

# **Der Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie anhand einer Fahrzeugkomponente aus Holz**

Masterarbeit

Eingereicht von  
David Kaserer, BSc

Betreuer: Priv.-Doz. Dr. Ulrich Müller  
Institut für Holztechnologie und nachwachsende Rohstoffe  
Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik  
Universität für Bodenkultur  
BOKU – Vienna

Juni 2016

## **Zusammenfassung**

In der Automobilherstellung ist ein Trend zu Multimaterialbauweisen festzustellen. Holz besitzt als Werkstoff mit hoher spezifischer Festigkeit gute Eigenschaften um als Material für strukturelle Bauteile genutzt zu werden. Ein wesentlicher Schritt für holzindustriell basierte Unternehmen besteht darin, die spezifischen Anforderungen im Qualitätsmanagement der Automobilindustrie umzusetzen. Zulieferer der Automobilindustrie stellen bereits jetzt ca. 80% der Bauteilfertigung eines PKW und werden daher bereits in den Produktentwicklungsprozess der Bauteile miteingebunden. Dieser Prozess unterliegt strikten Regulierungen, mit dem Ziel, sämtliche Produkthanforderungen zu erfüllen und einen Herstellungsprozess zu schaffen der eine dementsprechende Produktqualität erfüllt. Diese Arbeit zeigt wesentliche Werkzeuge dieses Produktentwicklungsprozesses, der in der Automobilbranche als Qualitätsvorausplanung bekannt ist. Unter diesen Werkzeugen finden sich die Fehlermöglichkeits- und einflussanalyse (FMEA) der Produktlenkungsplan, statistische Prozesslenkung und die Messmittelfähigkeitsanalyse. Mögliche Anwendungen dieser Werkzeuge werden anhand einer Rücksitzlehne aus Holzwerkstoffen aufgezeigt. Um einen Kostenvergleich zu anderen Konstruktionen zu ermöglichen, wurden außerdem die Herstellkosten des Bauteils in einem möglichen industriellen Ablauf ermittelt.

## **Keywords**

Automobil, Fahrzeugbau, Holz, Produktentwicklungsprozess, Qualitätsvorausplanung

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie</b>	<b>8</b>
2.1	Allgemeines und ISO 9000	8
2.2	ISO/TS 16949	11
2.3	Qualitätsvorausplanung (APQP)	14
2.3.1	Die fünf Phasen der Qualitätsvorausplanung (APQP)	15
2.3.2	Phase 1 – Planung	16
2.3.3	Phase 2 - Produktdesign und –entwicklung	16
2.3.4	Phase 3 - Prozessdesign und –entwicklung	18
2.3.5	Phase 4 - Produkt- und Prozessvalidierung	19
2.3.6	Phase 5 - Rückmeldung, Beurteilung und Korrekturmaßnahmen	19
2.3.7	Zusammenfassung	20
2.4	Das Produktionsteil Abnahmeverfahren (PPAP)	20
<b>3</b>	<b>Besonderheiten des Werkstoffes Holz</b>	<b>23</b>
3.1	Sortierung	23
3.1.1	E-Modul	24
3.1.2	Faserabweichungen	24
3.1.3	Astigkeit	24
3.1.4	Dichte	24
<b>4</b>	<b>Die Werkzeuge des Produktentwicklungsprozesses</b>	<b>25</b>
4.1	Design und Anforderungen an die Rücksitzlehne	25
4.1.1	Design der Holzbauweise – Schichtbauweise	27
4.2	FMEA - Allgemein	28
4.3	Design-FMEA	29
4.3.1	Vorlauf	30
4.3.2	System- und Funktionsanalyse	30
4.3.3	Fehleranalyse	31
4.3.4	Risikobewertung	32
4.4	Design-FMEA der Rücksitzlehne	37
4.5	Prozessflussdiagramme	41
4.6	Prozess-FMEA	44
4.7	Produktlenkungsplan	49
4.8	Statistische Prozesslenkung (SPC)	49
4.8.1	Abweichung und Streuung im Prozess	50
4.8.2	Regelkarten	51
4.8.3	Prozessfähigkeit	55
4.8.4	SPC im Fertigungsprozess der Rückenlehne	57
4.9	MSA – Messmittel Fähigkeitsanalyse	60

<b>5</b>	<b>Kostenkalkulation der Rückenlehne .....</b>	<b>61</b>
5.1	Ausgangslage der Berechnung .....	61
5.2	Prozessbeschreibung.....	64
5.3	Kostenermittlung .....	65
<b>6</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>71</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>72</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>75</b>
<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>77</b>
<b>11</b>	<b>Appendix .....</b>	<b>79</b>

# 1 Einleitung

Leichtere Automobil-Konstruktionen bieten aus unterschiedlichen Gründen Vorteile gegenüber herkömmlichen Konstruktionen. Bereits im frühen 20. Jahrhundert wurde versucht durch Gewichtseinsparungen die Maximalgeschwindigkeit von Rennwägen zu erhöhen. Die heutigen Beweggründe beruhen zusätzlich darauf Automobile kraftstoffeffizienter und sparsamer zu gestalten, wodurch sich einerseits Emissionen (insbesondere CO<sub>2</sub>) senken lassen und der Fahrzeugbetrieb durch Treibstoffeinsparung für den Benutzer kostengünstiger wird. Weitere Aspekte bilden außerdem das Fahrverhalten und die Sicherheit (Friedrich 2013).

Die Gewichtsreduktion durch Werkstoffsubstitution ist neben Variationen der Fertigungsverfahren und Bauweisen integraler Bestandteil des systemischen Leichtbaus. Abgeleitet aus den bisherigen Konzepten des Automobilbaus ist ein Trend zu künftiger Multi-Materialbauweise erkennbar. Materialien wie kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) treten aufgrund der hervorragenden mechanischen Eigenschaften und der vergleichsweise geringen Dichte mehr und mehr in den Vordergrund. Dem gegenüber stehen allerdings Herausforderungen in der Fertigung, ein hoher Energieeinsatz in der Herstellung und die damit verbundene hohe Kosten (Friedrich 2013).

Obwohl es in der Vergangenheit durchaus Verwendung fand, wurde Holz und Holzwerkstoffen als Material für strukturelle Bauteile im modernen Fahrzeugbau bisher wenig Beachtung geschenkt.

Mit Ausnahme des britischen Herstellers *Morgan Motor Company* liegt die Anwendung von strukturellen Holzelementen in Automobilen mehrere Jahrzehnte zurück. Dies liegt vor allem am Fortschritt der Fertigungstechniken metallischer Materialien, welcher eine massentaugliche Produktion erlaubte und dem damit verbundenen Wechsel der Rahmenbauweise zur Schalenbauweise von Karosserien.

Als nachwachsender Rohstoff mit hoher spezifischer Festigkeit und vergleichsweise geringen Materialkosten rückt Holz allerdings mehr und mehr in das Blickfeld von Fahrzeugherstellern. Die heutigen Anforderungen an Werkstoffe beinhalten allerdings nicht nur die physikalische Eignung eines Materials, sondern zusätzlich die Möglichkeit es in Simulationen abbilden zu können. Dies umfasst nicht nur das statische und dynamische Verhalten, sondern außerdem das Verhalten in Crashesituationen. Eine Grundvoraussetzung dafür sind spezifische Materialkenndaten um die Materialkarten für die Simulation zu speisen.

Sowohl die Modellierbarkeit, als auch die Materialdatenbank sind noch nicht in geeigneter Form vorhanden und stellen somit ein beträchtliches Hindernis bei der Anwendung von Holz bzw. Holzwerkstoffen für strukturelle Automobilbauteile dar.

Mit „Holz im strukturellen Fahrzeugbau“ wurde 2015 ein Projekt hervorgerufen um diese Hürde überwinden. Das Projekt basiert auf einer Kooperation aus den wissenschaftlichen Partnern der *Universität für Bodenkultur Wien*, des *Virtual vehicle* und dem *Vehicle safety institute*, sowie weiteren (Industrie-)Partnern. Durch den Aufbau einer Materialdatenbank und dem Engineering, der Produktion und Prüfung von Fahrzeug-Bauteilen aus Holz konnte ein Vergleich realer Crash-Situationen mit virtuellen Crash-Simulationen vorgenommen werden. Daneben wurden technologische und ökonomische Potentiale, Produktions-Technologien und möglichen Konstruktionen behandelt.

Um Holz für Automobil-Applikationen einzusetzen, bedarf es allerdings einer umfassenden Betrachtung der branchenspezifischen Eigenheiten. Neben den technologischen, wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Grundlagen konnten zusätzlich Bereiche des Qualitätsmanagements aufgezeigt werden, die für eine erfolgreiche Einführung von Holzbauteilen zur Fahrzeugherstellung eine genaue Betrachtung erfordern.

Aufgrund dessen befasst sich diese Arbeit mit den Automobilindustrie-spezifischen Anforderungen an das Qualitätsmanagement, insbesondere dem Produktentwicklungsprozess.

Ein generelles Merkmal heutiger Märkte zeigt, dass Produktlebenszyklen zunehmend kürzer werden. Dies ist branchenübergreifend bemerkbar, ist aber besonders in der Automobilindustrie zu beobachten (Leal and Duarte Trinidad 2002, Gawlik et al. 2012). Zwangsläufig reduzieren sich dadurch auch die Produktentwicklungszyklen für neue Modelle (Schuh et al. 2008). Betrugen die durchschnittlichen Produktentwicklungszeiten in der Automobilindustrie in den 90er-Jahren noch etwa 57 Monate, lagen diese im Jahr 2006 zwischen 17 und 31 Monaten (Wallentowitz et al. 2009). Dies ist unter anderem durch „Simultaneous Engineering“, also zeitlich parallel verlaufenden Entwicklungsschritten möglich.

Kurze Produkteinführungszeiten, hohe Produktivität und Flexibilität sind daher wichtige Elemente um auf derart dynamischen Märkten nicht an Wettbewerbsfähigkeit einzubüßen (Leal and Duarte Trinidad 2002, Schuh et al.

2008). Diese Ausgangslage wird durch steigende Produktdifferenzierung und Komplexität, sowie hohen Anforderungen an Qualität weiter erschwert (Gerberich 2011). Es lässt sich daher beobachten, dass Automobilhersteller (engl. Original equipment manufacturer, OEM) weite Teile der Wertschöpfungskette auf Zulieferer auslagern (Leal and Duarte Trinidad 2002). Zum heutigen Stand werden bereits 70-80% der Wertschöpfung von Zulieferern erbracht. Ein Fahrzeughersteller erbringt somit durchschnittlich 4000 Euro an Leistung pro Fahrzeug (Hensel 2007).

Neben dem Outsourcing der Produktion können OEMs durch diese Strategie zusätzlich auf weitere Vorteile zurückgreifen. Aufgrund des fertigungsspezifischen Know-hows und der möglichen Integration von Produktdesign und Prozessplanung werden auf Zulieferer neben der Produktion immer häufiger auch weitere Kompetenzen wie Produktentwicklung übertragen (Leal and Duarte Trinidad 2002, Wagner and Hoegl 2006). Durch eine derart enge Zusammenarbeit zeigen sich statt reinem Outsourcing vermehrt Merkmale einer Partnerschaft. Kooperationen können sich dabei auch nicht nur zwischen OEMs und deren Zulieferern sondern auch mit dem eigentlichen Wettbewerb ergeben (Hensel 2007). Überdies werden auch von Zulieferern bestimmte Bereiche weiter ausgelagert. Abhängig von der Tiefe der Lieferantenstruktur werden Lieferanten im Englischen als Tier-1 supplier bzw. Tier-2 supplier usw. bezeichnet.

Zusammenfassend sind nachfolgend die Forderungen, die seitens der OEMs an die Lieferanten gestellt werden, dargestellt (Gerberich 2011):

- Hohe Qualitätsanforderungen mit Wunsch nach Rückverfolgbarkeit der Produkte
- Hohe Produktkomplexität und Wunsch nach Produktmodifikation
- Preisreduzierung
- Individualisierung und somit steigende Varianten- und Typenvielfalt bei sinkender Bestellmenge
- Kürzere Produktlebenszyklen
- Termintreue bei bedarfsgerechter Lieferung
- Arbeitsverlagerung auf Zulieferer

Neben den ohnehin hohen Qualitätsanforderungen der Automobilindustrie wird schnell ersichtlich, dass eine derartige Marktordnung Herausforderungen mit sich bringt. Speziell in der Automobilindustrie wurden Qualitätsmanagementsystemen seit jeher viel Beachtung geschenkt

(Franceschini et al. 2011). Eine Vielzahl an spezifischen Standards verschiedener Hersteller führte dazu, dass Zulieferer mit zuweilen widersprüchlichen Anforderungen konfrontiert waren (Blaine et al. 2012). Um dies zu vereinheitlichen, wurde basierend auf der Qualitätsmanagement Norm ISO 9001, die branchenspezifische ISO/TS 16949 geschaffen.

Diese Arbeit soll aufzeigen, wie der automobiler Produktentwicklungsprozess strukturiert ist, sowie welche Werkzeuge des Qualitätsmanagements zur Anwendung kommen (müssen) um als Tier 1 – Supplier in der Automobilbranche zu agieren. Sie soll die automobilindustrie-spezifischen Anforderungen an Zulieferer darstellen, um branchenfremden Personen einen Einblick auf die notwendigen Voraussetzungen sowie den dahinterstehenden Abläufen einer OEM–Zulieferer-Situation zu gewähren. Aufgrund der hoch entwickelten Standards im Qualitätsmanagement der Automobilindustrie soll zudem ein branchenübergreifender Wissenstransfer im Bereich des Qualitätsmanagements stattfinden.

## **2 Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie**

### **2.1 Allgemeines und ISO 9000**

Sowohl das Qualitätsverständnis, als auch Qualitätsstrategien waren mit einem geschichtlichen Wandel verbunden (Brunner and Wagner 1997). Der Ursprung des Qualitätsmanagements fußt im frühen 19. Jahrhundert, als Phase der Qualitätskontrolle und Endkontrolle. Mit zunehmender Komplexität und steigendem Integrationsgrad folgte eine Entwicklung weg von „Qualität durch Inspektion“ hin zu einem umfassenderem Qualitätsverständnis (Vuong 2008). Mit ISO 9000 wurde 1986 eine Normen-Familie geschaffen, die sich mit Qualitätsmanagement befasst. Der Begriff „Qualität“ wurde darin folgendermaßen definiert (Blaine et al. 2012): *„Quality: The degree to which a set of inherent characteristics fulfil requirements.“* Eine weitere Definition wurde von Geiger and Kotte (2008) wie folgt formuliert: *„Qualität: Realisierte Beschaffenheit bezüglich geforderter Beschaffenheit.“*

Der Begriff „Qualität“ bezieht sich also auf die Beschaffenheit geforderter Einheiten. Unter der Lehre des Qualitätsmanagements wird daher auch der Begriff Beschaffenheitsgestaltung verstanden (Geiger and Kotte 2008). Unter „Fähigkeit“ wird im Qualitätsmanagement die Eignung verstanden, Forderungen

an die Beschaffenheit eines Produktes zu erfüllen. Das Qualitätsmanagement eines Unternehmens umfasst optimaler Weise alle Ebenen und Bereiche und ist somit unabhängig davon, ob ein materielles oder immaterielles Produkt erzeugt wird. Die Realisierung des Qualitätsmanagements findet durch das Qualitätsmanagementsystem statt. Im Fokus steht die Erfüllung der Forderungen an das Produkt, wobei nicht nur das Produkt selbst betrachtet wird. Eine erfolgreiche Umsetzung der Forderung kann nur dann erfolgen, wenn alle Prozesse und Tätigkeiten, die an der Erstellung beteiligt sind, den Forderungen entsprechen. In der Einleitung dieser Arbeit wurden bereits wesentliche Punkte genannt, welche die Erwartungshaltung eines OEMs gegenüber einem Zulieferer widerspiegeln. Neben den oben genannten Anforderungen wird von Zulieferern außerdem verlangt, die Fähigkeiten (d.h. die Fähigkeit, die Beschaffenheit eines Produktes zu erfüllen) des Unternehmens darzulegen. Mit der ISO 9000 Familie wurde ein international geltendes Normenwerk geschaffen, mit welchem Unternehmen oder Organisationen die Fähigkeiten ihres Qualitätsmanagementsystems darlegen können (Geiger and Kotte 2008). Die Motivationen hinter einer Zertifizierung können unterschiedlich sein. Wie in Tabelle 1 dargestellt, lassen sich die möglichen Vorteile einer Zertifizierung in interne und externe Nutzen unterteilen (Paulo Sampaio 2009).

**Tabelle 1: Interne und externe Nutzen einer ISO 9001 Zertifizierung. Adaptiert nach (Paulo Sampaio 2009).**

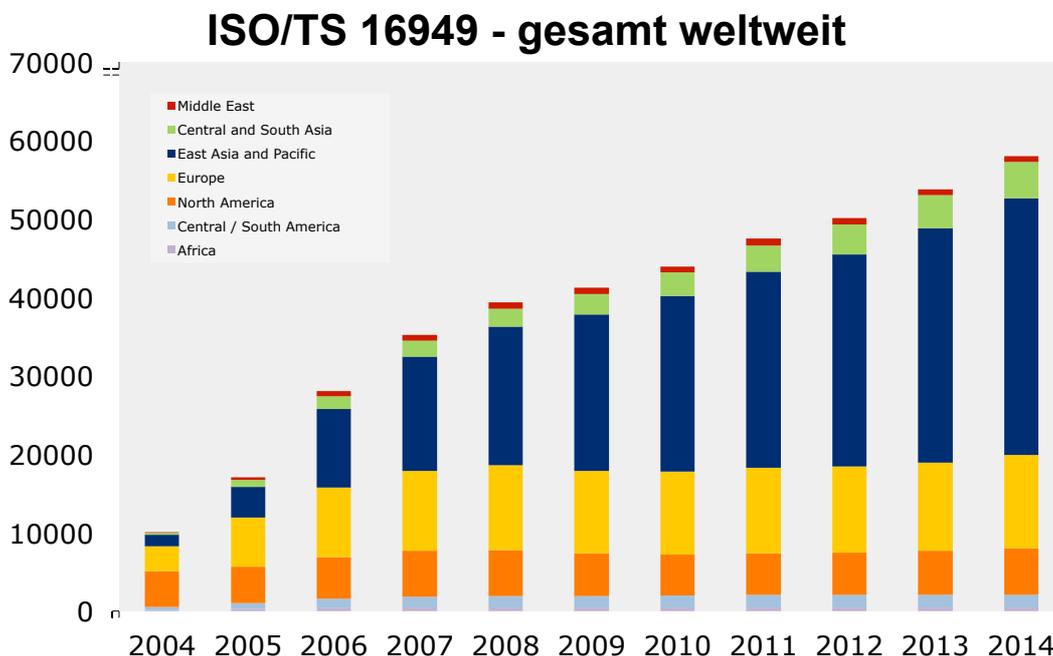
<b>Externe Nutzen</b>	<b>Interne Nutzen</b>
Zugang zu neuen Märkten	Erhöhung der Produktivität
Verbesserung des Firmenimages	Verringerung der Ausschussrate
Erhöhung der Marktanteile	Qualitätsbewusstsein
ISO 9000 als Marketing-Tool	Festlegung von Verantwortlichkeiten und Pflichten
Verbesserung der Kunden-Beziehung	Verkürzung der Lieferzeit
Kundenzufriedenheit	Verbesserung der internen Organisation
Verbesserung der Kundenkommunikation	Reduktion der Fehlerrate
	Reduktion der Kundenreklamation
	Verbesserung der internen Kommunikation
	Erhöhung der Produktqualität
	Wettbewerbsvorteile
	Personalmotivation

Eine Zertifizierung scheint vor allem für Unternehmen von Vorteil, die sich im Anfangsstadium der Implementierung von Qualitätsmanagement befinden und versuchen eine erste Basis zu schaffen (Fiorenzo Franceschini 2011).

Neben den genannten Vorteilen wurden aber auch Kritikpunkte aufgezeigt. Obwohl ISO 9000, die am weitesten verbreitete Norm ist, ist sie nicht immer die erste Wahl aller Organisationen. Durch fehlende Anreize zu Verbesserungen wird anderen Qualitätsmanagementstrategien wie Total Quality Management (TQM), dem Malcolm Baldrige Award oder der European Foundation for Quality Management (EFQM) der Vorzug gegeben (Ostadi et al. 2010, Fiorenzo Franceschini 2011). Der wohl wesentlichste Kritikpunkt betrifft die universelle Anwendbarkeit der ISO 9000. Sie ist branchenübergreifend anwendbar und dementsprechend allgemein formuliert, mit dem Ergebnis, dass korrekte Interpretationen oftmals bedeutend erschwert wurden. Als Antwort darauf wurden in Wirtschaftszweigen, wie etwa der Pharmaindustrie, Raumfahrt oder Automobilindustrie, branchenspezifische Normen entwickelt (Fiorenzo Franceschini 2011). In der Automobilindustrie geschah das in Form der ISO/TS 16949.

## 2.2 ISO/TS 16949

Abhängig von den jeweiligen Kunden mussten Zulieferer vor der Einführung der ISO/TS 16949 unter Umständen mehrere nationale Standards, wie die der VDA (Deutschland), AIAG (Nordamerika), AVSQ (Italien), FIEV (Frankreich) und SMMT (Großbritannien), berücksichtigen um die Auftraggeber zu beliefern (Blaine et al. 2012). Die ISO/TS 16949 (TS für Technical Specification) wurde Ende der Neunzigerjahre einerseits geschaffen, um die oben genannte Problematik zu beseitigen und andererseits um eine Vereinheitlichung der bereits existierenden Standards für Lieferanten zu erreichen (Cassel 2006). Entstanden ist die Norm durch die Zusammenarbeit der International Automotive Task Force (IATF), der Japanese Automobile Manufacturers (JAMA) und dem ISO Technical Committee 176. Sie stellt eine Erweiterung der ISO 9001 dar und gilt als eine der fortschrittlichsten internationalen Qualitätsmanagement Normen und fand weltweit Anerkennung (Blaine et al. 2012, Cassel 2006). Die breite Anwendung und Akzeptanz dieser Norm ist in Abbildung 1 durch den weltweiten Verlauf der ISO/TS 16949 Zertifizierungen innerhalb eines Jahrzehntes dargestellt (ISO Survey 2014).



**Abbildung 1: Der jährliche Verlauf der ISO/TS 16949 Zertifizierungen von 2004-2014 in regionaler Aufgliederung (ISO Survey 2014).**

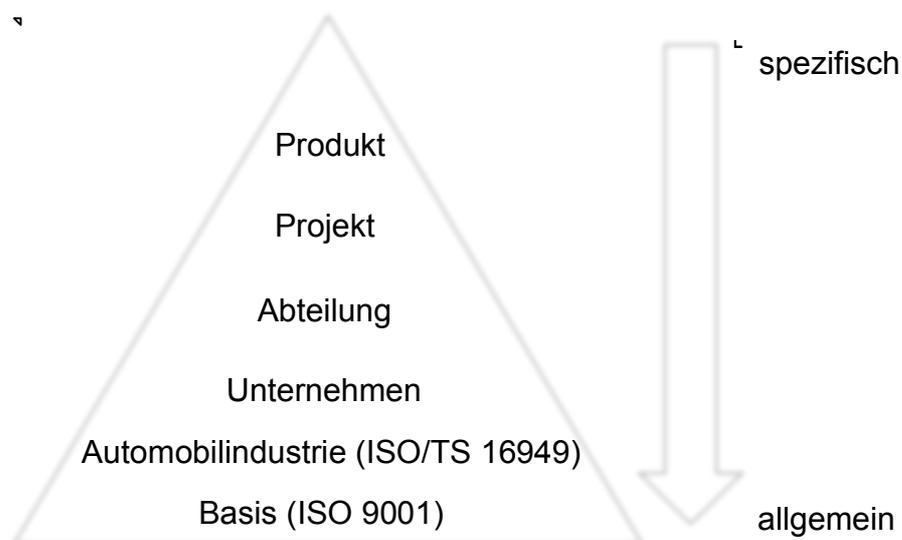
Mit dem Jahr 2014 entfallen 207 Zertifizierungen auf Österreich, das entspricht europaweit etwa 1,7% (ISO Survey 2014). Zertifizierungen werden nicht direkt von der Internationalen Organisation für Normung (ISO), sondern von

sogenannten Zertifizierungsstellen durchgeführt. Als Motivationen hinter einer Zertifizierung wurden von Franceschini et al. (2011) folgende Punkte genannt:

- Zertifizierung als Marketing-Werkzeug zur Entwicklung, Festigung und Vereinfachung von Geschäftsbeziehungen
- Zertifizierung als Werkzeug für interne Verbesserungen

Der wichtigste Grund für eine Zertifizierung ist damit allerdings noch nicht genannt: Die Zertifizierung des Qualitätsmanagementsystems nach ISO/TS 16949 ist mittlerweile verpflichtend für alle Tier-1 Lieferanten (Blaine et al. 2012).

Die ISO/TS 16949 ist prozessorientiert strukturiert und kann keine Endqualität eines Produktes garantieren. Sie bescheinigt allerdings die Einhaltung formaler Prozesse, die nach den Anforderungen des Herstellers festgelegt wurden und definiert somit ein Rahmenwerk aus Mindestanforderungen (Franceschini et al. 2011, Hoyle 2005). Wie in Abbildung 2 dargestellt, wird dadurch nur die Basis an Qualitätsanforderungen geschaffen (Pop and Elod 2015).



**Abbildung 2: Qualitätsanforderungen von allgemein bis spezifisch. Adaptiert nach (Pop and Elod 2015)**

Die Ziele der Norm liegen im Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems, das auf eine kontinuierliche Verbesserung von Prozessen, der Fehlervermeidung und der Reduktion von Streuungen und Verschwendung in der Lieferkette ausgerichtet ist. Die generelle Intention dahinter ist die exakte Erfüllung der Kundenwünsche. Dies betrifft nicht nur die Untererfüllung der Anforderungen sondern auch eine Übererfüllung. Der Anwendungsbereich liegt im Design, der

Entwicklung und Produktion und falls gegeben, in der Montage und Wartung von Produkten (ISO/TS 16949:2009 n.d.).

- Unter den Anforderungen der ISO/TS 16949 finden sich folgende Elemente: SPC - Statistical Process Control (Statistische Prozesskontrolle)
- MSA - Measurement System Analysis (Analyse von Messsystemen)
- FMEA - Failure Mode and Effect Analysis (Fehlermöglichkeits und – einflussanalyse)
- APQP - Advanced Product Quality Planning (Qualitätsvorausplanung)
- PPAP - Production Part Approval Process (Produktionsteil Abnahmeverfahren)

Da sich diese Arbeit auf den Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie konzentriert, werden sich die nächsten Abschnitte der Qualitätsvorausplanung und dem Produktionsteil Abnahmeverfahren widmen. Methoden wie FMEA, SPC und MSA sind nicht nur als allgemeine Anforderung in der ISO/TS 16949 zu finden, sondern außerdem in spezialisierter Form im APQP und PPAP. Sie sind in der Literatur oft als zentrale Elemente des Entwicklungsprozesses genannt.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass mit ISO/TS 16949:2002 die Lieferbeziehung mit folgenden Begriffen beschrieben wird (Abbildung 3):



**Abbildung 3: Begriffe der Lieferbeziehung laut ISO/TS 16949.**

Da die Begriffe Tier-1 bzw. Tier-2 bereits erläutert wurden, wird auch im folgenden Abschnitt der Begriff „Zulieferer“ für Tier 1 – Supplier beibehalten. Unter dem Begriff „Kunde“ sind im Weiteren OEMs gemeint.

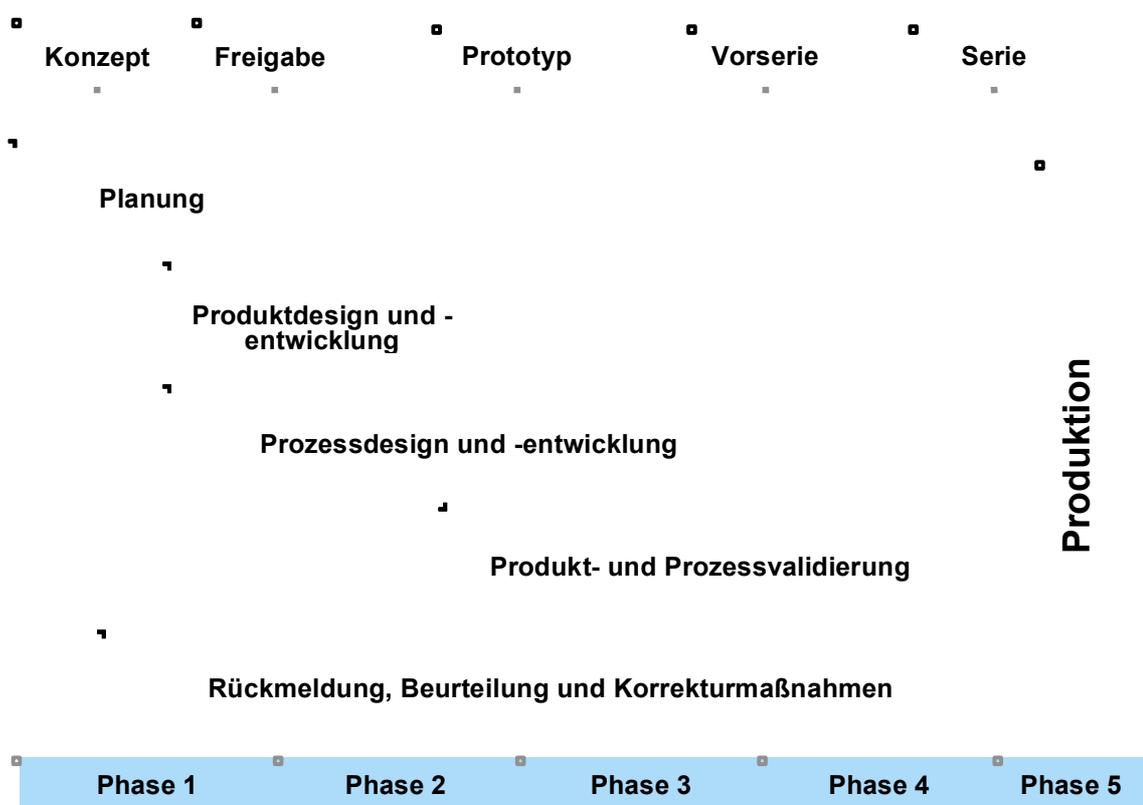
### 2.3 Qualitätsvorausplanung (APQP)

Unter Qualitätsvorausplanung (oft auch Qualitätsplanung genannt) versteht man eine spezifische Ausgestaltung im Produktrealisierungsprozess. Sie ist eine Hilfestellung zur Einführung neuer Produkte, mit dem Ziel systematisch alle nötigen Schritte zu setzen, um eine termingerechte, möglichst kostengünstige und den Anforderungen entsprechende Produktion zu gewährleisten (Sanonpong 2009, AIAG 2008a). Der Betrachtungsbereich reicht von der ersten Konzeption bis in die Serienfertigung des Produktes. Im Englischen werden die Qualitätsvorausplanung und der Produktrealisierungsprozess als „Advanced Product Quality Planning (APQP)“ bzw. „Product Realization Process (PRP)“ bezeichnet. Unterstützend zu den Vorgaben der ISO/TS 16949 wurden von der Chrysler Corporation, der Ford Motor Company und General Motors Company ein APQP-Leitfaden herausgegeben. Das Ziel des Leitfadens ist, kundenorientierte Richtlinien zur Unterstützung in der Produktentwicklung zu schaffen. Um dies zu erreichen, werden eine Reihe von Methoden und Werkzeuge genannt, die in einer logischen Reihenfolge zum Einsatz kommen (AIAG 2008a). Auch im deutschsprachigen Raum ist Qualitätsvorausplanung und deren Methoden und Werkzeuge in Form der „Sicherung der Qualität von Lieferungen – VDA Band 2“ durch den Verband der Automobilindustrie (VDA) zu finden (Brüggemann and Bremer 2012). Ein Lieferant muss grundsätzliche Voraussetzungen erfüllen, um die Qualitätsvorausplanung erfolgreich auszuführen. Diese umfassen beispielsweise den Aufbau eines Teams, die Festlegung von Verantwortlichkeiten und den Umfang des Projektes. Ein zentrales Element des APQP ist ein klares Verständnis der Kundenwünsche, -vorstellungen und -anforderungen. Zusätzlich muss der zeitliche Rahmen des Projektes vorab festgelegt werden. Der vollständige Prozess des APQP kann durch ein Modell in fünf Phasen dargestellt werden (Abbildung 4) (AIAG 2008a). In deutschsprachiger Literatur wird der Ablauf dieser Phasen auch als Produktentstehungsprozess (PEP) beschrieben (Brüggemann and Bremer 2012).

### 2.3.1 Die fünf Phasen der Qualitätsvorausplanung (APQP)

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, wird der Ablauf der Qualitätsvorausplanung in fünf Phasen eingeteilt:

- Phase 1: Planung
- Phase 2: Produktdesign und –entwicklung
- Phase 3: Prozessdesign und –entwicklung
- Phase 4: Produkt- und Prozessvalidierung
- Phase 5: Rückmeldung, Beurteilung und Korrekturmaßnahmen



**Abbildung 4: Die fünf Phasen der Qualitätsvorausplanung (APQP), sowie deren Hauptaktivitäten. Adaptiert nach (AIAG 2008a).**

Die Abbildung zeigt neben den Phasen auch die auftretenden Hauptaktivitäten. Zusätzlich sind in der Darstellung Meilensteine eingezeichnet, an welchen die Ergebnisse der jeweiligen Phasen überprüft werden und bei positivem Abschluss eine Freigabe erfolgt (Cassel 2006):

- Konzeptfreigabe
- Prototypenfreigabe
- Vorserienfreigabe
- Serienfreigabe

Die Phasen beschreiben den prinzipiellen zeitlichen Ablauf. Zur konkreten zeitlichen Auslegung des Projektes werden Projektpläne erstellt, die neben zeitlichen und inhaltlichen Vorgaben auch die Verantwortlichkeiten der jeweiligen Schritte dokumentieren (Cassel 2006). Ein Beispiel eines solchen Planes befindet sich im Appendix (Kapitel 0) dieser Arbeit (Abbildung 18). Die Phasen des APQP sind Input/Output orientiert, eine Beschreibung folgt im nächsten Abschnitt. Um die Richtlinien korrekt auszuführen, ist es sinnvoll gegebenenfalls unternehmensspezifische Phasen bzw. Tätigkeiten zu identifizieren, um diese in die Planung miteinzubeziehen.

### 2.3.2 Phase 1 – Planung

In der Planungsphase müssen die anfänglichen Vorgaben und Erwartungen des Kunden aufgenommen bzw. formuliert werden. Weitere Inputs sind in Tabelle 2 ersichtlich (AIAG 2008a).

**Tabelle 2: Inputs und Outputs der Planungsphase (Phase1) im APQP. Adaptiert nach (AIAG 2008a) sowie (LEAN MC 2015).**

Inputs	Outputs
Kundeninformationen	Design Ziele
Produkt- und Prozessannahmen	Zuverlässigkeits- und Qualitätsziele
Geschäftsplan/Marketingstrategie	Vorläufige Stückliste
Produktzuverlässigkeitsstudien	Vorläufiger Prozessablaufplan
	Prozesssicherungsplan
	Besondere Produkt- und Prozessannahmen

Der Meilenstein nach der ersten Phase ist die Konzeptfreigabe.

### 2.3.3 Phase 2 - Produktdesign und –entwicklung

In dieser Phase folgt eine weitere Entwicklung der Produkteigenschaften und – charakteristiken. Ein Teil davon ist die Konstruktion eines Prototypen, um zu überprüfen ob das Produkt den Erwartungen des Kunden entspricht. Da ein machbares Design nicht nur von den Qualitätsanforderungen sondern zusätzlich von Faktoren wie beispielsweise Produktionsvolumen, (Investment-) Kosten und Produktionszeiten abhängt, wird in dieser Phase zusätzlich eine

vorläufige Machbarkeitsstudie angefertigt. Die Inputs der Phase zwei entsprechen den Outputs der ersten Phase Tabelle 3 .

**Tabelle 3: Inputs und Outputs der Produktdesign und –entwicklungsphase (Phase 2) im APQP. Adaptiert nach (AIAG 2008a) sowie (LEAN MC 2015).**

Inputs	Outputs
Outputs der Planungsphase	<b>Design-Outputs</b>
	Design FMEA
	Design Verifizierung
	Technische Zeichnungen
	Produktlenkungsplan des Prototypen
	Materialspezifikationen
	Engineering Spezifikationen
	Design Bewertung
	<b>APQP-Outputs</b>
	Anforderungen an Anlagen, Werkzeuge und Räumlichkeiten
	Machbarkeitserklärung
	Spezielle Produkt- und Prozesscharakteristiken
	Anforderungen an Prüfvorrichtungen

Hinter dem Akronym FMEA steht die Bezeichnung „Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse“ (engl. Failure mode and effect analysis). Mit dieser Methode lassen sich potentielle Produktfehler sowie deren Auswirkungen durch Kennzahlen bewerten. Betrachtet wird sowohl die Auswirkung eines Fehlers, als auch die Auftretenswahrscheinlichkeit und Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Fehlers. Mit der Bewertung durch Kennzahlen lassen sich dadurch effektiv Risiken aufzeigen und verringern. Ein Produktlenkungsplan (engl. Controlplan) beinhaltet konkrete Arbeitsanweisungen zur Herstellung eines Produktes und wird meist in sehr detaillierter Form verfasst. Der Plan wird für jede Arbeitsstation erstellt und dient dem Personal zur korrekten Abwicklung der Arbeitsschritte. Zusätzlich enthält dieser Anweisungen an das Personal falls Ungereimtheiten im Prozess vorliegen. Sowohl FMEA als auch der Produktlenkungsplan werden in dieser Arbeit ausführlicher behandelt (siehe Kapitel 4.2 bzw. Kapitel 4.7).

Der Meilenstein nach der zweiten Phase lautet: Prototypenfreigabe.

### 2.3.4 Phase 3 - Prozessdesign und -entwicklung

In Phase drei des APQP wird die Entwicklung eines Fertigungsprozesses umgesetzt. Die Inputs in dieser Phase entsprechen wieder den Outputs der vorhergehenden Phase (Tabelle 4).

**Tabelle 4: Inputs und Outputs der Prozessdesign und -entwicklungsphase des APQP. Adaptiert nach (AIAG 2008a) und (LEAN MC 2015).**

Inputs	Outputs
Outputs der Produktdesign und – entwicklungsphase	Prüfung des Produkt- und Prozess QM-Systems
	Prozessablaufplan
	Prozess FMEA
	Werkslayoutplan
	Vorserien Produktlenkungsplan
	Messmittelfähigkeitsuntersuchung (MSA)
	Verpackungsstandards
	Vorläufige Prozessfähigkeitsuntersuchung (SPC)
	Prozess Instruktionen

Im Prozessablaufplan erfolgt eine grafische Darstellung des Fertigungsprozesses mit allen involvierten Abläufen. Durch die Messmittelfähigkeitsuntersuchung (engl. „Measurement system analysis (MSA)“) wird sichergestellt, dass ein geeignetes System zur Durchführung von Messungen und Erhebung von Daten geschaffen wird und wie hoch der Einfluss der Messung auf das Messergebnis einwirkt. Mit der vorläufigen Prozessfähigkeitsuntersuchung wird im Rahmen der statistischen Prozesslenkung (engl. „Statistical process control (SPC)“) untersucht, ob mit dem vorliegenden Prozess innerhalb von definierten Spezifikationslimits produziert werden kann. Dabei werden über einer Zeitachse bestimmte Kennwerte des Prozesses (z.B. Mittelwert und Standardabweichung) aufgezeichnet. Somit kann erhoben werden ob der Prozess laut Vorgaben abläuft und gegebenenfalls gegengesteuert werden. Dem Prozessablaufplan, SPC und MSA sind in dieser Arbeit eigene Kapitel gewidmet (siehe jeweils Kapitel 4.5, Kapitel 4.8, Kapitel 4.9).

Die Vorserienfreigabe ist der Meilenstein nach der dritten Phase.

### 2.3.5 Phase 4 - Produkt- und Prozessvalidierung

In der Produkt- und Prozessvalidierung wird die bisher geplante Produktion durch einen aussagekräftigen Fertigungsdurchlauf überprüft und validiert. Dabei wird kontrolliert, ob die Vorgaben des Produktlenkungsplanes und des Prozessablaufplanes eingehalten werden können.

**Tabelle 5: Inputs und Outputs der Produkt- und Prozessvalidierungsphase (Phase 4) des APQP. Adaptiert nach (AIAG 2008a) und (LEAN MC 2015).**

Inputs	Outputs
Outputs der Prozessdesign und – entwicklungsphase	Vorseriendurchlauf
	Messsystembeurteilung
	Vorläufige
	Prozessfähigkeitsuntersuchung
	Produktionsteilabnahme (PPAP)
	Produktionsvalidierung
	Verpackungsevaluierung
	Serien Produktlenkungsplan

Die Produktionsteilabnahme (PPAP) wird im Kapitel 0 behandelt.

Mit Abschluss der vierten Phase lautet der Meilenstein: Serienfreigabe.

### 2.3.6 Phase 5 - Rückmeldung, Beurteilung und Korrekturmaßnahmen

In der fünften Phase werden die in der Produktionssituation gegebenen Streuungen reduziert und die Effektivität der vorhergehenden Planung evaluiert. Als Basis dient dazu weiterhin der Produktlenkungsplan.

**Tabelle 6: Inputs und Outputs der Phase fünf (Rückmeldung, Beurteilung und Korrekturmaßnahmen) des APQP. Adaptiert nach (AIAG 2008a) und (LEAN MC 2015).**

Inputs	Outputs
Outputs der Produkt- und Prozessvalidierungsphase	Reduzierung von Streuungen
	Verbesserte Kundenzufriedenheit
	Verbesserte Lieferung und Service
	Effektive Anwendung der „Lessons Learned“ und „Best Practices“

### 2.3.7 Zusammenfassung

Mit den fünf Phasen sind verschiedene Methoden und Werkzeuge in den Vordergrund gerückt, die herangezogen werden um eine zuverlässige Produktion und die Vermeidung von Produktfehlern zu ermöglichen. Das Produktionsteil Abnahmeverfahren dient der Darlegung der Fähigkeiten eines Lieferanten und als Nachweis dafür, dass die notwendigen Auflagen erfüllt wurden, um die Produktion eines Bauteiles nach den Vorstellungen des Kunden zu ermöglichen.

## 2.4 Das Produktionsteil Abnahmeverfahren (PPAP)

Mit der Qualitätsvorausplanung (APQP) wurde im vorausgehenden Kapitel der Prozess einer Produkteinführung abgebildet. Dieser Entstehungsprozess reichte von der Phase der ersten Konzepte bis hin zur Serienproduktion des Teils. Mit der vierten Phase des APQP kommt das Produktionsteil Abnahmeverfahren (PPAP) zur Anwendung. Dieses Verfahren umfasst die Abwicklung und Darlegung von 18 Punkten, mit dem Zweck die Fähigkeit eines Lieferanten zur Produktion eines Bauteiles zu untermauern. Einige der Punkte umfassen rein formelle Kriterien (z.B. Freigaben) andere jedoch die konkrete Anwendung von bestimmten Werkzeugen.

Zusätzlich zum APQP Leitfaden wurde neben SPC, MSA und FMEA Handbüchern auch ein eigener PPAP Leitfaden herausgebracht, der allgemeine Anforderungen zur Produktionsteilabnahme formuliert. Mit dem PPF-Verfahren („Produktionsprozess- und Produktfreigabe“ nach VDA Band 2) gibt es in Deutschland ein Äquivalent des Abnahmeverfahrens, das verwendete Verfahren variiert aber je nach Kunden (Cassel 2006). Die Anwendung des PPAP betrifft sowohl Produktionsteillieferanten, als auch Lieferanten von Serviceteilen oder Produktionsmaterialien (AIAG 2006).

Ein Produktionsteil Abnahmeverfahren muss erfolgen nachdem:

- ein neues Bauteil oder Produkt entwickelt wurde,
- Korrekturmaßnahmen erfolgten und
- ein bereits eingereichtes Teil überarbeitet wurde.

Sobald die 18 Punkte des Abnahmeverfahrens abgearbeitet wurden, wird eine Teilevorlagebestätigung (engl. Part Submission Warrant (PSW)) erstellt, welche neben der Bemusterung des Bauteiles zur Beurteilung herangezogen wird

(Gawlik et al. 2012). In der Teilevorlagebestätigung sind die Anforderungen und Informationen aus den 18 Punkten des Abnahmeverfahrens dokumentiert. Die Bemusterung kann durch fünf verschiedene Ebenen erfolgen. Wenn nicht anders vereinbart oder gefordert, gilt Ebene 3 als Standard. Die Ebenen sind in Tabelle 7 aufgelistet.

**Tabelle 7: Ebenen der Nachweispflicht nach PPAP**

Ebene 1	Abgabe des PSW beim Kunden
Ebene 2	Abgabe des PSW, eines Musters und unterstützender Daten
Ebene 3	Abgabe des PSW, eines Musters und vollständiger Daten
Ebene 4	PSW und kundenspezifische Anforderungen
Ebene 5	PSW, Muster, vollständige Daten am Produktionsstandort

Die 18 Punkte des PPAP sowie deren Nachweispflichten sind in nachstehender Tabelle zu finden (Tabelle 8). Das zur Bemusterung vorgelegte Bauteil muss einem repräsentativen Produktionslauf entstammen. Dieser muss in einem Zeitrahmen von einer bis acht Stunden erfolgen und mindestens 300 aufeinanderfolgende Bauteile hervorbringen. Auf Basis der Teilevorlagenbestätigung und Bemusterung des Bauteils entscheidet der Kunde, ob mit der Serienproduktion begonnen werden kann. Es gibt dabei drei Möglichkeiten:

- Vollständige Freigabe
- Befristete Freigabe (an Auflagen geknüpft)
- Keine Freigabe (Anforderungen nicht erfüllt, keine Serienproduktion)

Wird keine Freigabe zur Serienproduktion gegeben müssen Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden, bis der Reifegrad der Serienproduktion den Kundenanforderungen genügt.

**Tabelle 8: Die Anforderungen des Produktionsteile-Abnahmeverfahrens (PPAP) sowie die Vorlage erforderlicher Unterlagen zu ebendiesen. Adaptierte Darstellung nach (AIAG 2006) und (LEAN MC 2015).**

Anforderung	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
1. Designaufzeichnung					
2. Dokumente zu technischen Änderungen					
3. Technische Freigabe					
4. Design FMEA					
5. Prozessflussdiagramm					
6. Prozess FMEA					
7. Produktlenkungsplan					
8. Messmittel Fähigkeitsanalyse					
9. Messergebnisse					
10. Material und Leistungstests					
11. Untersuchung zur Kurzzeitfähigkeit der Prozesse					
12. Dokumentation eines qualifizierten Labors					
13. Bericht zur Freigabe des Aussehens					
14. Muster-Serienteile					
15. Referenzmuster					
16. Spezifische Prüfmittel					
17. Kundenspezifische Forderungen					
18. Teilevorlagenbestätigung					

	Der Nachweis muss dem Kunden übergeben werden und Kopien von Aufzeichnungen und Dokumentationen an geeigneten Standorten hinterlegt werden.
	Der Nachweis muss an geeigneten Standorten hinterlegt werden und dem Kunden auf Nachfrage dargelegt werden.
	Der Nachweis muss an geeigneten Standorten hinterlegt werden und auf Nachfrage dem Kunde übergeben werden.

Da im Verlauf dieser Arbeit mögliche Prozessabläufe zur Herstellung eines Bauteiles aus Holz erläutert werden, wird vor der genaueren Betrachtung der Werkzeuge des Produktentwicklungsprozesses in Kapitel 4 zuvor auf den Werkstoff Holz eingegangen. Es wird aufgezeigt was Holz von anderen Materialien unterscheidet und warum dies eine besondere Betrachtung des Werkstoffes erfordert.

### **3 Besonderheiten des Werkstoffes Holz**

Der Werkstoff Holz ist ein natürlich gewachsener Rohstoff und zeigt bezüglich mechanischer Kennwerte eine hohe Variabilität. Diese Variabilität ist auf mehreren Ebenen zu sehen und existiert nicht nur zwischen verschiedenen Baumarten sondern auch innerhalb einer Baumart und innerhalb eines Baumes. Wie z.B. im Holzbau ist die Festigkeit allerdings für eine gefähderungsfreie Nutzung von Belang. Hier kann zum einen auf Holzwerkstoffe zurückgegriffen werden, da bei diesen durch ihren Aufbau ein Homogenisierungseffekt eintritt (d.h. sie zeigen eine geringere Streuung) und sie damit in ihrem mechanischen Verhalten berechenbarer werden. Zum anderen wird bei Massivholz eine Festigkeitssortierung vorgenommen. Vor allem im Nadelholzbereich (hauptsächlich Fichte) stehen in der Sortierung ausgereifte Technologien zur Verfügung.

#### **3.1 Sortierung**

Die Festigkeit von Holz ist von vielen Faktoren, wie Feuchtigkeit, Faserabweichungen (z.B. durch Äste), Dichte, Holzfehlern oder dem Mikrofibrillenwinkel abhängig. Bei der maschinellen Festigkeitssortierung können Parameter wie Faserabweichung, der E-Modul, die Dichte und die Astigkeit durch verschiedene Technologien erfasst und somit die Festigkeit abgeschätzt werden. Es ist außerdem möglich die Feuchtigkeit, Geometrieabweichungen, Jahrringlage, Risse oder sonstige Fehler wie etwa Einschlüsse festzustellen. Mittlerweile ist eine Anwendung dieser Systeme bei hohen Durchlaufgeschwindigkeiten möglich, oftmals in Form von Multisensorikeinheiten zur verbesserten Abschätzung der Festigkeit (Microtec 2016). Die Astigkeit kann zudem reduziert werden indem bereits vor dem Einschnitt durch die Verwendung von Computertomographie-Scannern eine optimale Einschnittvariante gewählt wird. Auch für Furniere stehen Systeme zur Verfügung die automatisch Fehlstellen im Furnier erkennen können und ein

anschließendes Entfernen durch Kappen erlauben. Außerdem können Ultraschall und die dynamische E-Modulermittlung auch im Furnierbereich verwendet werden (Antikainen 2015).

Die für die Festigkeitssortierung relevanten Parameter können durch unterschiedliche Verfahren erfasst werden:

### *3.1.1 E-Modul*

Der E-Modul ist ein Maß für die Steifigkeit eines Materials. Eine Möglichkeit der Ermittlung des E-Modules erfolgt durch eine definierte Biegeverformung des Holzes und der Messung der dementsprechend notwendigen Kraft. Eine weitere Möglichkeit besteht durch die Anwendung von Ultraschall, da die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Schallwelle abhängig vom E-Modul eines Feststoffes ist (Sandoz 1989). Die Ermittlung des dynamischen E-Moduls erfolgt durch die Eigenfrequenz-Methode. Dabei wird unter einer dynamischen Anregung die Eigenfrequenz ermittelt, wodurch in Abhängigkeit der Dichte und Probengeometrie der E-Modul bestimmt werden kann (Rais et al. 2013, Oscarrson et al. 2010)

### *3.1.2 Faserabweichungen*

Faserabweichungen können, wie oben beschrieben im Bereich von Ästen, durch Laser-Licht erfasst werden. Dabei wird der sogenannte Tracheideneffekt genutzt, der sich durch die unterschiedliche Leitfähigkeit von Laserlicht in Tracheiden, in Abhängigkeit der axialen Orientierung der Zellen, ergibt (Nyström 2003). Auch Mikrowellen können zur Bestimmung der Faserorientierung herangezogen werden. Dies beruht auf der Abschwächung und Phasenverschiebung von Mikrowellen bei der Durchdringung von Holz (Denzler et al. 2013).

### *3.1.3 Astigkeit*

Äste sind im Vergleich zu normalem Stammholz dichter und bewirken im unmittelbar angrenzenden Bereich Faserabweichungen die zu drastischen Festigkeitsreduzierungen führen. Sie können über Kamerasysteme, über Strahlungssysteme (z.B. Röntgenstrahlung, aufgrund des Dichteunterschiedes) oder Lasersysteme (aufgrund der Faserabweichung) ermittelt werden (Simonaho et al. 2004, Nyström 2003).

### *3.1.4 Dichte*

Die Dichte von Holz kann durch Balancesysteme oder wie bereits oben erwähnt durch Strahlungssysteme ermittelt werden.

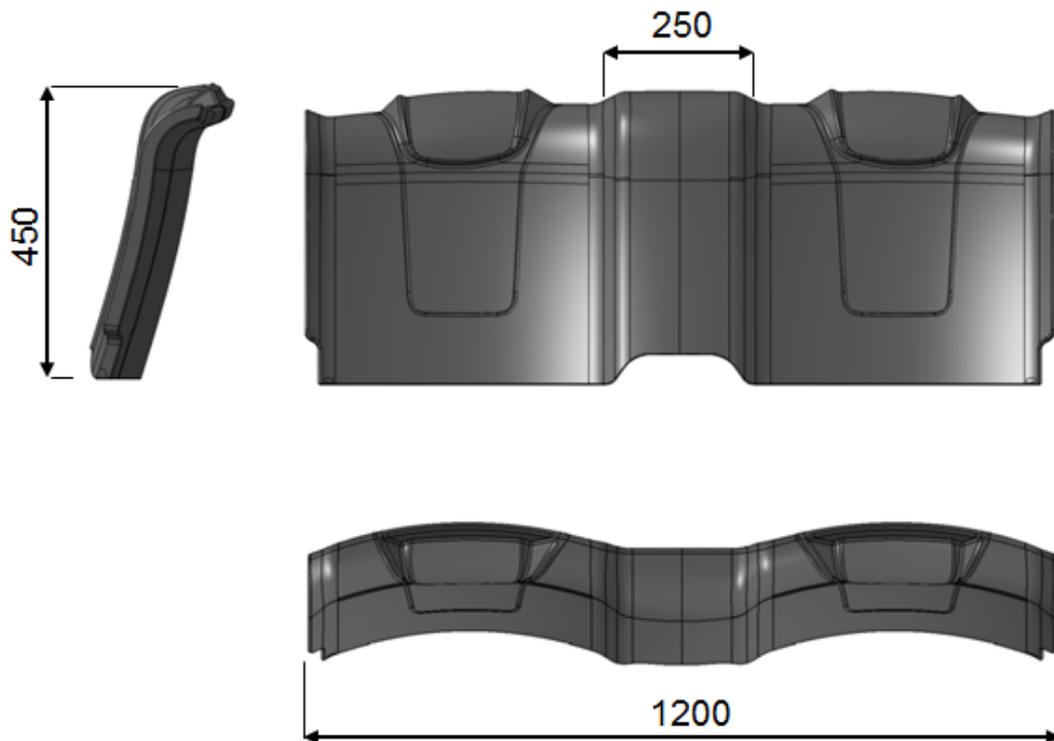
Alle Methoden zeigen Vor- und Nachteile, wie etwa unterschiedliche Geschwindigkeiten oder eine unterschiedliche Größe des Betrachtungsbereiches (lokale oder nicht lokale festigkeitsbeeinflussende Merkmale). Obwohl die oben erwähnten Sortieranlagen vorrangig im Nadelholzbereich zu finden sind wird trotzdem deren Leistungsfähigkeit ersichtlich. Wenn Massivholz oder Furnier als Ausgangsstoff für strukturelle Bauteile in Frage kommt, wird das aller Wahrscheinlichkeit nach ausschließlich fehlerfreies (d.h. auch astfreies) Rohmaterial betreffen. Für die Anwendung von Holz im strukturellen Fahrzeugbau wird eine Sortierung daher unumgänglich sein.

## **4 Die Werkzeuge des Produktentwicklungsprozesses**

In Kapitel 2 wurden im Zuge der Qualitätsvorausplanung (APQP) und des Produktionsteil Abnahmeverfahrens Methoden und Werkzeuge genannt die im Folgenden genauer betrachtet werden. Wie bereits in Kapitel 0 erwähnt, entstand diese Arbeit durch das Projekt „Holz im strukturellen Fahrzeugbau“ an der Universität für Bodenkultur Wien. Im Zuge des Projektes wurden, mit Designvorgaben dreier Originalbauteile, Fahrzeug-Bauteile aus Holz hergestellt. Die Originalbauteile stammten aus dem Konzeptcar CULT der Magna Steyr AG & Co KG und umfassten die Rücksitzlehne, den Unterboden und den Armaturenräger. Zur genaueren Betrachtung der Werkzeuge des Produktentwicklungsprozesses wird in dieser Arbeit die Rücksitzlehne herangezogen. Die Beschreibung und Ausgestaltung dieser Werkzeuge folgt dem prinzipiellen Ablauf bei der Anwendung im APQP oder PPAP. Beginnend mit einer technischen Beschreibung der Bauteile werden die FMEA, das Prozessflussdiagramm, der Produktlenkungsplan, SPC und MSA betrachtet.

### **4.1 Design und Anforderungen an die Rücksitzlehne**

Das Design der Rücksitzlehne wurde von der Magna Steyr AG & Co KG zur Verfügung gestellt und in Form von 3D Dateiformaten übermittelt. CULT wurde als vier Personen PKW ausgelegt und bietet somit auf der Rückbank zwei Personen einen Sitzplatz. Abbildung 5 zeigt das 3D-Modell der Rückenlehne in verschiedenen Ansichten und den grundlegenden Abmessungen. Der Aufbau ist spiegelsymmetrisch gestaltet, dargestellt ist die Rücklehne inklusive Polsterung.



**Abbildung 5: Ansichten der Rückenlehne im Originaldesign sowie grundlegende Abmessungen. Maße in [mm]. Abbildung zur Verfügung gestellt von Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co KG.**

Zusätzlich zu den geometrischen Daten wurde ein Lastenheft übermittelt, welches grundlegende Anforderungen enthielt. Diese sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

**Tabelle 9: Die Anforderungen an die Rücksitzlehne, entnommen aus dem Lastenheft zu Entwicklung der Holzbauteile.**

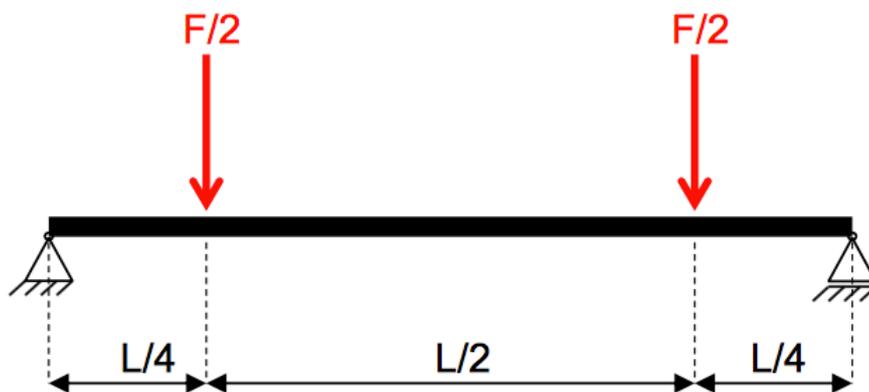
Temperaturbereich	-30 – 80°C
Brandverhalten	Laut ECE R118 bzw. ISO 50050
Insassenbelastung	F=600N
Schutz vor Ladung	Laut ECE R17

Aufgrund des Projektzieles, der Simulierbarkeit von Bauteilen aus Holz, waren bei der Entwicklung der Elemente vorrangig die mechanischen Anforderungen gefragt.

Die Anforderung „Schutz vor Ladung“ enthielt dabei folgende Punkte:

- Die Rücksitzlehne muss Schutz vor verrutschender Ladung bieten.
- Die Verriegelungen der Rücksitzlehne müssen in den Verankerungen am Fahrzeug eingerastet bleiben.
- Bleibende Verformungen sind zulässig, sofern dadurch keine Verletzungsrisiken entstehen (scharfe Kanten, etc.).
- Die Verriegelungssysteme müssen bei Test in Eingriff sein.
- Die Neigung der Rücksitzlehne muss so nah wie möglich bei 25° zur Senkrechten sein.

Die Insassenbelastung wurde laut folgender Darstellung berücksichtigt (Abbildung 6).



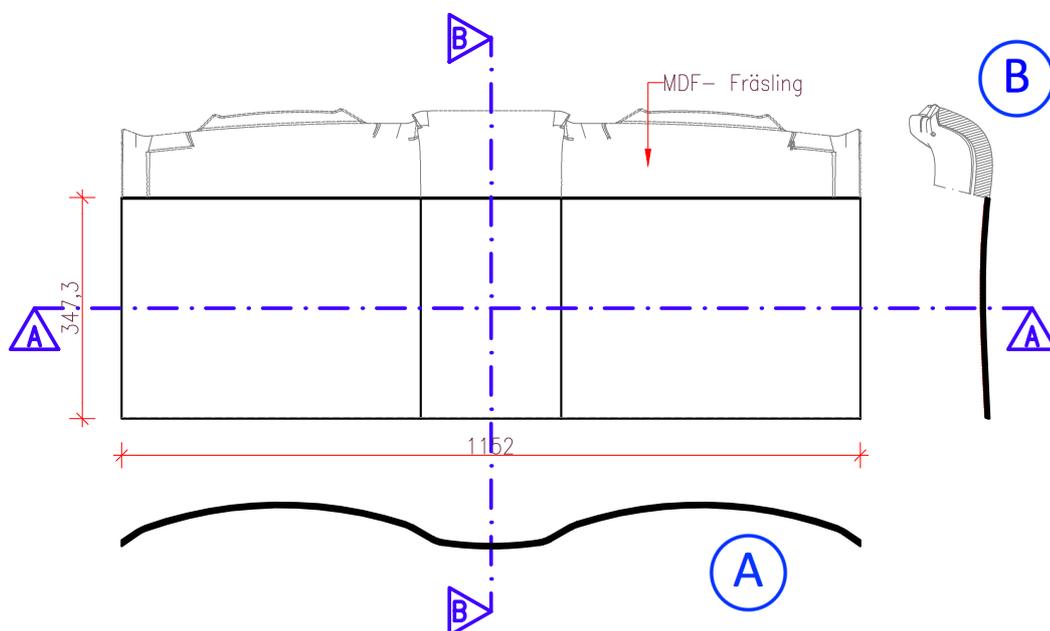
**Abbildung 6: Kräfteinleitung der Insassenbelastung laut Lastenheft.**

Basierend auf diesen Daten und dem Lastenheft wurden im Projektteam zwei Konzepte erarbeitet die eine Konstruktion aus Holz und Holzwerkstoffen erlaubten. Zur Beschreibung der Werkzeuge des Produktentwicklungsprozesses wird allerdings nur eine Variante herangezogen, da das Prinzip der Anwendung der Werkzeuge veranschaulicht werden soll und nicht eine vollständige Ausarbeitung beider Varianten.

#### 4.1.1 Design der Holzbauweise – Schichtbauweise

Eine Ausführung der Rücksitzlehne wurde durch einen geschichteten Sperrholzaufbau mit 3D-gefrästem Kopfteil realisiert. Um die Holzbauweisen umzusetzen, wurden teilweise geometrische Vereinfachungen vorgenommen. Abbildung 7 zeigt den Aufbau der Rücksitzlehne, zu sehen sind auch die geometrischen Änderungen verglichen mit dem Originalbauteil. Die eigentliche Rücklehne wurde durch Verkleben von fünf dünnen Sperrholzlagen (jeweils 1,5mm) hergestellt, das Kopfteil wurde in Form eines MDF-Fräslings auf die Sperrholz-Rückenlehne gesetzt.

Die während des Projektes gefertigten Bauteile wurden größtenteils mit gängigen Holzbearbeitungsmaschinen erstellt. Komplexe Formen, wie das Kopfteil, wurden durch Zuhilfenahme von CNC-Fräsen gefertigt. So auch die Pressformen, um die Sperrholzlagen der eigentlichen Lehne zu verpressen. Ein möglicher Herstellungsprozess im Zuge einer industriellen Fertigung wird im nachfolgenden Kapitel behandelt. Teile dieses Prozesses werden auch herangezogen, um die Qualitätsmanagement-Werkzeuge zu erläutern. Da die Verbindungstechnik während des oben genannten Projektes nicht betrachtet wurde, findet diese einzig im Prozessflussdiagramm einer möglichen industriellen Fertigung Berücksichtigung (Kapitel 4.5).



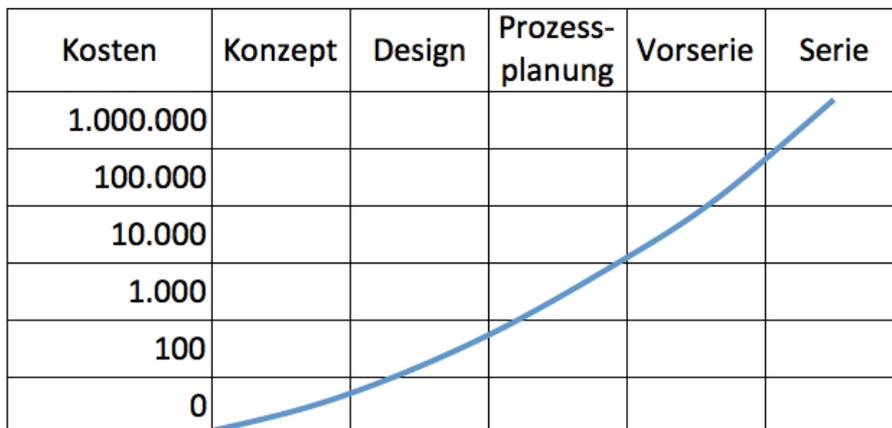
**Abbildung 7: Holzbauweise der Rücksitzlehne mit Sperrholz-Aufbau und MDF Kopfteil. Maße in [mm].**

## 4.2 FMEA - Allgemein

Die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse ist ein Werkzeug zur Einschätzung und im weiteren Verlauf zur Verringerung von Risiken. Die Analyse kann vielfältig eingesetzt werden und ist nicht nur auf Produktionsprozesse beschränkt (Werdich 2012). Deshalb sind mittlerweile unterschiedlichste Anwendungsbereiche bekannt. Wie auch in anderen Industriezweigen ist in der Automobilindustrie die Durchführung von FME-Analysen verpflichtend. Sie ist dort vor allem in Form der Design-FMEA (im Deutschen auch Konstruktions-FMEA genannt) und der Prozess-FMEA zu finden. Während der Design-FMEA (im Folgenden DFMEA) werden möglichst alle potentiellen Fehler die aufgrund

des Designs des Produktes auftreten betrachtet. Eine genaue Erläuterung folgt in Kapitel 4.3. Die Prozess-FMEA (im Folgenden PFMEA genannt) beschäftigt sich mit den Prozessen zur Herstellung des Produktes und mit den darin potentiell auftretenden Fehlern (Werdich 2012). Durch diese Beschreibungen wird bereits ersichtlich, dass dieses Werkzeug vorbeugenden Charakter hat und dementsprechend bald in den Entwicklungsprozess eingebaut werden soll. Die DFMEA wird üblicherweise in der frühen Entwicklungsphase, die PFMEA vor der Werkzeug- und Maschinenanschaffung durchgeführt (AIAG 2008b). Es gibt keinen einheitlichen Zugang zur Analyse, allerdings gemeinsame Elemente in der Durchführung. Die in den weiteren Kapiteln erwähnten Ausführungen entsprechen weitgehend dem Zugang des Leitfadens der FMEA, dem ergänzenden Handbuch zum APQP (AIAG 2008b). Die FMEA gilt als „lebendes Dokument“ und ist bei etwaigen Änderungen anzupassen.

Die Bedeutung der frühzeitigen Fehlererkennung zeigt sich an den finanziellen Auswirkungen zu unterschiedlichen Stadien (Abbildung 8). Es ist zu erkennen, dass die Kosten einer Fehlererkennung bei der Serienfertigung um ein Vielfaches höher liegen als in der Konzeptphase.

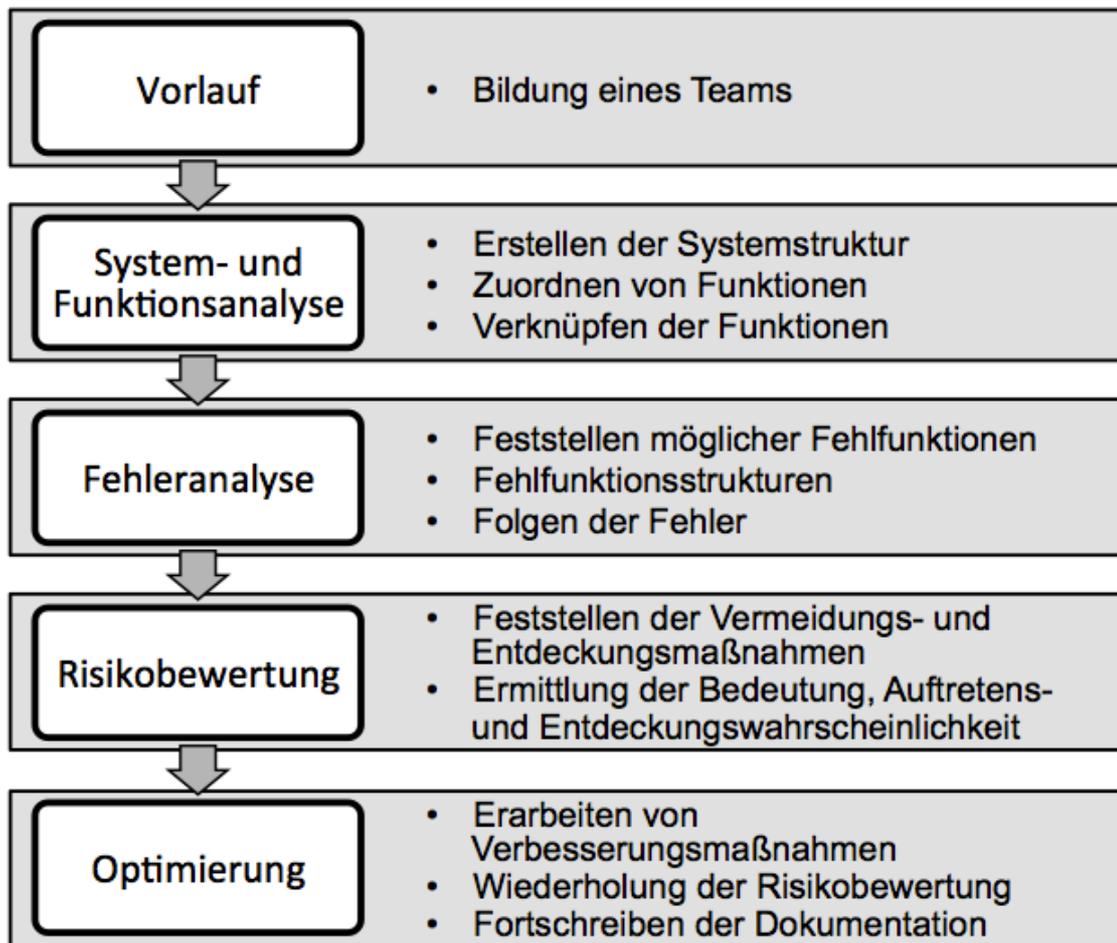


**Abbildung 8: Kostenverlauf bei unterschiedlichen Entdeckungszeitpunkten. Adaptiert nach (Werdich 2012).**

Insbesondere in der Automobilindustrie wurde diese Tatsache bei Rückrufaktionen ersichtlich.

### 4.3 Design-FMEA

Mit der DFMEA können einzelne Bauteile oder gesamte Systeme auf deren Eignung zum funktionsgerechten Zusammenwirken analysiert werden. Der prinzipielle Ablauf einer FMEA ist in Abbildung 9 zu sehen.



**Abbildung 9: Prinzipieller Ablauf einer FMEA. Nach (Brüggemann and Bremer 2012)**

#### 4.3.1 Vorlauf

Das Projekt-Team der FMEA ist in der Regel interdisziplinär und besteht aus Fachpersonal verschiedener Abteilungen. Mit der Bildung des Projektteams wird zudem der Umfang bzw. die Betrachtungstiefe der Untersuchung festgelegt, also ob eine Betrachtung eines Systems, Subsystems oder eines einzelnen Bauteils erfolgt (AIAG 2008b).

#### 4.3.2 System- und Funktionsanalyse

Um die Funktionsanalyse durchzuführen müssen alle Informationen zum System und den Umgebungsbedingungen ausführlich erfasst sein. Es wird festgelegt welche Funktionen das Produkt zu erfüllen hat und beispielsweise mit dem Lastenheft abgeglichen. Für ein Produkt können Haupt- und Nebenfunktionen bestehen. Diese müssen eindeutig formuliert werden und verifizier- bzw. validierbar sein (Werdich 2012). Im Rahmen der Systemanalyse werden die Schnittstellen des Bauteils im System untersucht und mögliche Einflüsse erfasst. Dies erfolgt oft in Form eines Blockdiagramms, zur

Visualisierung der physikalischen und funktionalen Schnittstellen und involvierten Bereiche (siehe Ausführung in Kapitel 4.4). Zur Veranschaulichung der physikalischen und funktionalen Zusammenhänge werden in der Automobilindustrie zusätzlich oft Parameter-Diagramme verwendet. Folgende Werkzeuge und Ressourcen können weitere Hilfestellungen sein um die Design-Anforderungen vollständig zu erfassen, diese werden in dieser Arbeit allerdings nicht weiter aufgegriffen (AIAG 2008b):

- Schematische Darstellungen, Zeichnungen
- Stückliste
- Quality function deployment (QFD)
- Matrizen aus Zusammenhängen und Schnittstellen

#### 4.3.3 Fehleranalyse

Mit der Fehleranalyse werden den ermittelten Funktionen mögliche Fehlfunktionen zugeordnet. Die vollständige Ermittlung dieser Fehlfunktionen ist ein Kernelement einer erfolgreichen Anwendung der FMEA. Um dies zu gewährleisten, ist es sinnvoll auch mögliche Fehlerzustände zu erfassen (Werdich 2012):

- Keine Funktion
- Teilweise Funktion
- Zeitweise Funktion
- Unbeabsichtigte Funktion

Als Erweiterung können für unterschiedliche Strukturebenen sogenannte Fehlerbäume erstellt werden. Zur Beschreibung der Fehler sollte eine klare technische Sprache angewendet werden und keine Beschreibung von „Symptomen“ die durch das Problem verursacht werden. Wurden die Fehlerzustände ermittelt, kann durch Erfahrungen aus vergangenen Problemen eine Bewertung der bisherigen Ausarbeitung erfolgen (AIAG 2008b). Die Fehleranalyse beschäftigt sich außerdem mit den Folgen der möglichen Fehler. Daraus lässt sich ableiten, dass auftretende Fehlfunktionen eine Ursache oder Folge sein können. Dies ist vor allem bei der Betrachtung eines Systems bzw. eines Bauteiles im System von Relevanz. Gleiches gilt für die Suche nach der ursprünglichen Ursache.

#### 4.3.4 Risikobewertung

- Das Risiko, welches von potentiellen Fehlern ausgeht, wird durch drei Kriterien bewertet. Diese lauten: B - Bedeutung der Fehlerfolgen (engl. severity)
- A - Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache (engl. occurrence)
- E - Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache, -art, oder -folgen (engl. detection)

Die Bewertung erfolgt anhand von relativen Maßzahlen, welche von 1-10 reichen. Der Wert 1 wird für das günstigste Szenario gewählt (z.B. keine Fehlerfolgen) und der Wert 10 für das ungünstigste Szenario (hohe Fehlerfolgen) (Werdich 2012). Es ist offensichtlich, dass für eine brauchbare Einschätzung die Wahl von passenden Maßzahlen erheblich ist. Im Handbuch zur FMEA wurden als Hilfestellung Tabellen bereitgestellt die Kriterien für korrektes Ranking beinhalten (AIAG 2008b). Die Entscheidungskriterien für die Bedeutung von Fehlerfolgen sind in Tabelle 10 zu sehen.

**Tabelle 10: Entscheidungshilfen für die korrekte Bewertung von Auswirkungen potentieller Fehler im Produktdesign. Nach (AIAG 2008b).**

<b>Auswirkung</b>	<b>Bedeutung der Auswirkung</b>	<b>Bewertung</b>
Sicherheitsanforderungen und/oder behördliche Anforderungen werden nicht erfüllt	Ohne Vorwarnung beeinträchtigt der potentielle Fehler einen sicheren Betrieb und verursacht Nichterfüllung der behördlichen Auflagen	10
	Der potentielle Fehler beeinträchtigt einen sicheren Betrieb und verursacht Nichterfüllung der behördlichen Auflagen mit Vorwarnung	9
Verlust oder Verschlechterung der Primärfunktion	Verlust der Primärfunktion (Betrieb nicht möglich, keine Sicherheitsgefährdung)	8
	Verschlechterung der Primärfunktion (Betrieb möglich, unter verschlechterten Bedingungen)	7
Verlust oder Verschlechterung der Sekundärfunktion	Verlust der Sekundärfunktion (Betrieb möglich, Komfort nicht gegeben)	6
	Verschlechterung der Sekundärfunktion (Betrieb möglich, Komfort beeinträchtigt)	5
Belästigung	Fahrzeug betriebsbereit, Mängel in Erscheinung oder Lärm, bemerkt von Mehrheit der Kunden (>75%)	4
	Fahrzeug betriebsbereit, Mängel in Erscheinung oder Lärm, bemerkt von vielen der Kunden (50%)	3
	Fahrzeug betriebsbereit, Mängel in Erscheinung oder Lärm, bemerkt von anspruchsvollen Kunden (<25%)	2
Keine Auswirkung	Kein wahrnehmbarer Effekt	1

Die Auftretenswahrscheinlichkeit, dass ein potentieller Fehler eintritt, wird ebenso nach einem Ranking von 1-10 bewertet. Eingangs können als Bewertungsgrundlage Erfahrungen und Informationen zu ähnlichen Bauteilen herangezogen werden. Es wird außerdem berücksichtigt, ob ein überarbeitetes oder neues Bauteil betrachtet wird. Auch Änderungen der Umgebungsbedingungen sowie der mögliche Einsatz von vorbeugender Aktivitäten werden in der Bewertung mit einbezogen. Die Kriterien zur Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit sind in Tabelle 11 dargestellt.

**Tabelle 11: Bewertungskriterien zur Auftretenswahrscheinlichkeit von potentiellen Fehlern im Produktdesign. Nach (AIAG 2008b).**

Wahrscheinlichkeit des Fehlereintritts	Auftreten der Fehlerursache	Auftreten der Fehlerursache	Bewertung
Sehr hoch	Neue Technologie/ neues Design ohne Vorgeschichte	$\geq 100$ in 1000 $\geq 1$ in 10	10
	Fehler ist unausweichlich bei neuem Design, neuer Anwendung oder neuen Einsatzbedingungen	50 in 1000 1 in 20	9
Hoch	Fehler ist wahrscheinlich bei neuem Design, neuer Anwendung oder neuen Einsatzbedingungen	20 in 1000 1 in 50	8
	Fehler ist ungewiss bei neuem Design, neuer Anwendung oder neuen Einsatzbedingungen	10 in 1000 1 in 100	7
Moderat	Häufige Fehler bei ähnlichem Design oder bei Simulationen/Tests	2 in 1000 1 in 500	6
	Gelegentliche Fehler bei ähnlichem Design oder bei Simulationen/Tests	1 in 2000	5
	Vereinzelte Fehler bei ähnlichem Design oder bei Simulationen/Tests	1 in 10 000	4
Gering	Nur vereinzelte Fehler bei beinahe identem Design oder bei Simulationen/Tests	1 in 100 000	3
	Keine beobachteten Fehler bei beinahe identem Design oder bei Simulationen/Tests	1 in 1 000 000	2
Sehr gering	Fehler ist durch präventive Aktivitäten beseitigt	Fehler ist durch präventive Aktivitäten beseitigt	1

Unter dem Begriff „Design Controls“ werden im Handbuch der FMEA Aktivitäten bezeichnet die im Entwicklungsprozess festgelegt wurden und zur Sicherstellung gegebener Anforderungen dienen. Die Bezeichnung „Control“ kann dabei am geeignetsten als „lenkende Aktivität“ bzw. „Steuerung“ verstanden werden. Im Deutschen sind dafür die Bezeichnungen „Vermeidungsmaßnahmen“ bzw. „Entdeckungsmaßnahmen“ zu finden (Brunner and Wagner 1997).

„Präventive Controls“ - Vermeidungsmaßnahmen:

- Design und Materialnormen
- Dokumentation von „best practice“, „lessons learned“, etc.
- Fail-safe Design (ausfallsicheres Design)
- Benchmark-Studien
- Simulationen – mögliche Konzepte für Designanforderungen

„Detection Controls“ - Entdeckungsmaßnahmen:

- Entwurfsprüfungen
- Prototyp Prüfungen
- Design of experiments (statistische Versuchsplanung)
- Validationsprüfungen
- Simulationen – Validation des Designs
- Modelle mit ähnlichen Teilen

Im Folgenden ist eine weitere Tabelle zur Bewertung der Entdeckungswahrscheinlichkeit dargestellt (Tabelle 12).

**Tabelle 12: Entscheidungskriterien zur Bewertung der Entdeckungswahrscheinlichkeit von potentiellen Fehlern im Produktdesign. Nach (AIAG 2008b).**

Gelegenheit der Entdeckung	Bedeutung der Design Controls	Bewertung	Wahrscheinlichkeit der Entdeckung
Keine Entdeckungsmöglichkeit	Keine Design Controls	10	Beinahe unmöglich
Entdeckung in keiner Phase wahrscheinlich	Design Controls haben geringes Entdeckungsvermögen	9	Sehr gering
	Produkt Verifikation/Validation nach Designfestlegung und vor Markteinführung mit „pass/fail test“	8	Gering
	Produkt Verifikation/Validation nach Designfestlegung und vor Markteinführung mit „test to failure“	7	Sehr niedrig
Nach Designfestlegung, vor Markteinführung	Produkt Verifikation/Validation nach Designfestlegung und vor Markteinführung inkl. Prüfung der Dauerhaftigkeit	6	Niedrig
	Produktvalidation vor Designfestlegung mit „pass/fail test“	5	Moderat
	Produktvalidation vor Designfestlegung mit „test to failure“	4	Erhöht
Vor Designfestlegung	Produktvalidation vor Designfestlegung inkl. Prüfung der Dauerhaftigkeit	3	Hoch
	Design Controls haben hohes Entdeckungsvermögen. Die virtuelle Analyse stimmt weitgehend mit realen Bedingungen überein	2	Sehr hoch
Fehlerprävention	Fehlerursachen und potentielle Fehler können nicht auftreten, da durch Design-Lösungen vollständig verhindert	1	Fast sicher

„Pass/fail test“ bezeichnet ein Testverfahren, wobei das Bauteil bestehen oder nicht bestehen kann. „Test to failure“ bezeichnet ein Prüfung bei der das Bauteil auf ein Versagen getestet wird.

Mit der Bewertung von Fehlerfolgen (B), Auftrittswahrscheinlichkeit (A) und Entdeckungswahrscheinlichkeit (E) liegt eine vorläufige Beurteilung des

Produktes zu einem gewissen Zeitpunkt vor. Auf Basis dieser Ergebnisse können nun empfohlene Maßnahmen festgelegt werden. Um die dringlichsten potentiellen Fehler zu identifizieren und so bald wie möglich zu verbessern wurde in der Vergangenheit durch Multiplikation von B, A und E die Risikoprioritätszahl (RPZ) (engl. Risk priority number (RPN)) gebildet und ein Ranking vorgenommen. Theoretisch könnte diese daher zwischen 1 und 1000 liegen, Grenzwerte (kritische Risikoprioritätszahlen) werden meist unternehmensintern festgelegt und liegen meist bei 100-120 (Brüggemann and Bremer 2012, Brunner and Wagner 1997). Man ist sich heute allerdings einig, dass die RPZ keine geeignete Methode darstellt, um Risiken sicher aufzuzeigen (AIAG 2008b, Werdich 2012). Im FMEA-Leitfaden wird daher empfohlen, die Bewertungen in der Reihenfolge von B, A und E durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren. Weitere Möglichkeiten sind die Bildung von sogenannten Ampelfaktoren und Risikographen, auf die in dieser Arbeit nicht näher eingegangen wird (Werdich 2012). Der gesamte Bewertungsablauf findet mit Hilfe eines Formblattes statt, welches im Kapitel 4.4 zu sehen ist.

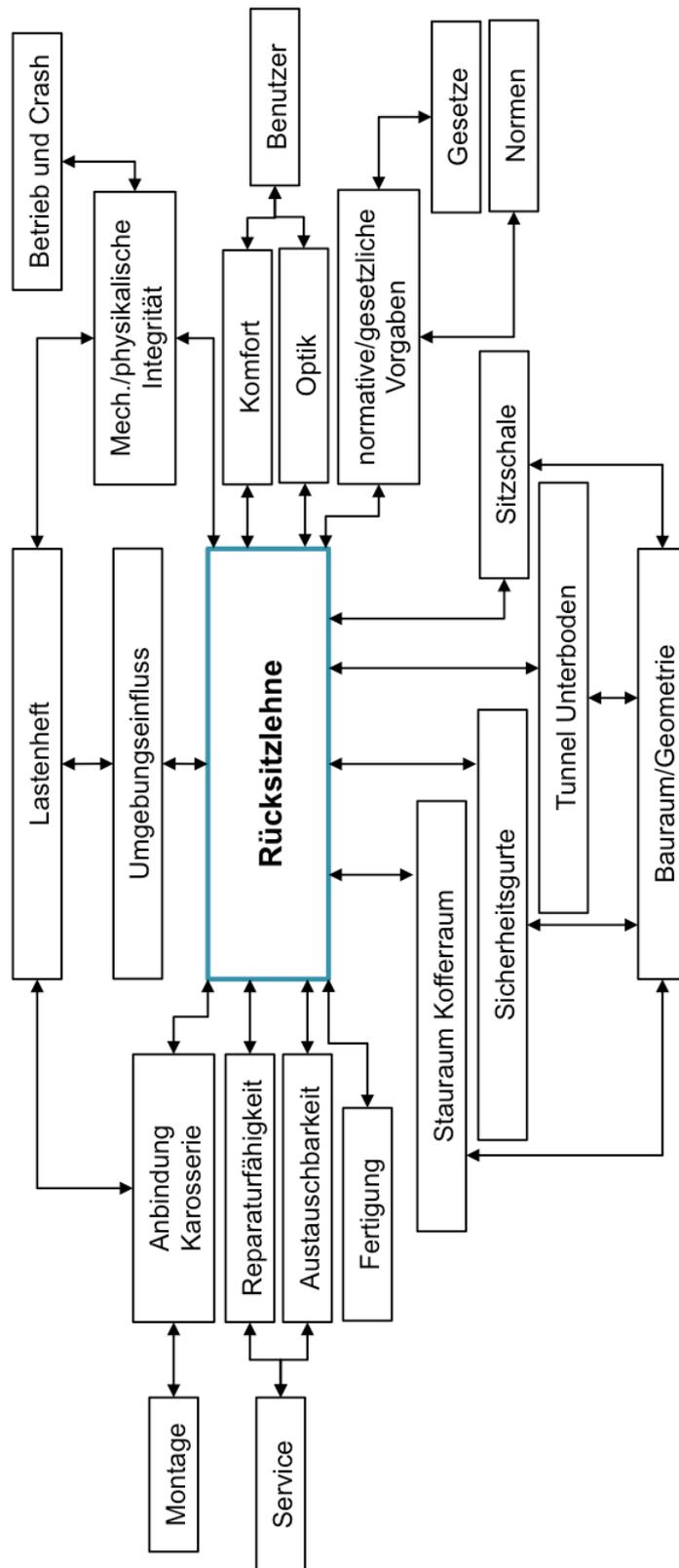
#### 4.4 Design-FMEA der Rücksitzlehne

Dieses Kapitel soll anhand der bereits erwähnten Rücksitzlehne beispielhaft eine Design-FMEA darstellen. Anforderungen an das Bauteil sind teilweise bereits vorhanden, auch das Design des ursprünglichen Bauteils wurde als Ausgangspunkt herangezogen. Im Weiteren folgt eine Funktionsanalyse, sowie die beispielhafte Durchführung der FMEA anhand des FMEA-Formblattes. In Tabelle 13 sind exemplarisch Haupt- und Nebenfunktionen aufgelistet, die die Rücksitzlehne erfüllen soll.

**Tabelle 13: Exemplarische Haupt- und Nebenfunktionen der Rücksitzlehne.**

Hauptfunktion	Nebenfunktion
Benutzer stützen	Fahrzeugraum trennen
Benutzer Komfort bieten	Vor Ladung schützen
Betriebslast aufnehmen	Optische Ansprüche erfüllen
Betriebslast ableiten	Servicierbarkeit gewährleisten
Crashlast aufnehmen	Montage gewährleisten
Crashlast ableiten	Statische Belastungen tragen

Diese Information kann weiter genutzt werden um das Blockdiagramm mit den physikalischen und funktionellen Schnittstellen zu erstellen (Abbildung 10).



**Abbildung 10: Darstellung der Schnittstellen zur Rückenlehne im Blockdiagramm. Die blaue Umrandung markiert die Systemgrenze. Erstellt in Anlehnung an (Werdich 2012) sowie (AIAG 2008b).**

## **Das Formblatt zur Durchführung der Bewertung ist in**

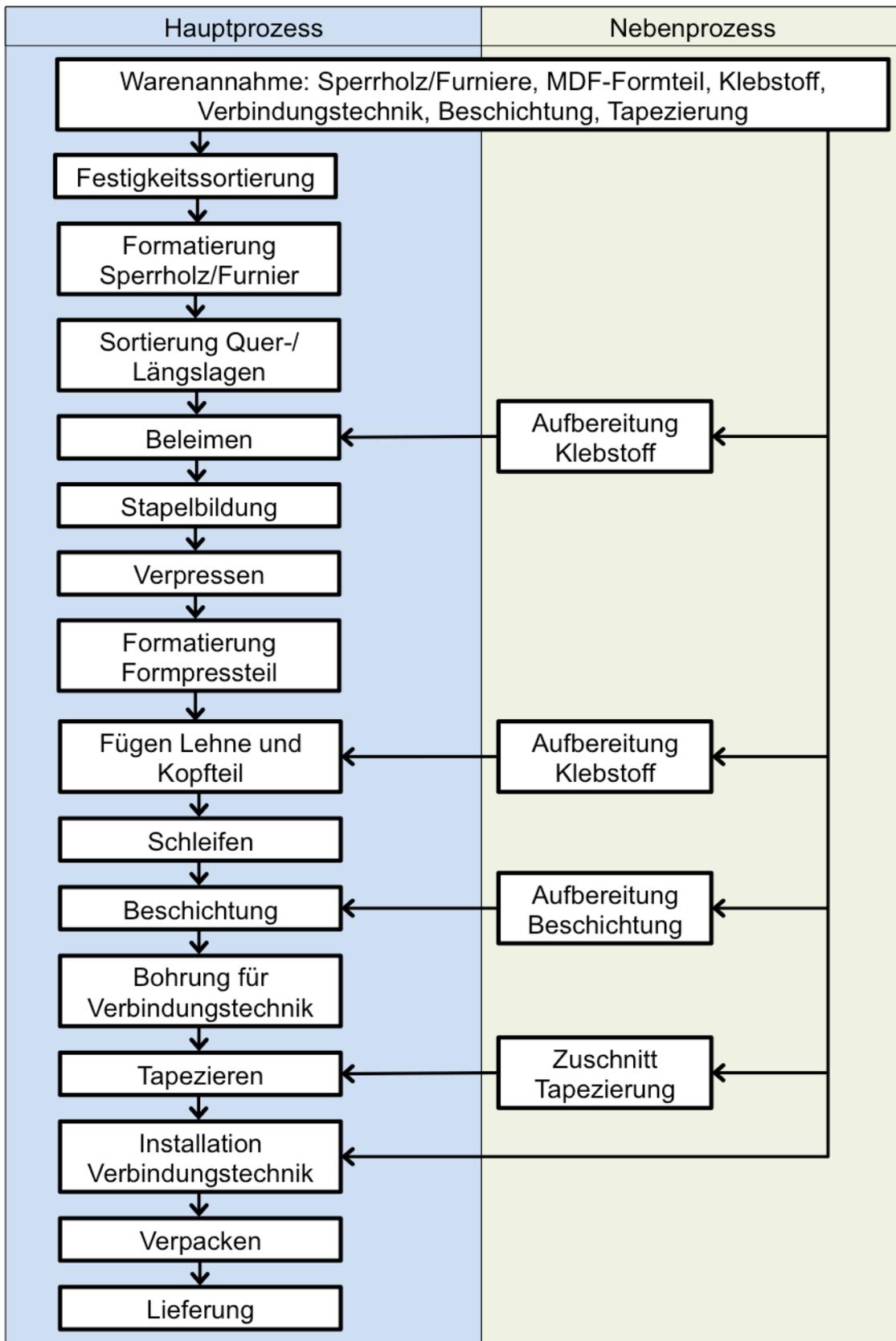
dargestellt. Zu sehen sind die jeweiligen Felder zur Beschreibung und Bewertung der potentiellen Fehler bzw. deren Ursachen und Gegenmaßnahmen. Obwohl in der Praxis unerlässlich, wurde in dieser Darstellung auf formelle Felder wie Datum, Nummerierung, Team oder Verantwortlicher verzichtet. Im Formblatt findet sich die exemplarische Durchführung einer Risikobewertung für 2 Objekte. Die Bewertung bezieht sich auf das in Kapitel 4.1 angeführte Design. Im Eingabefeld „Objekte/Funktionen“ können Teile, Schnittstellen oder Funktionen eingetragen werden, die im Zuge der Vorarbeit bestimmt wurden. Wenn einem Teil mehrere Funktionen zukommen, werden diese separat aufgelistet. Die Bewertung erfolgte anhand der Kriterien der oben angeführten Tabellen. Auch die RPZ ist in dieser Ausführung der Vollständigkeit halber zu finden. Anhand der gewählten Beispiele zeigt sich allerdings auch die Problematik ebendieser. Mit einer RPZ von 120 könnte so beispielsweise ein Fehler wie eine beschädigte Tapezierung der Lehne als dringlicher eingestuft werden als ein Versagen der Klebverbindung zwischen Kopfteil und Lehne (RPZ 100).

Objekt/ Funktion	Anforderung	potentieller Fehler	potentielle Auswirkung des Fehlers	Bedeutung des Fehlers (B)	Klassifi- zierung (optional)	potentielle Ursachen des Fehlers	momentanes Design				RPZ	Empfohlene Maßnahmen	Verantwortlich- keit & Datum der Fertigstellung	Ergebnisse der Maßnahmen			
							Vermeidungs- maßnahmen	Auftretenswahrsch- einlichkeit (A)	Entdeckungs- maßnahmen	Entdeckungs- wahrscheinlich- keit (E)				ergriffene Maßnahmen	B	A	E
Verbind- ung Kopfteil/ Lehne	Klebeverbindung muss mechanischen Belastungen während regulären Betrieb und darüber hinaus (Aufprall mit Kopf) standhalten	erforderliche Verbindung der Elemente nicht gegeben	Stütze für Kopf des Benutzers nicht gegeben	10		Überlappung/ Falz zwischen Kopfteil und Lehne zu gering	Ermittlung der notwendigen Fläche zur Kraft- und Momenten- aufnahme aus Belastungs- fällen	1	Inspektion ob Fertigung des Bauteils nach Geometrie- vorgaben (visuell)	1	10		X am xx.xx.xxxx	10	1	1	10
		korrekter Passung des Kopfteils Geometrie oder nicht gegeben	Passung der Teile im digitalen Design durch optimieren	5		Passung der Teile im digitalen Design durch optimieren	Inspektion ob Fertigung des Bauteils nach Geometrie- vorgaben (visuell)	2	Inspektion ob Fertigung des Bauteils nach Geometrie- vorgaben (visuell)	2	100	Kanten der Lehne während Formatierungs- Arbeitsschritt anfassen	X am xx.xx.xxxx	10	2	1	20
		Verklebungs- festigkeit nicht gegeben	Klebefestig- keit nach Norm XX	1		Verklebungs- festigkeit nicht gegeben	Klebefestig- keit nach Norm XX	1	Verklebungs- prüfungen durchführen	1	10	Programmier- ung während CAM	X am xx.xx.xxxx	10	2	1	20
		scharfe Kanten durch Formatierung	Verklebung nach Datenblatt Klebstoff XX	1		Verklebung nach Datenblatt Klebstoff XX	Verklebung nach Datenblatt Fertigungs- parameter	1	Abgleich Datenblatt/ Fertigungs- parameter Kanten	1	10	Programmier- ung während CAM	X am xx.xx.xxxx	10	1	1	10
gesamtes Bauteil	optische Erscheinung	Beschädigung der Tapezierung	beeinträcht- igtes Erscheinun- gsbild	4		scharfe Kanten durch Formatierung	Kantenabsch- luss-Design	6	Inspektion Kanten	5	120	Kanten der Lehne während Formatierung und Schleifen anfassen	X am xx.xx.xxxx	4	2	2	16

Abbildung 11: Beispiel einer DFMEA anhand zweier Objekte der Rücksitzlehne in Holzbauweise. Adaptiert nach (Chrysler Corporation et al. 2008).

## 4.5 Prozessflussdiagramme

Prozessflussdiagramme bilden eine Basis zur Durchführung einer PFMEA. Der Detaillierungsgrad eines Flussdiagrammes richtet sich nach dem Entwicklungsstand des jeweiligen Projektes und ist anfänglich durch einen geringen Detaillierungsgrad gekennzeichnet (im Englischen als „high level process map“ bezeichnet“) (AIAG 2008b). Im Folgenden wird der Ablauf der Fertigung der Rückenlehne durch ein Prozessflussdiagramm mit geringem Detaillierungsgrad dargestellt (Abbildung 12). Die Abbildung zeigt den prinzipiellen Ablauf einer industriellen Fertigung der Rückenlehne und wird als Basis für weitere Betrachtungen herangezogen. Mit steigendem Informationsgewinn, bzw. der Ausarbeitung von Anforderungen können einzelne Arbeitsschritte detaillierter dargestellt werden. Zur Darstellung der Prozesse gibt es keine einheitliche Vorgangsweise. Es sollten allerdings Prozessschritte wie Materialbearbeitung, Zusammenbau, Warenannahme, Versand, Lagerung, Beförderung oder Kennzeichnung vorhanden sein. Inputs (z.B. Prozesscharakteristiken, mögliche Abweichungen) und Outputs (z.B. Produktcharakteristiken, Anforderungen) des jeweiligen Prozessschrittes können dabei mitangeführt werden (AIAG 2008b). Falls erforderlich können zur Darstellung einzelner Prozessschritte normierte bzw. festgelegte Symbole verwendet werden, die eine jeweilige Ausprägung des Prozessschrittes kennzeichnen (Koch 2015). Eine Möglichkeit zur detaillierten Betrachtung von Prozessen ist in Abbildung 13 zu sehen. Es zeigt ein Segment des in Abbildung 12 dargestellten Prozesses, inklusive möglichen Abweichungen, Prozess- und Produktcharakteristiken.



**Abbildung 12: Prozessflussdiagramm ( engl. high level process map) der Rücksitzlehne im Schichtbau.**

Mögliche Abweichungen	Prozessbezeichnung	Prozessschritte	Prozesscharakteristiken	Produktcharakteristiken
Transportschäden	1: Warenannahme und Inspektion		Inspektion - offensichtliche Schäden	
Ausschuss	2: Festigkeits-sortierung			Festigkeitsanforderungen
Formatsäge Setup	3: Formatierung Sperrholz/ Furnier		Stapel-Positionierung	Längs und Querformate
	4: Sortierung in Quer- und Längslagen		Reihenfolge der Lagen	
Viskosität	5: Aufbereitung Klebstoff		Mischungsverhältnis, Topfzeit, Temperatur	Viskosität
	6: Beleimen		Auftragsmenge, Durchlaufgeschw, offene Zeit	Außenlagen einseitig, Innenlagen beidseitig
	7: Stapelbildung		Anzahl Lagen	
Verunreinigungen an Pressfläche, Pressparameter	8: Verpressen		Pressdruck, Temperatur, Zeit	3D-Geometrie
Rückfederung (Geometrieabweichung)	9: Konditionierung Zwischenlager		Lagerdauer	
Oberflächenqualität, Werkzeugschärfe	10: Formatierung des Formpressteils		Fräsparameter	Fertigformat
	11: Inspektion		Offensichtliche Schäden an Oberfläche/Kanten	
	Prozessfortlauf			
 Arbeitsgang+ Inspektion	 Arbeitsgang	 Inspektion	 Lagerung	 Entscheidung
		Beförderung im Primär-Prozess		

**Abbildung 13: Prozessflussdiagramm mit erhöhtem Detailierungsgrad und Darstellung der möglichen Prozessschritt-Symbolik. Nach (AIAG 2008b).**

#### 4.6 Prozess-FMEA

Mit der Prozess-FMEA (PFMEA) wird analog zur DFMEA eine Risikoanalyse durchgeführt. Betrachtet wird dabei allerdings der Produktionsprozess. Wie bereits in Kapitel 4.3 beschrieben, gehen formelle und organisatorische Aktivitäten (z.B. Umfang der Analyse, Bildung eines geeigneten Teams) der eigentlichen Analyse voraus. Zur Analyse werden Informationsquellen wie DFMEA, Prozessflussdiagramm, technische Zeichnungen/Designaufzeichnungen und Berichte zu ähnlichen vorangegangenen Projekten herangezogen. Zu Beginn der Analyse steht eine Recherche um Informationen zu ähnlichen vorangegangenen Projekten, insbesondere „lessons learned“ (gewonnene Erkenntnisse) und „best practices“ (Erfolgsmodell), zu erhalten (AIAG 2008b). Der Vorgang ist analog zur Durchführung der DFMEA gestaltet (Abbildung 9), auch das Formblatt ist nur geringfügig angepasst. Die Ermittlung der potentiellen Fehler erfolgt anhand der festgelegten Funktionen und Anforderungen. In den Prozess eingehende Materialien oder Teile werden als fehlerfrei angenommen. Die Auswirkungen potentieller Fehler werden sowohl auf den Kunden als auch auf den Endverbraucher bezogen. Als Hilfestellung zur Bewertung der Auswirkungen können folgende Fragen dienen (AIAG 2008b):

- Verhindert der mögliche Fehler weitere Arbeitsschritte im Produktionsprozess oder stellt er eine Gefahr für Arbeiter bzw. Anlagen dar?
- Wie äußern sich potentielle Auswirkungen beim Endverbraucher? (z.B. Lärm, fehlende Justierbarkeit, Erscheinungsbild)
- Welche Maßnahmen werden ergriffen wenn eine Auswirkung erkannt wird bevor der Endverbraucher betroffen ist? (z.B. Stilllegung der Produktionslinie, Stop der Auslieferung, verringerte Durchlaufgeschwindigkeit)

Wie bereits bei der DFMEA werden im Leitfaden zur FMEA auch für die PFMEA Entscheidungskriterien zur Risikobewertung angeführt. Diese Entscheidungshilfen beziehen sich einerseits auf die Bedeutung für das Produkt als auch auf die Bedeutung für den Prozess. Die Kriterien zur produktbezogenen Bedeutung sind für die PFMEA ident mit den Kriterien der DFMEA und sind in Tabelle 10 zu sehen. Die prozessbezogenen Kriterien sind in Tabelle 14 dargestellt.

**Tabelle 14: Entscheidungshilfen für die korrekte Bewertung von Auswirkungen potentieller Fehler im Produktionsprozess. Nach (AIAG 2008b).**

<b>Auswirkung</b>	<b>Bedeutung der Auswirkung</b>	<b>Bewertung</b>
Sicherheitsanforderungen und/oder behördliche Anforderungen werden nicht erfüllt	Mögliche Gefahr für Bediener oder Anlage ohne Vorwarnung.	10
	Mögliche Gefahr für Bediener oder Anlage ohne Vorwarnung.	9
Starke Störung	100% Ausschuss möglich. Stop der Produktionslinie oder Auslieferung.	8
Signifikante Störung	Teilweiser Ausschuss möglich. Abweichungen des Prozesses einschließlich reduzierter Durchlaufgeschwindigkeit und Nacharbeit.	7
	100% des Produktionslaufes müssen eventuell offline nachbearbeitet und abgenommen werden.	6
	Teile des Produktionslaufes müssen eventuell offline nachbearbeitet und abgenommen werden.	5
Moderate Störung	100% des Produktionslaufes müssen eventuell in der Produktionsstation nachbearbeitet werden.	4
	Teile des Produktionslaufes müssen eventuell in der Produktionsstation nachbearbeitet werden.	3
Geringe Störung	Leichte Umstände für Prozess oder Bediener.	2
Keine Auswirkung	Keine wahrnehmbare Auswirkung.	1

Zur korrekten Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit von potentiellen Fehlern können, falls vorhanden, statistische Auswertungen ähnlicher Prozesse herangezogen werden. Ansonsten erfolgt eine Bewertung durch Vorfälle pro Betrachtungseinheit (Tabelle 15).

**Tabelle 15: Bewertungskriterien zur Auftretenswahrscheinlichkeit von potentiellen Fehlern im Produktionsprozess. Nach (AIAG 2008b).**

<b>Wahrscheinlichkeit des Fehlereintritts</b>	<b>Auftreten der Fehlerursache</b>	<b>Bewertung</b>
Sehr hoch	≥100 in 1000	10
	≥1 in 10	
Hoch	50 in 1000	9
	1 in 20	8
	20 in 1000	
	1 in 50	
Moderat	10 in 1000	7
	1 in 100	6
	2 in 1000	
	1 in 2000	
Gering	1 in 10 000	4
	1 in 100 000	3
Sehr gering	1 in 1 000 000	2
	Fehler sind durch Vermeidungsmaßnahmen beseitigt	1

Tabelle 16 zeigt die Entscheidungshilfe zur Entdeckungswahrscheinlichkeit der potentiellen Fehler.

**Tabelle 16: Entscheidungskriterien zur Bewertung der Entdeckungswahrscheinlichkeit von potentiellen Fehlern im Produktionsprozess. Nach (AIAG 2008b).**

<b>Gelegenheit der Entdeckung</b>	<b>Bedeutung der Design Controls</b>	<b>Bewertung</b>	<b>Wahrscheinlichkeit der Entdeckung</b>
Keine Entdeckungsmöglichkeit	Keine Prozess Controls	10	Beinahe unmöglich
Entdeckung in keiner Phase wahrscheinlich	Potentieller Fehler und/oder Störung ist schwer zu detektieren	9	Sehr gering
Problementdeckung nach Fertigung	Entdeckung des Fehler nach Fertigung (visuell, akustisch, taktil).	8	Gering
Problementdeckung vor Ort	Entdeckung des Fehlers vor Ort (visuell, akustisch, taktil) oder bei Weiterverarbeitung (durch Attribut-Prüfung).	7	Sehr niedrig
Problementdeckung nach Fertigung	Entdeckung des Fehlers nach Fertigung (durch Variablenprüfung) oder in Arbeitsstation (durch Attribut-Prüfung).	6	Niedrig
Problementdeckung vor Ort	Fehler- oder Fehlerursachenentdeckung in Arbeitsstation durch Variablenprüfung oder automatische Detektoren.	5	Moderat
Problementdeckung nach Fertigung	Fehlerentdeckung nach Fertigung durch automatische Detektoren und Sperre des fehlerhaften Teils für weitere Verarbeitung.	4	Erhöht
Problementdeckung vor Ort	Fehlerentdeckung nach Fertigung durch automatische Detektoren und Sperre des fehlerhaften Teils in Arbeitsstation für weitere Verarbeitung.	3	Hoch
Störungserkennung und Problemvermeidung	Entdeckung der Störung in Arbeitsstation durch Automatische Detektoren, Verhinderung der Fertigung des Teils	2	Sehr hoch
Detektion nicht anzuwenden, Problemvermeidung	Fehlerhafte Teile können durch Prozess- und Produktdesign nicht auftreten.	1	Fast sicher

In Abbildung 14 zeigt eine beispielhafte Durchführung einer PFMEA anhand der Rücksitzlehne. Formalangaben werden in der Abbildung nicht dargestellt. Die Durchführung bezieht sich auf die Verpressung der Sperrholzlagen zu einem

Prozessschritt / Funktion	Anforderung	potentieller Fehler	potentielle Auswirkung des Fehlers	Bedeutung des Fehlers (B)	Klassifizierung	potentielle Ursachen des Fehlers	momentaner Prozess				RPZ	Empfohlene Maßnahmen	Verantwortlichkeit & Datum der Fertigstellung	Ergebnisse der Maßnahmen		
							Vermeidungsmaßnahmen	Auftretenswahrscheinlichkeit (A)	Entdeckungsmaßnahmen	Entdeckungswahrscheinlichkeit (E)				ernommene Maßnahmen	B	A
Verpressen der Sperrholzlagen	Herstellung der 3D-Fläche nach Designvorgabe	Abweichungen der Geometrie an engen Radien	ungenügende Passung von Kopfteil und Lehne	8		Zurückfedern nach Pressvorgang	Prototypenbau	10	Variablenprüfung nach Pressvorgang	6	480	Kompensation des Zurückfederns durch Überbiegen der Radien	X am xx.xx.xxxx			
							Pressversuche Erfahrungswerte ähnlicher Prozesse									8
				8		ungenügender Pressdruck	Verklebung nach Datenblatt Klebstoff XX	9	Variablenprüfung nach Pressvorgang	6	432	Anpassung des Pressdruckes, wenn Angabe nicht ausreichend				

Abbildung 14: Beispiel einer PFMEA anhand eines Prozessschrittes in der Fertigung der Rücksitzlehne in Holzbauweise. Adaptiert nach (Chrysler Corporation et al. 2008).

sphärisch geformten Bauteil. Als mögliche Fehlerursache im Fertigungsschritt wird eine mangelhafte Formhaltigkeit des Formpressteiles genannt.

#### **4.7 Produktlenkungsplan**

Mit den Informationen der vorangegangenen Werkzeuge, insbesondere der PFMEA, kann ein Produktlenkungsplan (engl. controlplan) erstellt werden. In Produktlenkungsplänen werden alle Maßnahmen zur Senkung der Produkt- und Prozessstreuungen erfasst (AIAG 2008a). Sie dokumentieren Qualitäts- und Prozesscharakteristiken, sowie festgelegte Prüfmethoden und Prüfparameter (Brüggemann and Bremer 2012). Dies beinhaltet arbeitsplatzspezifische Arbeits- und Prüfanweisungen vor, während und nach der Produktion (Werdich 2012). In der Qualitätsvorausplanung (APQP) ist der Produktlenkungsplan in drei Formen zu finden. Erstellt wird der Plan für die Produktion des Prototypen, für die Vorserien- und für die Serienproduktion. Auch der Produktlenkungsplan ist ein „lebendes Dokument“ und muss bei Änderungen angepasst werden (AIAG 2008b).

#### **4.8 Statistische Prozesslenkung (SPC)**

Die vorangegangenen Qualitätsmanagement Werkzeuge dienen der Entwicklung von Produkten und Produktionsprozessen unter Berücksichtigung von Qualitätsvorgaben und Kundenanforderungen. Eine weitere Anforderung in der Qualitätsvorausplanung, genauer im Produktionsteil Abnahmeverfahren, richtet sich an die Fähigkeit des Zulieferers das Produkt in einem „beherrschten“ Prozess herzustellen (siehe Kapitel 2.3.5). Dies erfolgt durch statistische Prozesslenkung (engl. Statistical process control SPC). Das zugrundeliegende Prinzip beruht darauf, ein tiefgreifendes Verständnis über den Herstellungsprozess zu erlangen und unter Zuhilfenahme statistischer Mittel entscheidende Prozesscharakteristiken zu lenken. Der Hintergrund der statistischen Prozesslenkung liegt darin, Abweichungen im Herstellungsprozess frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls gegenzusteuern anstatt diese bei einer Inspektion des finalen Produktes festzustellen. Durch dieses Feedback-System werden einerseits Fehler während der Produktion reduziert und andererseits wird vermieden, dass fehlerhafte Produkte den Fertigungsprozess durchlaufen und erst am Ende des Prozesses durch die Inspektion aussortiert werden (AIAG 2005).

Statistische Prozesslenkung ist nicht Automobilbranchen-spezifisch, sondern findet in vielen Bereichen Anwendung. Dieses Kapitel richtet sich allerdings

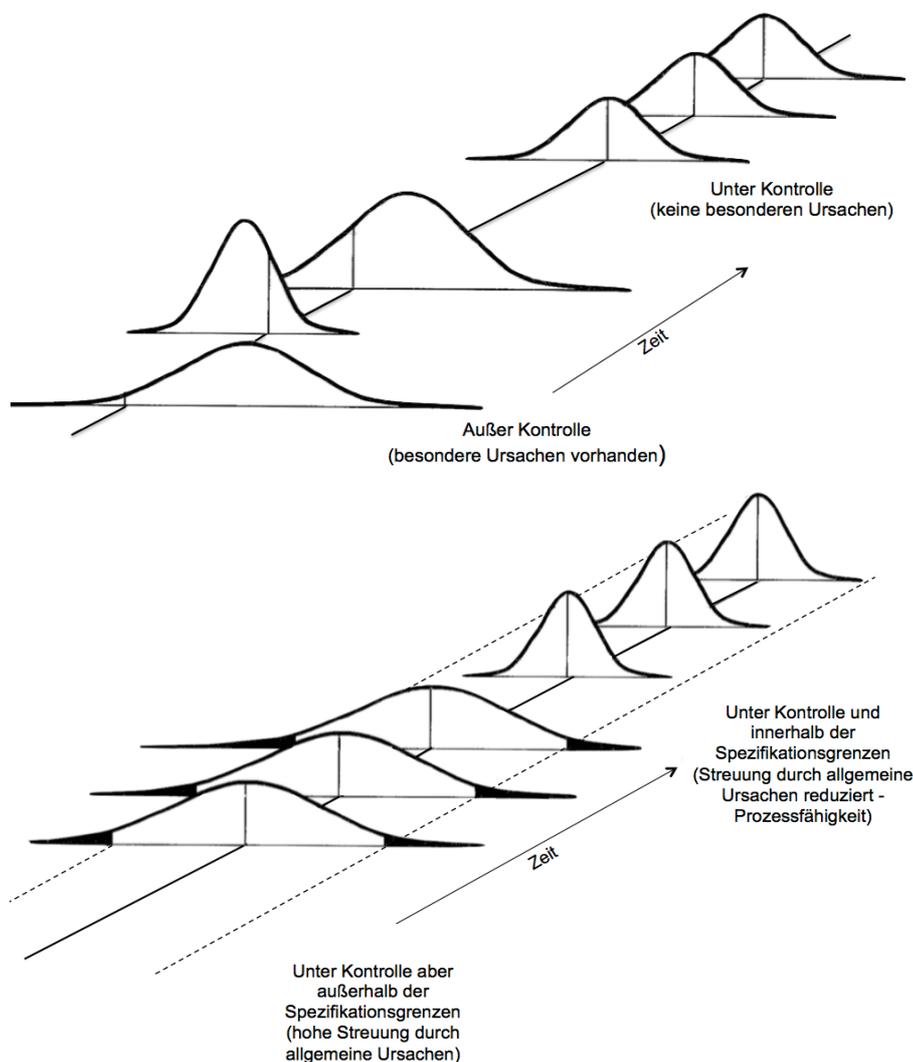
vorrangig nach den Schwerpunkten der statistischen Prozesslenkung die im Leitfaden zum SPC (AIAG 2005) zu finden sind.

#### *4.8.1 Abweichung und Streuung im Prozess*

Verschiedenste Einwirkungen, wie beispielsweise Mensch, Maschine, Umgebung oder Material, beeinflussen Herstellungsprozesse und verursachen in diesen Abweichungen und Streuungen. Diese Abweichungen und Streuungen können durch allgemeine oder besondere Ursachen entstehen und werden durch Stichproben in Form von Verteilungen sichtbar. Die in diesem Abschnitt behandelten Methoden gelten ausschließlich für normalverteilte Werte. Werden zu bestimmten Intervallen im Prozessverlauf Stichproben mit einem gewissen Umfang entnommen, kann über den Prozessverlauf bei jeder Stichprobennahme die Verteilung der Proben ermittelt werden. Durch die Ausprägungen der jeweiligen Verteilungen wird ersichtlich wie sich der Prozess verhält. Die Ausprägung der Verteilungen kann dabei aufgrund der allgemeinen und besonderen Ursachen in Lage, Spannweite und Form variieren.

Allgemeine Ursachen können vielfältige Quellen besitzen, sie wirken aber ständig auf den Prozess und führen deshalb zu einem beherrschten und wiederholbaren Prozess. Besondere Ursachen für Streuungen treten plötzlich und unvorhersehbar auf und verursachen daher einen unbeherrschten Prozess. Eine Differenzierung dieser ist einerseits wichtig um korrekte Lenkungsmaßnahmen zu setzen und andererseits um zu erkennen auf welcher Ebene dies geschehen muss. Ca. 15% der Lenkungsmaßnahmen erfolgen an der Arbeitsstation selbst, 85% der Lenkungsmaßnahmen werden dem Managementbereich zugeschrieben (AIAG 2005).

Das Ziel der statistischen Prozesskontrolle ist eine korrekte Lage der Verteilungen (z.B. Mittelwert entspricht Erwartungswert) mit geringer Streuung (geringe Spannweite). Liegt dieser Zustand vor und befindet sich der Prozess dabei innerhalb geforderter Spezifikationsgrenzen ist zudem Prozessfähigkeit gegeben (Abbildung 15).



**Abbildung 15: Einfluss von allgemeinen und besonderen Ursachen auf die Position und Streuung von normalverteilten Stichproben entlang von Zeitachsen. Adaptiert nach (AIAG 2005).**

#### 4.8.2 Regelkarten

In der statistischen Prozesslenkung werden sogenannte Regelkarten verwendet, um auf Abweichungen und Streuungen die außerhalb definierter Grenzen liegen reagieren zu können. In den Regelkarten ist der zeitliche Verlauf von statistischen Kennwerten abgebildet, wodurch ersichtlich wird wie konstant der Prozess abläuft.

Es gibt verschiedene Arten von Regelkarten, grundsätzlich wird aber unterschieden, ob variable (z.B. Länge, Durchmesser, etc.) oder attributive (z.B. fehlerhafte/nicht fehlerhafte) Merkmale untersucht werden.

Beispiele für Regelkarten mit variablen Merkmalen sind (AIAG 2005, Brunner and Wagner 1997):

- $\bar{X}$ -R - Karte: Mittelwert und Spannweite
- $\bar{X}$ -s - Karte: Mittelwert und Standardabweichung
- $\tilde{X}$ -R - Karte: Median und Spannweite
- CUSUM - Karte: Kumulative Summen
- ImR - Karte: Einzelwert und gleitende Spannweite

Beispiele für Regelkarten mit attributiven Merkmalen sind (AIAG 2005, Brunner and Wagner 1997):

- p – Karte: Fehleranteil
- np – Karte: Anzahl fehlerhafter Teile
- c – Karte: Anzahl Fehler
- u – Karte: Anzahl Fehler pro Einheit

Die Erhebung variabler Merkmale ist für gewöhnlich mit mehr Aufwand verbunden als die Erhebung, allerdings ist der Informationsgehalt höher (da beispielsweise nicht nur erhoben wird, dass eine Abweichung vorliegt, sondern auch wie hoch diese ist).

Attributive Merkmale werden durch diskrete Werte beschrieben, die in der Regel einfach und kostengünstig zu erheben sind. Eine Herausforderung besteht dabei in der klaren Definition ab wann eine Charakteristik die Forderungen nicht mehr erfüllt (AIAG 2005).

#### *4.8.2.1 Elemente der Regelkarte*

Wesentliche Elemente von Regelkarten sind die Mittellinie und Eingriffsgrenzen, welche in zweckmäßiger Skalierung aufzutragen sind. Die Werte werden über einer Zeitachse aufgezeichnet und Ausreißer (Werte außerhalb der Eingriffsgrenzen) hervorgehoben. Zusätzliche Ereignisse, wie z.B. Schichtwechsel, werden vermerkt um gegebenenfalls Rückschlüsse auf Abweichungen ziehen zu können. In der Kopfzeile sind Informationen zum Prozess (Produkt/Prozessschritt, Operator) und zur Datenerhebung (Stichprobengröße/ -frequenz, etc.) zu finden (AIAG 2005).

#### *4.8.2.2 Einführung von Regelkarten*

Im Vorfeld der Einführung von Regelkarten wird abgeklärt welche Charakteristik erfasst werden soll. Basierend darauf kann eine geeignete Regelkarte gewählt werden (z.B. attributiv oder variabel).

Jede Messung enthält die Abweichung der gemessenen Charakteristik und eine Messabweichung. Daher muss festgestellt werden wie hoch der Einfluss eines gewählten Messsystems auf die gesamte Variabilität ist (siehe auch Kapitel 4.9) (AIAG 2005).

Die Datenerhebung erfolgt nach festgelegten Stichprobenanweisungen. In diesen ist geregelt wie viele Einzelmessungen pro Stichprobe und in welcher Frequenz diese zu entnehmen sind. Mindestens erforderlich ist eine Anzahl von 20 Stichproben zu je 5 Einzelmessungen (Brunner and Wagner 1997). Die Probenahme erfolgt zufällig. Durch die Bildung von Teilmengen (Einzelmessungen in Stichproben) ist es möglich die Variabilität innerhalb der Stichproben mit der Variabilität zwischen den Stichproben zu vergleichen (AIAG 2005).

Aus den erhobenen Daten werden die gewünschten Kennwerte (z.B. Mittelwert und Standardabweichung) erhoben und entlang der Zeitachse aufgetragen.

Um die Mittellinie und die Eingriffsgrenzen (obere und untere) zu definieren muss ein beherrschter Prozess vorliegen. Daher müssen Abweichungen aus besonderen Ursachen identifiziert und behoben werden. Liegt ein beherrschter Prozess vor können die Mittellinie und Eingriffsgrenzen errechnet werden, welche somit Erwartungswerte im weiteren Prozessverlauf widerspiegeln.

Bei der Etablierung (der vorläufigen Prozessfähigkeitsuntersuchung) oder der Neubewertung von Prozessen werden die Mittellinie und Eingriffsgrenzen neu errechnet. Stichproben mit Abweichungen aus besonderen Ursachen werden von der Berechnung ausgeschlossen. Die dabei erhaltenen Werte können im weiteren Prozessverlauf beibehalten werden.

Die Berechnung dieser Werte wird in Kapitel 4.8.2.4 gezeigt.

Werden Änderungen in der Stichprobenahme (z.B. Anzahl der Einzelmessungen einer Stichprobe) vorgenommen hat dies Auswirkungen auf die zu erwartenden Werte. Daher werden die bereits existierenden Werte mit Konstanten (abhängig von der Stichprobengröße) umgerechnet.

#### *4.8.2.3 Trends*

Wenn sich in den Regelkarten Trends oder ungewöhnliche Muster zeigen kann dies, auch wenn sich der Prozess innerhalb der Eingriffsgrenzen bewegt, ein Hinweis auf Abweichungen durch besondere Ursachen sein.

Dies könnte z.B. gegeben sein, wenn sieben Werte in Folge ausschließlich unterhalb oder oberhalb der Mittellinie verlaufen („Run“). Ebenso könnte ein Trend gegeben sein wenn sieben Werte in eine Richtung verlaufen (AIAG 2005, Brunner and Wagner 1997).

#### 4.8.2.4 Berechnung der Mittellinie und Eingriffsgrenzen einer $\bar{X}$ -s - Regelkarte

Im Folgenden wird die Berechnung der Mittellinie für Mittelwerte und Standardabweichung sowie der jeweiligen Eingriffsgrenzen gezeigt (AIAG 2005). Auf eine vollständige Auflistung wird mit dem Verweis auf zitierte Literatur (AIAG 2005, Brunner and Wagner 1997) verzichtet.

##### Mittelwert einer Stichprobe:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

wobei:  $x_n$  – Einzelmesswert der Stichprobe  
 $n$  – Anzahl der Einzelmesswerte

##### Gesamtmittel:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}$$

wobei:  $\bar{X}_k$  – Mittelwert einer Stichprobe  
 $k$  – Anzahl der Stichprobenmittelwerte

##### Standardabweichung einer Stichprobe:

$$s_k = \sqrt{\frac{\sum (X_{i,k} - \bar{X}_k)^2}{n-1}}$$

wobei:  $X_{i,k}$  – Einzelmesswert der Stichprobe  $k$

##### Gesamt Standardabweichung:

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_k}{k}$$

##### Eingriffsgrenzen Mittelwert:

Obere:  $OEG_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s}$       Untere:  $UEG_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s}$

### Eingriffsgrenzen Standardabweichung:

$$\text{Obere:} \quad OEG_s = B_4 \bar{s} \quad \text{Untere:} \quad UEG_s = B_3 \bar{s}$$

Bei  $A_3$ ,  $B_4$  und  $B_3$  handelt es sich um Konstanten die von der Stichprobengröße (Größe der Teilmenge) abhängig sind. Siehe Tabelle 23 im Appendix dieser Arbeit.

#### 4.8.3 Prozessfähigkeit

Die Prozessfähigkeit ist ein Maß dafür, ob sich der Prozess innerhalb geforderter Spezifikationsgrenzen befindet. In der Fähigkeitsuntersuchung kann grundsätzlich zwischen verschiedenen Arten unterschieden werden, eine Bewertung erfolgt anhand von Indizes (Brunner and Wagner 1997):

- Kurzzeitfähigkeit:  $c_m, c_{mk}$
- Vorläufige Prozessfähigkeit:  $p_p, p_{pk}$
- Langzeit – Prozessfähigkeit:  $c_p, c_{pk}$

Die Kurzzeitfähigkeitsuntersuchung (auch Maschinenfähigkeitsuntersuchung genannt) wird angewandt um die Eignung von Produktionseinrichtungen zu bestimmen.

Die vorläufige Prozessfähigkeitsuntersuchung dient vorerst zur Analyse der Prozessbeherrschung. Werden, wie oben beschrieben, Abweichungen durch besondere Ursachen beseitigt, dient sie zusätzlich der Einschätzung der zu erwartenden Langzeit – Prozessfähigkeit.

Die Langzeit – Prozessfähigkeitsuntersuchung erfolgt im Rahmen etablierter Prozesse.

Im Folgenden ist die Berechnung der Langzeit – Prozessfähigkeits-Indizes zu sehen.

#### 4.8.3.1 Berechnung der Langzeit-Prozessfähigkeits-Indizes $c_p$ und $c_{pk}$

$c_p$ -Kennwert: 
$$c_p = \frac{OSG - USG}{6\sigma_c}$$

wobei:  $OSG$  – Obere Spezifikations Grenze  
 $USG$  – Untere Spezifikations Grenze

$$\sigma_c = \frac{\bar{s}}{c_4}$$

$c_4$  ist eine, von der Stichprobengröße abhängige, Konstante (siehe Tabelle 23 im Appendix (Kapitel 0)).

Es ist zu sehen, dass sich der  $c_p$ -Kennwert aus dem Verhältnis der Toleranzgrenzen bezogen auf die Streuung des Prozesses errechnet. Bei der Berechnung des  $c_{pk}$ -Wertes wird zusätzlich die Lage des Mittelwertes berücksichtigt.

$c_{pk}$ -Werte:

$$c_{pk} = \frac{\min(\bar{\bar{x}} - USG; OSG - \bar{\bar{x}})}{3\sigma_c}$$

Es gilt:  $c_{pk} \leq c_p$

#### 4.8.3.2 Interpretation der Prozessfähigkeits-Indizes

Die Analyse der Prozessfähigkeit sollte anhand beider Werte vorgenommen werden. Wenn der  $c_p$ -Wert deutlich höher liegt als der  $c_{pk}$ -Wert deutet dies darauf hin, dass der Prozess durch die Verschiebung des Mittelwertes hin zum erwarteten Wert verbessert werden kann. Der nachfolgenden Tabelle 17 sind Beurteilungen zu entsprechenden Kennzahlen gegeben.

**Tabelle 17: Beurteilung von Prozessfähigkeits-Kennzahlen. Adaptiert nach (Brunner and Wagner 1997).**

<b>Prozessfähigkeits-Kennzahl</b>	<b>Beurteilung</b>
$c_p < 1$	Keine Prozessfähigkeit, hoher Ausschussanteil
$c_p = 1$	Keine Prozessfähigkeit, bei genauer Zentrierung kaum Ausschuss
$c_p = 1,33$	Gute Prozessfähigkeit, minimaler Ausschussanteil
$c_p \geq 1,67$	Sehr gute Prozessfähigkeit, statistisch kein Ausschuss mehr
$c_{pk} < 1$	Keine Prozessfähigkeit, Prozess ungenügend zentriert, hoher Ausschussanteil
$c_{pk} \geq 1,33$	Gute Prozessfähigkeit, Prozess genügend zentriert, geringer Ausschuss
$c_p = c_{pk}$	Prozess genau auf der Mitte der Toleranzbreite eingestellt

#### 4.8.4 SPC im Fertigungsprozess der Rückenlehne

Einen Anwendungsfall von SPC in der Herstellung der Rückenlehne kann in der Lenkung der Viskosität des Klebstoffes zur Verklebung der Sperrholzeinzellagen liegen. In diesem Kapitel erfolgt deshalb zur Veranschaulichung des Ablaufes ein theoretisches Beispiel der Erstellung einer  $\bar{X}$ -s – Regelkarte, sowie der Berechnung des  $c_p$ - und  $c_{pk}$ -Wertes.

Die Messung der Viskosität könnte im Herstellungsprozess beispielsweise mit einem Viskosimeter „at-line“ oder „off-line“ erfolgen. Die Viskosität wird durch die SI-Einheit [Pa\*s] ausgedrückt. Die im Beispiel verwendeten Zahlen entsprechen der Größenordnung eines PRF-Klebstoffes (Phenol-Resorcin-Formaldehyd), der zur Erstellung des Prototypen der Rückenlehne verwendet wurde. Die Daten zur Berechnung sind normalverteilt (eine Anforderung zur Durchführung dieser Methode der Regelkarten-Erstellung) sind in Tabelle 24 im Appendix (Kapitel 0) dieser Arbeit zu sehen.

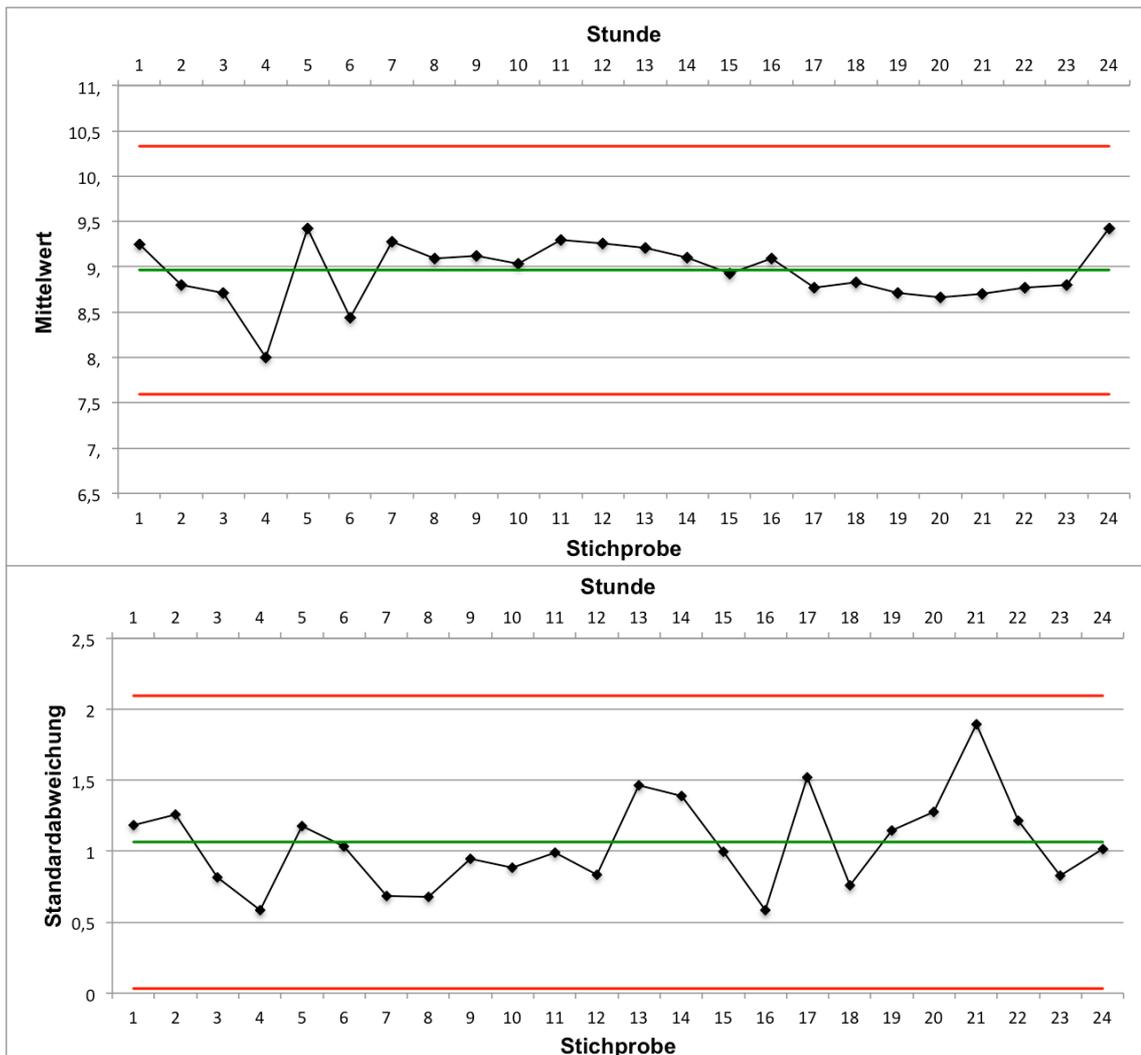
Im Beispiel findet die Stichprobenahme stündlich statt, mit einer Anzahl von sechs Einzelmessungen pro Stichprobe. Daraus konnten durch die in Kapitel 4.8.2.4 angeführten Gleichungen der Mittelwert, die Standardabweichung sowie deren ober und untere Eingriffsgrenzen berechnet werden (Tabelle 18).

Abbildung 16 zeigt diese Werte im zeitlichen Verlauf, dargestellt in einer Regelkarte.

**Tabelle 18: Die errechneten Werte zur Darstellung der  $\bar{X}$ -s – Regelkarte, sowie die Prozessfähigkeits-Indizes  $c_p$  und  $c_{pk}$ .**

$\bar{\bar{X}} = 8,945$	$OEG_{\bar{X}} = 10,294$	$UEG_{\bar{X}} = 7,595$	
$\bar{s} = 1,048$	$OEG_{\bar{s}} = 2,066$	$UEG_{\bar{s}} = 0,031$	
$A_3 = 1,287$	$B_3 = 0,03$	$B_4 = 1,97$	$c_4 = 0,9515$
$\sigma_c = 1,102$	$c_p = 0,908$	$c_{pk} = 0,891$	
$OSG = 12$	$USG = 6$		

Abkürzungen:  $\bar{\bar{X}}$  Gesamt-Mittelwert (und somit Mittellinie) des Prozesses,  $\bar{s}$  Gesamt-Standardabweichung des Prozesses,  $OEG_{\bar{X}}$  obere Eingriffsgrenze (Mittelwert),  $UEG_{\bar{X}}$  untere Eingriffsgrenze (Mittelwert),  $OEG_{\bar{s}}$  obere Eingriffsgrenze (Standardabweichung),  $UEG_{\bar{s}}$  untere Eingriffsgrenze (Standardabweichung),  $A_3$ ,  $B_3$ ,  $B_4$ ,  $c_4$  Konstanten (abhängig von der Stichprobengröße),  $\sigma_c$  Schätzung der Standardabweichung,  $c_p$ ,  $c_{pk}$  Prozessfähigkeits-Indizes,  $OSG$  obere Spezifikationsgrenze,  $USG$  untere Spezifikationsgrenze.



**Abbildung 16:  $\bar{X}$ -s – Regelkarte im Beispiel der Viskositäts-Messung. Die roten Markierungen zeigen die oberen und unteren Eingriffsgrenzen, die grünen Linien die Mittellinien des Prozesses.**

Wie in den Regelkarten zu sehen ist, liegt ein beherrschter Prozess vor. Dies ist auch eine Voraussetzung für die Berechnung der Prozessfähigkeits-Indizes. Im Verlauf der Mittelwerte lässt sich erkennen, dass in Teilen des Prozesses ein „Run“ vorliegen könnte. In der Praxis wäre dies eventuell mit den Vermerken der Regelkarte abzugleichen um auszuschließen, dass besondere Einflüsse vorliegen.

Mit der Berechnung der  $c_p$  und  $c_{pk}$ -Werte zeigt sich, dass Prozessfähigkeit bei den gegebenen Spezifikationsgrenzen nicht gegeben ist. Da beide Werte unter 1 liegen ist sowohl die Streuung zu reduzieren, als auch die Lage der Verteilung zu optimieren.

## 4.9 MSA – Messmittel Fähigkeitsanalyse

Die statistische Prozesslenkung basiert auf der Erhebung von Daten, welche zur Beschreibung des Prozesszustandes dienen und damit eine Lenkung des Prozesses erlauben.

Die Qualität der erhobenen Daten hat daher unmittelbar Einfluss darauf wie erfolgreich die Maßnahmen sind die Produktion innerhalb der Spezifikationsgrenzen ablaufen zu lassen.

Die erhobenen Daten beinhalten nicht nur die Abweichungen welche durch den Produktionsprozess entstehen, sondern zusätzlich Abweichungen der Messung. Mit der Messmittel Fähigkeitsanalyse (engl.: MSA, Measurement System Analysis) sollen diese Abweichungen sichtbar gemacht werden.

Wie bereits in Kapitel 2.3.4 angeführt wurde, ist die MSA bereits Teil der Qualitätsvorausplanung (APQP) und ist Output der Phase drei, Prozessdesign und –entwicklung.

Messungen beinhalten einen wahren Wert, sowie die Abweichung zu diesem. Der wahre Wert der Messung ist der eigentliche „Zielwert“ der Messung, kann aber nicht (genau) festgestellt werden. Messabweichungen können systematisch oder zufällig sein. Zufällige Messabweichungen sind z.B. gegeben wenn eine Serie von Messungen am selben Objekt zu identen Bedingungen (Messinstrument, Person, etc.) durchgeführt wird. Eine systematische Messabweichung ist gegeben, wenn eine gleichbleibende Abweichung über den gesamten Messbereich vorliegt (Geiger and Kotte 2008).

Der Datenerhebung selbst wird als Prozess betrachtet und kann statistisch untersucht werden. Wie bereits im Kapitel der statistischen Prozesslenkung (Kapitel 4.8) angeführt, sind die korrekte Lage und geringe Streuung einer Verteilung die Grundlage für einen beherrschten Prozess.

Die generellen Quellen für Abweichungen können durch das S.W.I.P.E.-Diagramm beleuchtet werden. Hinter dem Akronym stehen die sechs wesentlichen Elemente eines Messsystemes:

- Standard (Standard, Norm)
- Workpiece (betrachtetes Teil)
- Instrument (Messinstrument)
- Person/Procedure (Person und Vorgang)
- Environment (Umgebung)

Im Diagramm werden diese sechs Elemente weiter detailliert aufgeschlüsselt und so alle möglichen Einflüsse erfasst.

Eine Voraussetzung der Etablierung eines wirkungsvollen Messsystems ist ein möglichst umfassendes Verständnis des betrachteten (Produktions-)Prozesses. Die PFMEA wird daher herangezogen um Informationen zum vorgesehenen Prozessablauf und den potentiellen Fehlern zu gewinnen.

Daraus lassen sich zudem für den Prozess wesentliche Charakteristiken ableiten, die es zu messen und lenken gilt. Diese Informationen sind wesentliche Bestandteile in der Messsystem-Planung und ausschlaggebend dafür, welches Messsystem in welcher Komplexität zur Anwendung kommt (AIAG 2010).

Im Zuge der MSA erfolgt eine Aufarbeitung der Ergebnisse durch vielfältige statistische Methoden, welche in dieser Arbeit nicht weiter erläutert werden.

## **5 Kostenkalkulation der Rückenlehne**

Die in dieser Arbeit beschriebenen Werkzeuge des Qualitätsmanagements sowie die eingangs erwähnte Simulierbarkeit von Holzbauteilen sind essentielle Punkte um eine Anwendung von Holz und Holzwerkstoffen in der Automobilindustrie zu ermöglichen.

Darüber hinaus ist die Anwendung von Holzelementen natürlich auch von einer preislichen Konkurrenzfähigkeit abhängig.

Dieses Kapitel beschäftigt sich daher mit den Kosten die mit der Herstellung der in dieser Arbeit gezeigten Rückenlehne aus Holz verbunden sind. Ein möglicher Fertigungsprozess wurde bereits in Kapitel 4.5 gezeigt und der prinzipielle Ablauf des Prozessflussdiagrammes in der Kostenanalyse aufgegriffen. Obwohl eine Herstellung der Rückenlehne aus einzelnen Furnierlagen möglich wäre, bezieht sich diese Berechnung auf die Konstruktion aus dünnen Sperrholzlagen.

Der Verkaufspreis eines Bauteiles ist ein wesentlicher Punkt bei einer Vertragsvergabe. Zusätzlich ist in der Automobilbranche eine jährliche Preisreduktion üblich. Dies ist unter dem Begriff „Savings“ bekannt und liegt in der Regel bei etwa 3-5% (Gerberich 2011).

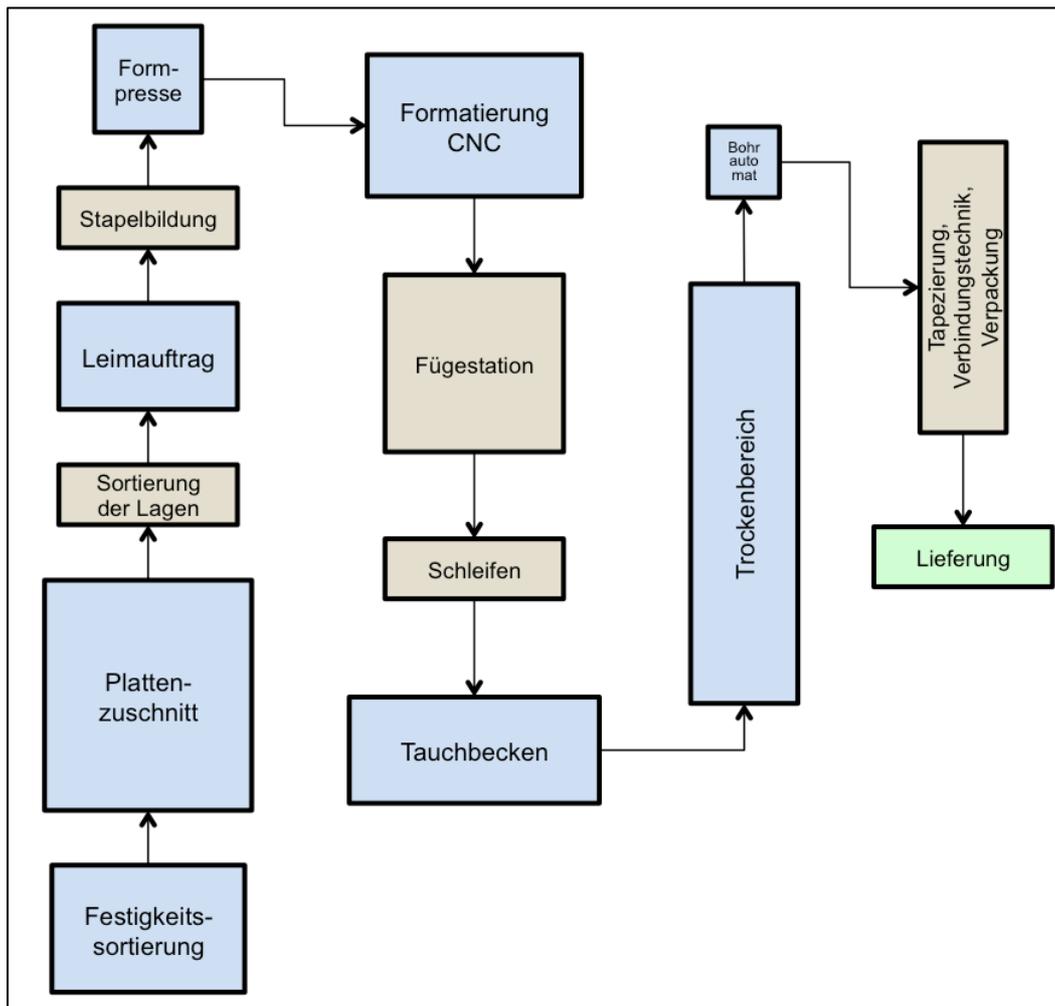
### **5.1 Ausgangslage der Berechnung**

Die folgende Berechnung umfasst die Ermittlung der Herstellkosten, das heißt Verwaltungs- und Vertriebs-Gemeinkosten sind nicht erfasst.

Aufgrund unbekannter Datenlage wurden außerdem gewisse Gemeinkosten (z.B. Gemeinkosten der Beschaffung, Lager, Küche, etc.) die in der betrieblichen Kostenrechnung mit dem Betriebsabrechnungsbogen zugeschlagen werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

Es wurde angenommen, dass sich die Fertigungshalle im Eigentum des Betriebes befindet. Daher wurden kalkulatorische Mietkosten, mit einem Mietpreis von 8 €/m<sup>2</sup>, in die Berechnung mit einbezogen. Die Abschätzung des Platzbedarfes der Fertigung ist durch Abbildung 17 ersichtlich und konnte unter Berücksichtigung des Flächenbedarfs der Maschinen erfolgen (Tabelle 19). Weitere kalkulatorische Kosten wurden in Form der kalkulatorischen Zinsen durch die Eigenkapitalbindung der Maschinen erfasst. Die Berechnung erfolgte mit der Durchschnittsmethode und einem Zinssatz von 0,8%.

Die Produktion und deren Kosten wurden für eine Stückzahl von 10.000 und 100.000 pro Jahr ausgelegt.



**Abbildung 17: Abschätzung des Flächenbedarfs der Fertigungshalle durch skalierte Maschinengrundflächen.**

**Tabelle 19: Auflistung des Flächenbedarfs der jeweiligen Arbeitsstation.**

Arbeitsstation	Breite (m)	Länge (m)	Grundfläche (m <sup>2</sup> )
Sortieranlage	4	5	20
Plattenzuschnitt	6,5	5,7	37,05
Sortierung Lagen	2	5	10
Beleimmaschine	5	3	15
Stapelbildung	2	5	10
Formpresse	3	3	9
CNC 5-Achs	6	4	24
Vorrichtung Verklebung	5	5	25
Schleifstation	2	5	10
Tauchwanne	7	3	21
Trockenstation	3	12	36
Bohrraumat	2	2	4
Tapezierung,Verbindungstechnik, Verpackung	2	8	16
<b>belegte Fläche</b>			<b>237,05</b>
<b>benötigte Fläche (aus Grafik)</b>			<b>780</b>

## 5.2 Prozessbeschreibung

Der in Kapitel 4.5 gezeigte Prozessablauf wurde zur Kostenermittlung weiter ausgeführt:

- Festigkeitssortierung
- Formatierung der Sperrholz/Furnier:  
Maschine: Plattenzuschnittsäge  
Prozessannahme: 70 Bögen (á 1,5mm) pro Schnittdurchgang (entspricht einer Ausbeute von 49 Sperrholzformteilen)
- Sortierung der Quer- und Längslagen: manuell
- Leimauftrag:  
Maschine: Walzen-Leimauftragsmaschine
- Stapelbildung: manuell
- Verpressen:  
Maschine: Etagen-Formpresse  
Prozessannahme: 10 Lehnen pro Pressdurchgang
- Formatierung Formpressteil:  
Maschine: 5-Achs CNC-Fräse  
Prozessannahme: 6 Stück pro Durchgang in Arbeitsbereich aufgespannt
- Fügen von Sperrholz-Lehne und MDF-Kopfteil:  
Maschine: speziell angefertigte Spannvorrichtungen
- Aushärtung: UV-Aushärtung der Klebefuge
- Schleifen des Bauteiles: manuell an Arbeitsstation
  
- Beschichtung:  
Maschine: Tauchbecken
- Trocknung der Beschichtung: UV-Aushärtung
- Bohren für Verbindungstechnik:  
Maschine: Bohrautomat
- Tapezieren: Manuell an Arbeitsstation
- Installation Verbindungstechnik: manuell an Arbeitsstation
- Verpacken: Arbeitsstation

Zur Kapazitäts- und Maschinenlaufzeitberechnung wurden Durchlaufzeiten der jeweiligen Stationen und die Abfertigung zwischen den Stationen abgeschätzt, eine tabellarische Darstellung dieser Werte ist im Appendix (Tabelle 25) zu finden. Bei einer Fertigung von 10.000 Stück/Jahr (entspricht einer Produktion von 42 Stück/Tag) zeigt sich teilweise eine äußerst geringe Auslastung der Maschinen.

Aufgrund dieser Ausgangslage wurden in der Kostenberechnung der 10.000 Stück/Jahr mehrere Arbeitsstationen von einer Person übernommen. Für die Fertigung von 100.000 Stück/Jahr muss allerdings das Personal aufgestockt werden. Die Gesamt-Mitarbeiterzahl beträgt für die Fertigung der 10.000 Stück/Jahr 13 Mitarbeiter und für 100.000 Stück/Jahr 29 Mitarbeiter. Die Entlohnung wurde laut Kollektivvertragsbestimmung einberechnet und beträgt 10,01 €/h (Hilfsarbeiter) sowie 11,86 €/h (Spezialfacharbeiter) (WKO 2016). Die tabellarische Darstellung ist im Appendix der Arbeit zu finden (Tabelle 25).

### 5.3 Kostenermittlung

Tabelle 20 zeigt die Berechnung der maximal möglichen Maschinenlaufzeit, die tatsächliche (an die Produktion gekoppelte) Maschinenlaufzeit wurde zur Berechnung der Stromkosten ebenfalls ermittelt und ist in Tabelle 25 im Appendix zu sehen.

**Tabelle 20: Auflistung der maximal möglichen Maschinenlaufzeit.**

Maschine	Sortier-anlage	Säge	Beleim-Maschine	Form- presse	CNC 5- Achs	Verleim- station	Tauch- wanne	Trocken- station	Bohr- automat
Wochen/Jahr	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Tage/Woche	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Arbeitstage	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Betriebsurlaub	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Feiertage (2016)	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Lauftage	239	239	239	239	239	239	239	239	239
Schichten/Tag	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Soll-Lauftage	235,25	236, 5	237,75	237	237	238	238	238	238
Stunden/Tag	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Soll- Laufstunden	1882	1892	1902	1896	1896	1904	1904	1904	1904
Wartung h/Jahr	30	20	10	16	16	8	8	8	8
<b>Nutzung h/Jahr</b>	<b>1852</b>	<b>1872</b>	<b>1892</b>	<b>1880</b>	<b>1880</b>	<b>1896</b>	<b>1896</b>	<b>1896</b>	<b>1896</b>

Mit den in Tabelle 20 berechneten Soll-Lauftagen und den in Tabelle 25 dargestellten tatsächlichen Maschinenzeiten konnte der Maschinen-bezogene Stromverbrauch ermittelt werden. Der Strompreis wurde der Industriestrompreiserhebung 2015 entnommen und beträgt bei einem Jährlichen Verbrauch unter 10 GWh und über einer jährlichen Volllast von 4500 h 4,78€/kW (eControl 2015). Ergänzend für diese Berechnung sind Daten wie die Leistungsaufnahme und Strompreis in Tabelle 21 zu finden. In Tabelle

21 sind außerdem Daten wie Mietzins, Zinssatz und Preisindex der Maschinenkosten aufgelistet.

Aufgrund unbekannter Daten mussten für die Berechnung Annahmen getroffen werden. Dies betrifft sowohl vereinzelt Maschinenanschaffungskosten wie auch Preisindex, Nutzungsdauer, elektrischen Anschlusswert (Leistungsaufnahme), Zinssatz der kalkulatorischen Zinsen, die kalkulatorische Miete wie Instandhaltung und Betriebsstoffe.

**Tabelle 21: Maschinenbezogene Kosten, kalkulatorische Kosten sowie geschätzte Instandhaltungs- und Betriebsstoffkosten.**

Daten	Einheit	Sortier- anlage	Plattenzuschnitt- säge	Leimauftrags- maschine	Formpresse	Formpresse (einmaltig)	CNC 5-Achs /Härtestation	Verleim- station	Tauchwanne	Trocken- station	Bohrautomat
Anschaffungswert	€	100000	80000	30000	250000	30000	120000	45000	20000	70000	8000
Preisindex (1+%)		1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
betriebl. Nutzungsdauer	Jahre	10	10	8	15	15	10	15	15	15	8
max. betriebl. Nutzungszeit	h/Jahr	1852	1872	1892	1880	1880	1880	1896	1896	1896	1896
elektr. Anschlusswert	kW	5	10	5	20	0	0	2	2	4	2
Stromkosten	€/kWh	4,78	4,78	4,78	4,78	0	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78
Zinssatz kalkul. Zinsen	%	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
kalkulatorische Miete	€/m*2	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Maschinenlaufzeit (10.000)	min/Tag	93,96	10,00	10,57	19,87	0,00	42,28	42,28	83,57	42,28	42,28
Maschinenlaufzeit (100.000)	min/Tag	21,14	86,29	105,71	198,73	0,00	422,83	422,83	422,83	422,83	422,83
Maschinenlaufzeit (10.000)	h/Jahr	368,41	39,42	41,89	78,50	0,00	167,02	167,72	331,48	167,72	167,72
Maschinenlaufzeit (100.000)	h/Jahr	83,33	340,14	418,87	784,99	0,00	1670,19	1677,24	1677,24	1677,24	1677,24
Stromverbrauch/Jahr 10000 kWh		1842,06	394,17	209,43	1569,98	0,00	1670,19	335,45	662,96	670,89	335,45
Stromverbrauch/Jahr 100000 kWh		416,67	3401,36	2094,34	15699,79	0,00	16701,90	3354,47	3354,47	6708,95	3354,47
Stromkosten (10.000)	€/Jahr	9685,57	2072,53	1101,21	8254,95	0,00	8781,86	1763,78	3485,85	3527,57	1763,78
Stromkosten (100.000)	€/Jahr	2190,83	17884,35	11012,06	82549,49	0,00	87818,60	17637,83	17637,83	35275,66	17637,83
Abschreibung	€/Jahr	11000	8800	4125	18333	2200	13200	3300	1467	5133	1100
Werkzeugkosten (10.000)	€/Jahr	1100,0	880,0	412,5	1833,3	0,00	1320,0	330,0	146,7	513,3	110,0
Werkzeugkosten (100.000)	€/Jahr	3300,0	2640,0	1237,5	5500,0	0,00	3960,0	990,0	440,0	1540,0	330,0
Gesamt (10.000)	€/Jahr	21785,57	11752,53	5638,71	28421,62	2200,00	23301,86	5393,78	5099,19	9174,23	2973,78
Gesamt (100.000)	€/Jahr	16490,83	29324,35	16374,56	106382,82	2200,00	104978,60	21927,83	19544,50	41948,99	19067,83
<b>GESAMT (10.000)</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>115741,27</b>									
<b>GESAMT (100.000)</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>378240,32</b>									
<b>Kalkulatorische Kosten</b>											
kalkulatorische Zinsen	€/Jahr	4000	3200	1500	6666,67	800,00	4800,00	1200,00	533,33	1866,67	400
kalkulatorische Miete	€/Jahr	74880									
<b>Instandhaltung und Betriebskosten</b>											
Hilfs- und Betriebsstoffe	€/Monat	600	600	600	600	600	600	600	600	600	10000
Hilfs- und Betriebsstoffe	€/Monat	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	100000

Auch die Ermittlung der Materialkosten erfolgte durch eine Abschätzung möglicher Industriepreise:

- Klebstoff 3 €/Stück
- Sperrholz 10 €/Stück
- MDF Kopfteil 5 €/Stück
- Beschichtung 2 €/Stück
- Tapezierung 3 €/Stück
- Verbindungstechnik 2 €/Stück

Bei einer Stückzahl von 100.000 Stück/Jahr wurde auf dieser Basis eine Reduktion von 15% angenommen.

Die Werkzeugkosten wurden im Szenario der 10.000 Stück/Jahr mit 10% der jährlichen Abschreibung und bei 100.000 Stück/Jahr mit 30% der jährlichen Abschreibung abgeschätzt.

Tabelle 22 zeigt nun zusammenfassend die Kosten zur Fertigung der Rückenlehne.

**Tabelle 22: Auflistung der Kosten zur Produktion der Rückenlehne.**

10.000 Stück/Jahr		100.000 Stück/Jahr	
<b>Maschinenkosten</b>		<b>Maschinenkosten</b>	
Abschreibung	68658 €	Abschreibung	68658 €
Werkzeugkosten	6646 €	Werkzeugkosten	19938 €
Stromkosten	40437 €	Stromkosten	289644 €
	115741 €		378240 €
<b>Personalkosten</b>	426830 €	<b>Personalkosten</b>	896046 €
<b>Materialkosten</b>		<b>Materialkosten</b>	
Klebstoff	30000 €	Klebstoff	255000 €
Sperrholz/Furnier	100000 €	Sperrholz/Furnier	850000 €
MDF Kopfteil	50000 €	MDF Kopfteil	425000 €
Beschichtung	20000 €	Beschichtung	170000 €
Tapezierung	30000 €	Tapezierung	255000 €
Verbindungstechnik	20000 €	Verbindungstechnik	170000 €
	250000 €		2125000 €
<b>kalkulatorische Kosten</b>		<b>kalkulatorische Kosten</b>	
kalkulatorische Zinsen	24966,7 €	kalkulatorische Zinsen	24966,7 €
kalkulatorische Miete	74880 €	kalkulatorische Miete	74880 €

<b>Hilfs- und Betriebsstoffe</b>	7200 €	<b>Hilfs- und Betriebsstoffe</b>	12000 €
<b>SUMME</b>	<b>899618 €</b>	<b>SUMME</b>	<b>3511133 €</b>
<b>Herstellkosten/Stück</b>	<b>89,96 €</b>	<b>Herstellkosten/Stück</b>	<b>35,11 €</b>

Der Teilepreis des Originalbauteils wurde mit 95€/Stück angegeben, wobei die tatsächliche Kostenzusammensetzung nicht bekannt ist.

## 6 Diskussion

In der Einleitung dieser Arbeit wurden branchenallgemeine und automobilspezifische Herausforderungen heutiger Unternehmen und insbesondere Automobilzulieferern aufgezeigt. Innovationen sind in Zeiten der Globalisierung und des rapiden technologischen Wandels ein wesentlicher Bestandteil der Aufrechterhaltung bzw. Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Im Bereich der Holzindustrie sind in der Literatur die Kategorien Prozess-, Produkt- und Business System – Innovation zu finden. In der Innovationsforschung wurde darunter der Prozessinnovation besonderer Raum eingeräumt. Neben organisatorischer Innovation und Innovations-Systemen ist die Entwicklung neuer Produkte (engl. new product development, NPD) ein Hauptbereich in der Innovationsforschung der Holzwirtschaft (Stendahl 2009). Die Anwendung von Holz abseits herkömmlicher Nutzungsgebiete, etwa im strukturellen Fahrzeugbau, stellt eine Möglichkeit dar neue Holzprodukte auf den Markt zu bringen. In der Holzwirtschaft wurde allerdings im Bereich der Innovationsforschung und dem NPD starker Aufholbedarf festgestellt (Stendahl 2009, Hansen 2007). Als Hauptgrund dafür wird das Fehlen strukturierter Entwicklungsprozesse genannt. Es konnte festgestellt werden, dass Unternehmen mit strukturiertem Entwicklungsprozess dazu tendieren innovativer zu sein. Unternehmen die innovativ sind können wiederum profitabler wirtschaften. Hansen (2007) konnte außerdem zeigen, dass während Entwicklungsprozessen eine geringe Anwendung von Qualitätsmanagement-Werkzeugen stattfindet. Als wesentliches Element konnte aber die Interaktion mit und der Input von Kunden festgemacht werden. Mit dem Produktentwicklungsprozess der Automobilindustrie konnte in dieser Arbeit ein stark strukturierter und systematischer Entwicklungsprozess gezeigt werden. Bei einer künftigen Anwendung von Holz und Holzwerkstoffen im

strukturellen Fahrzeugbau bedeutet dies einerseits eine große Chance im Bereich des NPD an Rückstand wett zumachen, andererseits zeigt es auch den Aufwand der noch zu betreiben ist um holzwirtschaftlich agierende Unternehmen in diesem Bereich zu festigen. Der strukturierte Ablauf der Qualitätsvorausplanung und die Qualitätsmanagement-Werkzeuge in dieser Arbeit fördern und erfordern strukturiertes Arbeiten und Denken. Dies schlägt sich bereits vor, beziehungsweise in der Anfangsphase der Produktentwicklung nieder, da gezeigt wurde, dass gut definierte Projektziele einer der Schlüsselfaktoren für erfolgreiche Produktentwicklung sind (Stendahl 2009). Neben dem eigentlichen Nutzen der Qualitätsmanagement-Werkzeuge, wie z.B. der Risikominimierung in der FMEA, fördern diese die Kommunikation und den Wissensaustausch sowohl unternehmensintern als auch extern in der Zusammenarbeit mit Kunden. Sie verlangen eine detaillierte Auseinandersetzung mit den Prozessen und Abläufen die im Zuge der Entwicklung beziehungsweise in der künftigen Produktion stattfinden und ermöglichen damit ein erhöhtes Prozessverständnis. Begonnen bei „high level“ Prozessfluss-Diagrammen, welche den prinzipiellen Ablauf eines Prozesses aufzeigen, bis hin zu Produktlenkungsplänen, die jeden Arbeitsschritt als detaillierte Arbeitsanweisung beinhalten, werden Prozesse ganzheitlich abgebildet. Ein Beispiel einer erfolgreichen Erstanwendung einer FMEA konnten Grenzfurter and Gronalt (2016) zeigen. Auch in der Bauindustrie ist die Anwendung von Qualitätsmanagement-Werkzeugen wenig verbreitet. Es ist allerdings bekannt, dass ca. 5% der Baukosten auf Nacharbeit oder Ausbesserungen zurückzuführen sind. Mit der Bildung eines fachübergreifenden Teams und der Durchführung der FMEA konnte in einem Unternehmen eine intuitive und von subjektiver Einschätzung geprägte Herangehensweise der Fehlerbehebung systematisiert werden. Neben der Reduktion von Fehlern und Schäden konnte festgestellt werden, dass das Verständnis für Anforderungen bereichsübergreifend erhöht wurde und ein umfassenderer Blick auf Prozesse erfolgte.

Im Vergleich der Holz- und Automobilindustrie zeigt sich also ein deutliches Ungleichgewicht in der Verwendung von Qualitätsmanagement-Werkzeugen und der Auslegung des Produktentwicklungsprozesses. Bei einer künftigen Zusammenarbeit von Holz- und Automobilindustrie basierten Unternehmen wird zwangsläufig ein Wissenstransfer im Bereich des Qualitätsmanagements und des NPDs stattfinden müssen. Holzindustriebasierte Unternehmen können daraus auch einen erheblichen Nutzen für herkömmliche Betätigungsfelder ziehen. Besonders bei einem Werkstoff wie Holz, der als natürlich gewachsener Rohstoff eine hohe Variabilität, hygroskopisches Verhalten und Anisotropie aufweist, werden Qualitätsmanagement-Werkzeuge hilfreich sein um

Produktfehler zu vermeiden. Die Leistungsfähigkeit dieser Werkzeuge wird in der Produktentwicklung der Automobilindustrie zusätzlich durch den strukturellen und Input-Output orientierten Ablauf erhöht. Für die Holzindustrie bietet sich dadurch die Chance erprobte und optimierte Konzepte eines hoch entwickelten Industriezweiges zu übernehmen.

## **7 Zusammenfassung**

Eine Zusammenarbeit von Zulieferern mit OEMs ist an strikte Auflagen gebunden, die nicht nur während des Zeitraumes der Produktion des Bauteiles sondern bereits während der Entwicklungsphase des Produktes mit hohen Anforderungen verbunden ist. Die in dieser Arbeit vorgestellten Werkzeuge sollen dabei helfen die Qualitätsanforderungen der OEMs an Zulieferbetriebe zu erfüllen und dienen außerdem dazu das Produkt- bzw. Prozessverständnis zu erhöhen.

Obwohl in dieser Arbeit lediglich Beispiele bestimmter Anwendungen gezeigt wurden wird ersichtlich, dass sich gewisse Analysen äußerst detailreich gestalten. Zusätzlich müssen meist viele Unternehmensbereiche miteingebunden werden. Der Aufwand ein erfolgreiches Qualitätsmanagement zu betreiben ist also beträchtlich und erfordert eine solide Unternehmensstruktur und -kommunikation.

Die vorgestellten Werkzeuge sind in Teilen der Holzindustrie bereits zu finden, sie sind allerdings unerlässlich um Holz in Anwendungsfelder zu etablieren die abseits herkömmlicher Nutzung liegen.

## 8 Literaturverzeichnis

- AIAG. (2005). *Statistical process control (SPC) ): reference manual*. Chrysler LLC, Ford Motor Co., General Motors Corp.
- AIAG. (2006). *Production Part Approval Process (PPAP) ): reference manual*. Chrysler LLC, Ford Motor Co., General Motors Corp.
- AIAG. (2008a). *Advanced product quality planning and control plan): reference manual*. Chrysler LLC, Ford Motor Co., General Motors Corp.
- AIAG. (2008b). *Potential failure mode and effects analysis (FMEA): reference manual*. Chrysler LLC, Ford Motor Co., General Motors Corp.
- AIAG. (2010). *Measurement systems analysis: [MSA] ): reference manual*. Chrysler LLC, Ford Motor Co., General Motors Corp.
- Antikainen, T. (2015). "Non-destructive testing methods in veneer-based products manufacturing." Aalto University School of Chemical Technology Department of Forest Products Technology, Helsinki.
- Blaine, P. G., Vlok, P. J., and Dobson, R. T. (2012). "The practical application of ISO 9001 and ISO/TS 16949 to the mass production of motor industry components." CIE42 Proceedings 1047–1057.
- Brüggemann, H., and Bremer, P. (2012). *Grundlagen Qualitätsmanagement: von den Werkzeugen über Methoden zum TQM*. Studium, Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Brunner, F. J., and Wagner, K. W. (Eds.). (1997). *Taschenbuch Qualitätsmanagement: der praxisorientierte Leitfaden für Ingenieure und Techniker*. Hanser, München.
- Cassel, M. (2006). *ISO/TS 16949 – Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie umsetzen*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München.
- Denzler, J. K., Koppensteiner, J., and Arthaber, H. (2013). "Grain angle detection on local scale using microwave transmission." *International Wood Products Journal*, 4(2), 68–74.
- eControl. (2015). "Auswertung der Industriepreiserhebung Strom Juli 2015." <http://www.e-control.at/industrie/strom/strompreis/industriestrompreise>, aufgerufen am: 16.05.2016
- Fiorenzo Franceschini, M. G. (2011). "A proposal of a new paradigm for national quality certification systems." *International Journal of Quality and Reliability Management*, 28(4), 364–382.
- Franceschini, F., Galetto, M., Maisano, D. A., and Mastrogiacomo, L. (2011). "ISO/TS 16949: Analysis of the diffusion and current trends." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 225(5), 735–745.
- Friedrich, H. E. (Ed.). (2013). *Leichtbau in der Fahrzeugtechnik*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Gawlik, J., Rewilak, J., and Tokaj, T. (2012). "APPLICATION OF PPAP TOOLS IN PRODUCTION PREPARATION MANAGEMENT." *Innovations in*

*management and production engineering*, Oficyna Wydawnicza  
Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją

- Geiger, W., and Kotte, W. (2008). *Handbuch Qualität*. Vieweg, Wiesbaden.
- Gerberich, T. (2011). *Lean oder MES in der Automobilzulieferindustrie*. Gabler, Wiesbaden.
- Grenzfurthner, W., and Gronalt, M. (2016). "APPLICATION OF FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS IN THE INDUSTRIAL HOUSEBUILDING INDUSTRY." WCTE 2016, World conference on timber engineering, Vienna, Austria
- Hansen, E. (2007). "The State of Innovation and New Product Development in the North American Lumber and Panel Industry." *Wood and Fiber Science*, 38(2), 325–333.
- Hensel, J. (2007). *Netzwerkmanagement in der Automobilindustrie*. DUV, Wiesbaden.
- Hoyle, D. (2005). *Automotive Quality Systems Handbook*. Automotive Quality Systems Handbook.
- ISO Survey. (2014). "Survey 2014." <http://www.iso.org/iso/iso-survey>, aufgerufen am: 16.05.2016
- ISO/TS 16949:2009. (n.d.). "ISO/TS 16949:2009(en), Quality management systems — Particular requirements for the application of ISO 9001:2008 for automotive production and relevant service part organizations."
- Koch, S. (2015). *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen: Six Sigma, Kaizen und TQM*. Springer Vieweg, Berlin.
- Leal, P., and Duarte Trinidad, E. H. (2002). "Product development in the autoparts industry." *RPD 2002 - Advanced Solutions and Development*.
- LEAN MC. (2015). "LEAN MC - Holz im Fahrzeugbau." Präsentation.
- Microtec. (2016). "Produkte / Microtec." <http://microtec.eu/de/catalogue/products/> aufgerufen am: 2016-06-03
- Nyström, J. (2003). "Automatic measurement of fiber orientation in softwoods by using the tracheid effect." *Computers and Electronics in Agriculture*, 41(1–3), 91–99.
- Oscarrson, J., Olsson, A., Johansson, M., Enquist, B., and Serrano, E. (2010). "Strength grading of wet Norway spruce side boards for use as laminations in wet-glued laminated beams." "The Future of Quality Control for Wood & Wood Products."
- Ostadi, B., Aghdasi, M., and Kazemzadeh, R. B. (2010). "The impact of ISO/TS 16949 on automotive industries and created organizational capabilities from its implementation." *Journal of Industrial Engineering and Management*, 3(3), 494–511.
- Paulo Sampaio, P. S. (2009). "ISO 9001 certification research: Questions, answers and approaches." *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26(1).
- Pop, L. D., and Elod, N. (2015). "Improving Product Quality by Implementing ISO / TS 16949." *Procedia Technology*, 8th International Conference

Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014, 9-10 October 2014, Tirgu Mures, Romania, 19, 1004–1011.

- Rais, A., Pretzsch, H., and Kuilen, J.-W. G. van de. (2013). "Roundwood pre-grading with longitudinal acoustic waves for production of structural boards." *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(1), 87–98.
- Sandoz, J. L. (1989). "Grading of construction timber by ultrasound." *Wood Science and Technology*, 23(1), 95–108.
- Sanonpong, K. (2009). "Automotive Process-based New Product Development: A Review of Key Performance Metrics." *Proceedings of the World Congress on Engineering*, (Vol 1 WCE 2009).
- Schuh, G., Stölzle, W., and Straube, F. (Eds.). (2008). *Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen*. VDI-Buch, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Simonaho, S.-P., Palviainen, J., Tolonen, Y., and Silvennoinen, R. (2004). "Determination of wood grain direction from laser light scattering pattern." *Optics and Lasers in Engineering*, 41(1), 95–103.
- Stendahl, M. (2009). "Product development in the wood industry: breaking Gresham's Law." Dept. of Forest Products, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Vuong, E. (2008). *Die Bedeutung des Qualitätsmanagements in der Automobilzulieferindustrie : mit einem Fallbeispiel der iSi Automotive zur näheren Veranschaulichung der ISO/TS 16949*.
- Wagner, S. M., and Hoegl, M. (2006). "Involving suppliers in product development: Insights from R&D directors and project managers." *Industrial Marketing Management*, Creating value for the customer through competence-based marketing, 35(8), 936–943.
- Wallentowitz, H., Freialdenhoven, A., and Olschewski, I. (2009). *Strategien in der Automobilindustrie*. Vieweg+Teubner, Wiesbaden.
- Werdich, M. (Ed.). (2012). *FMEA - Einführung und Moderation*. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- WKO. (2016). "Kollektivvertrag 2016, Fachverband Holzindustrie, österr. Gewerkschaftsbund."
- [https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Holzindustrie/Kollektivvertrag/KV-Arbeiter/KV\\_Arbeiter.html](https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Holzindustrie/Kollektivvertrag/KV-Arbeiter/KV_Arbeiter.html), aufgerufen am: 16.05.2016

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der jährliche Verlauf der ISO/TS 16949 Zertifizierungen von 2004-2014 in regionaler Aufgliederung (ISO Survey 2014).....	11
Abbildung 2: Qualitätsanforderungen von allgemein bis spezifisch. Adaptiert nach (Pop and Elod 2015).....	12
Abbildung 3: Begriffe der Lieferbeziehung laut ISO/TS 16949.....	13
Abbildung 4: Die fünf Phasen der Qualitätsvorausplanung (APQP), sowie deren Hauptaktivitäten. Adaptiert nach (AIAG 2008a). ....	15
Abbildung 5: Ansichten der Rückenlehne im Originaldesign sowie grundlegende Abmessungen. Maße in [mm]. Abbildung zur Verfügung gestellt von Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co KG. ....	26
Abbildung 6: Kraffteinleitung der Insassenbelastung laut Lastenheft. ....	27
Abbildung 7: Holzbauweise der Rücksitzlehne mit Sperrholz-Aufbau und MDF Kopfteil. Maße in [mm]. ....	28
Abbildung 8: Kostenverlauf bei unterschiedlichen Entdeckungszeitpunkten. Adaptiert nach (Werdich 2012).....	29
Abbildung 9: Prinzipieller Ablauf einer FMEA. Nach (Brüggemann and Bremer 2012) .....	30
Abbildung 10: Darstellung der Schnittstellen zur Rückenlehne im Blockdiagramm. Die blaue Umrandung markiert die Systemgrenze. Erstellt in Anlehnung an (Werdich 2012) sowie (AIAG 2008b).....	38
Abbildung 11: Beispiel einer DFMEA anhand zweier Objekte der Rücksitzlehne in Holzbauweise. Adaptiert nach (Chrysler Corporation et al. 2008).....	38
Abbildung 12: Prozessflussdiagramm ( engl. high level process map) der Rücksitzlehne im Schichtbau. ....	42
Abbildung 13: Prozessflussdiagramm mit erhöhtem Detaillierungsgrad und Darstellung der möglichen Prozessschritt-Symbolik. Nach (AIAG 2008b). ....	43
Abbildung 14: Beispiel einer PFMEA anhand eines Prozessschrittes in der Fertigung der Rücksitzlehne in Holzbauweise. Adaptiert nach (Chrysler Corporation et al. 2008).....	46
Abbildung 15: Einfluss von allgemeinen und besonderen Ursachen auf die Position und Streuung von normalverteilten Stichproben entlang von Zeitachsen. Adaptiert nach (AIAG 2005).....	51
Abbildung 16: X-s – Regelkarte im Beispiel der Viskositäts-Messung. Die roten Markierungen zeigen die oberen und unteren Eingriffsgrenzen, die grünen Linien die Mittellinien des Prozesses. ....	59
Abbildung 17: Abschätzung des Flächenbedarfs der Fertigungshalle durch skalierte Maschinengrundflächen. ....	63

Abbildung 18: Projektplan zur Produktqualitätsplanung. Adaptiert nach (Cassel 2006). .....79

## 10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Interne und externe Nutzen einer ISO 9001 Zertifizierung. Adaptiert nach (Paulo Sampaio 2009). .....	10
Tabelle 2: Inputs und Outputs der Planungsphase (Phase1) im APQP. Adaptiert nach (AIAG 2008a) sowie (LEAN MC 2015). .....	16
Tabelle 3: Inputs und Outputs der Produktdesign und –entwicklungsphase (Phase 2) im APQP. Adaptiert nach (AIAG 2008a) sowie (LEAN MC 2015). .....	17
Tabelle 4: Inputs und Outputs der Prozessdesign und -entwicklungsphase des APQP. Adaptiert nach (AIAG 2008a) und (LEAN MC 2015). .....	18
Tabelle 5: Inputs und Outputs der Produkt- und Prozessvalidierungsphase (Phase 4) des APQP. Adaptiert nach (AIAG 2008a) und (LEAN MC 2015). .....	19
Tabelle 6: Inputs und Outputs der Phase fünf (Rückmeldung, Beurteilung und Korrekturmaßnahmen) des APQP. Adaptiert nach (AIAG 2008a) und (LEAN MC 2015). .....	19
Tabelle 7: Ebenen der Nachweispflicht nach PPAP .....	21
Tabelle 8: Die Anforderungen des Produktionsteile-Abnahmeverfahrens (PPAP) sowie die Vorlage erforderlicher Unterlagen zu ebendiesen. Adaptierte Darstellung nach (AIAG 2006) und (LEAN MC 2015). .....	22
Tabelle 9: Die Anforderungen an die Rücksitzlehne, entnommen aus dem Lastenheft zu Entwicklung der Holzbauteile. ....	26
Tabelle 10: Entscheidungshilfen für die korrekte Bewertung von Auswirkungen potentieller Fehler im Produktdesign. Nach (AIAG 2008b). .....	33
Tabelle 11: Bewertungskriterien zur Auftretenswahrscheinlichkeit von potentiellen Fehlern im Produktdesign. Nach (AIAG 2008b). .....	34
Tabelle 12: Entscheidungskriterien zur Bewertung der Entdeckungswahrscheinlichkeit von potentiellen Fehlern im Produktdesign. Nach (AIAG 2008b). .....	36
Tabelle 13: Exemplarische Haupt- und Nebenfunktionen der Rücksitzlehne. ....	37
Tabelle 14: Entscheidungshilfen für die korrekte Bewertung von Auswirkungen potentieller Fehler im Produktionsprozess. Nach (AIAG 2008b). .....	45
Tabelle 15: Bewertungskriterien zur Auftretenswahrscheinlichkeit von potentiellen Fehlern im Produktionsprozess. Nach (AIAG 2008b). .....	46
Tabelle 16: Entscheidungskriterien zur Bewertung der Entdeckungswahrscheinlichkeit von potentiellen Fehlern im Produktionsprozess. Nach (AIAG 2008b). .....	47
Tabelle 17: Beurteilung von Prozessfähigkeits-Kennzahlen. Adaptiert nach (Brunner and Wagner 1997). .....	57

Tabelle 18: Die errechneten Werte zur Darstellung der X-s – Regelkarte, sowie die Prozessfähigkeits-Indizes $c_p$ und $c_{pk}$ .	58
Tabelle 19: Auflistung des Flächenbedarfs der jeweiligen Arbeitsstation.	63
Tabelle 20: Auflistung der maximal möglichen Maschinenlaufzeit.	65
Tabelle 21: Maschinenbezogene Kosten, kalkulatorische Kosten sowie geschätzte Instandhaltungs- und Betriebsstoffkosten.	67
Tabelle 22: Auflistung der Kosten zur Produktion der Rückenlehne.	68
Tabelle 23: Konstanten zur Berechnung von Kennwerten in der statistischen Prozesslenkung.	80
Tabelle 24: Datensatz zum Beispiel der statistischen Prozesslenkung.	81
Tabelle 25: Darstellung der abgeschätzten Produktionszeiten und daraus abgeleitete Kapazitäten und Maschinenlaufzeiten. Farblich hinterlegte Zellen zeigen zusammengelegte Arbeitsstationen.	82

# 11 Appendix

Firmenlogo		Projektplan zur Produktqualitätsplanung																				FM 7.3-1 Seite 1 von 1					
Kunde:	X GmbH	Teile Bezeichnung:		Rückenziehe					4711/2					Datum:					15.12.15								
	Vorgang	verantwortlich	KW	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	Fortschritt	Bemerkung
Phase 1: Planung und Programmdefinition																											
1.1	Festlegung des Entwicklungszieles	Konstr.																									
1.2	Festlegung der Zuverlässigkeits- und Qualitätsziele	QS																									
1.3	Erstellung einer vorläufigen Stückliste	Konstr.																									
1.4	Prüfung und Freigabe	QB																									
Phase 2: Produktentwicklung																											
2.1	Durchführung einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse für Design																										
2.2	Fertigungs- und montagegerechte Entwicklung																										
2.3	Durchführung von Designverifizierung																										
2.4	Durchführung von Designbewertung																										
2.5	Erstellung von technischen Zeichnungen																										
2.6	Erstellung von technischen Spezifikationen																										
2.7	Erstellung von Materialspezifikationen																										
2.8	Änderung von Zeichnungen und Spezifikationen																										
2.9	Festlegung neuer Anforderungen an Ausrüstung, Werkzeuge und Einrichtungen																										
2.10	Festlegung der wichtigen und kritischen Produkt- und Prozessmerkmale																										
2.11	Festlegung der Prototypenprüfung																										
Dateiname																										Stand: X vom 10.01.2016	

Abbildung 18: Projektplan zur Produktqualitätsplanung. Adaptiert nach (Cassel 2006).

**Tabelle 23: Konstanten zur Berechnung von Kennwerten in der statistischen Prozesslenkung.**

n	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>
2	2.659		3.267	0.7979
3	1.954		2.568	0.8862
4	1.628		2.266	0.9213
5	1.427		2.089	0.94
6	1.287	0.03	1.97	0.9515
7	1.182	0.118	1.882	0.9594
8	1.099	0.185	1.815	0.965
9	1.032	0.239	1.761	0.9693
10	0.975	0.284	1.716	0.9727
11	0.927	0.321	1.679	0.9754
12	0.886	0.354	1.646	0.9776
13	0.85	0.382	1.618	0.9794
14	0.817	0.406	1.594	0.981
15	0.789	0.428	1.572	0.9823
16	0.763	0.448	1.552	0.9835
17	0.739	0.466	1.534	0.9845
18	0.718	0.482	1.518	0.9854
19	0.698	0.497	1.503	0.9862
20	0.68	0.51	1.49	0.9869
21	0.663	0.523	1.477	0.9876
22	0.647	0.534	1.466	0.9882
23	0.633	0.545	1.455	0.9887
24	0.619	0.555	1.445	0.9892
25	0.606	0.565	1.435	0.9896

**Tabelle 24: Datensatz zum Beispiel der statistischen Prozesslenkung.**

Stichprobe	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	$\bar{X}$	sk
1	7,61	10,15	10,21	8,11	9,05	10,38	9,25	1,19
2	9,87	8,02	8,51	8,31	10,73	7,34	8,80	1,26
3	9,60	7,64	9,26	8,04	9,41	8,31	8,71	0,82
4	7,61	7,85	8,00	8,22	7,30	8,99	8,00	0,58
5	9,59	9,81	10,90	9,61	9,32	7,30	9,42	1,18
6	9,15	6,90	9,32	9,25	8,59	7,42	8,44	1,04
7	8,48	9,58	8,65	9,02	9,62	10,30	9,27	0,68
8	8,32	9,56	9,03	8,25	9,84	9,54	9,09	0,68
9	8,77	10,21	9,76	9,82	7,88	8,26	9,12	0,95
10	9,55	7,62	8,81	10,21	9,32	8,69	9,03	0,88
11	9,34	8,80	9,58	10,96	9,19	7,95	9,30	0,99
12	10,34	8,89	9,57	8,46	9,97	8,30	9,25	0,83
13	11,18	8,49	10,04	9,14	9,56	6,86	9,21	1,46
14	7,25	9,20	10,07	8,56	11,20	8,34	9,10	1,39
15	8,69	9,31	10,19	7,30	9,53	8,54	8,92	1,00
16	9,62	8,55	8,41	8,74	9,59	9,63	9,09	0,58
17	7,58	8,91	11,29	8,57	9,33	6,92	8,77	1,52
18	8,56	9,68	8,74	8,50	7,75	9,72	8,83	0,76
19	10,27	8,76	9,72	7,87	8,46	7,17	8,71	1,15
20	8,31	8,86	7,30	9,58	7,36	10,55	8,66	1,28
21	7,00	8,65	8,69	6,23	10,59	11,03	8,70	1,90
22	9,86	9,18	8,50	9,13	9,50	6,47	8,77	1,22
23	8,54	9,67	8,89	7,32	9,38	9,00	8,80	0,83
24	9,86	8,48	10,55	10,07	9,69	7,90	9,43	1,02

18	Lieferung	handling	30	pro Stück	Personal (10.000)	Kapazität station (Stück/Tag)	Plan Soll/Tag (10.000)	Plan Soll/Tag (100.000)	Auslastung (10.000)	Auslastung (100.000)	Maschinenlaufzeit min/Tag (10.000)	Maschinenlaufzeit min/Tag (100.000)	Zeit (min)
1	Warenannahme	handling	30	0,15	1	1	42	423					
2	Sortieranlage	handling	15	0,1	1	1	42	423	9,40	93,96	21,1	211,4	
3	Plattenzuschnittsäge	handling	10	0,20408	1	1	42	423	1,80	17,98	10,0	86,3	
4	Sortierung der Lagen	handling	2	0,2	1	1	42	423	1,76	17,62			
5	Leimauftrag	handling	0,1	0,25	1	1	42	423	2,20	22,02	10,6	105,7	
6	Stapelbildung	handling	2,5	0,1	1	1	42	423	2,20	22,02			
7	Verpressen	handling	0,5	0,25	1	1	42	423	4,14	41,40	19,9	198,7	
8	Formatierung Formpressteil	handling	4,7	0,47	1	1	42	423	8,81	88,09	42,3	422,8	
9	Fügen von Lehne und Kopfteil	handling	20	1	1	1	42	423	26,43	88,09			
10	Aushärten	handling	2	3	1	3	42	423	8,81	88,09	42,3	422,8	
11	Schleifen	handling	2	7	1	7	42	423	61,66	88,09			
12	Beschichtung	handling	3	1	1	1	42	423	8,90	89,02	83,6	422,8	
13	Trocknenbereich	handling	2	1	1	1	42	423	9,40	93,96	42,3	422,8	
14	Bohrung für Verbindungstechnik	handling	1	1	1	1	42	423	8,81	88,09	42,3	422,8	
15	Tapezieren	handling	1	4	1	4	42	423	35,24	88,09			
16	Installation Verbindungstechnik	handling	1	2	2	2	42	423	17,62	88,09			
17	Verpacken	handling	10	1	1	1							
18	Lieferung	handling	30		1	1							

**Tabelle 25: Darstellung der abgeschätzten Produktionszeiten und daraus abgeleitete Kapazitäten und Maschinenlaufzeiten. Farblich hinterlegte Zellen zeigen zusammengelegte Arbeitsstationen**

## **Danksagung**

Das Thema dieser Diplomarbeit hat sich durch das Projekt „Holz im Fahrzeugbau“ ergeben, bei dem ich als studentischer Mitarbeiter mitwirken durfte. Mein Dank gilt Dr. Ulrich Müller für die Bereitstellung des Themas und dem Enthusiasmus mit dem er das Projekt voranbrachte. Darüber hinaus möchte ich mich für die Erfahrungen die ich als Mitarbeiter bei ihm sammeln durfte bedanken. Sie haben mich und meine studentische Laufbahn wesentlich geprägt.

Danke Uli!

Ein Dankeschön möchte ich außerdem an das Institut für Holztechnologie und nachwachsende Rohstoffe richten. Einerseits für die Ermöglichung der Diplomarbeit und andererseits für ein bereicherndes und lustiges Arbeitsumfeld.

Viele Menschen haben dazu beigetragen, dass ich heute hier stehe.

Ein riesen Dank gilt meinen Eltern, meiner Schwester Teresa, meinem Bruder Jonathan und meiner Partnerin Irene. Ein besonderes Danke auch an meinen langjährigen Freund, Merci Clemens!

Danke an all meine Freunde, auf die ich immer zählen kann. Und Danke an all die lieben Leute, die ich durch das Studium kennenlernen durfte.

Danke, dass ihr immer hinter mir gestanden seid und mich auf allen Wegen unterstützt habt!