsmanagement*, S. 269.

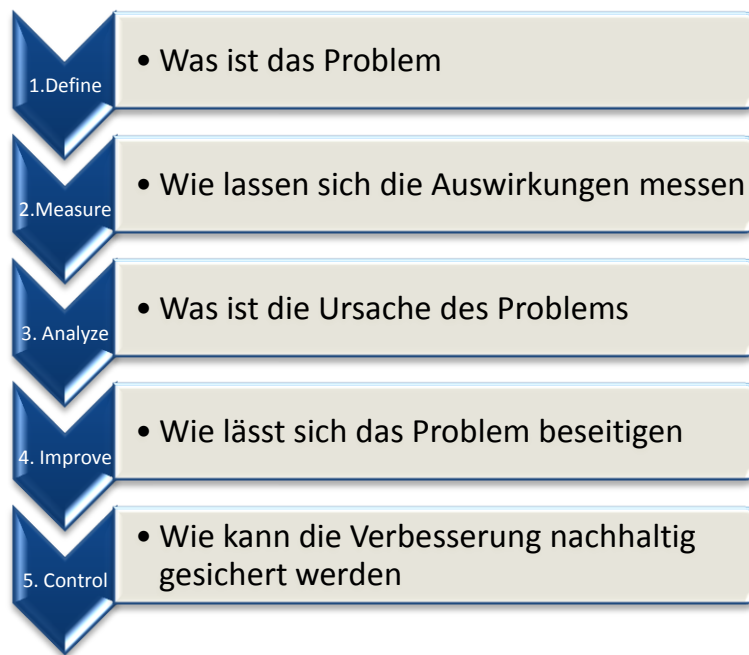


Abbildung 5: Schritte in einem Six Sigma Projekt nach DMAIC²⁹

2.3.4 Besondere Merkmale

Infolge der ISO/TS 16949 Normen wurden das Thema „besondere Merkmale“ in den Fokus der deutschen Unternehmen gestellt. Das Festlegen von Merkmalen erfolgt entweder aus gesetzlichen Verordnungen, Kunden- bzw. internen Anforderungen oder entsteht im Rahmen einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse.³⁰

Organisationen im Automotive-Bereich sind zur Darlegung der vom Kunden oder durch Gesetze festgesetzten Merkmale, hinsichtlich der Einhaltung, Dokumentation und Lenkung, verpflichtet. Bei der Autoliv Inc. wird die Handhabung und Vorgehensweise für besondere Merkmale in dem Autoliv Standard AS-52 beschrieben.

CC's sind kritische Merkmale. Die Prozessparameter oder Produktvorschriften können Einfluss auf die sichere Funktion von Produkten oder die Einhaltung von gesetzlichen Verordnungen haben.³¹ CC-Merkmale erhalten in einer FMEA Bewertung die Bedeutung „9“ oder „10“.

SC- Merkmale sind signifikant und nehmen Einfluss auf die Produkt- oder Fahrzeugfunktion in Bezug auf die Kundenzufriedenheit. Sie sind keinen gesetzlichen Verordnungen

²⁹ Eigene Darstellung angelehnt an Vahrenkamp, Richard (2008), *Produktionsmanagement*, S. 272

³⁰ Vgl. Autoliv B.V. & Co. KG (2010), *Special Characteristics Classification - AS-52*, S. 5.

³¹ Vgl. *Ibid.*, S. 4.

untergestellt und/oder beeinflussen auch nicht die sichere Produkt- oder Fahrzeugfunktion.³² SC-Merkmale erhalten in einer FMEA Bewertung die Bedeutung „8“.

2.3.5 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse

Bedingt durch die Produkthaftung und den Qualitätsnormen QS-9000 und VDA 6.1, wird von Unternehmen der Automobilindustrie für jedes Produkt eine vollständige Durchführung der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) gefordert.³³ Die FMEA ist eine zielgerichtete Methode, wodurch mögliche Fehler in der Entwicklung und Produkt- oder Prozessplanung frühzeitig ermittelt oder vermieden werden können. Beim Ablauf einer FMEA werden zunächst die Risiken, die aus den Fehlern entstehen, bewertet. Anschließend werden eventuell erforderliche Gegenmaßnahmen zur Fehlervermeidung entwickelt.³⁴

Es werden die Typen Design-, System-, Konstruktions-, und Prozess-FMEA, je nach Betrachtungsobjekt, unterschieden. Die Methode zum Erstellen ist jedoch bei allen gleich.³⁵

Mit der Prozess-FMEA, die auch P-FMEA genannt wird, werden Fehlerquellen der Fertigungs-, Montage-, und Dienstleistungsprozesse analysiert und bewertet. Aus der frühzeitigen Entdeckung und Beseitigung von Fehlerquellen, idealerweise schon in der Entwurfs- und Planungsphase, resultiert ein wirtschaftlicher Vorteil, da die Entdeckung und Beseitigung zu einem späteren Zeitpunkt aufwendiger und dadurch kostenintensiver wird.

Bei der Durchführung einer P-FMEA werden die Hauptprozesse in Teilprozesse zerlegt und diese dann bewertet. Die Risikobewertung erfolgt für die Kategorien „Bedeutung des Fehlers“, „Wahrscheinlichkeit des Auftretens“ und „Wahrscheinlichkeit der Entdeckung“. Die Risikozahlen sind in Tabellenwerken hinterlegt und werden von eins (niedrigste Stufe) bis zehn (höchste Stufe) gewichtet. Aus dem Produkt der Einzelrisikozahlen ergibt sich die Risiko-Prioritätszahl (RPZ) (2).³⁶

$$RPZ = B \cdot A \cdot E \quad (2)$$

³² Vgl. *Ibid.*, S. 4.

³³ Vgl. *Matyas, K. (2001), Taschenbuch Produktionsmanagement, S. 103.*

³⁴ Vgl. *Vahrenkamp, Richard (2008), Produktionsmanagement, S. 277.*

³⁵ Vgl. *Autoliv B.V. & CO. KG (2008), FMEA & Software Schulungsblock 1-Basis, S. 9.*

³⁶ Vgl. *Linß, Gerhard (2005), Qualitätsmanagement für Ingenieure, S. 407.*

Bei Autoliv wurde die Grenze, welche eine dringende Vermeidungsmaßnahme einfordert, auf die RPZ=100 gesetzt. Liegt eine RPZ über dieser Grenze, so ist zur dessen Reduzierung auf einen Wert kleiner 100 sofortiger Handlungsbedarf erforderlich.

Ein Tabellenwerk der VDA für FMEA-Bewertungskennzahlen ist dem Anhang B5 angehängt.

2.4 Statistische Versuchsplanung – Design of Experiments

Die statistische Versuchsplanung ist eines der elementaren Werkzeuge der Six Sigma Strategie und gilt als eine effiziente Planungs- und Auswertungsmethode, um Produkte und Fertigungsprozesse zu verbessern. Grundlegendes Ziel des Design of Experiments (DoE) ist es einen maximalen Gewinn an Ergebnissen und Erkenntnissen zu erlangen. Hierbei soll jedoch ein Minimum an Zeit, Versuchs- und damit verbunden Kostenumfang aufgewendet werden. Durch eine systematisierte Versuchsdurchführung und Auswertungsmethode wird die Reduktion des Versuchsumfanges erreicht, ohne dabei die Aussagefähigkeit für die wichtigsten Haupteffekte und Interaktionseffekte zu beeinflussen. Anders als bei herkömmlichen Versuchsdurchführungen, wie der One-factor-at-a-time Methode, werden bei der DoE mehrere Eingangsgrößen gleichzeitig verändert. Dieses bietet den Vorteil, dass so auch Interaktionseffekte der Eingangsgrößen ausgewertet werden können. Durch einen auf die Aufgabenstellung ausgelegtes Versuchsmodell ist oftmals sogar die Reduzierung des Versuchsumfanges mit einem Mehrgewinn an Erkenntnissen möglich.³⁷ Trotz der gleichzeitigen Umstellungen von Eingangsgrößen lassen sich die Wirkungen der einzelnen Eingangsgrößen dennoch trennen. Besonders Versuche die eine große Anzahl an Eingangsgrößen und somit viele mögliche Parameterkonstellationen aufweisen, lassen sich ohne eine strukturierte DoE kaum noch handhaben.

Die DoE bietet einen Werkzeugkasten mit maßgeschneiderten Versuchsplänen und Verfahren an, die alle ihre spezifischen Stärken und Schwächen ausweisen. Um ein geeignetes Versuchsmodell zu wählen, ist es erforderlich, dass ein Experimentator im Vorfeld die Untersuchungsziele festgelegt und Kenntnisse über die Ausgangssituation besitzt.

³⁷ Vgl. Kleppmann, Wilhelm (2009), *Taschenbuch Versuchsplanung*, S. 6.

2.4.1 Grundbegriffe der DoE

Um die Einflüsse der Eingangsgrößen und Störgrößen erfassen zu können, muss vor Versuchsbeginn die Systemgrenze festgelegt werden. Nur die zum System gehörenden Eingangsgrößen können im Rahmen der Untersuchung ausgewertet werden. Allen übrigen Einflussgrößen kann man während der Versuche keine festen Einstellwerte zuteilen, weshalb diese als Störgrößen behandelt werden.³⁸

Die Abbildung 6 zeigt eine systematische Darstellung eines Prozesses mit seinen Ziel-, Stör- und Einflussgrößen.

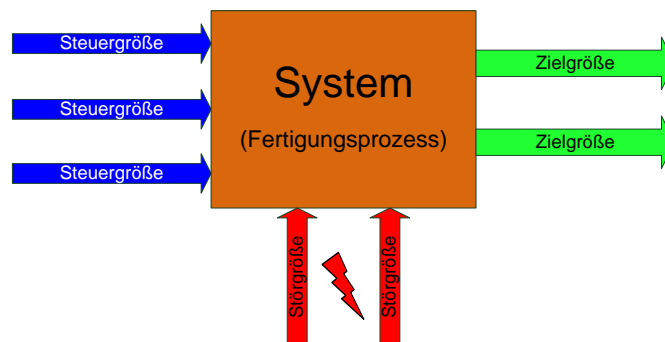


Abbildung 6: Systematische Darstellung des untersuchten Systems³⁹

Zielgrößen resultieren direkt aus dem Versuch und beschreiben das Ergebnis bzw. charakterisieren den Prozess. Sie können sowohl qualitative als auch quantitative Größen sein. In einem Versuch können mehrere Zielgrößen ermittelt werden.⁴⁰

Einflussgrößen können möglicherweise Versuchsergebnisse bzw. Zielgrößen beeinflussen. Sie werden weiter in Steuer- und Störgrößen unterteilt.⁴¹

Steuergrößen sind Einflussgrößen, welche von Seiten des Experimentators für den Versuch systematisch variiert und möglichst konstant auf einem Wert gehalten werden können.⁴²

³⁸ Vgl. Siebertz, Karl (2010), *Statistische Versuchsplanung*, S. 3.

³⁹ Vgl. Eigene Darstellung in Anlehnung an Siebertz (2010), *Statistische Versuchsplanung*, S. 3

⁴⁰ Vgl. Kleppmann, Wilhelm (2009), *Taschenbuch Versuchsplanung*, S. 10.

⁴¹ Vgl. *Ibid.*, S. 11.

⁴² Vgl. *Ibid.*, S. 11.

Störgrößen beinhalten alle nicht kontrollierbaren und aus Kostengründen nicht betrachteten Einflussgrößen. Sie können zu einer Verfälschung der Versuchsergebnisse führen und sollten, falls möglich, messtechnisch erfasst werden.⁴³

Faktoren sind diejenigen Einflussgrößen, die für die Versuchsdurchführung als wesentlich aussortiert wurden, dadurch in den Versuchsplan einfließen und variiert werden.⁴⁴ Im Rahmen des Versuchsumfangs ist es oft nicht möglich alle Einflussgrößen im Versuchsplan zu betrachten.

Faktorstufen sind die Anzahl der Werte-Einstellungen der Faktoren. Um Einflüsse der Faktoren zu bestimmen, müssen die einzelnen Faktoren mindestens zwei Stufen im Versuchsplan annehmen, also je Faktor zwei Einstellungen. Somit lassen sich lineare Zusammenhänge erfassen. Um quadratische Zusammenhänge erfassen zu können sind mindestens 3 Faktorstufen erforderlich.

Haupteffekte geben die Wirkung der einzelnen Faktoren auf das System bzw. den Zielgrößen wieder. Die Berechnung erfolgt dabei formal für einen Faktor, indem die Differenz der Faktorstufenmittelwerte zueinander errechnet wird. Der Effekt quantifiziert also die mittlere registrierte Veränderung des Qualitätsmerkmals, die beim Wechsel der Faktoreneinstellung von – nach + resultiert (vgl. Gleichung (1)).⁴⁵

Wechselwirkungseffekte treten dann auf, wenn eine Abhängig des Effekts eines Faktors von der Einstellung eines oder mehrerer anderer Faktoren abhängig ist.⁴⁶

Die Wechselwirkungseffekte berechnen sich durch die an der Wechselwirkung beteiligten gemittelten Differenzen der Einzelfaktoren(vgl. Gleichung (2)). Wechselwirkungen dritter- und höherer Ordnung sind in den meisten Prozessen nicht signifikant und können vernachlässigt werden.

⁴³ Vgl. *Ibid.*, S. 12.

⁴⁴ Vgl. *Ibid.*, S. 12.

⁴⁵ Vgl. Siebertz, Karl (2010), *Statistische Versuchsplanung*, S. 12.

⁴⁶ Vgl. *Ibid.*, S. 15.

Beispiel eines 2²-Versuchsplanes

Anhand des anschließenden kleinen Beispiels soll der Aufbau eines einfachen 2²-Versuchsplanes und die grundsätzliche Vorgehensweise vorgestellt werden. Es handelt sich hierbei um einen Versuchsplan für zwei Faktoren mit jeweils zwei Faktorstufen. Abbildung 7 zeigt die Versuchsfläche mit den Versuchseckpunkten. Das „+“ und „-“ steht für die obere und untere Einstellung eines Faktor im Versuchsplan (vgl. Tabelle 3).

System Nr.	Faktoren		Zielgröße Y _i
	A	B	
1	-	-	Y ₁
2	+	-	Y ₂
3	-	+	Y ₃
4	+	+	Y ₄

Tabelle 3: Versuchsplan für 2 Faktoren mit 2 Faktorstufen

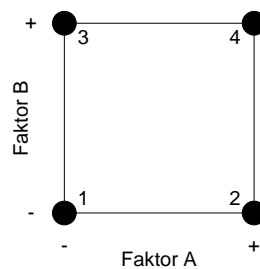


Abbildung 7: Versuchsraum eines 2²-Versuchsplanes⁴⁷

Aus den Ergebnissen „Y_i“, welche hier nur für eine einmalige Wiederholung stehen, kann man die Hauptwirkungs- und Wechselwirkungseffekte errechnen:

$$\text{Effekt A} = \frac{Y_2 + Y_4}{2} - \frac{Y_1 + Y_3}{2} \quad (3)$$

$$\text{Effekt B} = \frac{Y_3 + Y_4}{2} - \frac{Y_1 + Y_2}{2} \quad (3)$$

$$\text{Effekt AB} = \frac{Y_4 - Y_3}{2} - \frac{Y_2 - Y_1}{2} \quad (4)$$

⁴⁷ Eigene Darstellung

Aus einem Versuchsplan, wie der in dem eben vorgestellten Beispiel, ist es möglich für alle Bereiche im Versuchsraum die linearen Zusammenhänge und Zielgrößen zu bestimmen. Die weiterführende, grafische Auswertung wird in dem Kapitel 2.4.5 vorgestellt.

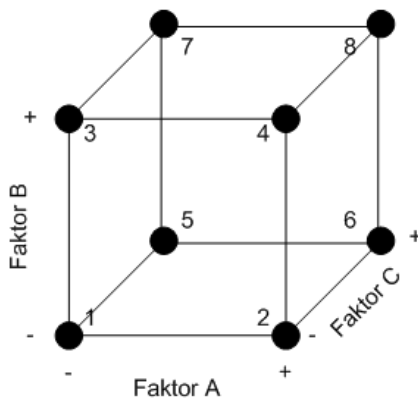
2.4.2 Versuchspläne

Für einen Experimentator gilt es aus einer Vielzahl von Standard-Versuchsplänen einen geeigneten zu auswählen. Je nach Versuchsziel und Ausgangssituation gibt es mehr oder weniger geeignete Versuchspläne. Jeder Typ von Versuchsplan hat dabei seine spezifischen Stärken und Schwächen. Im Folgenden werden die wichtigsten DoE-Versuchspläne und deren Anwendungsgebiete vorgestellt.

Vollfaktorielle 2^k Versuchspläne bilden die Grundlage vieler anderer Versuchspläne und können durch ihre zwei Einstellungen je Faktor an den Grenzen des K-dimensionalen Raumes ein lineares Verhalten abbilden. In diesem Versuchsplan werden zudem alle möglichen Faktorkombinationen berücksichtigt und durchgeführt, wodurch die Auswertung von Wechselwirkungseffekten höherer Ordnungen möglich wird. Nachteile der vollfaktoriellen 2^k -Versuchspläne sind vor allem, dass mit ihnen keine Krümmungen dargestellt werden können und ein hoher Versuchsumfang, aufgrund der vielen Versuchspunkte, resultiert.⁴⁸

Die Anzahl der Versuchspunkte bestimmt sich aus der Formel 2^k , wobei k die Anzahl der Faktoren darstellt. Ein Versuchsplan mit 5 Faktoren hätte demnach $2^5=32$ Versuchspunkte. Eine grafische Darstellung des Versuchsraumes ist nur bei Versuchsplänen mit maximal 3 Faktoren möglich, wie es die Abbildung 8 darstellt ist. Tabelle 4 zeigt exemplarisch den Aufbau eines vollfaktoriellen 2^k -Versuchsplans. Die Erweiterung des Versuchsplanes mit je einem Faktor führt zu einer Verdopplung der Faktorkombinationen.

⁴⁸ Klein, Bernd (2007), *Versuchsplanung - DoE*, S. 141.

Abbildung 8: Versuchsraum eines 2^3 -Versuchsplans⁴⁹

2 ⁵ -Plan					
2 ⁴ -Plan					E
2 ³ -Plan				D	
2 ² -Plan			C		B
Exp.	A	B		C	
1	-	-	-	-	-
2	+	-	-	-	-
3	-	+	-	-	-
4	+	+	-	-	-
5	-	-	+	-	-
6	+	-	+	-	-
7	-	+	+	-	-
8	+	+	+	-	-
9	-	-	-	+	-
10	+	-	-	+	-
11	-	+	-	+	-
12	+	+	-	+	-
13	-	-	+	+	-
14	+	-	+	+	-
15	-	+	+	+	-
16	+	+	+	+	-
17	-	-	-	-	+
18	+	-	-	-	+
19	-	+	-	-	+
...
32	+	+	+	+	+

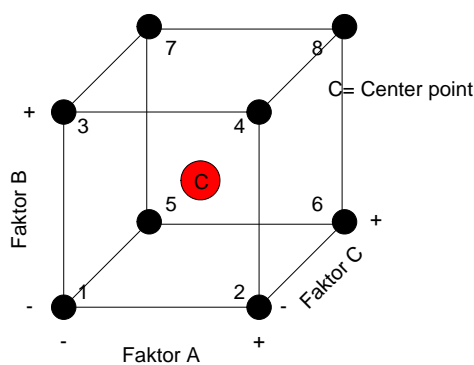
Tabelle 4: Aufbau von 2^k -Versuchen⁵⁰

Teilfaktorielle 2^{k-p} Versuchspläne, welche auch Screening- oder fraktionell faktorielle Versuchspläne genannt werden, sind zur Reduzierung von Versuchsumfängen sehr hilfreich. Mit zunehmender Anzahl von Faktoren werden vollfaktorielle Versuchspläne, auf Grund des großen Versuchsumfangs, schnell nicht mehr handhabbar. Beispielsweise hat ein vollfaktorieller Versuchsplan mit neun Faktoren 512 Kombinationsmöglichkeiten und damit ebenso viele Versuchspunkte. Ein Versuchsplan nach 2^{9-2} besitzt z.B. nur 128 Versuchspunkte. Bei den teilfaktoriellen Versuchsplänen wird auf die Auswertung von Wechselwirkungen höherer Ordnungen verzichtet, weil diese in der Regel keine Signifikanzen aufweisen und dafür weitere Faktoren im Versuchsplan integriert werden können.⁵⁰ Deshalb sind diese Versuchspläne besonders dafür geeignet, um mit wenigen Versuchen möglichst viele Faktoren und deren Haupteffekte zu untersuchen. Bei der Wahl eines Versuchsplans ist darauf zu achten, dass dieser für die Versuchsanforderungen eine geeignete Auflösung besitzt. Die Auflösung ist ein Maß für die Vermengungen der Wechselwirkungseffekte untereinander und zu den Haupteffekten. Tabellenwerke hierfür sind im Anhang A3 hinterlegt.

⁴⁹ Eigene Darstellungen⁵⁰ Klein, Bernd (2007), *Versuchsplanung - DoE*, S. 144f.

Zentralpunktversuche ermöglichen es, aufbauend auf voll- oder teilfaktoriellen Versuchsplänen, nichtlineare Zusammenhänge zu entdecken. Durch die Einbringung eines Zentralpunktes (CP = Center Point) in den Versuchsplan erfolgt eine dreistufige Variation der Faktoren, wodurch nun die Stärke einer Nichtlinearität geprüft werden kann.⁵¹ Eine genaue Auswertung der Nichtlinearität kann anhand eines Zentralpunktes nicht ausgeführt werden, da die Krümmungen nur verzerrt dargestellt werden.

Der Zentralpunkt bildet oftmals die Ausgangseinstellung einer Versuchsreihe, um in dessen unmittelbaren Umfeld dann optimierende Parameterstellungen zu untersuchen und zu finden. In Versuchsplänen erhält ein zentral angeordneter Faktor die Benennung „0“.



System Nr.	Faktoren		
	A	B	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+
9	0	0	0

Center Point

Abbildung 9: 2³-Versuchsraum mit CP⁵²

Tabelle 5: 2³- Versuchsplantabelle mit CP

Sternpunktversuche ermöglichen eine genauere Auswertung des nichtlinearen Verhaltens als Versuche mit nur einem Zentralpunkt. Die Sternpunkte sind bei einem solchen Versuch sternförmig um den Center Point positioniert, und können innerhalb oder außerhalb des Versuchsraumes liegen. Liegen die Versuchspunkte direkt an den Grenzen, also mittig auf den Flächen, so wird von einem Wirkungsflächenversuchsplan gesprochen. Auch diese Versuchspläne bauen auf vollfaktoriellen oder teilfaktoriellen Versuchsplänen, mit einer Auflösung von mindestens „V“, auf.⁵³

⁵¹ Vgl. *Ibid.*, S. 150.

⁵² Eigene Darstellung

⁵³ Vgl. Kleppmann, Wilhelm (2009), *Taschenbuch Versuchsplanung*, S. 198.

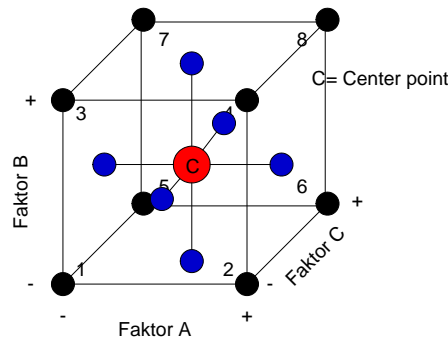


Abbildung 10: 2^3 -Versuchsraum mit CP und Sternpunkten⁵⁴

Vollständige 3^k Versuchspläne enthalten alle drei Faktorstufenkombinationen und sind deshalb ideal um nichtlineare Zusammenhänge zu untersuchen. Nachteilig ist jedoch, dass die Faktorstufenkombinationen der k Faktoren sehr schnell mit der Anzahl der Faktoren zunehmen.⁵⁵ Ein Versuchsplan mit 5 Faktoren hat, im Vergleich zu einem 2^5 - Versuchsplan mit 32 Kombinationen, 243 Kombinationsmöglichkeiten. Um Versuchsumfänge zu reduzieren gibt es hier auch die Möglichkeit auf 3^{k-p} Versuchspläne zurückzugreifen.

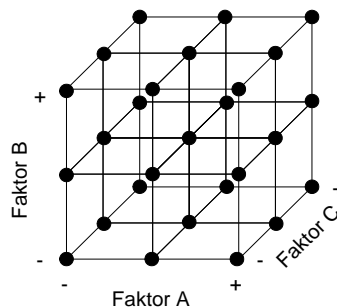


Abbildung 11: 3^k -Versuchsraum⁵⁶

Im Folgenden sind Taguchi-, Box Behnken-, Pocklett-Burman- und D-optimale Design Pläne weitere geläufige Standard-Versuchspläne. Mit ihnen lassen sich für spezielle Anwendungsfälle, wie zum Beispiel die Optimierung von Streuungen, die Auslegung robuster Prozesse oder ein schnelles Erkennen der maßgeblichen Faktoren, einfache und kleine

⁵⁴ Vgl. Eigene Darstellung

⁵⁵ Vgl. Kleppmann, Wilhelm (2009), Taschenbuch Versuchsplanung, S. 212.

⁵⁶ Eigene Darstellung

Versuchspläne realisieren. Sie werden an dieser Stelle nicht weiter vorgestellt, da diese Versuchspläne sich für das Untersuchungsziel dieser Arbeit nicht eignen.

2.4.3 Statistische Grundlagen

In diesem Kapitel soll der Leser in die statistischen Grundlagen eingeführt werden, welche für die Auslegung und Durchführung der DoE-Versuche von essentieller Bedeutung sind.

Trotz gleicher Versuchsbedingungen werden bei Wiederholungen eines Experiments die Ergebnisse immer kleine Unterschiede aufweisen. Diese können z.B. aus nicht beeinflussbaren und zufällig entstehenden Störgrößen resultieren. Da die Effekte aus streuenden Ergebnissen errechnet werden, streuen auch die Effekte.

Der Begriff „statistische Signifikanz“ beschreibt den Sachverhalt, wenn ein Ergebnis nicht zufällig aufgrund der Streuung entsteht, sondern tatsächlich vorhanden ist.

„Ist der Effekt größer als seine Zufallsstreuung (formal: die Breite seines Vertrauensbereiches), so nennt man ihn „signifikant“ - man ist überzeugt, dass der Effekt echt ist. Ist er kleiner als seine Zufallsstreuung, so nennt man ihn „nicht signifikant“⁵⁷

Um einen echten signifikanten Unterschied in einer Versuchsreihe festzustellen, müssen gewisse statistische Grundvoraussetzung gegeben sein und Bedingungen gesetzt werden. Im Folgenden werden diese, neben den Grundlagen die zur Auswertung nötig sind, kurz erläutert.

Die Abbildung 12 zeigt den Graphen eines normalverteilten Stichprobenumfangs. Die Normalverteilung von Ergebnissen ist eine Voraussetzung zur Auswertung einer DoE.

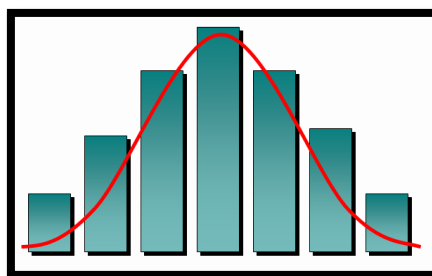


Abbildung 12: Histogramm einer Normalverteilung⁵⁸

⁵⁷ Kleppmann, Wilhelm (2009), Taschenbuch Versuchsplanung, S. 36.

Der Mittelwert, oder auch arithmetisches Mittel genannt, ist die Summe aller Werte geteilt durch die Anzahl der Messwerte und berechnet sich aus (5).

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (5)$$

Die Varianz ist ein Maß dafür, in wie weit die einzelnen Werte vom Mittelwert quadratisch abweichen, oder anders ausgedrückt, wie weit ein Messwert vom Mittelwert streut. Die Rechnung der Varianz erfolgt nach (6)

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (6)$$

Die Quadratwurzel der Varianz ergibt die Standardabweichung und bietet eine andere Möglichkeit Streuungen anzugeben (7).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (7)$$

Varianz und Streuungen werden mit dem griechischen Formelzeichen σ^2 bzw. σ bezeichnet, wenn diese die Grundgesamtheit widerspiegeln.

Durch den Mittelwert und die Standardabweichung ist die Bestimmung der Normalverteilungskurve möglich. Der Mittelwert befindet sich genau am Maximum der Kurve, die Standardabweichung gibt den Kurvenverlauf vor. Die Fläche der Kurve stellt die hundertprozentige Anzahl der Werte dar. Die Abbildung 13 zeigt an, welche prozentualen Summen für die Werte zwischen unterschiedlichen Standardabweichungen liegen. Es liegen beispielsweise 95 % aller Werte zwischen -2σ und $+2\sigma$.

⁵⁸ Autoliv B.V. & Co. KG, *Beschreibende Statistik*, S. 1

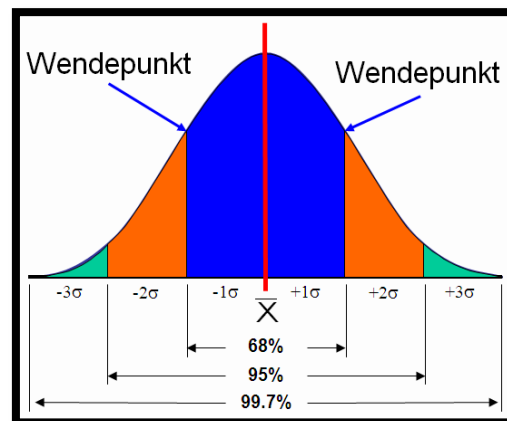


Abbildung 13: Normalverteilungskurve mit σ -Level⁵⁹

Vor einem Versuch gilt es den Vertrauensbereich festzulegen. Es bestimmt zum einen die Qualität der Ergebnisse, zum anderen nimmt es Einfluss auf den Versuchsumfang. Der Vertrauensbereich baut auf zwei Hypothesen und dessen Fehlerarten auf:

- Nullhypothese (H_0): besagt, dass kein Unterschied vorliegt.
- Alternative Hypothese (H_a): besagt, dass ein Unterschied vorliegt.
- Fehler 1. Art: H_0 wird abgelehnt, obwohl H_0 vorliegt (z.B. wird auf Rauschen reagiert).
- Fehler 2. Art: H_0 wird nicht abgelehnt, obwohl H_0 falsch ist (Ein echter Unterschied wird fälschlicherweise als Rauschen angenommen).

Der Fehler 1. Art wird als α -Fehler bezeichnet und sollte vor einem Test vereinbart werden. Der β -Fehler ist die Bezeichnung für den Fehler 2. Art und wird durch die Art des Tests und des Stichprobenumfanges bestimmt. Um eine Aussage anzugeben mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Effekt festzustellen ist, kann aus dem β -Fehler die Power des Tests errechnet werden (8).⁶⁰

$$\text{Power} = 1 - \beta \quad (8)$$

In den meistens Tests wird eine Power von 0,85 bis 0,95, also 85% bis 95%, verwendet.⁶¹

Bei statistischer Auswertungssoftware werden Wahrscheinlichkeiten, mit denen Werte als Signifikant anzunehmen sind, durch den P-Wert beschrieben. Auch der P-Wert ist eine Zahl

⁵⁹ Autoliv B.V. & Co. KG Schließende Statistik, S. 30

⁶⁰ Vgl. Autoliv B.V. & Co. KG (2011), Schließende Statistik, S. 17–27

⁶¹ Vgl. Ibid., S. 28.

zwischen null und eins, wird aber direkt aus der Stichprobe bestimmt. Ist der P-Wert $< \alpha$ -Wert, dann ist die Nullhypothese zugunsten der alternativen Hypothese abzulehnen. Bei einem P-Wert $> \alpha$ -Wert ist die Nullhypothese anzunehmen.⁶²

Die Qualität der Versuchsergebnisse kann auch durch den Wert „R-QD“ beschrieben werden. Um eine statistische ausreichend gesicherte Regressionsanalyse zu erreichen, sollte R-QD möglichst über 70% liegen (Standard bei Autoliv). Damit wird ausgesagt, dass die Variation der Ergebnisse von x% aus den Faktoren resultiert. Die restlichen Variationen sind durch unbekanntem Faktoren bzw. Störgrößen verursacht.

Die Beschreibung von statistischen Auswertungsmethoden wird im Kapitel 2.4.5 erläutert.

2.4.4 Modellierung eines statistischen Versuchsplans

Im Vorfeld eines Versuches gilt es die versuchsrelevanten Faktoren und die Faktoreinstellungen festzulegen. Dieses fordert vorab vom Experimentator eine gewisse Grundkenntnis über das Produkt oder dem Prozess, um so relevante oder wichtige Parameter von Unbedeutenden zu trennen. Sind die Faktoren mit ihren Faktorstufen festgelegt und ein geeigneter Versuchsplan ausgewählt, gibt es die Möglichkeit mit einfachen Methoden die Qualität der erwartenden Ergebnisse zu steigern.

Die Anzahl der Realisierungen kann auf unterschiedliche Weisen festgelegt werden. Statistische Auswertungssoftware besitzen häufig mehrere Methoden um Stichprobenumfänge abzuschätzen. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wurde der t-Test in Minitab zur Verwendung gezogen.

Bei hohen Versuchsumfängen ist es oft nicht möglich diese innerhalb eines Tages abuarbeiten. Beispielsweise ist es möglich, dass man wegen mangelnder Kapazitäten alle Versuche nicht an einer Produktionsstätte durchführen kann oder auf unterschiedliche Teilechargen zurückgreifen muss. Um die hier wohlmöglich entstehenden systematischen Fehler für die Effekte entdecken und ausschließen zu können, kann man auf eine Blockbildung zurückgreifen. Die Blöcke sollten zueinander, in Bezug auf die Einzelversuche, ausgewogen oder besser identisch sein. Damit ist es möglich die Blöcke gegeneinander

⁶² Vgl. *Ibid.*, S. 29.

auszuwerten und systematische Fehler, welche die Zufallsstreuung negativ beeinflussen, zu eliminieren.⁶³

Das Randomisieren eines Versuchsplans hat zur Folge, dass zeitlich abhängige Störgrößen, wie z.B. Temperaturen oder Werkzeugabnutzung in einem Prozess, geglättet und dadurch zeitlichen Verfälschungen entgegengewirkt wird.⁶⁴ Dazu wird bei der Randomisierung die Reihenfolge einer Versuchsreihe mittels Zufallsgeneratoren zufällig angeordnet.

Im Idealfall sollten Blockbildung und Randomisierung in Kombination eingesetzt werden, indem jeder Block randomisiert wird. Dadurch erhält man eine optimale Absicherung gegen Verfälschungen der Versuchsergebnisse. Mit der Blockbildung erhält man eine Absicherung gegen kontrollierbare Veränderungen, mit der Randomisierung gegen nicht kontrollierbare Veränderungen.⁶⁵

2.4.5 Statistische Auswertung mit Minitab 15

Minitab 15 ist eine statistische Auswertungssoftware mit grafischer Benutzeroberfläche des US-Softwareherstellers Minitab Incorporated. Die Software ermöglicht es, statistische Daten zu analysieren und auf unterschiedliche Weisen grafisch darzustellen. Im Zuge der Six Sigma und TQM Strategien wurde Minitab eines der wichtigsten Software-Tools, um Verbesserungen in Unternehmen zu erreichen. Die Integration des DoE-Moduls, womit sich Versuchspläne modellieren und auswerten lassen, macht diese Software im Rahmen der Produktentwicklung und Prozessverbesserungen besonders interessant. Minitab 15 bietet eine Fülle an Werkzeugen, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht alle vorgestellt werden können. Im Anschluss werden die Funktionen genauer erläutert, die für den Umfang dieser Arbeit von Bedeutung sind.

In Minitab 15 werden Daten in den Fenstern „Arbeitsblätter“ abgelegt. Das Fenster „Session“ zeigt den Verlauf der Auswertungsmethoden an und enthält die Ergebnisse der Auswertungen. Grafiken werden in neuen Fenstern geöffnet. Im Ordner „Projektmanager“ kann man die Struktur seines Projektes einsehen und bearbeiten. In der Menüleiste sind

⁶³ Vgl. Kleppmann, Wilhelm (2009), *Taschenbuch Versuchsplanung*, S. 27.

⁶⁴ Vgl. Siebertz, Karl (2010), *Statistische Versuchsplanung*, S. 87.

⁶⁵ Vgl. Kleppmann, Wilhelm (2009), *Taschenbuch Versuchsplanung*, S. 28.

unter „Berechnen“, „Statistik“ und „Grafiken“ die wichtigsten Funktionen zur Analyse und Auswertung zu finden.

Für die Modellierung eines Versuchsplanes ist es zunächst erforderlich den Stichprobenumfang zu ermitteln, also somit die Anzahl der Wiederholungen der Versuche. Dieses setzt das Kennen der Standardabweichung voraus. Unter dem Menüleisten-Pfad „Statistik → Trennschärfe und Stichprobenumfang → 2-stufiger faktorieller Versuchsplan“ wird, mit Hilfe der Information über die Standardabweichung, die erforderliche Anzahl der Replikationen und die gesamte Versuchsmenge ermittelt. Zur Ermittlung müssen zusätzlich die Felder für α -Fehler, Versuchs-Power und die geforderte erkennbare Differenz für Effekte ausgefüllt werden.

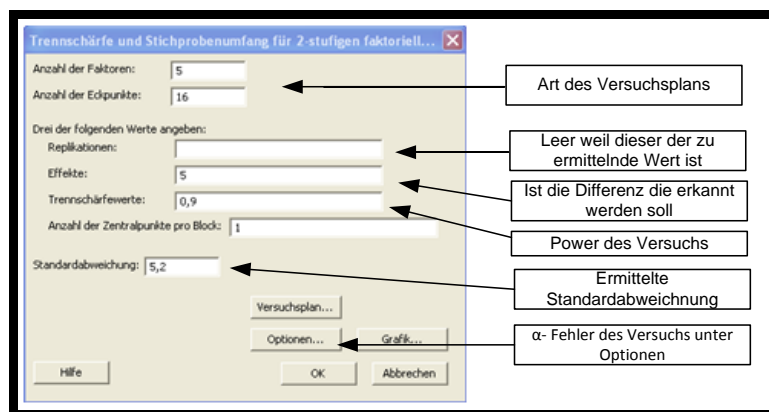


Abbildung 14: Bestimmung des Stichprobenumfangs⁶⁶

Im Folgenden kann ein Versuchsplan in Minitab 15 modelliert werden. Minitab bietet die Möglichkeit auf die wichtigsten Standardversuchspläne zurückzugreifen, diese benutzerspezifisch zu modifizieren, oder aber auch eigene Pläne zu generieren.

Die zur Auswertung im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Analyse- und Auswertungswerkzeuge sind die Residuenanalyse mittels Wahrscheinlichkeitsnetze, Streudiagramme, die Varianzanalyse, Haupt- und Wechselwirkungseffektdiagramme, Balkendiagramme, Fitted-Line-Diagramme, Boxplots, Wirkungsflächen- und Konturdiagramme sowie die Zielgrößenoptimierung.

⁶⁶ Eigene Darstellung

Wahrscheinlichkeitsnetz: Mit Wahrscheinlichkeitsnetzen können einerseits die Ergebnisse eines Versuchs auf eine Normalverteilung geprüft werden, andererseits Ausreißer schnell und effizient ermittelt werden. Eine Gerade bildet im Wahrscheinlichkeitsnetz den Kurvenverlauf der Normalverteilung ab. Der lineare Kurvenverlauf wird durch die Umskalierung der %-Achse (Y-Achse) generiert. Um auf eine Normalverteilung der Messdaten zu schließen, sollten alle Messergebnisse folglich unmittelbar auf der Geraden liegen. Bilden die Messwerte einen gekrümmten Verlauf ab, so sind die Daten nicht normalverteilt.

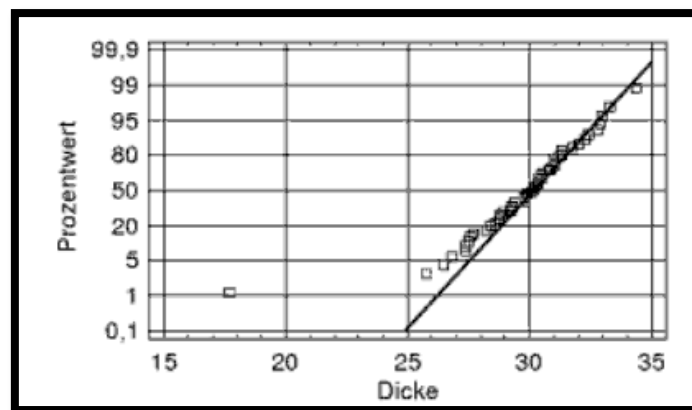


Abbildung 15: W-Netz eines normalverteilten Stichprobenumfangs⁶⁷

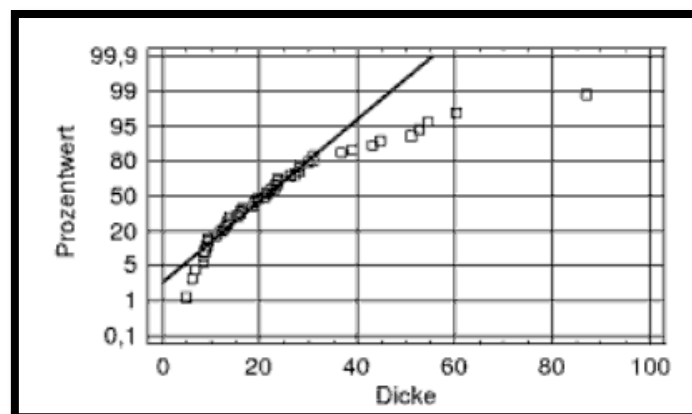


Abbildung 16: W-Netz eines nicht normalverteilten Stichprobenumfangs⁶⁸

⁶⁷ Kleppmann, Wilhelm (2009), *Taschenbuch Versuchsplanung*, S. 69

⁶⁸ *Ibid.*, S. 69.

Haupteffekt- und Wechselwirkungseffektdiagramme: Mithilfe dieser Diagramme lässt sich grafisch darstellen, welcher Effekt aus der Veränderung einer Faktorstufe resultiert. In den Haupteffektdiagrammen wird in jedem Fenster eine Kurve dargestellt, bei Wechselwirkungseffekten mehrere. Wechselwirkungseffekte machen sich dadurch bemerkbar, dass die Linien nicht parallel zueinander laufen. Die Differenz der Steigungen ist ein Maß für die Wechselwirkung.

Boxplots: Dieser Typ von Visualisierung wird verwendet, um die statistische Verteilung von Daten schnell und übersichtlich darzustellen. Es sind viele Informationen in gebündelter Form in dem Boxplot enthalten. Boxplot-Diagramme eignen sich besonders für vergleichende Beurteilungen von Merkmalsausprägungen.⁶⁹ Der Kasten spiegelt 50% der Ergebnisse wieder, die restlichen Ergebnisse werden mit jeweils 25% oberhalb und unterhalb der Box angeordneten Whiskers (Linien) beschrieben. Sternchen visualisieren die Ausreißer.⁷⁰

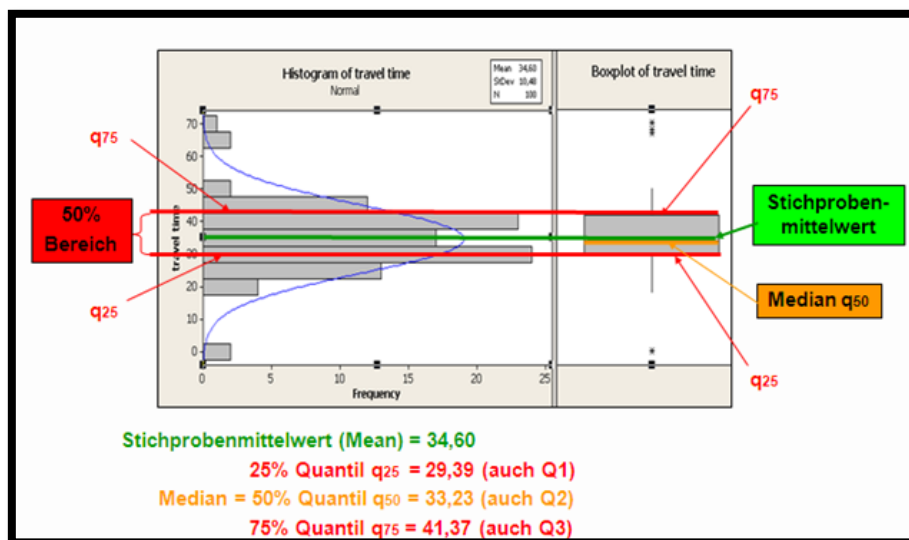


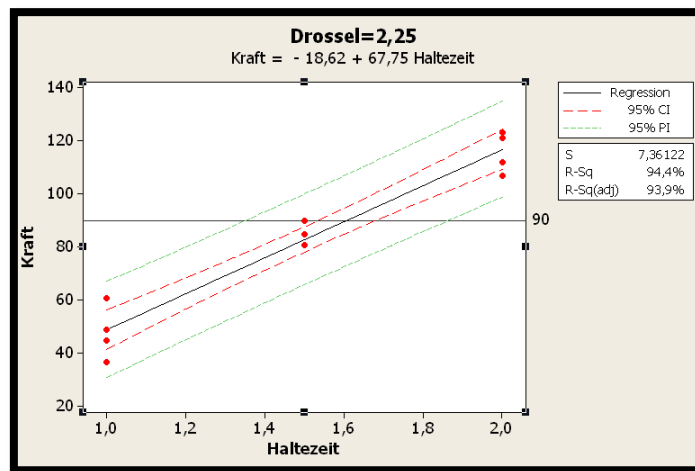
Abbildung 17: Beschreibung eines Boxplot⁷¹

Fitted-Line-Diagramme: Mit diesen Diagrammen können Zielgrößen in Abhängigkeit von den Streuungen dargestellt werden. In dem rot gestrichelten Bereich wird die Streuung für den Mittelwert des Stichprobenumfangs zur Grundgesamtheit dargestellt. Die gestichelten grünen Linien begrenzen den Bereich der Streuung für die Einzelwerte.

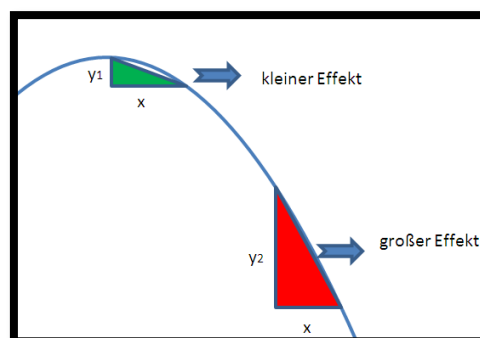
⁶⁹ Vgl. Dietrich, Edgar, (2009), *Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation*, S. 97.

⁷⁰ Vgl. Autoliv B.V. & Co. KG (2011), *Einführung in die grafische Auswertung mit Minitab*, S. 20.

⁷¹ Autoliv B.V. & Co. KG, *Einführung in die grafische Auswertung*, S. 17.

Abbildung 18: Fitted-Line-Diagramm⁷²

Zielgrößenoptimierung: Für die Zielgrößenoptimierung gibt es in Minitab ein eigenes Modul, mit dem man optimale oder vorteilhafte Parametereinstellungen ermitteln kann. Es besteht dabei die möglich auf ein Minimum, ein Maximum oder auf einen festgelegten Wert hin Optimierung durchzuführen. Eine Optimierung für Faktoreinstellungen die zwischen den eigentlichen Faktorstufen liegen, setzt eine bestimmte Qualität der Ergebnisse und einen geeigneten Aufbau des Versuchsplans voraus. Für quadratische Zusammenhänge ist es z.B. erforderlich, dass mehr als zwei Faktorstufen in den Versuchsplan integriert werden. Mit einem flächenzentrierten Versuchsplan ist es möglich auch zwischen den eigentlichen Faktorstufen optimierende Einstellungen vorzunehmen. Zusätzlich werden die Graphen der Einstellungen in dem Zielgrößenoptimierer angezeigt. Dies bietet den Vorteil, dass so Einstellungen für Faktoren gewählt werden können, die sich durch Einstellungstoleranzen (z.B. Spiel in Stellschrauben oder Betriebsdruckschwankungen) nur unbedeutend auf die Zielgrößen auswirken (vgl. Abbildung 19).

Abbildung 19: Steigung- Effekt- Abhängigkeit⁷³⁷² Eigene Darstellung

2.5 Sensoren, Maschinenelemente und Messtechnik

Bei Autoliv werden Sensoren in Maschinen und Anlagen in sogenannte Prüfsensoren, die das Überwachen von Qualitätsmerkmalen des Produktes sicherstellen, und prozessabhängige Sensoren, welche eine gewisse Abfolge des Prozesses sicherstellen, unterteilt. Prüfsensoren müssen über die SPS der Maschine überwacht sein und werden fortlaufend auf ihre Funktion geprüft.

Zusätzlich werden bei der täglichen Maschinenabfrage die Sensoren, die für die Sicherstellung der Produktqualität relevant sind, auf eine korrekte Einstellung hin getestet. Dafür werden spezielle Prüfteile, welche unterschiedliche qualitätsrelevante Merkmalsausprägungen aufweisen, definiert. Die tägliche Maschinenabfrage wird im 24-Stunden Takt entweder nach einem Anschalten der Anlagen oder durch ein zwischenzeitliches Rüsten automatisch angefahren.

Sensoren die bei Autoliv in Anlagen verwendet werden dürfen sind in der Betriebsmittelverordnung (BMV)⁷⁴ und im European Manufacturing Standard (EMS)⁷⁵ beschrieben. Damit ist es leicht, einen relativ überschaubaren und kostengünstigen Bestand an Austauschsensoren und -geräten zu pflegen. Da diese ständig bereit vorliegen, kann bei defekten Maschinenbauteilen schnellstmöglich reagiert und der Maschinenausfall behoben werden, ohne von den Lieferzeiten des Lieferanten abhängig zu sein.

Bei Autoliv müssen Sensoren die Fähigkeit besitzen auf den Faktor zehn genauer zu messen, als die aus dem Prozess geforderte Messdifferenz. Im Folgenden werden Maschinenelemente und Sensortypen beschrieben, die während dieser Arbeit tangiert wurden.

SPS-Steuerung: SPS steht für speicherprogrammierbare Steuerung und gilt als Kernstück der Automatisierungstechnik. Mit SPS-Steuerungen können Automatisierungsaufgaben, wie Steuern, Regeln, Rechnen, Bedienen, Beobachten, Melden und Protokollieren, wirtschaftlich und effizient ausgeführt werden.⁷⁶ Bei neueren Autoliv Anlagen werden alle automatischen Prozesse durch eine SPS gesteuert.

⁷³ Eigene Darstellung

⁷⁴ Gültigkeitsbereich der Betriebsmittelvorschrift „BMV“ ist für ANG

⁷⁵ Gültigkeitsbereich der EMS ist für AEU

⁷⁶ Vgl. Wellenreuther, Günter (1998), *Steuerungstechnik mit SPS*, S. 1.

Pneumatikzylinder: Diese Zylinder sind durch Luftdruck gesteuert und gibt es in verschieden Bauformen (z.B. Kolbenzylinder und Linearführungen). Weiter werden die Zylinder in einfachwirkende und doppelwirkende unterteilt. Bei einfachwirkenden Zylindern wird nur in eine Richtung mittels Luftdruck verfahren. Entspannt sich der Luftdruck in der Zylinderkammer wieder, so verfährt der Zylinder über eine Feder zurück in die Ausgangsposition. Bei doppelwirkenden Zylindern werden beide Hubrichtungen durch Druckluft angesteuert. Die Tabelle im Anhang A4 fasst die Kräfte für unterschiedliche Zylinderquerschnitte in einer Übersicht zusammen.

Drosselrückschlagventile: Diese Art von Ventilen wird verwendet, um die Geschwindigkeit von Pneumatikzylindern zu drosseln. Das Drosselrückschlagventil drosselt den Durchgang der Druckluft in eine Richtung. In die entgegengesetzte Richtung erfolgt keine Drosselung.

Näherungsschalter: Diese Sensoren werden durch den Kolben im Pneumatikzylinder geschaltet, wenn dieser eine zuvor eingestellte Position erreicht. Näherungsschalter werden oft als Endlagensensoren der Pneumatikzylinder verwendet.

Wegmesssysteme: Wegmesssysteme geben Zahlenwerte für Distanzen wieder. Es gibt digitale und analoge Varianten dieses Messsystems.

Induktive Sensoren: Diese reagieren auf metallische Objekte durch den Aufbau eines Magnetfeldes.

Laser-Distanz Sensoren: Diese Sensoren eignen sich zur Abstandsmessung von Objekten. Die vom Messobjekt zurückreflektierenden Laserwellen werden ausgewertet und daraus auf die Entfernung des Messobjekts geschlossen. Durch die meisten Bauarten können unterschiedliche Signale für unterschiedliche Messabstandsbereiche wiedergegeben werden.

DMS Sensoren: Mit DMS Sensoren werden Zug/Druck Kräfte, Drehmomente und Biegungen gemessen. Sie basieren auf einem Dehnmessstreifen, der durch die Belastung ein sich veränderndes elektrisches Messsignal ausgibt. Aus dem Messsignal kann auf die Kraft geschlossen werden.

Auswertgerät „Digiforce 9306“- An diesem Auswertgerät können verschiedene Typen von Sensoren angeschlossen und Messungen durchgeführt werden. Das Auswertgerät verfügt, die Fähigkeit Messdaten auszuwerten und zu beurteilen. Es kann z.B. beurteilen ob ein Prozess in Ordnung (i.O.) oder nicht in Ordnung (n.i.O.) ist. Zudem ist eine Verknüpfung mit SPS-Steuerungen möglich. Solche Auswertgeräte werden bei Autoliv in Maschinen implementiert, wenn es um die Sicherstellung von kritischen Prozessen geht.

Die Auswertungssoftware „Digicontrol“ bildet eine Schnittstelle, um die Daten, Einstellungen oder Programme zwischen dem Auswertgerät und einem PC zu synchronisieren.

Im Anhang A5 werden die wichtigsten pneumatische Schaltsymbole dargestellt.

2.6 Anforderungen an das Produkt und die Prozesse

2.6.1 Gesetzliche Anforderungen

Zur nachhaltigen Verbesserung der Straßensicherheit wurden verschiedene gesetzliche Verordnungen und Richtlinien erstellt. Für die Zulassung eines Sicherheitsgurtes gilt es die betreffenden Verordnungen und Richtlinien zu erfüllen. Für den europäischen Markt müssen die Anforderungen der Economic Commission for Europe (ECE) -Richtlinien erfüllt werden. Die ECE R14 beinhaltet Richtlinien zur Verankerung der Sicherheitsgurte, die ECE R16 Richtlinien für den Sicherheitsgurt selbst. Es werden z.B. Prüfungen, Tests und Anforderungen beschrieben, die zur Erfüllung der Regelung nachzuweisen sind.⁷⁷ Für den nordamerikanischen Markt sind die Regelungen der Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations (FMVSS) relevant. Die FMVSS 208 bis FMVSS 210 beinhalten Richtlinien für Sicherheitsgurte.

2.6.2 Kundenanforderungen

Die Kundenanforderungen werden größtenteils durch die gesetzlichen Regelungen und die Zertifizierung nach ISO/TS 16949 (vgl. Kapitel 2.3.2), die in der Automobilindustrie gefordert ist, gedeckt. Darüber hinaus werden weitere Anforderungen des Kunden, die z.B. das

⁷⁷ Vgl. UNECE (30.07.2011), ECE Regelungen, 2011

Design, die Art der Montage im Fahrzeug oder auch jeweilige Testverfahren betreffen, in den Qualitätsvorschriften festgehalten.

Anlässlich gleicher Interessenslagen vieler deutscher Automobilhersteller, haben diese sich zusammengeschlossen und eine einheitliche Regelung für Lieferanten beschlossen. Der „Arbeitskreis Liefervorschrift“, kurz AK-LV, beinhaltet die Bayerische Motorenwerke AG, Daimler AG, Audi AG, Volkswagen AG und Porsche AG. Die AK-LV 10 umfasst Regelungen und Prüfungen die Retraktoren betreffen. Neben der FMEA Bewertung und der Verwendung der SC-/ CC- Merkmale für besonders wichtige Spezifikationen, wird die Dokumentations- und Rückverfolgbarkeitspflicht für Einzelteile und Erzeugnisse beschrieben.

In Kundenaudits werden die Einhaltung und Erfüllung der Kundenanforderungen geprüft und Prozessfreigaben für die Serienproduktion der entsprechenden kundenspezifischen Produkte erteilt.

2.6.3 Sicherheitsanforderungen an die Betriebsmittel

Das Arbeitsschutzgesetz fordert die Einhaltung von Gesetzen und Unfallverhütungsmaßnahmen. Technische Regeln, der Stand der Technik und neue gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Arbeits- und Gesundheitsschutz sollen das Erreichen der Sicherheitsanforderungen unterstützen. Arbeitsplätze und Maschinen, die nicht den einschlägigen Vorschriften entsprechen, können zu Unfällen und Gesundheitsschädigungen führen. Neben Betriebsstörungen und Personalausfall ist außerdem mit straf- und haftungsrechtlichen Folgen zu rechnen.

Anlagen, die in der EG entwickelt und vertrieben werden, müssen die betreffenden Richtlinien der EG erfüllen. Die Konformität mit den Richtlinien wird durch das Anbringen des genormten CE-Zeichens auf den Produkten und Anlagen bestätigt. Die Richtlinie „2006 / 42 / EG“ ist die zurzeit bindende Regelung für alle Mitgliedstaaten der EG bzgl. Maschinen und deren Sicherheitsanforderungen. Die CE-Maschinenrichtlinie fordert potentielle Gefahren und deren Gegenmaßnahmen in der Betriebsanleitung zu dokumentieren. Die Richtlinie beinhaltet, neben der sicherheitsrelevanten Themen, auch Regelungen z.B. zur Beleuchtungen, für Materialien, der Handhabung und der Ergonomie.

Weiter sind neue Anlagen, mit einer Beteiligung von einer Sicherheitsfachkraft, dem Betriebsarzt und dem Betriebsrat, vor einer Inbetriebnahme sicherheitstechnisch abzunehmen. Der Sicherheitsaspekt muss durch regelmäßige Unterweisung und Sicherheitsschulungen des Personals weiter ausgebaut werden.

Weitere Anforderungen zur Arbeitssicherheit die im Detaillierungsgrad über den der „2006 / 42 / EG“ hinausgehen, diese ergänzen und die Umsetzung unterstützen, sind in jeweiligen EN ISO Normen festgehalten.

3 Ist-Zustand (Gesperrt)

3.1 Retraktoren (Gesperrt)

3.1.1 R230.2 LL – Retraktor (Gesperrt)

3.1.2 R230.2 LLA – Retraktor (Gesperrt)

3.2.3 R200.2 LL PPMI und R200.2 LLA PPMI – Retraktoren (Gesperrt)

3.2 Die Montagelinie „Multiline“ (Gesperrt)

3.2.1 Layout (Gesperrt)

3.2.2 Darstellung der Montagevorgänge an den Stationen (Gesperrt)

3.2.3 Sicherstellung der Produktqualität an der Multiline (Gesperrt)

3.3 Skipping of Station 10 (Gesperrt)

3.3.1 FMEA Bewertung von „Skipping of Station 10“ (Gesperrt)

3.3.2 Flow Chart und Simogramm der Station 20 (Gesperrt)

3.3.3 Ist-Prozesse und Kennzahlen (Gesperrt)

3.4 Stopfprozess an der Station 50.1 (Gesperrt)

3.4.1 FMEA Bewertung eines beschädigten Twinballclips (Gesperrt)

3.4.2 Prozessbeschreibung und relevante Parameter (Gesperrt)

4 Lösungsfindung und Versuchsdurchführung (Gesperrt)

4.1 Konzepterarbeitung zur Detektion von „Skipping of Station 10“ (Gesperrt)

4.1.1 Vier Grob-Konzepte und Vorschläge zur Detektion (Gesperrt)

4.1.2 Auswahl eines Konzepts (Gesperrt)

4.1.3 FMEA-Bewertung des Sollkonzepts (Gesperrt)

4.1.4 Ergonomische und taktzeittechnische Betrachtung des Sollkonzepts (Gesperrt)

4.1.5 Festlegen der Prüfkraft für den Prüfzylinder (Gesperrt)

4.1.6 Auswirkung der Prüfkraft auf die Abzugskraft (Gesperrt)

4.1.7 Erstellung des Lastenheftes für die Prüfstation (Gesperrt)

4.2 Konstruktive Modifizierung zur Optimierung des Stopfprozesses (Gesperrt)

4.2.1 Modifizierung des Twinballclips (Gesperrt)

4.2.2 Modifizierung der Rohrverjüngung (Gesperrt)

4.3 Durchführung der DoE (Gesperrt)

4.3.1 Versuchsaufbau (Gesperrt)

4.3.2 Vorversuche zur Spezifikationsauslegung (Gesperrt)

4.3.3 Erstellung des Versuchsplans (Gesperrt)

4.3.4 Analyse der Ergebnisse aus dem 2^{5-1} -Versuchsplan mit Center-Point (Gesperrt)

4.3.5 Erweiterung des Versuchsplans mit flächenzentrierten Sternpunkten (Gesperrt)

4.3.6 Eingrenzung des Versuchsraum und der Faktoren (Gesperrt)

4.3.7 Optimierungsgrad gegenüber der Voreinstellung (Gesperrt)

5 Auswertung und Beurteilung (Gesperrt)

5.1 „Skipping of Station 10“ (Gesperrt)

5.1.1 Beurteilung des Konzepts (Gesperrt)

5.1.2 Umsetzung des Konzepts (Gesperrt)

5.2 Stopfprozess an der Station 50.1 (Gesperrt)

5.2.1 Prozessbewertung der optimierenden Einstellung (Gesperrt)

5.2.2 Umsetzung und Re-Qualifizierung der Optimierung an der Station 50.1 (Gesperrt)

6 Zusammenfassung und Fazit

Das Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit, welches darin bestand die Produkt- und Prozessqualität der Montagelinie „Multiline“ zu optimieren, wurde hauptsächlich mit Werkzeugen des Six Sigma, Lean Production und des Qualitätsmanagements erreicht. Die Aufgabenfelder waren aus der Aufgabenstellung auf „Skipping of Station 10“ und den Stopfprozess an der Station 50.1 begrenzt.

Auf Basis einer ausführlichen Ist-Analyse wurden Soll-Konzepte für den Fehler „Skipping of Station 10“ erarbeitet. Zum besseren Verständnis des Stopfprozesses und der Validierung der Station 50.1 wurde eine DoE durchgeführt.

Das finale Konzept zur Detektion des Fehlers „Skipping of Station 10“ ist mittels der bei Autoliv standardmäßig verwendeten Methoden zur Konzipierung ausgearbeitet worden. Neben der Taktzeitanalyse war primär das Erreichen der FMEA-Anforderung das Ziel. Diese ist für die Zertifizierung der Linie seitens des Kunden ein entscheidender Faktor zur Prozessfreigabe. Die Risikoprioritätszahl konnte durch das Konzept von 432 auf 46 reduziert werden. Die Umsetzung und Integration der Prüfstation erfolgt zukünftig im Werk ALH, wird aber von der RPP R30 / R230 Plattform in ANG weiterhin betreut. Die Integration der Abfrage in einem vorhandenen Automatikprozess war zwar anzustreben und stellt prozesstechnisch die bestmögliche Lösung dar, ist jedoch aufgrund des Platzangebotes in den bereits vorhandenen Anlagen nicht möglich.

Für zukünftig neue Anlagen, die zudem in High-Cost-Standorten produzieren sollen, ist das Konzept keine ideale Methode zur Detektion des Fehlers, da hier die Taktzeit durch zusätzliche Handhabungen negativ beeinflusst wird. Hier wird die Empfehlung ausgesprochen, die Abfrage in einem vorhanden automatischen Prozess zu integrieren. Das Produktionskonzept Linie ist jedoch dafür ein entscheidender Faktor und erfordert deshalb spezifische Lösungen. Bei einem Linienkonzept mit Rabbit-Run und Chaku Chaku empfiehlt es sich die Abfrage innerhalb der Anlage zu integrieren, idealerweise in der Nebenzeit ablaufend um dadurch eine TPU Erhöhung auszuschließen. Für andere Konzepte auf Low-Cost Basis, welche z.B. für die Produktion in Niedriglohnländern ausgelegt werden, wäre aber auch die in dieser Arbeit konzipierte Methode interessant.

Anhand der weitreichenden Vorversuche im Labor für den Stopfprozess und der Durchführung der DoE an der Serien-Station 50.1, konnte eine günstige Einstellung zur Optimierung des Stopfprozess an der Station 50.1 realisiert werden. Zunächst wurden die Wirkungen der einzelnen Parameter auf den Stopfprozess aufgezeigt und analysiert. Im

Folgendes wurde die Stopfkraft auf die Vorgabe, die sich aus den Laborversuchen ergeben hat und von der Produkt-Konstruktion vorgegeben wurde, angepasst. Die theoretische Fehlerrate für das Brechen eines Twinballclips im Stopfprozess belief sich in der Ist-Situation noch auf 278.000 PPM. Die Fehlerwahrscheinlichkeit konnte im Rahmen dieser auf 750 PPM gesenkt werden. Nach der Einführung des neuen Twinballclips im vierten Quartal 2011, wird sich die Fehlerrate nochmal auf 0,0014712 PPM reduzieren. Resultierend aus diesem Fehler, ist dadurch mit nahezu keinem Qualitätsverlust und Ausschuss mehr zu rechnen.

Die Taktzeit wurde ebenfalls geringfügig um 0,3 Sekunden optimiert. Im Weiteren wurde eine bis dato nicht bekannte Fehlerquelle entdeckt und aufgezeigt, woraus ebenfalls n.i.O-Teile entstehen können. Dieser Fehler wird sogar unter Umständen in der Wertschöpfungskette gar nicht detektiert. Zur Abstellung dieser Fehlerquelle wurden zwei Vorschläge ausgearbeitet, von diesen eines in ALH umgesetzt werden soll.

Trotz einer strukturierten DoE ist die Validierung einer Anlage mittels der DoE sehr zeitaufwendig. Eine DoE macht Sinn, wenn keine anderen zeitsparenden Lösungen verfügbar sind. Jedoch ist die Validierung jeder Stopfanlage mittels einer so ausführlichen DoE nicht wirtschaftlich. In dieser Arbeit wurde die DoE durchgeführt, weil die Station 50.1 die erste ihrer Bauart mit zweistufigem Kraftniveau darstellt. Die Kenntnisse, die in Folge dieser Arbeit gewonnen wurden, gilt es auch auf zukünftige Stopfprozesse zu übertragen. Um eine sehr geringe Versuchsanzahl zu erhalten, sollten somit für neue Anlagen gleicher Bauart nur die Haltezeit und die Drosselstellung zur Optimierung analysiert werden.

Aufgrund von Versuchs- und Validierungsaufwand resultiert außerdem die Überlegung, den Stopfprozess auf eine andere konstruktive Methode zu realisieren. Für zukünftige Stopfprozesse, die ebenfalls über zwei Druckniveaus verfügen müssen, sollte das Prinzip einer Reihenschaltung von zwei Pneumatik-Zylindern in Erwägung gezogen werden. Damit wäre ein sofortiger und punktgenauer Übergang von einem Druckniveau auf das Andere realisierbar. In dem momentanen Stopfprozess ist der Übergang fließend und vom Weg bzw. der Zeit abhängig, wodurch ein enormer Validierungsaufwand entsteht. Durch die Trennung der Druckniveaus auf zwei unterschiedlich ausgelegte Pneumatikzylinder, würde die Validierung nahezu entfallen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Autoliv B.V. & Co. KG. *FMEA & Software Schulungsblock 1-Basis*. Elmshorn, 2008.

Autoliv B.V. & Co. KG. *Einführung in die grafische Auswertung mit Minitab*.
Schulungsunterlage. Elmshorn, 2011.

Autoliv B.V. & Co. KG. *Schließende Statistik: Hypothesentests*. Schulungsunterlage.
Elmshorn, 2011.

Autoliv INC. "Manufacturing Process Specification: AS 405." 2003.

Special Characteristics Classification - AS-52, 2010.

Autoliv INC. "Annual Report 2010: Making Driving Safer." 2011.

Autoliv INC. "Autoliv Production System: Booklet." 2011.

Bergmann, Rainer, and Garrecht, Martin. *Organisation und Projektmanagement*. 1st ed.
Heidelberg: Physica-Verl., 2008. <http://www.worldcat.org/oclc/254629113>.

Dickmann, Philipp, ed. *Schlanker Materialfluss mit Lean-production, Kanban und Innovationen*. 2nd ed. Berlin ;, Heidelberg: Springer, 2009.
<http://www.worldcat.org/oclc/298550562>.

Dietrich, Edgar, and Schulze, Alfred. *Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation: Mit 61 Tabellen*. 6th ed. München ;, Wien: Hanser, 2009.
<http://www.worldcat.org/oclc/403815986>.

Günther, H.-O. *Supply-chain-Management und Logistik: Optimierung, Simulation, Decision-Support*. Heidelberg: Physica-Verlag, 2005. <http://www.worldcat.org/oclc/60613336>.

Hering, Ekbert, Steparsch, Werner, and Linder, Markus. *Zertifizierung nach DIN EN ISO 9000: Prozessoptimierung und Steigerung der Wertschöpfung*. 2nd ed. Berlin ;, New York: Springer-Verlag, 1997. <http://www.worldcat.org/oclc/40486553>.

Kamiske, Gerd F., and Brauer, Jörg-Peter. "Qualitätsmanagement von A bis Z: Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagements." *Qualitätsmanagement von A bis Z* (2008). <http://www.worldcat.org/oclc/699218356>.

Klein, Bernd. *Versuchsplanung - DoE: Einführung in die Taguchi/Shainin-Methodik*. 2nd ed. München [u.a.]: Oldenbourg, 2007. <http://www.worldcat.org/oclc/255710965>.

Kleppmann, Wilhelm. *Taschenbuch Versuchsplanung: Produkte und Prozesse optimieren*. 6th ed. München [u.a.]: Hanser, 2009. <http://www.worldcat.org/oclc/643325994>.

- Kramer, Florian. *Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen: Biomechanik - Simulation - Sicherheit im Entwicklungsprozess ; mit 31 Tabellen*. 3rd ed. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2009, c 2009. <http://www.worldcat.org/oclc/276156589>.
- Linß, Gerhard. *Qualitätsmanagement für Ingenieure: Mit 158 Tabellen sowie einer CD-ROM, u.a. mit "Qualitätsmanagement-Handbuch", Glossar, zahlreichen Audit-Checklisten, Tools und Funktionen*. 2nd ed. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2005. <http://www.worldcat.org/oclc/62900526>.
- Matyas, K. *Taschenbuch produktionsmanagement: Planung und erhaltung optimaler produktionsbedingungen*. München: Hanser Verlag, 2001. <http://www.worldcat.org/oclc/464896993>.
- Rüschenschmidt, Heinz. *Ergonomie im Arbeitsschutz: Menschengerechte Gestaltung der Arbeit*. 2nd ed. Bochum: Verlag Technik und Information, 2004. <http://www.worldcat.org/oclc/60116058>.
- Schlick, Christopher. *Arbeitswissenschaft*. 3rd ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010a. <http://www.worldcat.org/oclc/530321815>.
- Schlick, Christopher. *Arbeitswissenschaft*. 3rd ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010b. <http://www.worldcat.org/oclc/530321815>.
- Schönsleben, Paul. *Integrales Informationsmanagement: Informationssysteme für Geschäftsprozesse ; Management, Modellierung, Lebenszyklus und Technologie*. 2nd ed. Berlin [u.a.]: Springer, 2001. <http://www.worldcat.org/oclc/248173898>.
- Siebertz, Karl, van Bebber, David Theo, and Hochkirchen, Thomas. *Statistische Versuchsplanung: Design of Experiments (DOE)*. 1st ed. Heidelberg, Dordrecht [u.a.]: Springer, 2010. <http://www.worldcat.org/oclc/650752402>.
- UNECE. "ECE Regelungen." 2011. <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB-LA/ece-regelungen.html?nn=58354#doc20394bodyText1>.
- Vahrenkamp, Richard. *Produktionsmanagement*. 6th ed. München: Oldenbourg, 2008. <http://www.worldcat.org/oclc/244081988>.
- Verband für Arbeitsgestaltung. *Grundlagen der Arbeitsgestaltung*. 2nd ed. München: Hanser, 1993. <http://www.worldcat.org/oclc/311712436>.
- Wellenreuther, Günter, and Zastrow, Dieter. *Steuerungstechnik mit SPS*. 5th ed. Braunschweig: Vieweg, 1998. <http://www.worldcat.org/oclc/66946249>.

Anhang (Gesperrt)