



in Kooperation  
mit




# Entwicklung einer Systematik zur Fehleranalyse in der Fertigung bei einem Sondermaschinenbauer

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Science (B.Sc.)“ im  
Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und  
Informatik, Fakultät für Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen  
Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Daniel Olivotti



Prüfer: Prof. Dr. Hans-Jörg von Mettenheim

Betreuer: Dipl.-Ing. Dirk Telsemeyer

Hannover, den 30. März 2015

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Abbildungsverzeichnis                                                              | III       |
| Tabellenverzeichnis                                                                | IV        |
| Abkürzungsverzeichnis                                                              | V         |
| Symbolverzeichnis                                                                  | VI        |
| <b>1 Einleitung</b>                                                                | <b>1</b>  |
| 1.1 Motivation und Relevanz . . . . .                                              | 1         |
| 1.2 Zielsetzung . . . . .                                                          | 2         |
| 1.3 Struktur und Methodisches Vorgehen . . . . .                                   | 3         |
| <b>2 Theoretische Grundlagen</b>                                                   | <b>5</b>  |
| 2.1 Definition wichtiger Begriffe . . . . .                                        | 5         |
| 2.1.1 Qualitätsbezogene Begriffe . . . . .                                         | 5         |
| 2.1.2 Managementbezogene Begriffe . . . . .                                        | 7         |
| 2.1.3 Konformitätsbezogene Begriffe . . . . .                                      | 9         |
| 2.2 In der Literatur vorhandene Ansätze und wichtige Personen des QM .             | 10        |
| 2.3 Sondermaschinenbauer Troester: Informationen und Qualitätsmanagement . . . . . | 20        |
| 2.4 Praktische Verfahren/Qualitätswerkzeuge . . . . .                              | 23        |
| <b>3 Analyse der vorhandenen Situation</b>                                         | <b>30</b> |
| 3.1 Mögliche Ursachen für das Auftreten von Fertigungsfehlern . . . . .            | 30        |
| 3.2 Analyse Ausschussteile . . . . .                                               | 34        |
| 3.3 Analyse Nacharbeit . . . . .                                                   | 36        |
| 3.4 Einzelfallprüfungen . . . . .                                                  | 37        |
| 3.5 Übergreifende Analyse . . . . .                                                | 48        |
| <b>4 Ansätze zur Reduktion von Fertigungsfehlern</b>                               | <b>50</b> |
| 4.1 Nacharbeitsscheine . . . . .                                                   | 52        |
| 4.2 Formblatt/Kennzahlenmodell . . . . .                                           | 53        |
| 4.3 Prüfrououtine Ausschuss/Nacharbeit . . . . .                                   | 55        |

|          |                                                                                    |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4      | Werksnormen . . . . .                                                              | 55        |
| 4.5      | Weitere . . . . .                                                                  | 56        |
| 4.6      | KVP – Umsetzung, Verantwortlichkeit und Zeitplan der Maßnahmen                     | 58        |
| <b>5</b> | <b>Kritische Betrachtung der Ergebnisse</b>                                        | <b>61</b> |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse und Ausblick auf weitere Forschung</b> | <b>64</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                                        | <b>67</b> |
| <b>A</b> | <b>Ausgewählte Fertigungszeichnungen</b>                                           | <b>69</b> |
| <b>B</b> | <b>Formblatt Ausschussmeldung</b>                                                  | <b>71</b> |
| <b>C</b> | <b>Nacharbeiten und Ausschussteile pro Kostenstelle</b>                            | <b>72</b> |
| <b>D</b> | <b>KVP</b>                                                                         | <b>77</b> |

# 1 Einleitung

*„Wer arbeitet macht Fehler.*

*Wer viel arbeitet, macht viele Fehler.*

*Nur wer die Hände in den Schoß legt,*

*macht gar keine Fehler.“*

Friedrich Alfred Krupp

## 1.1 Motivation und Relevanz

Die Komplexität von Produkten und Fertigungsmethoden nimmt seit Jahren deutlich zu. Daraus resultiert ein höheres Potential für das Auftreten von Fertigungsfehlern bei der Herstellung von Produkten. Mit zunehmendem Fortschritt im Produktlebenszyklus steigen die Kosten durch Fehler exponentiell an und sind daher möglichst in frühen Phasen zu entdecken, wie Abbildung 1 verdeutlicht. Diese Zehner-Regel

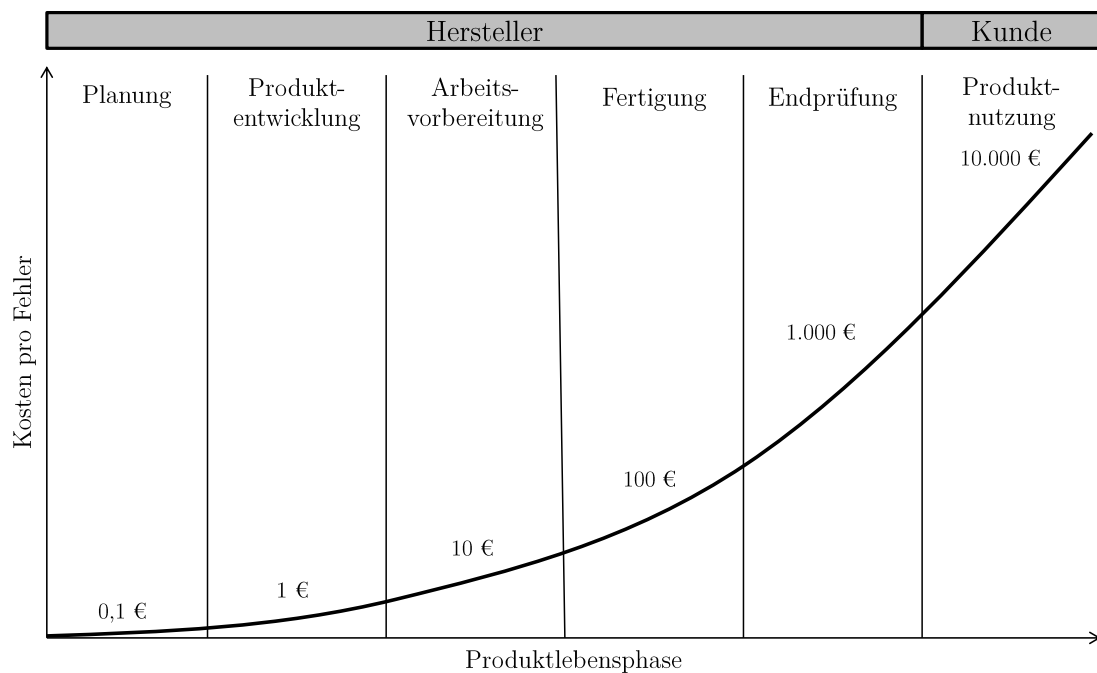


Abbildung 1: Zehner-Regel der Produktlebenszyklus-Kosten, [SP10] – modifiziert

besagt, dass mit jeder zusätzlichen Phase die Kosten für einen Fertigungsfehler um den Faktor 10 steigen. Ein Grundsatz sollte sein, dass sobald Fehler in der Produktion auftreten, diese schnellstmöglich erkannt, die Ursache dafür identifiziert und

die Prozesse dementsprechend angepasst werden, um das Auftreten ähnlicher Fehler zu vermeiden. Dies macht deutlich, dass Qualität durch Vorbeugungsmaßnahmen und nicht durch Prüfungen erreicht wird [Cro79, S. 4]. Trotzdem sollen neben systematischen Fehlern auch nichtsystematische Fehler soweit wie möglich reduziert werden. Durch die Reduktion von Fertigungsfehlern und Fehlerquellen können Einsparpotentiale realisiert und Termintreue gewahrt werden. Vor allem im Bereich des hier untersuchten Sondermaschinenbaus und der Einzelfertigung bietet die Entwicklung einer Systematik den Vorteil, dass diese auch auf zukünftige, individuelle Produktionsaufträge angewandt werden kann. Besonders die Benutzung statistischer Untersuchungsmethoden und Prozessoptimierungen einer Serienfertigung kommen hier nicht in Frage. Durch die Einzelteilerfertigung ist auch keine Automatisierung im klassischen Sinne möglich, da der Faktor Mensch noch immer die entscheidende Rolle spielt. Durch die Reduktion von Fertigungsfehlern können auch andere positive Nebeneffekte, wie ein besseres Arbeitsklima und geringere Maschinenbelastung, auftreten. Eine Studie des Fraunhofer IPT zeigt, dass von annähernd 500 Unternehmen, die an dieser Studie teilgenommen haben ca. 90% ein Qualitätsmanagement-System (QM-System) im Einsatz haben, das auf der DIN EN ISO 9000 ff basiert [SG11, S. 29-30]. Somit spielt Qualitätsbewusstsein eine wichtige Rolle in Unternehmen und auch eine Zertifizierung in diesem Bereich ist gerne gesehen.

## **1.2 Zielsetzung**

Diese Arbeit soll daher die vorhandenen Systeme und Prozesse in der Fertigung bei einem mittelständischen Sondermaschinenbauer untersuchen und eine Systematik zur Reduzierung von potentiellen Fertigungsfehlern entwickeln sowie einen Implementierungsvorschlag für das Unternehmen liefern. Aufbauend auf dieser Analyse sollen kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen erläutert werden, die das Unternehmen anwenden und dadurch Kosten einsparen kann. Falls bei den vorhandenen Prozessen Optimierungspotentiale ersichtlich werden, sollen diese ebenso aufgezeigt und konkrete Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden. Neben dem sofortigen Erkennen von Fehlern in der Produktion sollen durch diese Arbeit auch Verbesserungen der Qualität der gefertigten Produkte entstehen und somit hochwertigere Produkte gefertigt werden. Dieses soll langfristig zu dem Unternehmensziel einer Re-

duzierung von Garantieforderungen auf unter 2% des jährlichen Umsatzes beitragen. Die konkreten Maßnahmen sollen ebenfalls in das bereits bestehende QM-System integriert werden, um eine Umsetzung und Dokumentation sicherzustellen. Um die Wirksamkeit auch langfristig und über diese Arbeit hinaus zu messen, soll ein Kennzahlenmodell entwickelt und als Entscheidungsunterstützungssystem (Decision Support System) eingeführt werden. Damit sollen Maßnahmen und Zielsetzungen überprüft und teilweise quantifiziert werden. Im Anschluss darauf soll die Wirksamkeit kritisch betrachtet werden. Diese Systematik soll so transparent sein, dass sie mit akzeptablem Aufwand im täglichen Betrieb anzuwenden ist. Ebenso soll sie für die Mitarbeiter keine erhebliche Mehrbelastung darstellen und daher durch diese angenommen werden.

### 1.3 Struktur und Methodisches Vorgehen

Die Struktur dieser Arbeit ist schematisch Abbildung 2 zu entnehmen und soll im Folgenden näher erläutert werden. Nach dieser Einleitung folgt zunächst in Kapitel 2

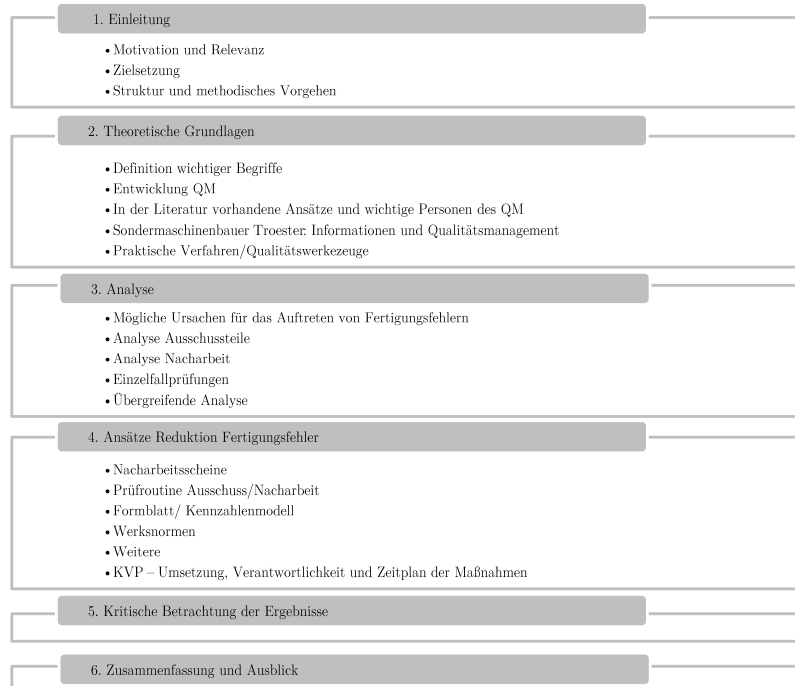


Abbildung 2: Aufbau der Arbeit in schematischer Form

der theoretische Grundlagenteil in dem wichtige Begriffe dieser Arbeit definiert und

Ansätze über die behandelten Themen aus einschlägiger Literatur gegeben werden. Weiterhin werden in diesem Kapitel Informationen über das Unternehmen Troester und der dort vorhandenen Prozesse und relevanten Systeme gegeben. Die dort genannten Systeme und Werkzeuge werden hier ebenfalls auf ihre Anwendungsmöglichkeiten im Unternehmen Troester überprüft und bilden die Basis für den analytischen Teil in Kapitel 3. Dieser besteht aus der Analyse der vorhandenen Situation und Anwendung von QM-Werkzeugen sowie Ansätzen des QM. Dabei wird ein gemischt quantitativ-qualitativer Ansatz verfolgt und Fertigungsfehler durch systematische Fehleranalyse erfasst und kategorisiert. Konkrete Ansätze zur Entwicklung einer Systematik zur Reduzierung von Fertigungsfehlern aufgrund der im vorherigen Kapitel durchgeführten Analyse folgen in Kapitel 4. Hierbei werden sowohl bereits aus der Literatur bekannte Ansätze, teilweise in abgewandelter Form, eingesetzt als auch eigene Ansätze und Maßnahmen vorgestellt. Abgeschlossen wird die Arbeit mit einer kritischen Betrachtung der Ergebnisse in Kapitel 5 und einer Zusammenfassung sowie einem Ausblick über mögliche Untersuchungen und Forschungsschwerpunkte in Kapitel 6.

## **6 Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse und Ausblick auf weitere Forschung**

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Entwicklung einer Systematik zur Reduzierung von Fertigungsfehlern bei einem Sondermaschinenbauer. Dazu wurden die Daten der Ausschussteile der letzten 3 Jahre in einem konkreten Unternehmen analysiert, sowie Einzelfallprüfungen für aktuelle Bauteile durchgeführt. Bei den Einzelfallprüfungen wurde dabei den Ursachen soweit wie möglich nachgegangen. Die daraus entwickelte Systematik und das Decision Support System unterstützen bei der Reduzierung von Fertigungsfehlern und zeigen Handlungsempfehlungen sowie Verbesserungspotentiale auf. Insbesondere werden Maßnahmen für den sofortigen, mittel- und langfristigen Planungshorizont vorgeschlagen und teilweise bereits umgesetzt. Diese Maßnahmen sind als KVP-Maßnahmen durch das QM-System im Unternehmen festgehalten und können bei einer Rezertifizierung des QM-Systems nach der ISO 9001 Norm ebenfalls mit einfließen.

Diese Arbeit beschäftigt sich vorwiegend mit dem Thema der Ausschussteile in der Fertigung und der Reduzierung dieser. Neben Ausschussteilen spielen jedoch Teile, bei denen ein Fertigungsfehler aufgetreten ist, diese jedoch durch Nacharbeit wieder dem Produktionsprozess zugeführt werden können, eine große Rolle. Für diese Nacharbeit wurde im Rahmen dieser Arbeit nur eine Untersuchung von ausgewählten Fällen vorgenommen sowie Kosten und zeitliche Faktoren aus SAP ERP 6.0 ausgewertet und als unterstützende Kennzahlen herangezogen. Daher besteht hier noch Forschungsbedarf in der Entwicklung einer Systematik zur Reduktion von Nacharbeit. Dadurch würde es gelingen Fertigungsfehler als Ganzes zu untersuchen und die Systematik für die Reduzierung von Fertigungsfehlern dahingehend zu erweitern.

Auch die Untersuchung von Garantieforderungen stellt ein weiteres Forschungsfeld dar, da durch diese hohe Kosten verursacht werden. Hier sollte untersucht werden, wie in Zukunft ähnliche Fehler vermieden und eine Systematik entwickelt werden, die potentielle Fehler früh entdeckt. Hierbei sind die Maßnahmen zwischen Konstruktionsabteilungen und Fertigung zu unterscheiden, um unterschiedliche Maßnahmen zu ergreifen.

Ebenso sind durch weitere Analysen aufzuzeigen bei welchen Bauteilen sich die



durchgeführten Nacharbeiten wiederholen oder hier oft prozessbedingt nachgearbeitet werden muss. Durch die in dieser Arbeit geschaffene Prüfsystematik entsteht ein Datensatz, der zukünftig in Hinblick auf diese Frage ausgewertet werden kann. Die Kosten, die durch Nacharbeit und Ausschussteile anfallen wurden, im Rahmen dieser Arbeit nur für sich betrachtet. Sinnvoll wäre jedoch auch eine Untersuchung inwieweit sich durch Fertigungsfehler der Montagestart verzögert und Kommissionen nicht mehr zum Liefertermin bereit stehen. Eine Verzögerung des Liefertermins bringt nicht nur hohe Kosten durch Vertragsstrafen oder der Wahl von schnelleren und viel teureren Transportmitteln mit sich, sondern auch ein Imageverlust beim Kunden. Bei Troester wird nach dem Prinzip gearbeitet, dass alle Teile zum Montagestermin vorhanden sein sollen. Hier sollte untersucht werden, welche die wichtigsten Teile zum Start der Montage sind und diese, beispielsweise in einer FMEA-Analyse, näher betrachtet und Fehlervermeidungsmaßnahmen entwickelt werden, damit kein Verzug bei der Auslieferung auftritt.

Die vorgeschlagenen Ansätze und Maßnahmen konnten im Untersuchungszeitraum größtenteils nicht in ihrer Wirkung und Umsetzung untersucht werden. Daher muss hier eine genaue Auswertung von Seiten des Unternehmens durchgeführt werden, damit eine Bewertung stattfinden kann. Auch die Akzeptanz durch die Mitarbeiter sollte weiter beobachtet werden. Eine quantitative Untersuchung, inwieweit sich die Anzahl an Ausschussteilen reduziert hat und welche Kostenersparnis eingetreten ist, würde helfen die Gesamtmaßnahmen beurteilen zu können und wird ausdrücklich als Forschungsbedarf deklariert.

Durch das Umstrukturierungsprojekt im Unternehmen entstehen neue Potentiale für ein besseres Hallen- und Fertigungslayout. Insbesondere eine effiziente Anordnung von Maschinen, die Reduktion von Transportwegen und moderne Fertigungsverfahren und Maschinen, können eine Fehlervermeidung mit sich bringen. Eine umfassende Analyse und Planung in Hinblick auf potentielle Fehlervermeidungsmaßnahmen ist bereits bei der Planung einer Fertigungshalle zu empfehlen.

Ebenso wurden nur einige Ansätze im Rahmen der Industrie 4.0 angesprochen, hier sind jedoch durch den schnellen Fortschritt in absehbarer Zeit für den Mittelstand praktikable und innovative Angebote zu erwarten. Eine ausführliche Literaturrecherche und Untersuchung der Anwendbarkeit auf einen mittelständischen Betrieb

mit Einzelteilerfertigung scheint ein weiteres Forschungsfeld aufzuzeigen.

Das entwickelte Decision Support System ist in weiteren Unternehmen zu testen, um Aussagen zu Validität und Zuverlässigkeit zu erhalten. Besonders im Bereich des hier untersuchten Sondermaschinenbaus können Abweichungen in unterschiedlichen Unternehmen vorhanden sein. Dies gründet daher, dass die Prozesse in unterschiedlichen Unternehmen sich deutlich voneinander unterscheiden und keine umfassenden Konzepte, wie bei einer Serienfertigung, im Einsatz sind. Daher müssen die Konzepte so verallgemeinert werden, dass diese auf mehrere Unternehmen anwendbar sind und auf Besonderheiten und konkrete Umsetzungen geprüft werden.