

Stochastische Modellierung des Gewährleistungsrisikos in der Automobilzulieferindustrie

Dissertation

Martin Schreiner

Institut für Statistik / Institut für Maschinenbau- und Betriebsinformatik
Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften
TU Graz

Betreuer: O.Univ-Prof. Dipl-Ing. Dr.techn. Ernst Stadlober
O.Univ-Prof. Dipl-Ing. Dr.techn. Siegfried Vössner
Externer Gutachter: O.Univ.-Prof. Mag. Dr. Helmut E. Zsifkovits

November 2012

Eidesstattliche Erklärung (Declaration)

I hereby declare that this doctoral thesis is my own work. It is based on my original research and expressed in my own words. Any use made within it of works of others in any form (e.g. ideas, figures, text, and tables) is properly acknowledged at the point of use.

I have not submitted this thesis for any other course or degree.

Graz, November 2012

Martin Schreiner

“Imagination is more important than knowledge. For knowledge is limited to all we now know and understand, while imagination embraces the entire world, and all there ever will be to know and understand.”

Albert Einstein

Vorwort

Wie kann man als Generalunternehmer für das Geschäftsfeld Gesamtfahrzeugentwicklung und -produktion das Gewährleistungsrisiko bestmöglich bewerten und steuern? Diese Frage war Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit, die in Zusammenarbeit zwischen MAGNA STEYR, dem Institut für Statistik und dem Institut für Maschinenbau- und Betriebsinformatik der TU Graz entstand.

Im Verlaufe dieses Projekts haben mich viele Menschen begleitet und sind mir stets unterstützend zur Seite gestanden. Dafür will ich mich an dieser Stelle recht herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt meinen akademischen Lehrern, Herrn Prof. Ernst Stadlober und Herrn Prof. Siegfried Vössner, für die hervorragende Betreuung sowie die anregenden, fachlichen Diskussionen im Rahmen zahlreicher Privatissima, die stets wichtige Impulse lieferten und maßgeblich zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Herrn Prof. Helmut Zsifkovits danke ich recht herzlich für die kritische Durchsicht und Begutachtung der Dissertation.

Für die Bereitstellung der erforderlichen Daten und die weitreichende Unterstützung gilt mein Dank der MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG. Insbesondere möchte ich mich bei Herrn Dr. Norbert Hofmann, Herrn DI Wolfgang Fitzek, Herrn DI Josef Neges und Herrn DI (FH) Klaus Krammer bedanken.

Abschließend will ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für die Unterstützung sowie die notwendigen kreativen Pausen bedanken.

Abstract (Deutsch)

Die vorliegende Arbeit behandelt das Thema Gewährleistung aus Sicht eines Generalunternehmers für die Gesamtfahrzeugentwicklung und -produktion entlang der gesamten Prozesskette. Neben der Skizzierung möglicher Kooperationsmodelle zwischen Automobilherstellern und einem ausgewählten Generalunternehmer, liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit vor allem auf der Entwicklung von quantitativen Modellen zur Bewertung des Gewährleistungsrisikos.

In einem ersten Schritt werden mögliche Kooperationsmodelle im Bereich Gewährleistung aufgezeigt und hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen analysiert. Anschließend wird ein allgemeines Kooperationsmodell abgeleitet, dessen Parameter flexibel auf die unterschiedlichsten Kundenwünsche adaptiert werden können.

Weiters werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit mit Hilfe der Varianzanalyse globale Einflussfaktoren für das Gewährleistungsrisiko ermittelt. Unter ihrer Verwendung kann das Risiko bereits in der Angebotsphase quantitativ bewertet werden und damit den Entscheidungsprozess über das anzuwendende Kooperationsmodell wesentlich unterstützen.

Für die Phase der Serienproduktion wird ein auf aggregierten Felldrückmeldungen basierendes, kausalanalytisches Prognosemodell entwickelt, welches sich vor allem durch die hohe Prognosegenauigkeit sowie durch die Berücksichtigung des Einschwingvorgangs und laufender Änderungen auszeichnet.

Abschließend wird ein phasenspezifisches Vorgehensmodell entwickelt, das als strukturierter Handlungsrahmen für den Qualitätsbeauftragten bei zukünftigen Fahrzeugprojekten Anwendung finden soll.

Abstract (English)

The present dissertation deals with warranty along the entire process chain of a general contractor for engineering and production of complete vehicles. Beside a description of potential cooperation models between automakers and an exclusive general contractor, the main focus of this thesis is on the development of quantitative risk models for warranty.

In a first step potential warranty cooperation models will be shown and their strengths and weaknesses will be analyzed. Subsequently we derive a generic cooperation model, which enables the flexible and customer-oriented adaption of its parameters.

Moreover, global influencing factors for warranty are detected by means of variance analysis. These crucial factors can be used for the assessment of warranty risk within the quotation process and therefore support the selection process of an adequate cooperation model.

In addition, for the phase of serial production a causal analytical forecasting model based on aggregated claims data is developed. The model is characterized by high prediction accuracy and by the option to consider the effect of diminishing failure rates in the early stage of serial production as well as changes in the product.

Finally the author develops a framework which supports the responsible quality manager in the execution of future vehicle projects.

Abkürzungsverzeichnis

EOP	End of Production, Ende der Serienproduktion
FF	Forschungsfrage
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
IPTV	Incidents Per Thousand Vehicles, Gewährleistungs-/Garantiefälle pro tausend Fahrzeuge
MIS	Month in Service, Nutzungsdauer
MnSOP	Monate nach Start of Production
MOP	Month of Production, Produktionsmonat
GU	Generalunternehmer für Fahrzeugentwicklung und Fahrzeugproduktion
GW	Gewährleistung
GWK	Gewährleistung und Kulanz
OEM	Original Equipment Manufacturer, Automobilhersteller
PEP	Produktentstehungsprozess
QM	Qualitätsmanagement
SOP	Start of Production, Start der Serienproduktion
SQA	Supplier Quality Assurance
SUV	Sport Utility Vehicle
VDA	Verband der Automobilindustrie
WRI	Warranty Risk Indicator

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	- 1 -
1.1	Motivation	- 2 -
1.2	Zielsetzung	- 5 -
1.3	Forschungsdesign	- 6 -
2	Grundlagen	- 7 -
2.1	Stand der Technik	- 8 -
2.1.1	Chain-Ladder-Algorithmus	- 10 -
2.1.2	Modell nach Robinson und McDonald.....	- 11 -
2.1.3	Modell nach Kleyner und Sandborn	- 12 -
2.2	Grundlagen der Automobilindustrie.....	- 15 -
2.2.1	Prozesskette Kundenbeanstandung	- 15 -
2.2.2	Isochronendiagramm.....	- 17 -
2.2.3	Einflussfaktoren für die Entstehung von Gewährleistungsfällen und -kosten -	18 -
2.2.4	Definition Generalunternehmer	- 19 -
2.2.5	Gewährleistungsarten aus Sicht eines GU	- 21 -
3	Konzeptphase.....	- 23 -
3.1	Qualitative Risikobewertung und Auswahl des Gewährleistungsmodells	- 25 -
3.2	Quantitative Risikobewertung.....	- 30 -
3.2.1	Allgemeines.....	- 30 -
3.2.2	Datenanalyse, Modellerstellung, Modellvalidierung.....	- 31 -
3.2.3	Theoretisches Erklärungsmodell.....	- 40 -
3.2.4	Detailanalysen.....	- 41 -
4	Serienentwicklung.....	- 46 -
5	Serienproduktion	- 50 -
5.1	Vorgehensweise.....	- 51 -
5.2	Datenanalyse	- 51 -
5.2.1	Korrelationsanalyse Isochrone X vs. Isochrone X+t	- 54 -
5.2.2	Korrelationsanalyse Gewährleistungsfälle vs. Gewährleistungskosten	- 56 -
5.2.3	Fehler- und Kostenstruktur.....	- 58 -
5.2.4	Inkrementelle Zuwächse	- 61 -
5.2.5	Zulassungsverzug	- 62 -
5.3	Modellbildung.....	- 64 -
5.3.1	Prognosemodell 1 – Berücksichtigung des Einschwingvorgangs.....	- 65 -

5.3.2 Prognosemodell 2	- 66 -
5.4 Modellvalidierung.....	- 68 -
5.4.1 Schematische Darstellung der Prognosemodelle	- 68 -
5.4.2 Validierungsergebnisse.....	- 71 -
5.5 Vergleich der Prognosemodelle	- 75 -
6 Phasenspezifisches Vorgehensmodell.....	- 78 -
6.1 Festlegung des GW-Kooperationsmodells.....	- 79 -
6.2 Durchführung der Risikoanalyse & -bewertung	- 81 -
6.3 Definition des Gesamtfahrzeugzielwerts.....	- 82 -
6.4 Festlegung des Konzeptmengerüsts.....	- 83 -
6.5 Definition der Zielwerte auf Modulebene.....	- 84 -
6.6 Durchführung der PEP-Prognose.....	- 84 -
6.7 Definition von Maßnahmen zur Zielerreichung.....	- 85 -
6.8 Entwicklung und Validierung des Serienprognosemodells	- 85 -
6.9 Anwendung des Serienprognosemodells	- 86 -
7 Zusammenfassung & Ausblick	- 87 -
8 Literaturverzeichnis	- 90 -
9 Anhang	- 93 -

Abbildungs-/Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Konsolidierungstrend in der Automobilindustrie.....	- 2 -
Abbildung 2: Beanstandungs- und Rückstellungsquote	- 3 -
Abbildung 3: Wertschöpfungsstruktur 2002 vs. 2015	- 4 -
Abbildung 4: Forschungsfrage	- 5 -
Abbildung 5: Forschungsdesign	- 6 -
Abbildung 6: Abwicklungsdreieck.....	- 10 -
Abbildung 7: Datencharakteristik nach Kleyner und Sandborn.....	- 12 -
Abbildung 8: Auswertung inkrementelle Ausfallraten - Gesamtfahrzeug	- 14 -
Abbildung 9: Prozesskette Kundenbeanstandung.....	- 15 -
Abbildung 10: Zeitleiste Kundenbeanstandung.....	- 16 -
Abbildung 11: Isochronendiagramm inkl. Datenmatrix.....	- 17 -
Abbildung 12: Einflussfaktoren Gewährleistungskosten	- 18 -
Abbildung 13: Übersicht Integrationstiefen	- 20 -
Abbildung 14: Informationsfluss Generalunternehmer	- 21 -
Abbildung 15: Gewährleistungsarten aus Sicht eines GU.....	- 21 -
Abbildung 16: Gewährleistungsvereinbarung in der Angebotsphase	- 24 -
Abbildung 17: GW-Kooperationsmodelle	- 26 -
Abbildung 18: Systematik Anreizmodell.....	- 27 -
Abbildung 19: Allgemeines GW-Modell.....	- 29 -
Abbildung 20: Boxplot.....	- 32 -
Abbildung 21: Optimaler Transformationsparameter λ	- 33 -
Abbildung 22: Haupteffekte der Einflussfaktoren	- 35 -
Abbildung 23: Wechselwirkung Motorisierung-Fahrzeugtyp	- 35 -
Abbildung 24: Wechselwirkung Land-Fahrzeugtyp	- 36 -
Abbildung 25: Wechselwirkung Land-Motorisierung	- 36 -
Abbildung 26: Residuenplots	- 37 -
Abbildung 27: Verteilung der standardisierten Residuen.....	- 38 -
Abbildung 28: Ergebnis Tukey HSD-Test – Land : Fahrzeugtyp.....	- 39 -
Abbildung 29: Ergebnis Tukey HSD-Test – Motorisierung : Fahrzeugtyp	- 39 -
Abbildung 30: Kulanzverhalten in Abhängigkeit des Landes und der Motorisierung.....	- 41 -
Abbildung 31: Einfluss des Fehlerabstellprozesses.....	- 42 -
Abbildung 32: Optimaler Transformationsparameter λ	- 43 -
Abbildung 33: Boxplot Motorenkonzept	- 44 -
Abbildung 34: Haupteffekte Motorenkonzept	- 44 -
Abbildung 35: Wechselwirkung Motorenkonzept.....	- 44 -
Abbildung 36: Ablauf PEP-Prognose	- 47 -
Abbildung 37: Bewertungsmethodik im Produktentstehungsprozess	- 48 -
Abbildung 38: Fahrzeugarchitektur	- 52 -
Abbildung 39: Isochronendiagramm	- 53 -
Abbildung 40: Korrelationsmatrix Gewährleistungsfälle - Gesamtfahrzeug	- 54 -
Abbildung 41: Laufleistungsverteilung Ford Mondeo	- 54 -
Abbildung 42: Scatterplot Gewährleistungsfälle 6 MIS vs. 12 MIS - Gesamtfahrzeug	- 55 -
Abbildung 43: Scatterplot Gewährleistungsfälle 12 MIS vs. 18 MIS - Gesamtfahrzeug	- 55 -
Abbildung 44: Scatterplot Gewährleistungsfälle 18 MIS vs. 24 MIS - Gesamtfahrzeug	- 56 -
Abbildung 45: Scatterplot Gewährleistungsfälle vs. -kosten - Gesamtfahrzeug	- 57 -

Abbildung 46: Scatterplot Gewährleistungsfälle vs. -kosten - Modulgruppen.....	- 57 -
Abbildung 47: Scatterplot Gewährleistungsfälle vs. -kosten - Modulgruppe Antrieb.....	- 58 -
Abbildung 48: Verteilung Gewährleistungskosten/-fälle - Modulgruppen	- 59 -
Abbildung 49: Verteilung Gewährleistungskosten/-fälle - Modulgruppe Antrieb	- 60 -
Abbildung 50: Tendenzielle Entwicklung des Gewährleistungsrisiko auf Modulebene	- 60 -
Abbildung 51: Inkrementelle Zuwächse - Gewährleistungsfälle - Modulgruppen	- 61 -
Abbildung 52: Inkrementelle Zuwächse - Gewährleistungskosten - Modulgruppen	- 62 -
Abbildung 53: Länderspezifischer Zulassungsverzug.....	- 63 -
Abbildung 54: Auswirkungen Zulassungsverzug.....	- 63 -
Abbildung 55: Datenverfügbarkeit – Bereich 1.....	- 64 -
Abbildung 56: Prognosemodell 1.....	- 65 -
Abbildung 57: Prognosemodell 2.....	- 66 -
Abbildung 58: Auszug Berechnungsmodell - Bereich 1	- 67 -
Abbildung 59: Berechnungsmethodik Modell „Chain-Ladder“	- 68 -
Abbildung 60: Berechnungsmethodik Modell „Robinson/McDonald“	- 69 -
Abbildung 61: Berechnungsmethodik Modell „Lineare Regression“	- 70 -
Abbildung 62: Berechnungsmethodik Modell „Multiple (Median)“.....	- 70 -
Abbildung 63: Prognosegenauigkeit Bereich 1/Median/Fälle/Bruchpunkt 6 MIS.....	- 72 -
Abbildung 64: Prognosegenauigkeit Bereich 1/Median/Fälle/Bruchpunkt 12 MIS.....	- 73 -
Abbildung 65: Prognosegenauigkeit Bereich 2/Median/Fälle	- 74 -
Abbildung 66: Prognosegenauigkeit Bereich 2/Median/Kosten	- 74 -
Abbildung 67: Vergleich der Prognosemodelle – Gewährleistungsfälle (Median).....	- 75 -
Abbildung 68: Vergleich der Prognosemodelle – Gewährleistungsfälle (0,1-Quantil)	- 76 -
Abbildung 69: Vergleich der Prognosemodelle – Gewährleistungsfälle (0,9-Quantil)	- 77 -
Abbildung 70: Phasenspezifisches Vorgehensmodell.....	- 79 -
Abbildung 71: Allgemeines GW-Modell.....	- 80 -
Abbildung 72: Initiale quantitative Risikobewertung	- 81 -
Abbildung 73: Festlegung des Gesamtfahrzeugzielwerts	- 82 -
Abbildung 74: Festlegung des Konzeptmengengerüsts.....	- 83 -
Abbildung 75: Ableitung des Gesamtfahrzeugzielwerts auf die Fahrzeugmodule.....	- 84 -
Abbildung 76: Bewertungsmethodik im Produktentstehungsprozess	- 85 -
Abbildung 77: Beispiel Prozessablauf Frühwarnsystem	- 86 -
Abbildung 78: Zukunftsszenario	- 89 -

Tabelle 1: Untersuchungsobjekte	- 30 -
Tabelle 2: Ergebnis Varianzanalyse globale Einflussfaktoren	- 34 -
Tabelle 3: Ergebnis Paired t-test.....	- 43 -
Tabelle 4: Ergebnis Varianzanalyse Motoren.....	- 45 -

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Automobilindustrie sieht sich mit schwierigen Marktbedingungen konfrontiert. Der stetig größer werdende Zeit- und Kostendruck, die wachsende Vielfalt der Modelle und die steigende Komplexität stellen eine immer stärkere Herausforderung für die Automobilhersteller und ihre Zulieferer dar.

Die möglichen Strategien um diesen Herausforderungen zu begegnen sind vielfältig und von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich. Durch Kooperationen zwischen Herstellern in Form von Fusionen, Akquisitionen, strategischen Allianzen oder Joint Ventures lassen sich mittels gezielter Hebung von Synergien in den Bereichen Verwaltung, Einkauf, Entwicklung oder auch Produktion beachtliche Einsparungseffekte erzielen.¹

Abbildung 1 zeigt den ausgeprägten Konsolidierungstrend sowohl bei den Automobilherstellern als auch bei den Zulieferern.²

Die offensichtlich gescheiterte Fusion zwischen Daimler-Benz und Chrysler unter der Führung von Jürgen Schrempp, zeigt aber auch, dass diese Strategie nicht nur Gewinnpotential in Form von Synergiehebung sondern auch gewisse Risiken in sich birgt und schlussendlich scheitern kann.³

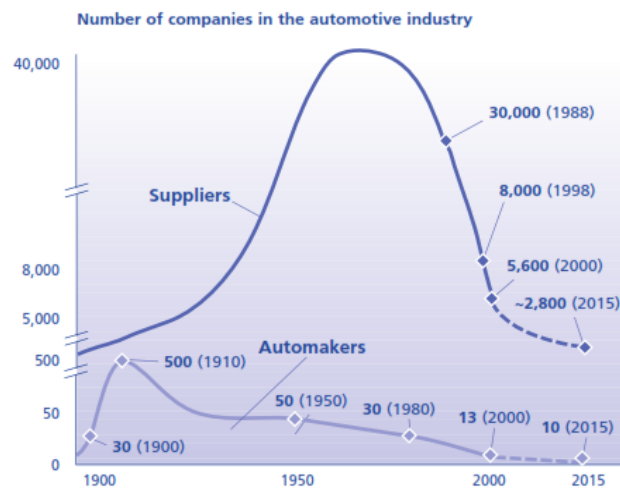


Abbildung 1: Konsolidierungstrend in der Automobilindustrie

Die misslungene Fusion zwischen Daimler-Benz und Chrysler ist kein Einzelfall. Der Automobilexperte Ferdinand Dudenhöffer sieht das Scheitungsrisiko bei Übernahmen und Mergers bei deutlich über 60 %. Möglicherweise ist das mit ein Grund dafür, dass die Autowelt vermehrt auf strategische Allianzen und Joint Ventures setzt.⁴

Eine weitere Strategie der Automobilhersteller um die eigenen, schrumpfenden Margen schadlos zu halten, ist die *Verlustrückwälzung auf die Zulieferindustrie*⁵, wodurch der Kosten- und Ertragsdruck an die vorgelagerten Wertschöpfungsstufen weitergereicht wird. Die dadurch resultierenden Maßnahmen zur Kostensenkung führen in vielen Fällen aber auch zu Qualitätsproblemen, deren Wiedergutmachung, beispielsweise durch kostenintensive Rückrufaktionen⁶, kontraproduktiv ist. Weiters können die durch kostensenkende Maßnahmen hervorgerufenen Qualitätsprobleme die Kundenzufriedenheit negativ beeinflussen und dadurch die zukünftige Ertragsituation verschlechtern.

¹ vgl. (Wallentowitz, Freialdenhoven, & Olschewski, 2009, S. 44)

² vgl. (Dannenberg & Kleinhaus, 2004)

³ vgl. (Wallentowitz, Freialdenhoven, & Olschewski, 2009, S. 54-57)

⁴ vgl. (Dudenhöffer, 2006)

⁵ vgl. (Becker, 2007, S. 39-40)

⁶ vgl. (Becker, 2007, S. 41)

In den letzten Jahren gingen die Automobilhersteller vermehrt dazu über, ihre Zulieferer bei Gewährleistungskosten verstärkt in die Pflicht zu nehmen. Abbildung 2 zeigt diesen Trend anhand der US-amerikanischen Automobilindustrie. Während bei den Automobilherstellern die erwarteten Gewährleistungs- bzw. Garantiekosten, respektive die Rückstellungsquote, deutlich sinken, steigen sie indes bei den Zulieferern an⁷.

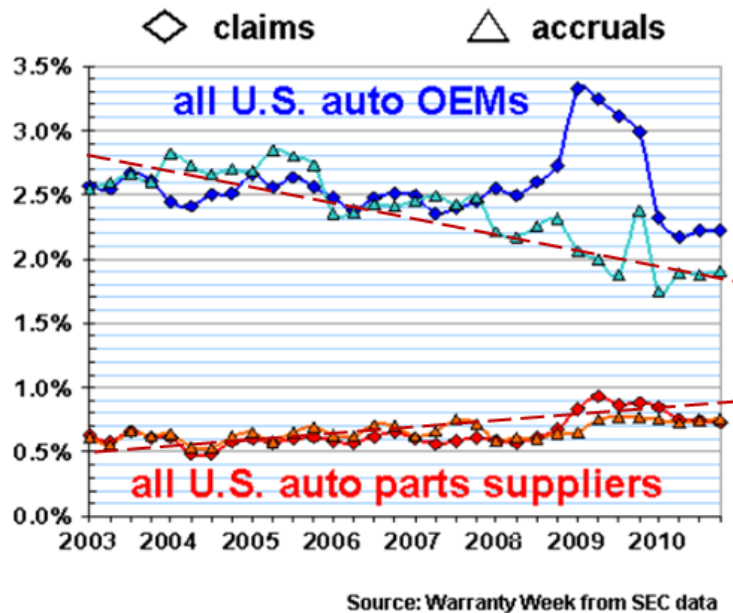


Abbildung 2: Beanstandungs- und Rückstellungsquote⁸

Eine Ursache für die verstärkte Inpflichtnahme der Lieferanten ist die deutliche Verschiebung der Wertschöpfung vom Hersteller zum Lieferanten. Die Automobilhersteller fokussieren sich vermehrt auf das „Brand Management“ und reduzieren gleichzeitig die Wertschöpfungstiefe in jenen Bereichen, die für die Produktdifferenzierung weniger relevant sind.⁹

Auch bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen ist eine Verschiebung der Wertschöpfung von den Automobilherstellern in Richtung der Zulieferer zu erwarten.¹⁰

Nachfolgende Grafik stellt die Wertschöpfungstiefe der Automobilhersteller und deren Lieferanten aus dem Jahr 2002 mit der erwarteten Wertschöpfungstiefe des Jahres 2015 gegenüber. Demzufolge verschiebt sich die Wertschöpfung mit Ausnahme des Bereiches Elektrik/Elektronik deutlich in Richtung der Zulieferindustrie.

⁷ Anmerkung zur Grafik: Der Peak bei der Beanstandungsquote der Automobilhersteller im Jahr 2009 ist darauf zurückzuführen, dass die Beanstandungen der in den Vorjahren verkauften Fahrzeuge auf das niedrige Verkaufsvolumen des Jahres 2009 bezogen sind.

⁸ vgl. (Eight Annual Automotive Warranty Report, 2011)

⁹ vgl. (Dannenberg & Kleinhaus, 2004)

¹⁰ vgl. (Gemeinsam mehr erreichen, 2010)

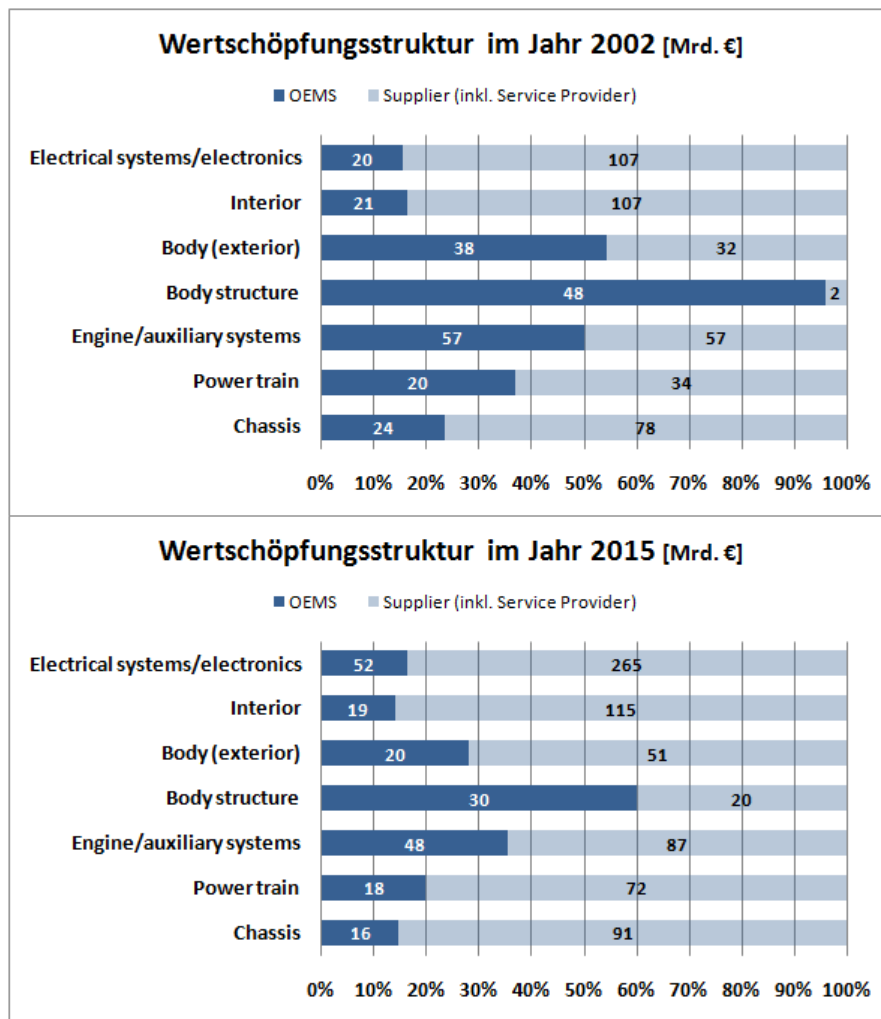


Abbildung 3: Wertschöpfungsstruktur 2002 vs. 2015¹¹

Diese verstärkte Inpflichtnahme der Lieferanten in Form einer verursachergerechten Beteiligung an den Gewährleistungskosten setzt eindeutig definierte Regeln und ein sauberes Zusammenarbeiten bei Entwicklung, Anlauf und Fertigung voraus.¹²

Auch bei der Lieferantenauswahl wird zukünftig nicht nur der Vergabepreis eine wesentliche Rolle spielen, sondern auch die schwer abschätzbaren Folgekosten, wie beispielsweise Kosten für Gewährleistung und Kulanz.¹³

¹¹ vgl. (Dannenberg & Kleinhans, 2004)

¹² vgl. (Sechste Jahresstudie zur Automobilindustrie, 2002)

¹³ vgl. (Weissenberger-Eibl & Koch, 2011)

1.2 Zielsetzung

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist die gesamthafte Betrachtung des Themas Gewährleistung aus Sicht eines Generalunternehmers für die Entwicklung und Produktion von Gesamtfahrzeugen¹⁴, beginnend von der Angebotsphase über die Phase der Serienentwicklung bis hin zur anschließenden Serienproduktion.

Der Schwerpunkt liegt hierbei in der Entwicklung neuer, praktikabler Methoden zur quantitativen Bewertung bzw. Prognose des Gewährleistungsrisikos.

Die zentrale Forschungsfrage lässt sich somit wie folgt formulieren:

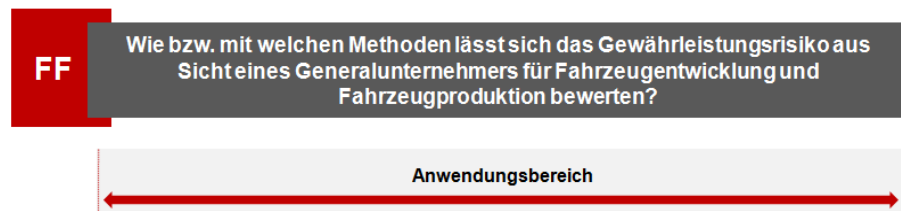
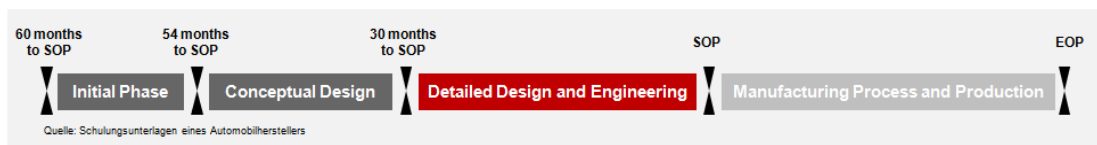


Abbildung 4: Forschungsfrage

Darüber hinaus sollen in dieser Arbeit mögliche Kooperationsmodelle im Bereich Gewährleistung dargestellt und hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen analysiert werden sowie ein phasenspezifisches Vorgehensmodell entwickelt werden.

Die vorliegende Arbeit soll somit einen wesentlichen Beitrag zur Steuerung des Gewährleistungsrisikos entlang der gesamten Prozesskette eines Generalunternehmers leisten, die Verbesserung der Produktqualität beschleunigen und finanzielle Risiken für das Unternehmen aufzeigen.

¹⁴ Im Folgenden Generalunternehmer (GU) genannt

1.3 Forschungsdesign

Für die Beantwortung der Forschungsfrage wurde die in der nachfolgenden Abbildung dargestellte Vorgehensweise gewählt.

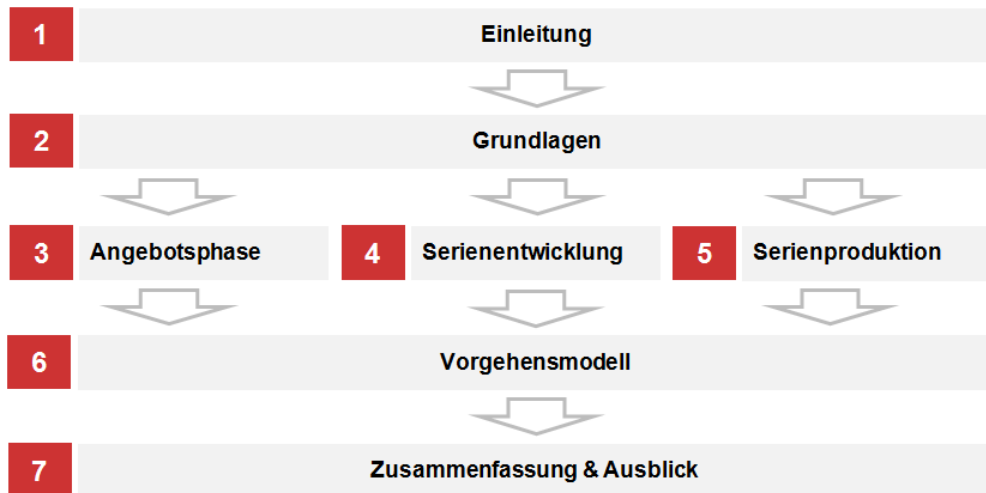


Abbildung 5: Forschungsdesign

Nach der Erhebung des Stands der Technik mit Hilfe von Expertengesprächen sowie Literaturrecherchen, wird in Kapitel 3 der vorliegenden Arbeit die Angebotsphase näher betrachtet. Dabei werden mögliche GW-Kooperationsmodelle zwischen einem Generalunternehmer und dessen Auftraggeber analysiert, und schlussendlich ein allgemeines Modell abgeleitet. Darüber hinaus wird mit Hilfe der Varianzanalyse gezeigt, wie bereits in dieser frühen Phase das Gewährleistungsrisiko aus Sicht eines Generalunternehmers bewertet werden kann.

Anschließend wird in Kapitel 4 die von Heidrun Jander¹⁵ entwickelte Methodik zur Bewertung des Gewährleistungsrisikos in der Phase der Serienentwicklung skizziert.

In Kapitel 5 wird mit Hilfe von umfangreichen statistischen Analysen ein auf aggregierten Felddaten basierendes, lineares, kausalanalytisches Prognosemodell für die Phase der Serienproduktion entwickelt und validiert.

Abschließend werden in Kapitel 6 ein phasenspezifisches Vorgehensmodell beschrieben und die Ergebnisse in Kapitel 7 zusammenfassend dargestellt.

¹⁵ vgl. (Jander, 2004)

2 Grundlagen

2.1 Stand der Technik

Die Literatur zum Thema Gewährleistung in der Automobilindustrie ist im deutschsprachigen Raum sehr rar. Eine der wenigen Publikationen ist jene von Heidrun Jander. Sie beschreibt in ihrer Arbeit „Controlling der Gewährleistung“¹⁶ ein von ihr entwickeltes „*Controllingsystem zur zielorientierten Koordination gewährleistungsrelevanter Führungsaktivitäten in den verschiedenen Phasen des Entstehungszyklus langlebiger hochwertiger Gebrauchsgüter*“¹⁷, das in ähnlicher Form in der Automobilindustrie Anwendung findet.

Die Literatur unter dem Begriff „Warranty“¹⁸ ist im englischsprachigen Raum hingegen sehr umfassend. Ein sehr wichtiges und umfangreiches Werk ist das Buch „Warranty Management and Product Manufacture“ von Murthy und Blischke¹⁹.

Einen guten Überblick über die wichtigsten statistischen Modelle und Methoden zur Analyse von Gewährleistungsdaten geben Karim und Suzuki in „Analysis of warranty claim data: a literature review“²⁰.

Im Bereich der Prognose von Gewährleistungskosten bzw. -fällen sind wohl die Publikationen von Kalbfleisch und Lawless²¹, Kleyner und Sandborn²² und Robinson und McDonald²³ am bekanntesten.

Allgemeine Kritikpunkte an den bestehenden Prognosemodellen sind die Nichtberücksichtigung des erhöhten Fehlerniveaus zu Beginn der Serienproduktion und etwaiger Änderungen in der laufenden Serienproduktion. Darüber hinaus werden für die Prognose keine Daten aus vor- bzw. nachgelagerten Produktionsperioden genutzt.

Weiters sind viele der bestehenden Prognosemodelle für einen GU in der Praxis nicht anwendbar, da sie auf Verkaufsmonaten (Month of Sales) basieren. Für den herkömmlichen Fall, dass der OEM die Endmontage des Fahrzeugs selbst durchführt und anschließend über sein Händlernetz an den Endkunden verkauft, ist diese Vorgehensweise richtig. Führt jedoch der GU im Auftrag des OEMs die Endmontage des Fahrzeugs durch, so startet die Gewährleistungsfrist in der Regel mit dem Verkauf des Fahrzeugs an den Auftraggeber²⁴, welcher für gewöhnlich innerhalb des Produktionsmonats stattfindet.

Aus diesem Grund empfiehlt sich für einen GU die Prognose auf Basis von Produktionsmonaten durchzuführen.

¹⁶ vgl. (Jander, 2004)

¹⁷ vgl. (Jander, 2004, S. V)

¹⁸ Anmerkung: Eine Differenzierung zwischen Gewährleistung und Garantie findet dabei in der Regel jedoch nicht statt.

¹⁹ vgl. (Murthy & Blischke, 2006)

²⁰ vgl. (Karim & Suzuki, 2005)

²¹ vgl. (Kalbfleisch & Lawless, 1995)

²² vgl. (Kleyner & Sandborn, 2005)

²³ vgl. (Blischke & Murthy, 2003)

²⁴ Anmerkung: Details sind im Rahmen des Gewährleistungskooperationsmodells zu vereinbaren und in einer Individualvereinbarung festzuhalten.

Da etwaige Produkt- und Prozessänderungen (Facelifts, Umstellung von Produktionsparametern, etc.) zu definierten Zeitpunkten, respektive Produktionsmonaten, stattfinden und dokumentiert werden, wird deren Berücksichtigung durch eine Prognose auf Basis von Produktionsmonaten erleichtert.

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden keine Publikationen gefunden, die das Thema Gewährleistung zwischen einem OEM und einem GU, beginnend von der Angebotsphase bis hin zur Serienproduktion behandeln.

In den nachstehenden Kapiteln werden folgende, potentielle Referenzprognosemodelle näher beschrieben:

- Chain-Ladder-Algorithmus,
- Modell nach Robinson und McDonald und das
- Modell nach Kleyner und Sandborn

2.1.1 Chain-Ladder-Algorithmus

Der Chain-Ladder-Algorithmus²⁵ findet seine Anwendung in der Versicherungsmathematik und dient zur Schadensreservierung. Die Basis für die Anwendung dieses Algorithmus bilden in dem Anfalljahr i aufgetretene und im Kalenderjahr $i+k$ abgerechnete, aggregierte Schadensfälle $S_{i,k}$ $i=0, \dots, n$; $k=0, \dots, n$.

Die Schadensfälle $S_{i,k}$ sind stets positiv und für $i+k \leq n$ bekannt bzw. für $i+k > n$ unbekannt. Nachfolgende Grafik zeigt das sogenannte Abwicklungsdreieck, welches alle bekannten Schadensfälle in Abhängigkeit von Anfalls- und Abwicklungsjahr darstellt.

Occurrence year	Development year							
	0	1	...	$n-i$	$n-i+1$	...	$n-1$	n
0	$S_{0,0}$	$S_{0,1}$	...	$S_{0,n-i}$	$S_{0,n-i+1}$	...	$S_{0,n-1}$	$S_{0,n}$
1	$S_{1,0}$	$S_{1,1}$	...	$S_{1,n-i}$	$S_{1,n-i+1}$	...	$S_{1,n-1}$	
...	
$i-1$	$S_{i-1,0}$	$S_{i-1,1}$	...	$S_{i-1,n-i}$	$S_{i-1,n-i+1}$...		
i	$S_{i,0}$	$S_{i,1}$	...	$S_{i,n-i}$				
...				
$n-1$	$S_{n-1,0}$	$S_{n-1,1}$						
n	$S_{n,0}$							

Berechnungsschema: $\hat{S} = S_1 \cdot \frac{Z_1}{N_1}$

Abbildung 6: Abwicklungsdreieck²⁶

Ausgehend von den bekannten Schadensfällen werden mit der Hilfe von Chain-Ladder-Prädiktoren $\hat{S}_{i,m}$ die unbekannt Schadensfälle geschätzt. Dabei gilt:

$$\hat{S}_{i,m} = S_{i,n-i} \cdot \prod_{l=n-i+1}^m \hat{F}_l$$

für alle $i=1, \dots, n$ und $m=n-i+1, \dots, n$. Der Chain-Ladder-Faktor \hat{F}_l berechnet sich nach folgender Formel:

$$\hat{F}_l = \frac{\sum_{i=0}^{n-l} S_{i,l}}{\sum_{i=0}^{n-l} S_{i,l-1}}$$

für alle $l=1, \dots, n$.

²⁵ vgl. (Schmidt & Schnaus, 1996)

²⁶ ebenda

2.1.2 Modell nach Robinson und McDonald

Das Prognosemodell von Robinson und McDonald²⁷ wird von vielen Automobilherstellern verwendet und basiert auf den kumulierten Fehlern pro 1000 Fahrzeuge $R(t)$, welche sich wie folgt berechnen:

$$R(t) = \sum_{i=0}^t \frac{f_i}{N_i} * 1000$$

Dabei ist N_i die Anzahl der Fahrzeuge mit i Monaten an Nutzungsdauer (MIS) und f_i die Anzahl der von den Werkstätten gemeldeten Fehler.

Nach Robinson und McDonald werden diese berechneten Werte in einem log-log-Plot dargestellt und mit einer Ausgleichsgerade angenähert. Mit Hilfe dieser Ausgleichsgerade werden anschließend Prognosen gemacht.

Mathematisch gesehen werden die $R(t)$ -Werte einer log-Transformation unterzogen und mittels eines einfachen Regressionsmodells angenähert.

$$\log(R(t)) = \beta_0 + \beta_1 \log(t) + \varepsilon$$

Die Ausgleichsgerade sowie die anschließende Rücktransformation ermöglichen die Prognose von $R(t)$ -Werten mit einer höheren Nutzungsdauer.

$$\hat{R}(t) = \exp(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \log(t))$$

²⁷ vgl. (Blischke & Murthy, 2003); (Majeske, 2007)

2.1.3 Modell nach Kleyner und Sandborn²⁸

Das Modell von Kleyner und Sandborn wurde anhand von elektronischen Bauteilen validiert und basiert im Wesentlichen auf einer sich mit der Nutzungsdauer T stabilisierenden Fehlerrate $\lambda_{(T)}$.

Die Fehlerrate berechnet sich aus der Anzahl der sich im Feld befindlichen Fahrzeugen $N(t)$, mit der Nutzungsdauer t und der von ihnen verursachten Gewährleistungsfällen, $Claims(t)$.

$$IPTV(t) = \frac{Claims(t)}{N(t)} * 1000$$

$$\lambda(T) = \frac{IPTV(T)}{1000T}$$

Kleyner und Sandborn analysierten die Gewährleistungsdaten von mehreren elektronischen Bauteilen und stellten folgende Charakteristik fest: In den ersten 8-18 Monaten Nutzungsdauer ist eine abnehmende Fehlerrate zu erkennen, die sich ab dem Zeitpunkt t_s stabilisiert und in einem Band von $\pm 10\%$ um eine Nulllinie schwankt.

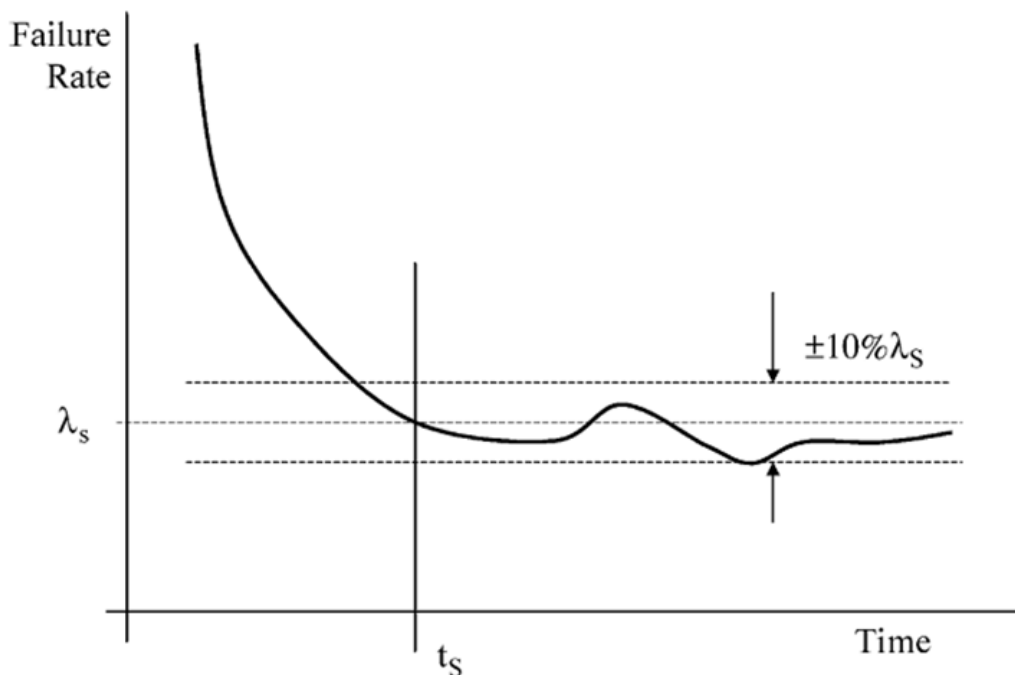


Abbildung 7: Datencharakteristik nach Kleyner und Sandborn²⁹

²⁸ vgl. (Kleyner & Sandborn, 2005)

²⁹ vgl. (Kleyner & Sandborn, 2005, S. 211)

Im Zeitintervall $[0; t_s]$ wird die Zuverlässigkeit mit der Weibullverteilung (Gestaltparameter β , Skalierungsparameter η) angenähert. Im Zeitintervall $[t_s; t]$ kann aufgrund der stabilen Fehlerrate die Exponentialverteilung verwendet werden. Der Gestaltungsparameter β nimmt vor dem Zeitpunkt t_s typischerweise einen Wert im Bereich von 0,65-0,85 an und nach t_s einen Wert im Bereich von 0,9-1,1 an.

Die Zuverlässigkeit $R(t)$ setzt sich zusammen aus der Zuverlässigkeit zum Zeitpunkt t_s und der Wahrscheinlichkeit den Zeitpunkt t unter der Bedingung, dass t_s schon erreicht wurde, zu erreichen. Für das Zeitintervall $[t_s; t]$ gelten dann folgende Zusammenhänge:

$$R(t) = R(t_s)R(t_s \rightarrow t)$$

$$R(t) = e^{-(t_s/\eta)^\beta} e^{-\lambda(t-t_s)}$$

$$h_{\text{Weibull}}(t_s) = \frac{\beta}{t_s} \left(\frac{t_s}{\eta}\right)^\beta$$

$$\lambda = \frac{\beta}{t_s} \left(\frac{t_s}{\eta}\right)^\beta$$

$$R(t) = \exp \left[- \left(1 + \frac{\beta(t-t_s)}{t_s} \right) \left(\frac{t_s}{\eta} \right)^\beta \right]$$

Die weiter oben beschriebene Charakteristik konnte auf der Ebene Gesamtfahrzeug nicht beobachtet werden. Nachfolgende Grafik zeigt die inkrementellen Ausfallraten über die Nutzungsdauer. Im Gegensatz zu den Beobachtungen von Kleyner und Sandborn nehmen die Ausfallraten über den Gewährleistungszeitraum nicht ab, sondern global gesehen zu. Darüber hinaus zeigt sich bei der Betrachtung eines einzelnen Produktionsmonats – in diesem Fall Oktober 2008 – eine hohe Variabilität, was eine Prognose auf monatlicher Basis zusätzlich erschwert.

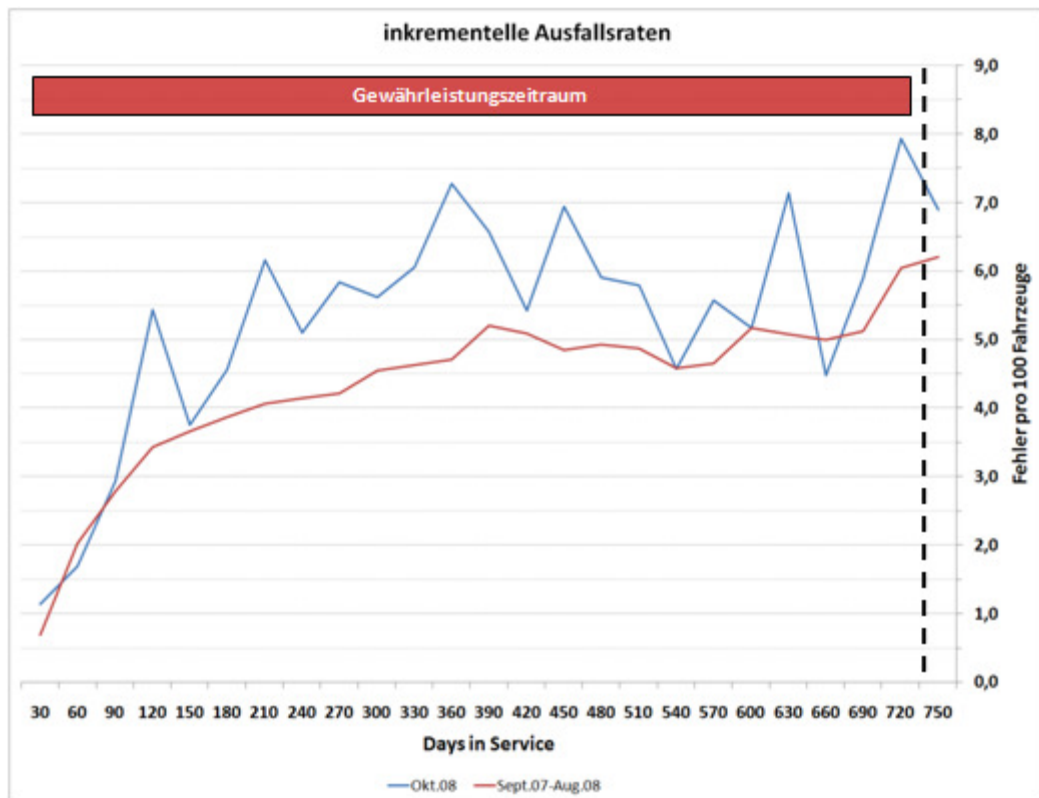


Abbildung 8: Auswertung inkrementelle Ausfallraten - Gesamtfahrzeug

Das Modell von Kleyner und Sandborn wird aufgrund der oben angeführten Eigenheiten im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter betrachtet.

2.2 Grundlagen der Automobilindustrie

Zum Verständnis der vorliegenden Arbeit werden auf den nachfolgenden Seiten grundlegende Begriffe und Prozesse aus dem Bereich der automobilen Gewährleistung näher erläutert.

2.2.1 Prozesskette Kundenbeanstandung

Der Prozess der Kundenbeanstandung beginnt mit einem vermeintlichen, vom Fahrzeugbesitzer entdeckten Fehler, den er bei einer Vertragswerkstatt der jeweiligen Marke reklamiert.

In der Vertragswerkstatt wird der reklamierte Fehler hinsichtlich seiner Gewährleistungsrelevanz geprüft und gegebenenfalls behoben. Anschließend wird das den Fehler verursachende Bauteil an den OEM übermittelt³⁰, welcher in weiterer Folge das Schadteil analysiert oder an den betroffenen Lieferanten zur Prüfung weiterleitet. Stellt sich bei der Analyse heraus, dass das Bauteil einem systematischen Fehler unterliegt, wird der Fehlerabstellprozess eingeleitet.

Darüber hinaus werden sämtliche Felddaten zeitnahe vom OEM mit Hilfe von graphischen Auswertungen beobachtet und analysiert.

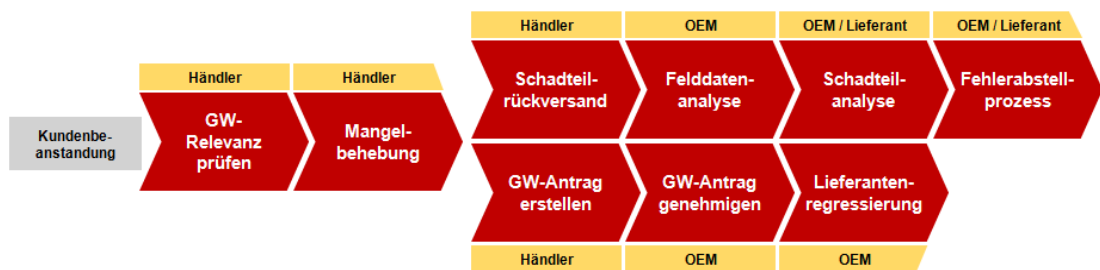


Abbildung 9: Prozesskette Kundenbeanstandung³¹

Nachdem die Vertragswerkstatt den Mangel behoben hat, stellt der Händler einen Gewährleistungsantrag zur Rückerstattung der Kosten an den OEM. Dieser prüft den Antrag u.a. auch mittels computerunterstützter Routinen und gibt den Antrag gegebenenfalls frei. Ist der Gewährleistungsfall auf ein Verschulden des Lieferanten zurückzuführen, so werden die entstandenen Kosten in der Regel an den Lieferanten weiterverrechnet.

³⁰ Der Schadteilrückversand ist in der Regel auf einen bestimmten Markt limitiert und erst ab einer definierten Wertgrenze relevant.

³¹ vgl. (Schwarz, 2008)

Die mit jedem Gewährleistungsfall dokumentierten Daten sind sehr wertvoll für die späteren Analysen und bestehen im Wesentlichen aus

- Produktspezifischen Daten (z.B. Seriennummer, Produktions- und Verkaufsdatum)
- Fehlerspezifischen Daten (z.B. Fehlersymptome, Diagnoseresultat, Teilenummer)
- Reparaturspezifischen Daten (z.B. Teilekosten, Arbeitszeit, Reparaturdatum).³²

Abbildung 10 stellt die wichtigsten Zeitpunkte bei der Entstehung eines Gewährleistungsfalls dar.

Das betreffende Fahrzeug wird zum Zeitpunkt t_f fertiggestellt und an den Auftraggeber übergeben. Ab diesem Zeitpunkt startet die Gewährleistung gegenüber dem Auftraggeber. Nachdem das Fahrzeug beim Händler eingetroffen ist und an den Endkunden verkauft wurde, beginnt mit der Zulassung des Fahrzeugs zum Zeitpunkt t_z die Gewährleistung des OEMs gegenüber dem Endkunden.

Die Zeitspanne zwischen der Fertigstellung des Fahrzeugs und dessen Zulassung nennt man Zulassungsverzug. Wesentliche Einflussfaktoren für den Zulassungsverzug sind die Lager- und Transportzeiten.

Nach einer bestimmten Nutzungsdauer tritt der Gewährleistungsfall zum Zeitpunkt t_A ein und wird anschließend von der Vertragswerkstätte behoben sowie zum Zeitpunkt t_R in der Gewährleistungsdatenbank registriert.

Die Zeitspanne zwischen dem Auftreten des Fehlers und der Registrierung in der Datenbank nennt man Meldeverzug.

Als t_B ist der Betrachtungszeitpunkt definiert, welcher sich in der Regel nicht allzu stark vom Registrierzeitpunkt t_R unterscheidet.

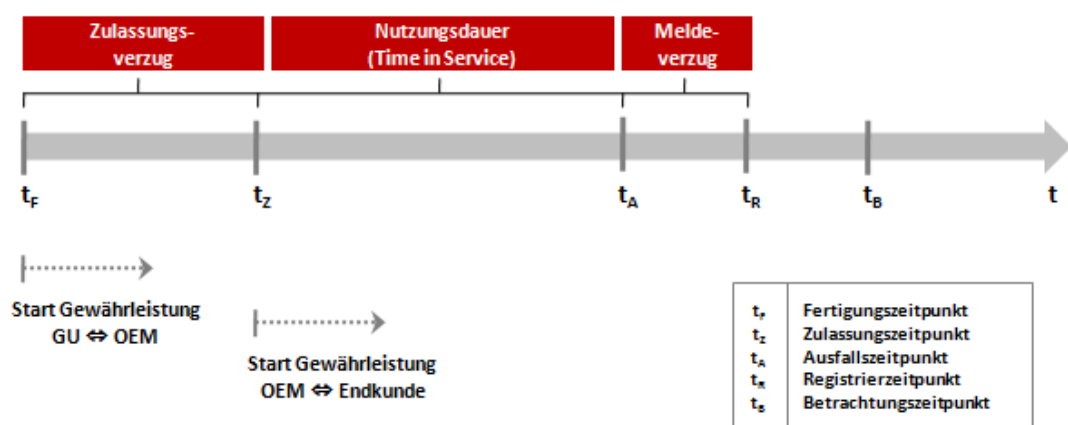


Abbildung 10: Zeitleiste Kundenbeanstandung³³

³² vgl. (Yang, 2007, S. 447); (VDA, 2009, S. 51-53); (Manna, Pal, & Kulandaiyan, 2004, S. 105)

³³ vgl. (Meyer, 2003, S. 93); (Majeske, 2007, S. 244)

2.2.2 Isochronendiagramm

Das Isochronendiagramm ist ein in der Automobilindustrie häufig angewandtes Visualisierungsinstrument zur Beobachtung der sich im Feld befindlichen Fahrzeuge. Es stellt mit Hilfe der sogenannten Isochronen die Beanstandungshäufigkeit für Fahrzeuge gleichen Alters bezogen auf das jeweilige Produktionsmonat dar.³⁴ In analoger Weise werden die Gewährleistungskosten pro Fahrzeug über den Produktionszeitraum beobachtet.

Nachfolgende Grafik zeigt beispielhaft ein Isochronendiagramm für die Gewährleistungskosten inklusive der dazugehörigen Datenmatrix.

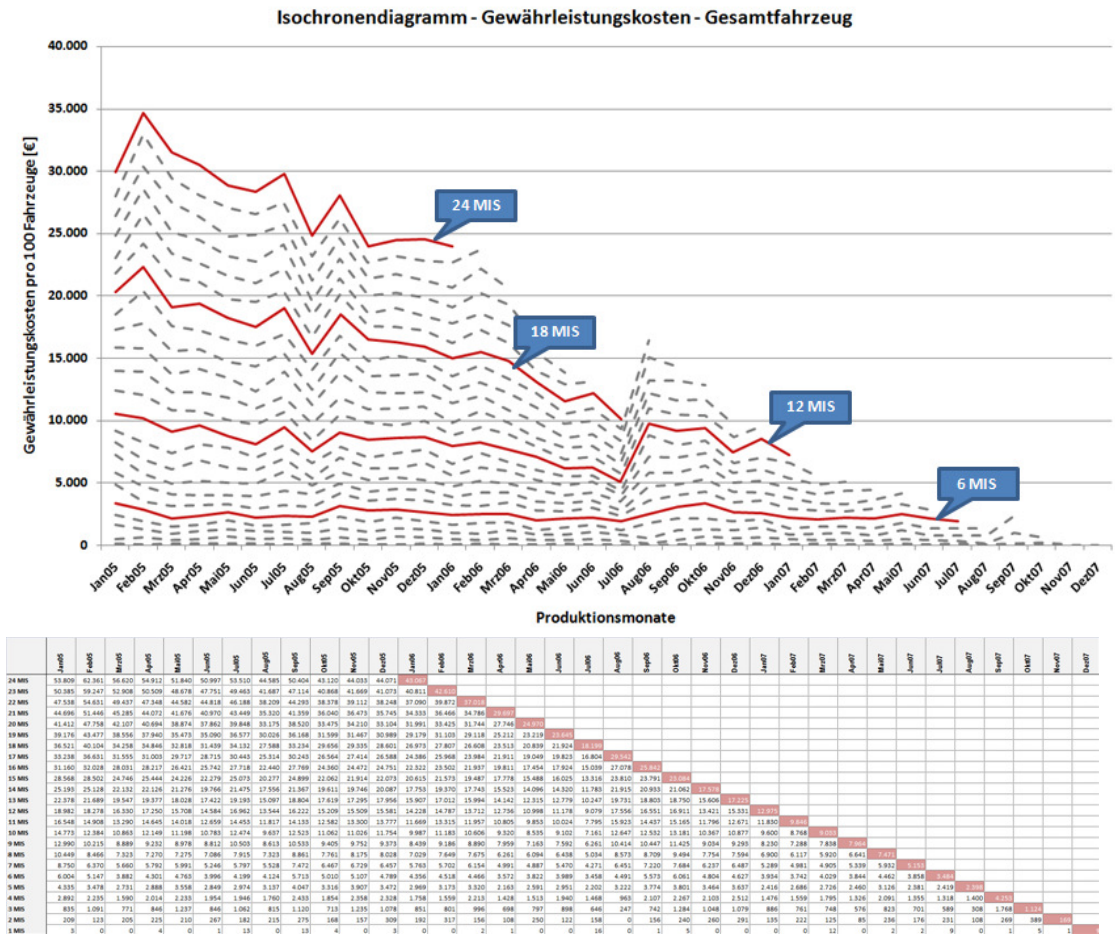


Abbildung 11: Isochronendiagramm inkl. Datenmatrix

³⁴ vgl. (VDA, 2009, S. 56); (Pfeifer, 2001); (VDA, 2004, S. 308)

2.2.3 Einflussfaktoren für die Entstehung von Gewährleistungsfällen und -kosten

Die Ursachen für die Entstehung von Gewährleistungsfällen und den damit verbundenen Kosten können vielfältig sein und oftmals ist es schwierig, im Rahmen der Analysephase einen eindeutigen Verursacher festzustellen.

Heidrun Jander klassifiziert in *Einflussfaktoren im engeren Sinn* und *Einflussfaktoren im weiteren Sinn*³⁵.

Als Einflussfaktoren im engeren Sinn definiert sie die durchschnittlichen Gewährleistungskosten je Serienerzeugnis, welche sich aus der durchschnittlichen Anzahl der Gewährleistungsfälle je Serienerzeugnis sowie den durchschnittlichen Kosten je Gewährleistungsfall ergeben.

Einflussfaktoren im weiteren Sinn unterteilt Heidrun Jander weiter in unternehmensexterne Faktoren, wie zum Beispiel die Gesetze und das Kundenverhalten, und in unternehmensinterne Faktoren. Zu letzteren zählen die Entwicklung, Produktion und Montage sowie Marketing/Vertrieb und die Fehlerbeseitigung im Markt.

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor sind die Lieferanten, welche weder den unternehmensexternen noch den unternehmensinternen Faktoren zuordenbar sind.

Nachfolgende Abbildung zeigt eine Darstellung der Einflussfaktoren nach Ivo Schwarz. Er unterscheidet zwischen den fünf Hauptfaktoren Garantieregelwerk, Prozessqualität, Produktqualität, Servicequalität und Gewährleistungscontrolling.

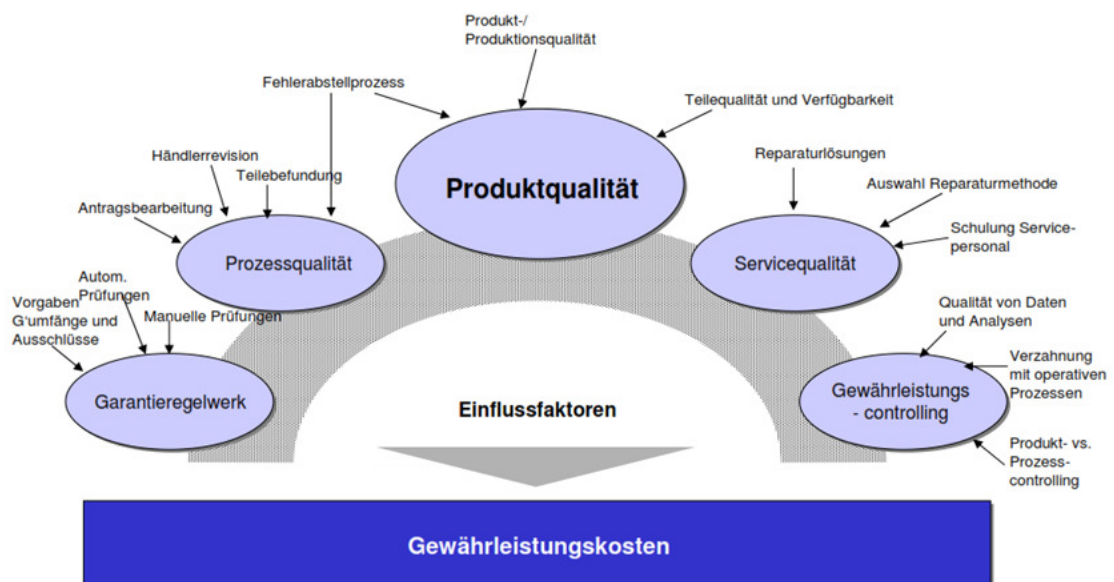


Abbildung 12: Einflussfaktoren Gewährleistungskosten³⁶

³⁵ vgl. (Jander, 2004, S. 54-58)

³⁶ vgl. (Schwarz, 2008)

Wie sehr das Kundenverhalten die Anzahl der Gewährleistungsfälle und damit die Höhe der Gewährleistungskosten beeinflusst, diskutieren Rai und Singh³⁷ in ihrer Arbeit „Customer-Rush Near Warranty Expiration Limit, and Nonparametric Hazard Rate Estimation From Known Mileage Accumulation Rates“. Darin beschreiben sie unter anderem das „customer-rush phenomena“, welches durch eine erhöhte Reklamationsquote kurz vor Ende des Gewährleistungszeitraums gekennzeichnet ist.

Dieses Phänomen ist darauf zurückzuführen, dass die Fahrzeugbesitzer kurz vor Ablauf der Gewährleistungsfrist vermehrt sogenannte „soft failures“³⁸ reklamieren. Diese Fehler sind dadurch gekennzeichnet, dass das Fahrzeug weiterhin funktionsfähig ist und nicht unmittelbar die Werkstätte aufgesucht werden muss. Zu dieser Fehlerkategorie zählen beispielsweise kleinere Ölleckagen sowie ungewöhnliche Motorengeräusche.

„Hard failures“³⁹ hingegen führen zu einem Ausfall des Fahrzeugs bzw. eines Bauteils und können nur durch eine Reparatur oder Austausch des betroffenen Bauteils behoben werden. Beispiele für „hard failures“ sind ein nicht startender Motor und eine kaputte Bremsleuchte.

2.2.4 Definition Generalunternehmer

Die Entwicklung und Produktion eines Fahrzeugs ist durch ein komplexes Zusammenspiel vieler unterschiedlicher Auftraggeber-Auftragnehmer-Konstellationen gekennzeichnet. Der Verband der Automobilindustrie (VDA) klassifiziert dabei in folgende sechs Kooperationsmodelle⁴⁰:

- Generalunternehmer
- Systemlieferant/-entwickler
- Modullieferant/-entwickler
- Komponentenlieferant/-entwickler
- Teilelieferant/-entwickler
- Entwicklungsdienstleister

Die oben angeführten Kooperationsmodelle unterscheiden sich in der Integrationstiefe des Auftragnehmers in den Bereichen⁴¹:

- Geometrische Integration
- Funktionale Integration
- Produktionstechnische Integration
- Prozessintegration in den Auftraggeberprozess

³⁷ vgl. (Rai & Singh, 2006)

³⁸ vgl. (Rai & Singh, 2006, S. 6-7); (Yang, 2007, S. 10)

³⁹ vgl. (Rai & Singh, 2006, S. 6-7); (Yang, 2007, S. 10)

⁴⁰ vgl. (VDA-AK, 2001)

⁴¹ vgl. (VDA-AK, 2001, S. 11)

Nachfolgende Grafik gibt einen Überblick über die Charakteristik der sechs unterschiedlichen Kooperationsmodelle.

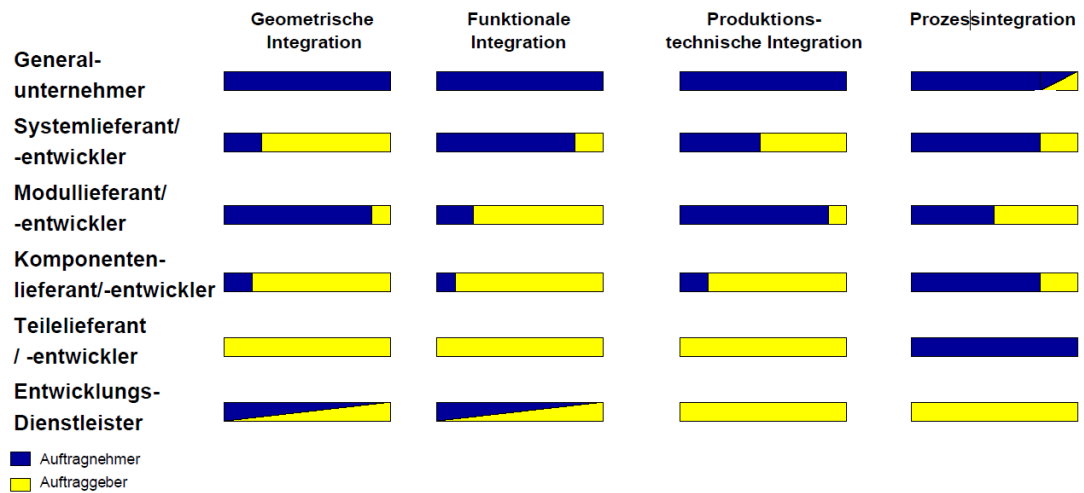


Abbildung 13: Übersicht Integrationstiefen⁴²

Der Generalunternehmer stellt demzufolge die Auftragnehmerrolle mit der höchsten Integrationstiefe dar und grenzt sich gegenüber den anderen Rollen dadurch ab, dass er

- für die komplette Entwicklung und/oder Produktion verantwortlich ist,
- bezüglich der Leistung und Fähigkeit mit dem Auftraggeber vergleichbar ist und
- bis auf Vertriebs- und Ersatzteilprozesse für alle Integrationen in vollem Umfang zuständig ist.⁴³

Für eine erfolgreiche und effiziente Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer ist ein geregelter Informationsaustausch unerlässlich. Abbildung 14 zeigt beispielhaft den groben Informationsfluss zwischen dem Auftraggeber und Generalunternehmer. Hat letzterer auch eine erhöhte Verantwortung im Bereich der Gewährleistung, so ist auf einen adäquaten Felddatenzugriff zu achten.

⁴² vgl. (VDA-AK, 2001, S. 32)

⁴³ vgl. (VDA-AK, 2001, S. 24)



Abbildung 14: Informationsfluss Generalunternehmer⁴⁴

2.2.5 Gewährleistungsarten aus Sicht eines GU

In Abhängigkeit von der Mangelentdeckung und der vertraglichen Vereinbarung zwischen den beteiligten Parteien kann man drei Gewährleistungsarten differenzieren. Nachfolgende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung der unterschiedlichen Gewährleistungsarten aus der Sicht eines GU.

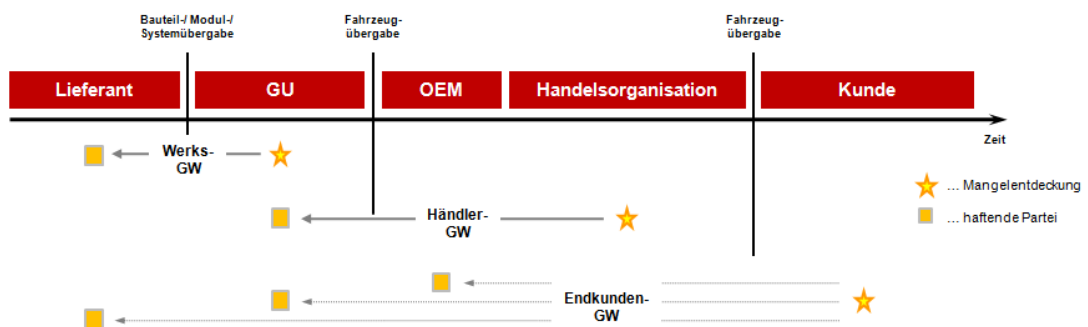


Abbildung 15: Gewährleistungsarten aus Sicht eines GU

⁴⁴ vgl. (VDA-AK, 2001, S. 25)

Wird der Mangel im Zuge des Montageprozesses beim GU entdeckt und ist dieser auf ein Lieferantenverschulden zurückzuführen, spricht man von Werks-GW⁴⁵. In diesem Fall wird ein standardisierter Reklamationsprozess gestartet.

Erfolgt die Mangelentdeckung durch den Händler im Rahmen der Fahrzeugübernahme vom Transportdienstleister bzw. im Zuge der Inspektion vor der Auslieferung an den Endkunden so spricht man von Händler-GW. Die entstandenen Kosten für die Behebung des Mangels werden in der Regel verursachergerecht abgerechnet.

Der größte Teil der Gewährleistungskosten wird durch die so genannte Endkunden-GW verursacht. Bei dieser Kategorie wird der Mangel im Rahmen der Nutzungsphase und innerhalb der Gewährleistungsperiode durch den Endkunden entdeckt. Die entstandenen Gewährleistungskosten werden gemäß der vertraglichen Vereinbarungen vom OEM, vom GU oder vom Lieferanten übernommen.

⁴⁵ Häufig werden auch die Begriffe Hallenstörfälle und „0 km –Fehler“ verwendet

3 Konzeptphase

Nachdem der Automobilhersteller die Initialphase des Fahrzeugprojekts abgeschlossen hat und eine Auslagerung der Entwicklung und/oder der Fahrzeugendmontage aus strategischer Sicht in Frage kommt, wird der Angebotsprozess beim Generalunternehmer angestoßen.

Bereits in dieser frühen Phase kann das Gewährleistungsrisiko für den Generalunternehmer deutlich reduziert werden. Der erste und wohl entscheidendste Schritt hierbei ist eine klar definierte Vereinbarung über den Gewährleistungsumfang zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Diese Vereinbarung sollte in der Angebotsphase federführend von den jeweiligen Qualitätsverantwortlichen getroffen und als integraler Bestandteil des Vertrags gesehen werden.

Nachfolgende Abbildung zeigt den idealtypischen Ablauf zur Gestaltung und Festlegung des Kooperationsmodells im Bereich Gewährleistung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer.

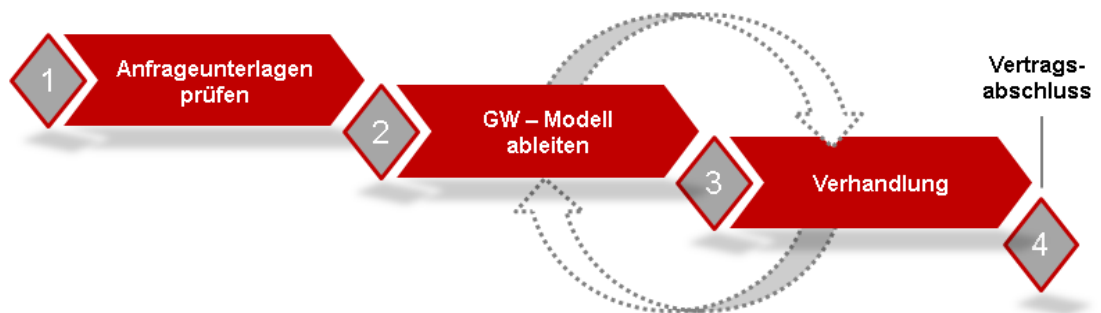


Abbildung 16: Gewährleistungsvereinbarung in der Angebotsphase

Nachdem die Anfrageunterlagen hinsichtlich der Kundenanforderungen geprüft wurden, wird im nächsten Schritt ein geeignetes GW-Modell abgeleitet und mit dem Kunden abgestimmt. In den darauffolgenden Verhandlungsrunden werden schlussendlich die Details geklärt und in einer Gewährleistungsvereinbarung festgehalten. Diese Gewährleistungsvereinbarung ist wichtiger Bestandteil des Entwicklungs- und/oder Produktionsvertrags.

3.1 Qualitative Risikobewertung und Auswahl des Gewährleistungsmodells

Aufgrund des noch niedrigen Informationsstandes zu diesem frühen Zeitpunkt des Fahrzeugprojekts kann eine erste, qualitative Risikobewertung lediglich als richtungsweisend angesehen werden, aber bei der Auswahl eines geeigneten GW-Kooperationsmodells helfen.

Bei der qualitativen Risikobewertung sind folgende sechs Faktoren zu berücksichtigen:

- Bisherige Erfahrungen mit dem Auftraggeber und dem Produkt
- Zugriff auf Felddaten (Basis für Produktverbesserung)
- Möglichkeit der Einsteuerung von Gleichteilthemen
- Steuerung des Produktverbesserungsprozesses
- GWK- Prognosemöglichkeiten
- Beauftragungsumfang

Aus dem Beauftragungsumfang ergibt sich die Beeinflussbarkeit des Auftragnehmers in den Bereichen Fehlerentstehung & Fehlerabstellung und damit die Beeinflussbarkeit des Gewährleistungsrisikos. Der Beauftragungsumfang stellt das wichtigste Entscheidungskriterium bei der Auswahl des GW-Modells dar.

Der Beauftragungsumfang kann folgende sechs Bereiche beinhalten:

- Produktion
- Logistik
- Entwicklung
- Lieferantenmanagement
- Konzeptverantwortung
- Weiterentwicklung

Auf den nachfolgenden Seiten werden verschiedene GW-Modelle näher beschrieben und hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen analysiert. In Abbildung 17 sind bereits in der Praxis erprobte GW-Modelle in Abhängigkeit des Beauftragungsumfanges dargestellt.

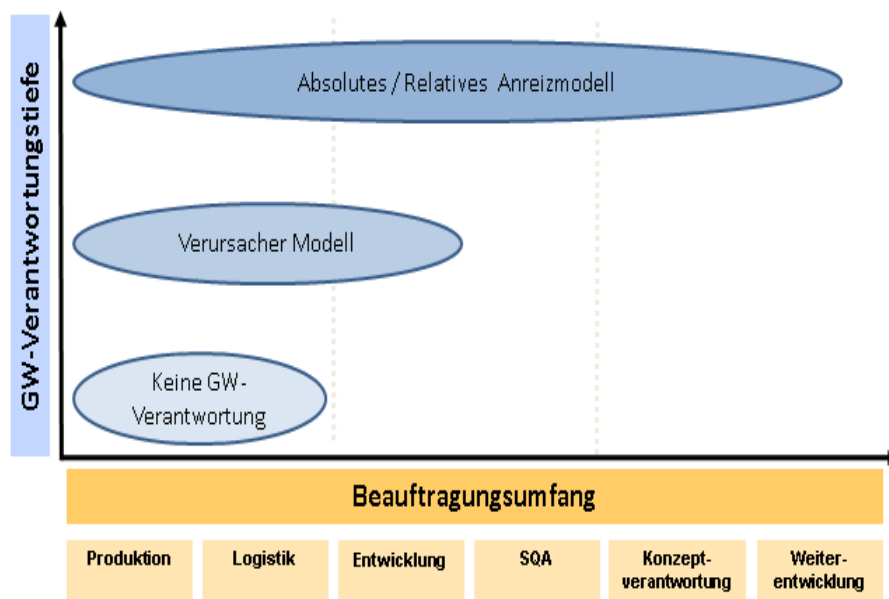


Abbildung 17: GW-Kooperationsmodelle

Anreizmodell

Das Anreizmodell ist grundsätzlich in zwei Ausprägungen denkbar und unterscheidet sich im Ausmaß des betrachteten Teileumfangs.

Das **absolute Anreizmodell** ist durch einen vereinbarten, statischen Zielwert gekennzeichnet. Wird dieser Zielwert unterschritten, so ergibt sich eine Gutschrift für den Auftragnehmer. Wird er aber überschritten, so mündet dies in einer finanziellen Belastung. Die Hauptmessgröße dabei ist in der Regel die Kennzahl Gewährleistungsfälle pro Fahrzeug innerhalb der ersten 24 Monate. Im Falle des absoluten Anreizmodells werden sowohl Gleich- als auch Neuteile berücksichtigt. Die Berücksichtigung der Anlaufschwierigkeiten muss im Falle des absoluten Anreizmodells in Form einer Einschwingkurve erfolgen, was einen erhöhten Zielwert zur Folge hat. (siehe Abbildung 18)

Das **relative Anreizmodell** berücksichtigt im Gegensatz dazu nur die Neu- und modifizierten Teile und beruht auf einem dynamischen Zielwert, dessen Ausprägung von der Feldperformance des Referenzfahrzeuges abhängt. Die Konsequenzen bei Über- bzw. Unterschreitung des Zielwerts sind analog zu jenen des absoluten Anreizmodells und vertraglich zu vereinbaren. Das relative Anreizmodell ist in den folgenden zwei Varianten umsetzbar:

- Vergleichsmessung auf Basis des Gesamtfahrzeugs⁴⁶
- Vergleichsmessung auf Basis der Neu- und modifizierten Teile

Um auch beim relativen Anreizmodell die Anlaufschwierigkeiten zu berücksichtigen, ist die Vergleichsmessung so zu gestalten, dass immer dieselben Monate nach Produktionsstart verglichen werden.

⁴⁶ Anmerkung: Bei dieser Variante wird die Qualität der Montage gesamthaft berücksichtigt.

In der nachfolgenden Darstellung wird das oben beschriebene Grundkonzept des absoluten Anreizmodells beschrieben.

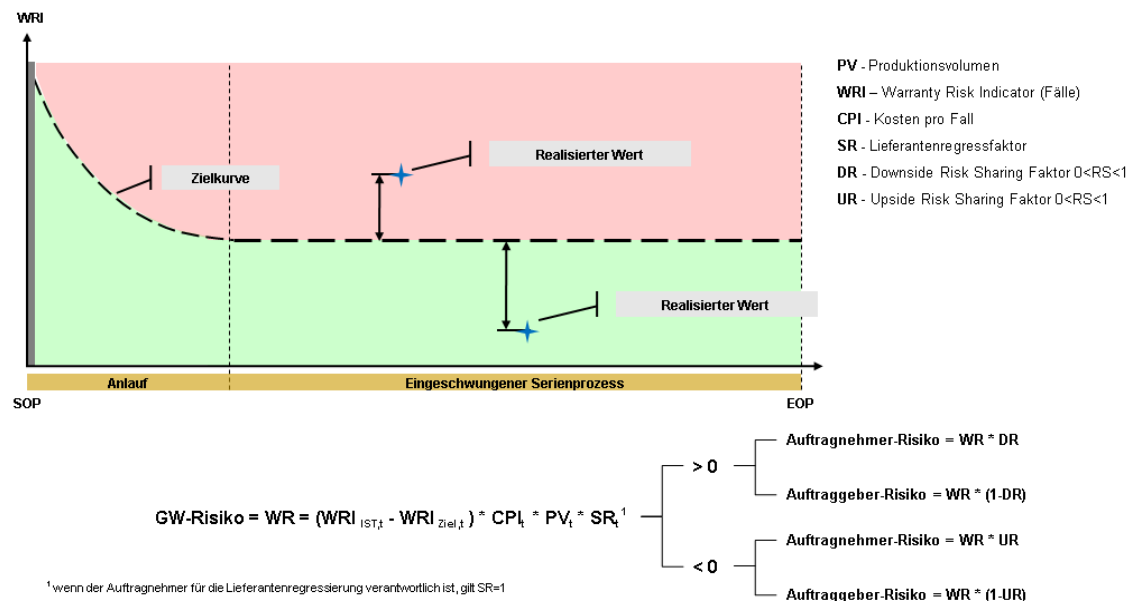


Abbildung 18: Systematik Anreizmodell

Die Vor- und Nachteile des absoluten Anreizmodells gegenüber dem relativen Anreizmodell sind:

- [+] Komplizierte Bildung des Referenzmodells nicht notwendig
- [+] Bessere Planbarkeit der Gewährleistungsaufwendungen für den Auftraggeber
- [-] Negative Auswirkungen der nur schwer beeinflussbaren Gleichteile auf das Ergebnis des Auftragnehmers möglich
- [-] Erhöhter Einstreuungs- und Monitoringaufwand im Fehlerabstellprozess für den Auftragnehmer

Die allgemeinen Vor- und Nachteile eines Anreizmodells sind folgende:

- [+] Möglichkeit der Befreiung einer Direktregressierung (Serienschäden) und Wegfall des damit verbundenen Aufwands sowohl auf Auftraggeber- als auch auf Auftragnehmerseite
- [+] Transparente GW-Abrechnung
- [+] Bessere Planbarkeit der Rückstellungen in Verbindung mit einem Prognosesystem für Auftraggeber und Auftragnehmer
- [+] Strategischer Nutzen durch engere Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber (Know-How-Zuwachs, Felddatenzugriff)
- [+] Starker Lenkungseffekt beim Auftragnehmer im Sinne der Produktverbesserung und Gewährleistung
- [-] Komplexe und umfangreiche Vertragsgestaltung notwendig

Verursacher-Modell

Das Verursacher-Modell beruht auf der gesetzlichen Verpflichtung des Auftragnehmers, dass er für den von ihm erbrachten Wertschöpfungsanteil die Verantwortung übernimmt. Im Rahmen dieses GW-Modells erfolgt die Felddatenanalyse beim Auftraggeber. Dieser detektiert Serienschäden, die möglicherweise vom Auftragnehmer verursacht wurden und ermittelt in weiterer Folge die Gesamtgewährleistungskosten des Serienschadens mit Hilfe eines definierten Referenzmarktes.

Das Ziel des Auftraggebers hierbei ist, möglichst viele Fehler und die damit verbundenen Gewährleistungskosten dem Auftragnehmer weiterverrechnen zu können. Die Beweislast liegt dabei beim Auftraggeber. Die verursachergerechte Übernahme der Kosten kann oftmals erst nach langen und schwierigen Verhandlungen festgelegt werden. Als Grundlage einer möglichen Abwehrstrategie des Auftragnehmers dient eine sorgfältige Dokumentation aller im Produktentstehungsprozess getroffenen Entscheidungen sowie der Ergebnisse der Serienprüfungen.

Vor- und Nachteile dieses GW-Modells sind:

- [+] Unkomplizierte Vertragsgestaltung
- [-] Aufwändiges Claimmanagement in Richtung Auftraggeber
- [-] Keine Ertragschancen für Auftragnehmer
- [-] Für einen kombinierten Beauftragungsumfang (Entwicklung & Produktion) ist die operative Umsetzung sehr aufwändig
- [-] Verminderter Lenkungseffekt beim Auftragnehmer im Sinne der Produktverbesserung und Gewährleistung

Keine bzw. pauschalierte GW-Verantwortung

Eine pauschalierte GW-Verantwortung liegt dann vor, wenn der Auftraggeber sich bereit erklärt, nicht von seinem Regressierungsrecht Gebrauch zu machen und somit selbst für sämtliche Gewährleistungskosten aufkommt. Dies gilt auch für den Fall, dass der Auftragnehmer einen Mangel verursacht hat und dieser vom Kunden innerhalb der Gewährleistungsfrist beanstandet wird. Die Übernahme des gesamten Gewährleistungsrisikos wird durch einen verminderten Einkaufspreis ausgeglichen.

Vor- und Nachteile dieses GW-Modells sind:

- [+] Unkomplizierte Vertragsgestaltung
- [+] Keine GW-Abrechnung notwendig
- [+] Kein Claimmanagement in Richtung Auftraggeber notwendig
- [-] Keine Ertragschance für Auftragnehmer
- [-] Kein Lenkungseffekt beim Auftragnehmer im Sinne der Produktverbesserung und Gewährleistung

Allgemeines GW-Modell

Aus den oben beschriebenen GW-Kooperationsmodellen wurde schlussendlich ein allgemeines Modell abgeleitet, welches im Rahmen des Angebotsprozesses auf die jeweiligen Kundenwünsche zugeschnitten werden kann.

Dieses Modell zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität aus. Beispielsweise kann man das betrachtete Teilespektrum auf jene Teile eingrenzen, für die man die Entwicklungsverantwortung und Einkaufsverantwortung übernommen hat. So umgeht man die Problematik, die Weiterentwicklung von Teilen, die nicht im eigenen Verantwortungsbereich liegen, vorantreiben zu müssen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Beobachtungszeitraum einzuschränken und die ersten ein bis zwei Jahre, in denen das Fahrzeug im Feld zur Serienreife gebracht wird, auszuklammern.

Darüber hinaus kann man das Kooperationsmodell so gestalten, dass der Auftragnehmer nicht für den vollständigen Gewährleistungszeitraum verantwortlich ist, sondern beispielsweise nur für die ersten Monate der Fahrzeugnutzung.

Nachfolgende Abbildung gibt einen kurzen Überblick über die verschiedenen Gestaltungsmöglichkeiten des allgemeinen GW-Kooperationsmodells.

Messgröße	Kosten pro Fahrzeug	Fälle pro Fahrzeug	---
Zielwert	absolut	relativ	---
Referenz	keine	Fahrzeug XY	---
Produktionszeitraum	von 12 MnSOP	bis EOP	---
Fahrzeugnutzungsdauer	von 6 MIS	bis 24 MIS	---
Teileumfang	Neuteile	Synergieteile	Gleichteile
Downside Risk-Faktor p^*	p Auftragnehmer	$1-p$ Auftraggeber	---
Upside Risk-Faktor q^*	q Auftragnehmer	$1-q$ Auftraggeber	---

* $0 < p < 1, 0 < q < 1$

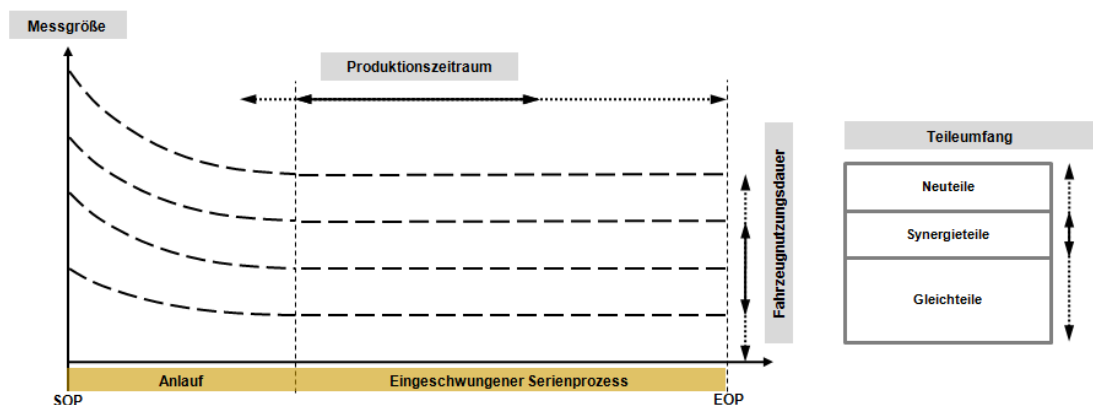


Abbildung 19: Allgemeines GW-Modell

3.2 Quantitative Risikobewertung

3.2.1 Allgemeines

Da der Informationsstand in der frühen Projektphase bezüglich des zu fertigenden Fahrzeugs noch als relativ gering bezeichnet werden muss, kommen für eine initiale, quantitative Bewertung des Gewährleistungsrisikos lediglich globale Parameter in Frage. Hierzu zählen unter anderem die geplanten Verkaufszahlen pro Absatzmarkt bzw. Land sowie das geplante Verhältnis zwischen Benzin- und Dieseltriebwerken.

Um das Risiko auf dieser globalen Ebene quantifizieren zu können, kann man mit Hilfe der Varianzanalyse die einzelnen Effekte und Wechselwirkungen aus vorhandenen Daten⁴⁷ ermitteln sowie Risikobewertungsmodelle erstellen.

Im weiteren Verlauf wird die quantitative Risikobewertung anhand eines Beispiels näher erläutert. Als Datenbasis für die durchgeführten Analysen dienen die Felldrückmeldungen der nachfolgend beschriebenen Fahrzeuge.

Tabelle 1: Untersuchungsobjekte

	Fahrzeugtyp 1	Fahrzeugtyp 2
Konzern	X	X
Marke	XX	XY
Fahrzeugsegment	SUV / Premium	Kleinwagen / Premium
Endmontage	Land A	Land B
Entwicklung	Land A & Land C	Land C

Die untersuchten Felldrückmeldungen liegen in Form von Gewährleistungsfällen nach 24-monatigem Feldeinsatz vor. Weiters sind die Gewährleistungsfälle auf die jeweiligen Produktionsmonate bezogen und auf die Produktionsvolumina normiert. Im Rahmen der Arbeit wurden die Daten von 12 Produktionsmonaten (Monate 25-36 nach Produktionsstart) getrennt nach den Faktoren Land, Motorisierung und Fahrzeugtyp untersucht.

Wie bereits weiter oben erwähnt, wurde für die Analyse der Daten und die Modellbildung die statistische Methode der Varianzanalyse mit einem dreifaktoriellen Design und festen Faktoren gewählt⁴⁸. Die Analysen wurden mit dem Statistikprogramm R, ein Open-Source-Produkt, durchgeführt. Eine ausführliche Darstellung der Auswertungen findet man im Projektbericht „Gewährleistungsfälle – globale Einflussfaktoren“⁴⁹.

⁴⁷ Anmerkung: Im Idealfall werden Daten des Referenz- bzw. Vorgängerfahrzeugs verwendet. Aus Gründen der Vertraulichkeit sind sämtliche in der Dissertation angeführten, gewährleistungsrelevanten Daten verfremdet dargestellt.

⁴⁸ Für Details siehe (Montgomery & Runger, 2006)

⁴⁹ (Schreiner, 2010)

Nachfolgend sind sowohl die Zielvariable als auch die Faktoren inklusive der *[Rcodes]* angeführt:

- Zielvariable = (Gewährleistungs-) Fälle pro Fahrzeug [1/100]

- Faktor 1 – Markt / Land (6-stufig) *[count]*
 - ECE *[E]*
 - Deutschland *[DE]*
 - Großbritannien *[GB]*
 - Frankreich *[FR]*
 - Italien *[IT]*
 - Spanien *[ES]*

- Faktor 2 – Motorisierung (2-stufig) *[mot]*
 - Benzin *[B]*
 - Diesel *[D]*

- Faktor 3 – Fahrzeugtyp (2-stufig) *[veh]*
 - Fahrzeug 1 *[F1]*
 - Fahrzeug 2 *[F2]*

Für jede der $6 \times 2 \times 2 = 24$ Faktorkombinationen wurden 12 Datensätze (=Experimente) verwendet. Nach Plausibilisierung der Datensätze musste für die Länder Großbritannien und Italien jeweils ein Datensatz gestrichen werden und in der Analyse als „Missing Value“ behandelt werden.⁵⁰

Weiters wurde die Box-Cox-Transformation zur Verbesserung der Modellgüte und die Maximum-Likelihood-Methode zur Schätzung des dazu notwendigen Parameters λ angewandt.

3.2.2 Datenanalyse, Modellerstellung, Modellvalidierung

Im Rahmen der explorativen Datenanalyse wurden die vorhandenen Daten als Boxplots dargestellt und analysiert. Diese erste grafische Darstellung deutet darauf hin, dass die Zielvariable nicht unabhängig von den Faktoren Land, Motorisierung und Fahrzeugtyp ist. Weiters sind unterschiedliche Streuungen in Abhängigkeit der Länder und des Fahrzeugtyps erkennbar.

⁵⁰ Anmerkung: Für die Darstellung der Wechselwirkungen, wurden die „Missing Values“ mit Hilfe des arithmetischen Mittelwerts der jeweils verfügbaren Daten geschätzt.

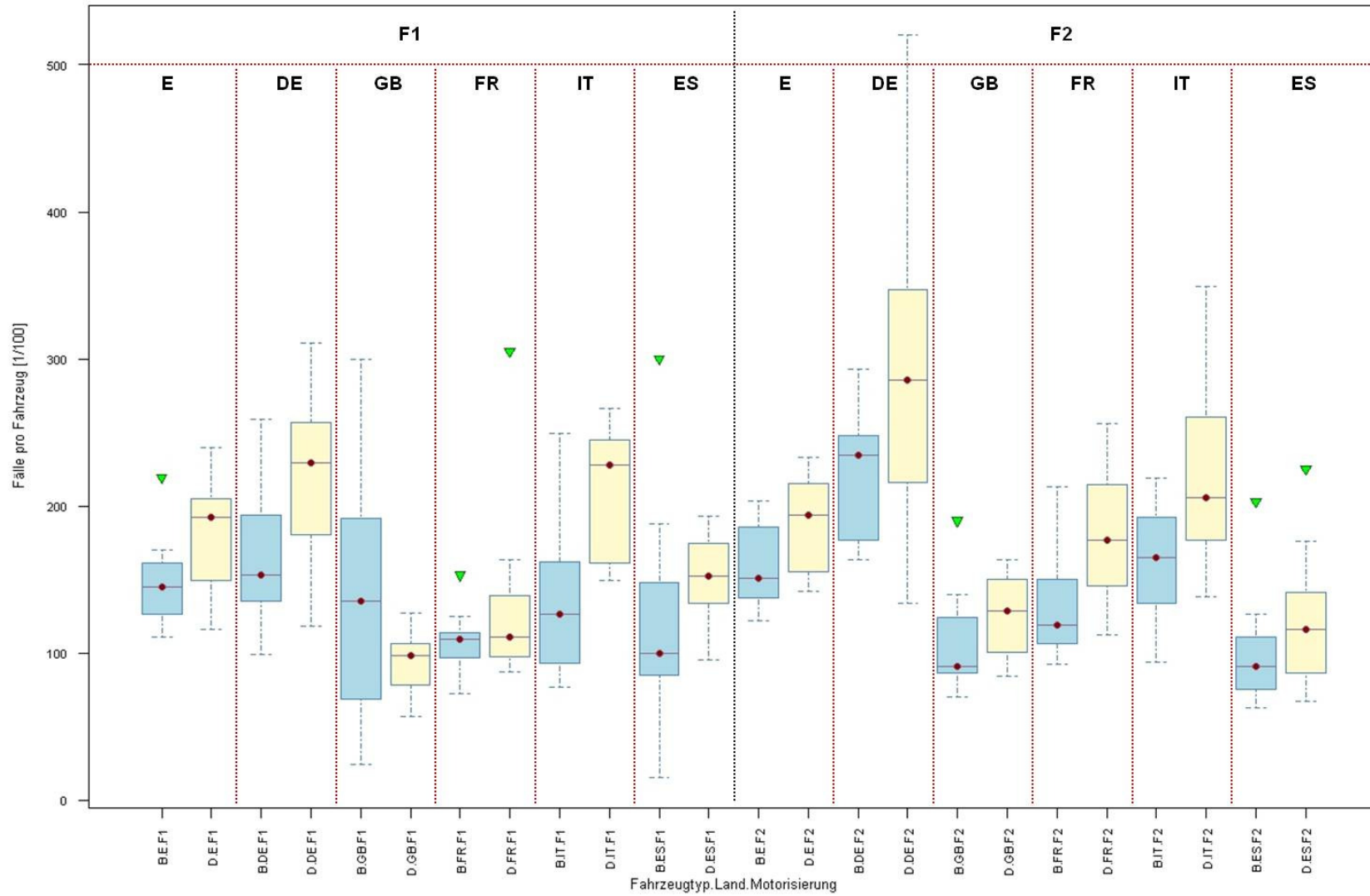


Abbildung 20: Boxplot

Mit Hilfe der anschließend durchgeführten dreifaktoriellen Varianzanalyse wurde diese Vermutung untermauert und ein geeignetes Modell formuliert.

Im Rahmen der ersten Modellvalidierung stellte sich bei der Analyse der Residuen heraus, dass das gewählte Modell noch Optimierungspotential besitzt. Die standardisierten Residuen zeigten eine deutliche Abweichung von der Normalverteilung bei höheren Quantils-Werten sowie höhere Schätzfehler mit steigenden „Fitted Values“.

Mit Hilfe der Box-Cox-Transformation wurde das erste ausgearbeitete Modell optimiert. Dabei wurde die ursprüngliche Zielvariable in eine neue Zielvariable konvertiert und erneut eine Varianzanalyse durchgeführt. Die nachfolgende Formel⁵¹ verdeutlicht diese Transformation:

$$y(\lambda) = \begin{cases} \frac{y^\lambda - 1}{\lambda}, & \text{falls } \lambda \neq 0 \\ \log y, & \text{falls } \lambda = 0, \end{cases}$$

Die Variable λ wird als Transformationsparameter bezeichnet und wird vom Statistikprogramm „R“ mittels der Maximum-Likelihood-Methode ermittelt.

Das im Beispiel ermittelte Optimum des Transformationsparameter λ liegt bei 0.41. Auf Basis des 95%- Konfidenzniveaus ergibt sich das Intervall [0.27, 0.55].

Nachdem mehrere Modelle mit unterschiedlichen λ berechnet und analysiert wurden, hat sich das Modell mit dem Transformationsparameter $\lambda = 1/3$ aufgrund der besseren Verteilungseigenschaften als optimal erwiesen. In weiterer Folge wurde die ursprüngliche Zielgröße Y in die neue Zielgröße $Y^* = Y^{(1/3)}$ transformiert und ein neues Modell berechnet.

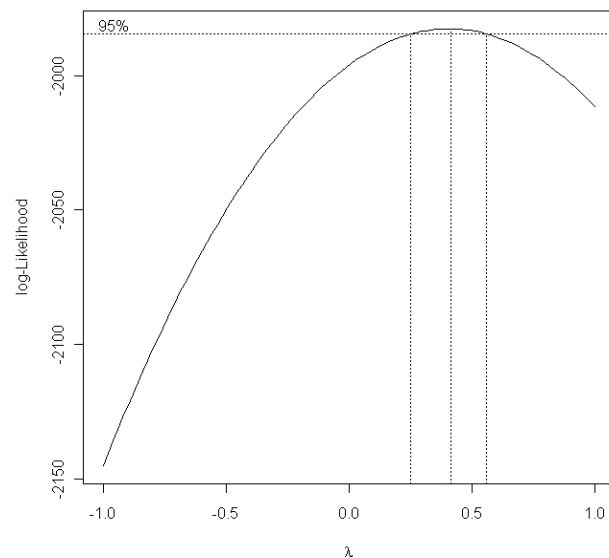


Abbildung 21: Optimaler Transformationsparameter λ

⁵¹ vgl. (Box & Cox, 1964)

Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Auszug aus dem Statistikprogramm R und gibt einen kurzen Überblick über die Modellparameter sowie die Ergebnisse der durchgeführten Quadratsummenzerlegung.

Tabelle 2: Ergebnis Varianzanalyse globale Einflussfaktoren

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
count	5	54.489	10.8979	35.6765	< 2.2e-16 ***
mot	1	11.813	11.8131	38.6728	1.969e-09 ***
veh	1	2.895	2.8948	9.4766	0.002302 **
count:mot	5	3.518	0.7036	2.3035	0.045116 *
count:veh	5	5.479	1.0957	3.5871	0.003726 **
mot:veh	1	0.042	0.0425	0.1390	0.709558
count:mot:veh	5	2.033	0.4066	1.3312	0.251289
Residuals	262	80.031	0.3055		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

2 observations deleted due to missingness

Multiple R-squared: 0.5007, Adjusted R-squared: 0.4569

Haupteffekte

Abbildung 22 zeigt die Haupteffekte der signifikanten Einflussfaktoren Land, Motorisierung und Fahrzeugtyp. Den größten Effekt hat der Einflussfaktor Land, gefolgt vom Einflussfaktor Motorisierung. Den geringsten, aber dennoch signifikanten Effekt weist der Einflussfaktor Fahrzeugtyp auf.

Das mit Abstand höchste Niveau an Gewährleistungsfällen haben Fahrzeuge die in Deutschland zugelassen sind. Im Gegensatz dazu weisen Fahrzeuge, die in den Ländern Spanien und Großbritannien zugelassen sind, ein sehr niedriges Gewährleistungsrisiko auf.

Im Falle der Motorisierung zeigen Fahrzeuge mit Dieselaggregaten ein signifikant höheres Gewährleistungsrisiko als Fahrzeuge mit Benzinaggregaten.

Wie eingangs erwähnt, wurden zwei Fahrzeuge desselben Konzerns aber unterschiedlicher Marke analysiert. Weitere Unterschiede sind das Fahrzeugsegment, das Land in dem die Entwicklung und das Land in dem die Produktion stattfand bzw. stattfindet. In diesem Beispiel weist der SUV ein geringeres Niveau an Gewährleistungsfällen pro 100 Fahrzeuge auf.

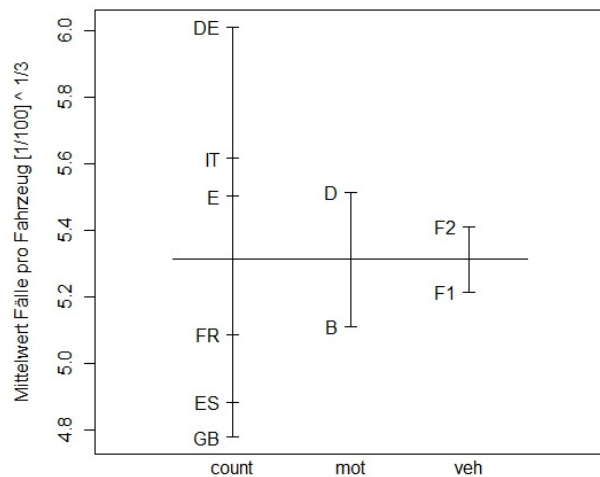


Abbildung 22: Haupteffekte der Einflussfaktoren

Wechselwirkungen

In der nebenstehenden Grafik ist die Wechselwirkung zwischen den Faktoren Motorisierung und Fahrzeugtyp dargestellt. Aufgrund der nahezu parallel laufenden Linien ist die Wechselwirkung als nicht signifikant einzustufen. Die graphische Darstellung bestätigt somit das Ergebnis aus der oben angeführten Varianzanalyse.

Die in Abbildung 24 veranschaulichte Wechselwirkung zwischen den Faktoren Land und Fahrzeugtyp zeigt ein anderes Bild. Die Nichtparallelität der Linien deutet auf die vorhandene und signifikante Wechselwirkung zwischen beiden Faktoren hin.

Weiters zeigt die Grafik, dass in allen Ländern mit Ausnahme von Spanien der Fahrzeugtyp zwei ein höheres Gewährleistungsrisiko als der Fahrzeugtyp eins aufweist.

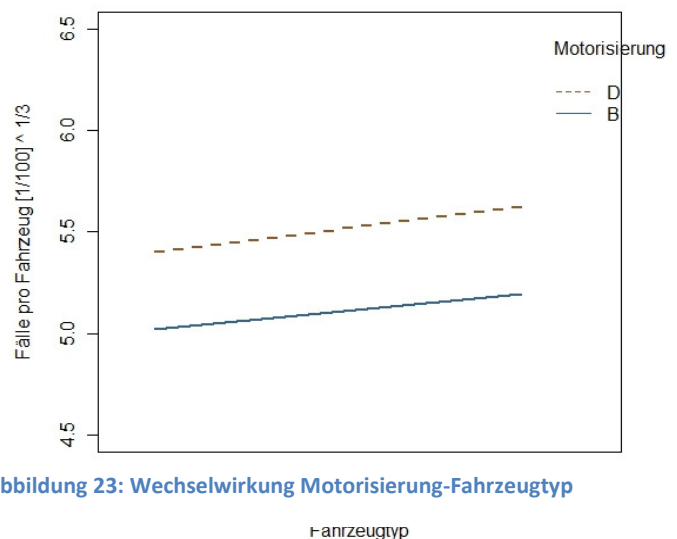


Abbildung 23: Wechselwirkung Motorisierung-Fahrzeugtyp

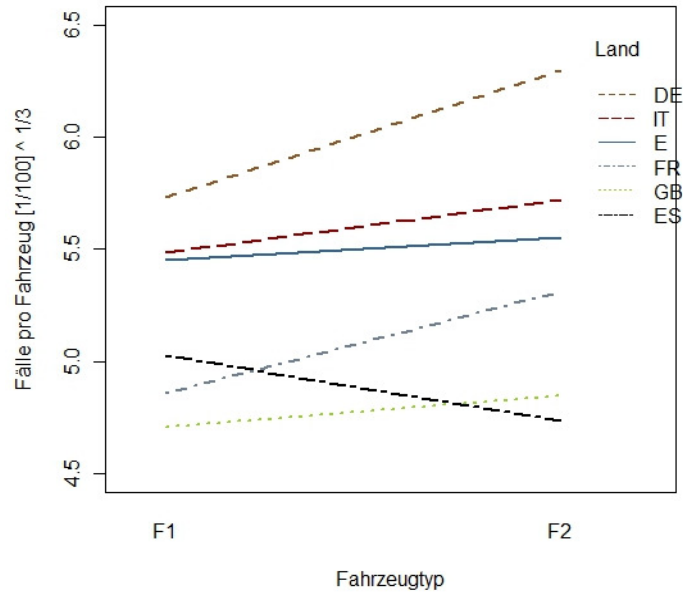


Abbildung 24: Wechselwirkung Land-Fahrzeugtyp

Abbildung 25 zeigt die Wechselwirkung zwischen dem Faktor Land und dem Faktor Motorisierung. Hier sind wiederum Nichtparallelitäten, wenn auch in geringerem Ausmaß, erkennbar. Die Länder Deutschland, Frankreich und Spanien sowie der Markt ECE zeigen bezüglich der Motorisierungsvarianten ein ähnliches Verhalten. Die Länder Italien und Großbritannien hingegen weichen davon ab. Im Falle Italiens, weisen Fahrzeuge mit Dieselmotoren ein wesentlich höheres Gewährleistungsrisiko auf als Fahrzeuge mit einer Benzinmotorisierung. Demgegenüber weisen Fahrzeuge mit Dieselmotoren in Großbritannien ein geringfügig niedrigeres Gewährleistungsrisiko als Fahrzeuge mit Benzinmotoren auf.

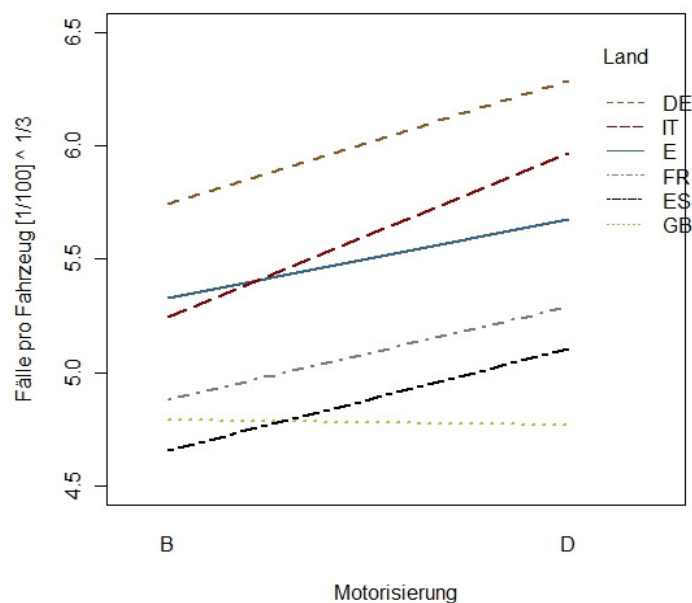


Abbildung 25: Wechselwirkung Land-Motorisierung

Residuenanalyse

Im Vergleich zum Modell mit den nicht-transformierten Daten weisen die Residuen dieses Modells eine homogenere Struktur und eine bessere Annäherung zur Normalverteilung auf.

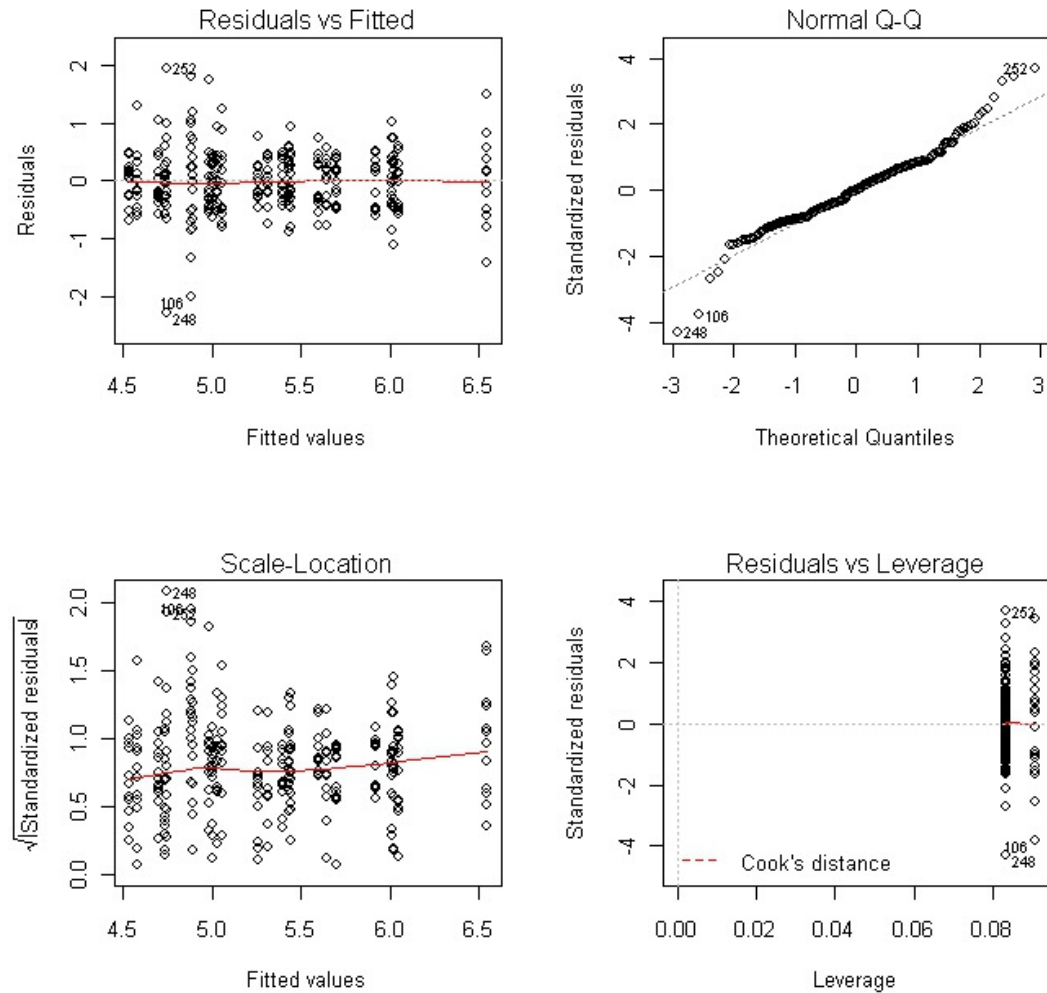


Abbildung 26: Residuenplots

Die in den Residuenplots ausgewiesenen Ausreißer stammen allesamt vom Fahrzeugtyp 1 und sind mit Benzinmotoren ausgestattet. Nachfolgend die exakten Daten zu den Ausreißern:

- 106 => GB-Benzin-10.Wert-Fzg 1 (115 Fehler pro 100 Fahrzeuge)
- 248 => IT-Benzin-6.Wert-Fzg 1 (210 Fehler pro 100 Fahrzeuge)
- 252 => IT-Benzin-10.Wert-Fzg 1 (77 Fehler pro 100 Fahrzeuge)

Die Ausreißer 106 & 252 stammen zwar aus verschiedenen Ländern aber aus demselben Produktionsmonat (Juni). Sie weisen beide ein sehr gutes Qualitätsniveau auf. Der Ausreißer 248 hingegen zeigt mit 210 Fehlern pro 100 Fahrzeuge ein vergleichsweise schlechtes Qualitätsniveau auf.

Nachfolgende Abbildung zeigt die annähernd normalverteilten, standardisierten Residuen.

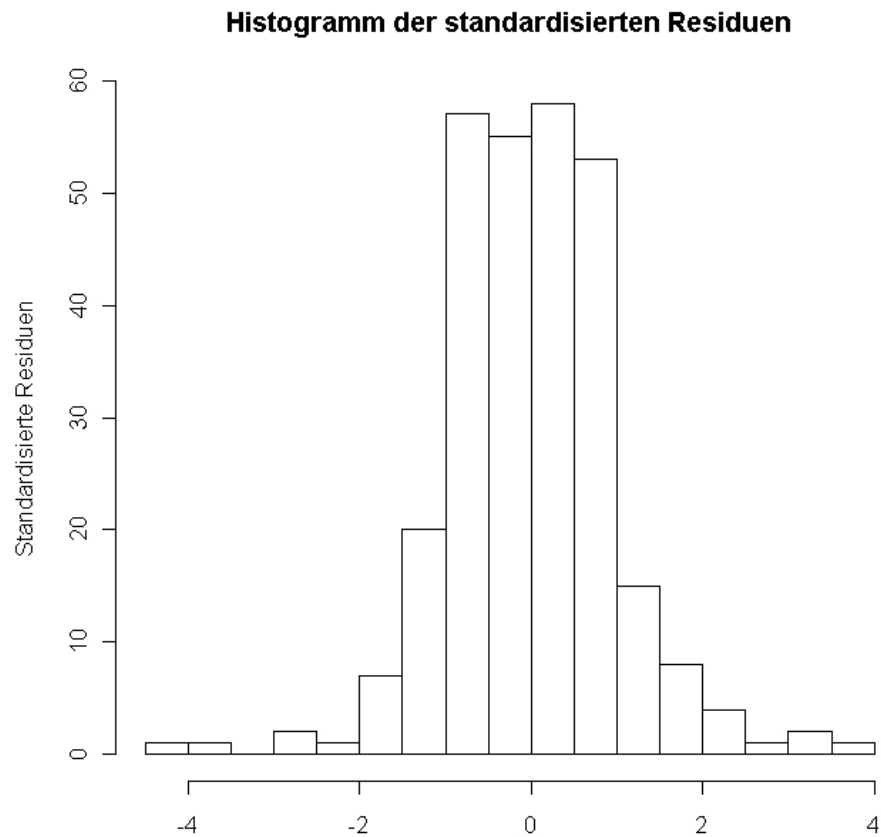


Abbildung 27: Verteilung der standardisierten Residuen

Tukey-Test

Mit Hilfe des „Tukey's HSD“-Tests wurden alle möglichen Gruppen hinsichtlich signifikanter Mittelwertsunterschiede geprüft. Nachfolgende Grafiken geben einen Überblick über die Ergebnisse. Eine vollständige Auflistung aller signifikanten Mittelwertsunterschiede ist im Anhang zu finden.

95% family-wise confidence level

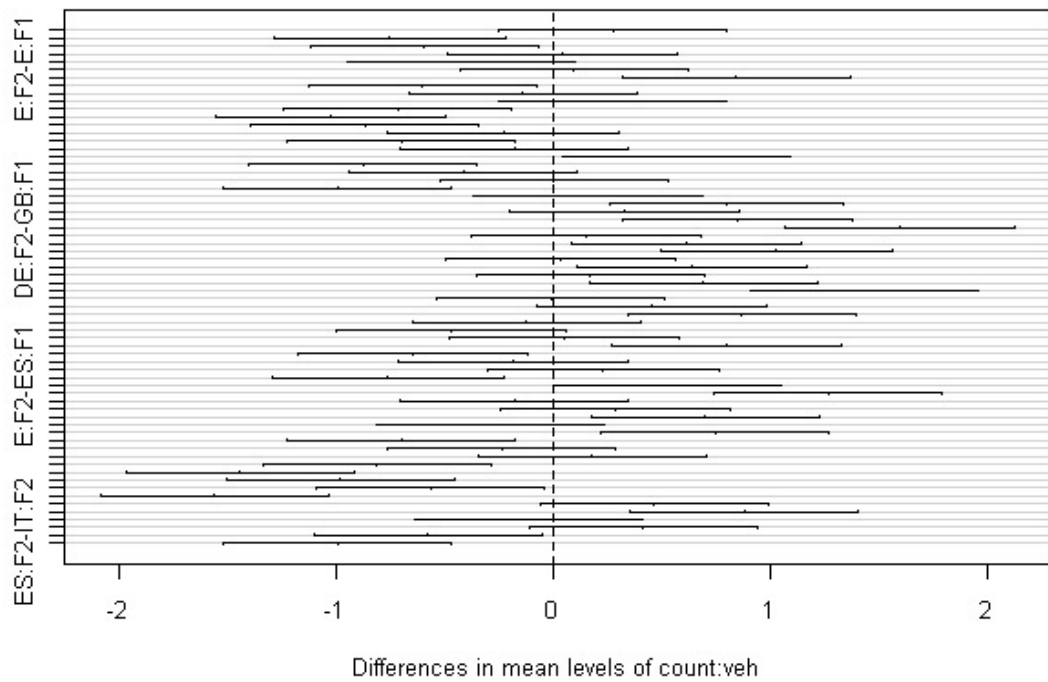


Abbildung 28: Ergebnis Tukey HSD-Test – Land : Fahrzeugtyp

95% family-wise confidence level

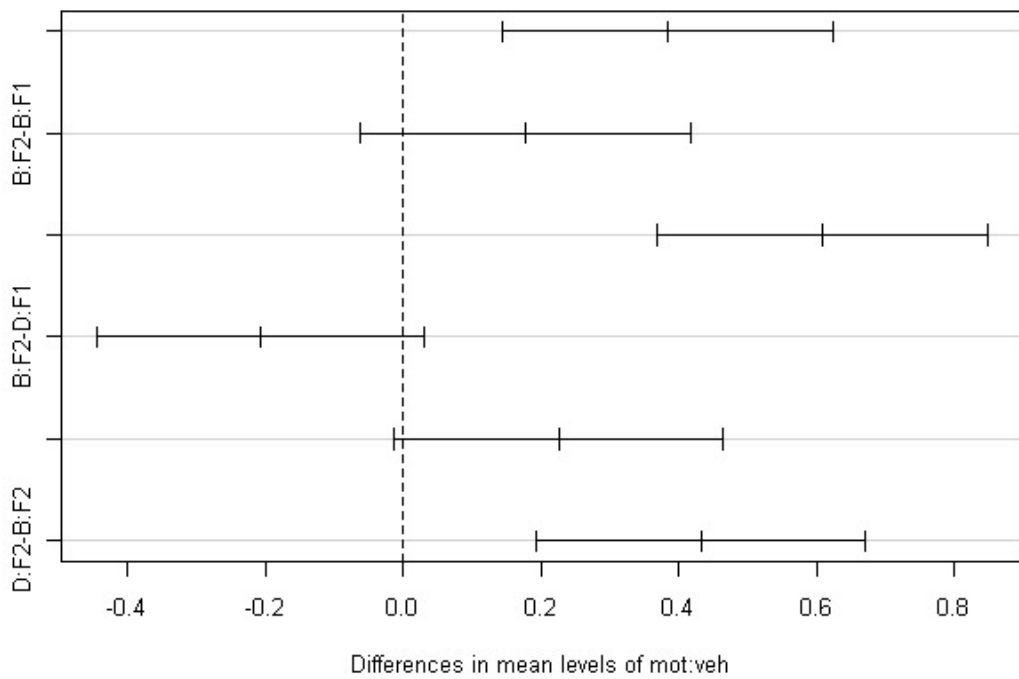


Abbildung 29: Ergebnis Tukey HSD-Test – Motorisierung : Fahrzeugtyp

3.2.3 Theoretisches Erklärungsmodell

Die Varianzanalyse hat folgende Einflussfaktoren und Wechselwirkungen als signifikant ausgewiesen:

- Einflussfaktor: Fahrzeugtyp **
- Einflussfaktor: Motorisierung ***
- Einflussfaktor: Land ***
- Wechselwirkung: Land – Fahrzeugtyp **
- Wechselwirkung: Land – Motorisierung *

In weiterer Folge wird versucht, mit Hilfe eines theoretischen Erklärungsmodells mögliche Ursachen bzw. tiefergehende Einflussfaktoren zu finden.

Nachfolgend eine kurze Auflistung der möglichen Ursachen:

Fahrzeugtyp **

- Fahrzeugsegment => Zielgruppe => Kundenanforderungen => **Nutzungsverhalten**
- Fahrzeugsegment => Zielgruppe => Kundenerwartungen => **Fehlersensibilität**
- Herstellland => **Produktqualität** (Konzept/Entwicklung, Montage, Lieferant)
- Herstellland => **Fehlerabstellprozess** (Konzept/Entwicklung, Montage, Lieferant)
- **Produktionszeitraum** (Anlauf, eingeschwungene Serienproduktion, Auslauf)
- Ausstattungsniveau (mehr Fehlerquellen)

Im vorliegenden Beispiel ist der Produktionszeitraum nicht relevant, da die Daten beider Fahrzeugtypen aus den Produktionsmonaten 25-36 nach Produktionsstart stammen.

Motorisierung ***

- **Motorenkonzept** (mehr Fehlerquellen, höherer Belastung bei Diesel, Geräusche)
- Nutzungsverhalten (Laufleistung)

Land ***

- Fahrzeugsegment => Zielgruppe => Kundenanforderungen => **Nutzungsverhalten**
- Fahrzeugsegment => Zielgruppe => Kundenerwartungen => **Fehlersensibilität**
- **Kulanzverhalten der Händler**
- **Gesetzgebung** (europaweit 24 Monate Gewährleistung)
- Kaufverhalten der Kunden => **Ausstattungsniveau** (mehr Fehlerquellen)

3.2.4 Detailanalysen

Nachfolgend werden die im Expertenworkshop erarbeiteten, möglichen Ursachen für die signifikanten Einflussfaktoren näher erläutert. Aufgrund der vorliegenden, eingeschränkten Datenbasis konnten lediglich das Kulanzverhalten, der Produktionszeitraum und der Fehlerabstellprozess sowie die Auswirkung unterschiedlicher Motorenkonzepte analysiert werden.

3.2.4.1 Kulanzverhalten & Fehlersensibilität

Nachfolgende Grafik zeigt das unterschiedliche Verhalten von der Anzahl der Gewährleistungsfälle nach Ablauf der Gewährleistungsfrist in den untersuchten Ländern.⁵² Bei näherer Betrachtung fällt auf, dass in Spanien in den Monaten 25-36 nach Fahrzeugübergabe deutlich mehr Gewährleistungsfälle beanstandet werden. Die Länder Deutschland, Großbritannien und Frankreich sowie der Markt „ECE“ weisen ein ähnliches Kulanzverhalten auf.⁵³ Im Gegensatz dazu steigt die Anzahl der Gewährleistungsfälle nach Ablauf der Gewährleistungsfrist in Italien weniger stark an.

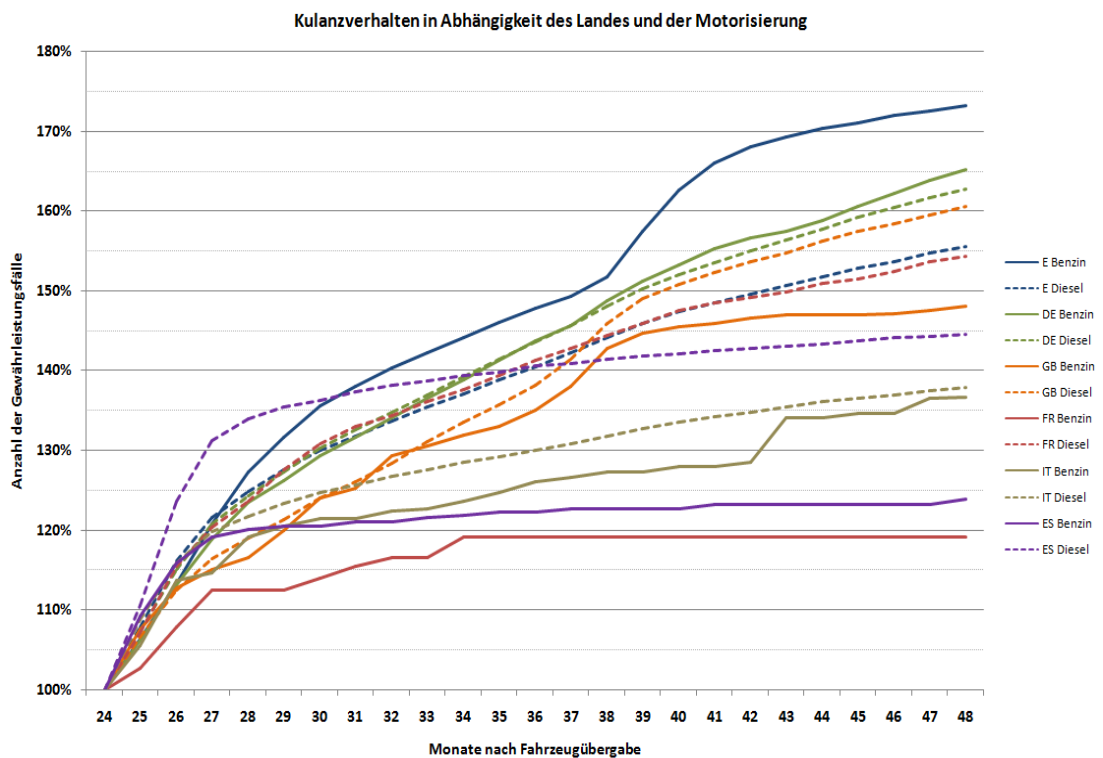


Abbildung 30: Kulanzverhalten in Abhängigkeit des Landes und der Motorisierung

⁵² Aufgrund des niedrigen Anteils an Fahrzeugen mit Benzinmotoren, sind die Kennlinien der Benzinvarianten nur bedingt aussagekräftig. Die nachfolgende Interpretation bezieht sich somit nur auf die Dieselvariante.

⁵³ In Großbritannien sind die Monate 25-36 durch Garantie abgedeckt. In diesem Land beginnt die Kulanz somit erst ab dem 37. Monat nach Fahrzeugübergabe.

Unter der Annahme, dass die Qualität der ausgelieferten Fahrzeuge in jedes der untersuchten Länder homogen verteilt ist und die Umgebungsparameter annähernd vergleichbar sind, deutet die durchgeführte Analyse auf ein länderspezifisches Kulanzverhalten der Händler bzw. auf eine unterschiedliche Fehlersensibilität der Kunden hin.

3.2.4.2 Produktionszeitraum & Fehlerabstellprozess

Die weiter unten angeführte Grafik zeigt den Verlauf der aufgetretenen Gewährleistungsfälle der beiden untersuchten Fahrzeugtypen über den Produktionszeitraum von 42 Monaten.

Es ist deutlich erkennbar, dass das Fehlerniveau zu Beginn einer Fahrzeugproduktion wesentlich höher ist und sich in den darauffolgenden Modelljahren deutlich verbessert. Dieses globale Muster ist für beide untersuchten Fahrzeugtypen gültig und ist auf die Maßnahmen zur Produktverbesserung zurückzuführen, die aus den gesammelten Feldrückmeldungen generiert wurden.

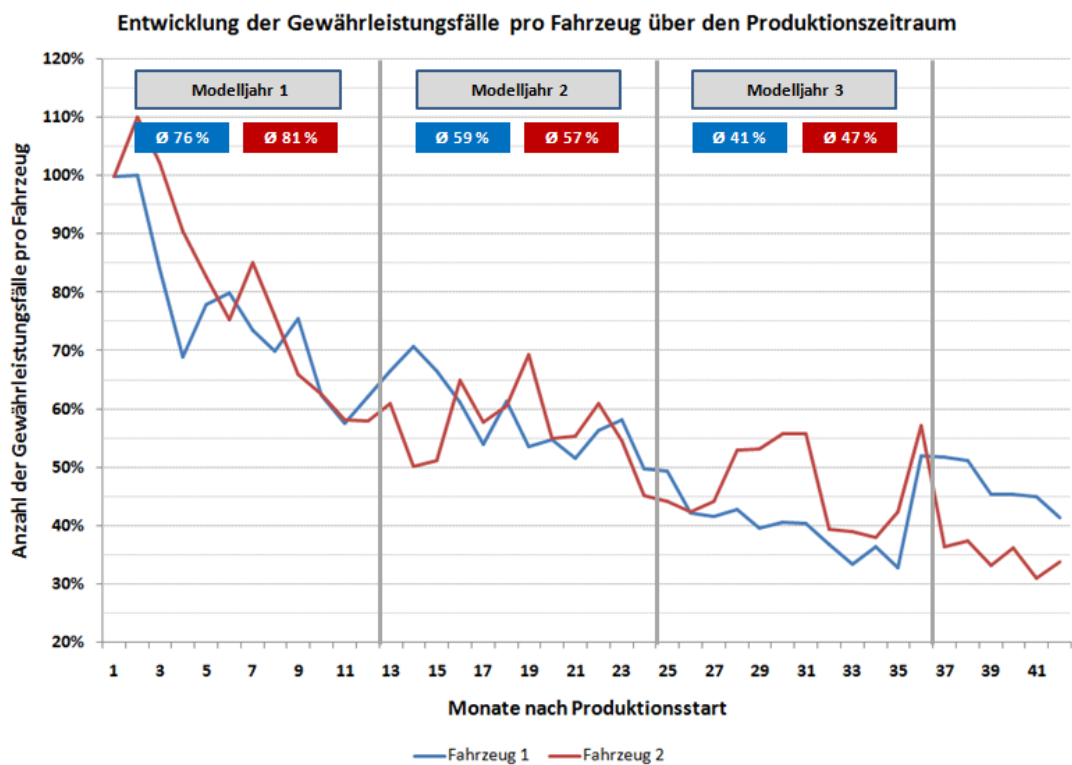


Abbildung 31: Einfluss des Fehlerabstellprozesses

Der durchgeführte T-Test zeigt, dass es einen signifikanten Unterschied in der Höhe der Verbesserung zwischen Fahrzeugtyp 1 und 2 gibt.

Tabelle 3: Ergebnis Paired t-test

data:	F1 and F2	
alternative hypothesis:	true difference in means is not equal to 0	
95 percent confidence interval:	-6.112205	-0.054461
sample estimates:		
mean of the differences	-3.083333	

3.2.4.3 Motorenkonzept

In der nachfolgenden Detailanalyse wurde untersucht, ob signifikante Unterschiede zwischen Saug- und Turbomotoren vorherrschen. Dazu wurden zwei Motoren des Fahrzeugtyps 2 wiederum mit Hilfe der Varianzanalyse analysiert.

Wie schon im ersten Fall, war auch bei dieser Varianzanalyse eine Box-Cox-Datentransformation notwendig. Das Optimum für den Transformationsparameter λ liegt bei $-1/9$.

Da auch der Wert 0 im Konfidenzintervall liegt, wird die neue Zielvariable mit Hilfe der Transformation $Y^* = \log(Y)$ berechnet.

Nachfolgender Boxplot lässt bereits erste Unterschiede zwischen den beiden Motoren-

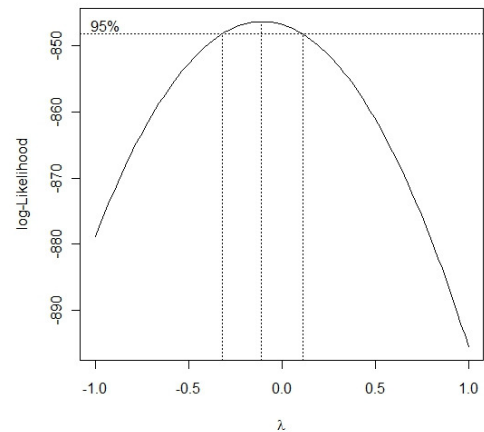


Abbildung 32: Optimaler Transformationsparameter λ

konzepten erkennen. Mit Ausnahme von Spanien weisen die Turbomotoren in jedem Land sowohl ein höheres Fehlerniveau als auch eine höhere Streuung als die Saugmotoren auf.

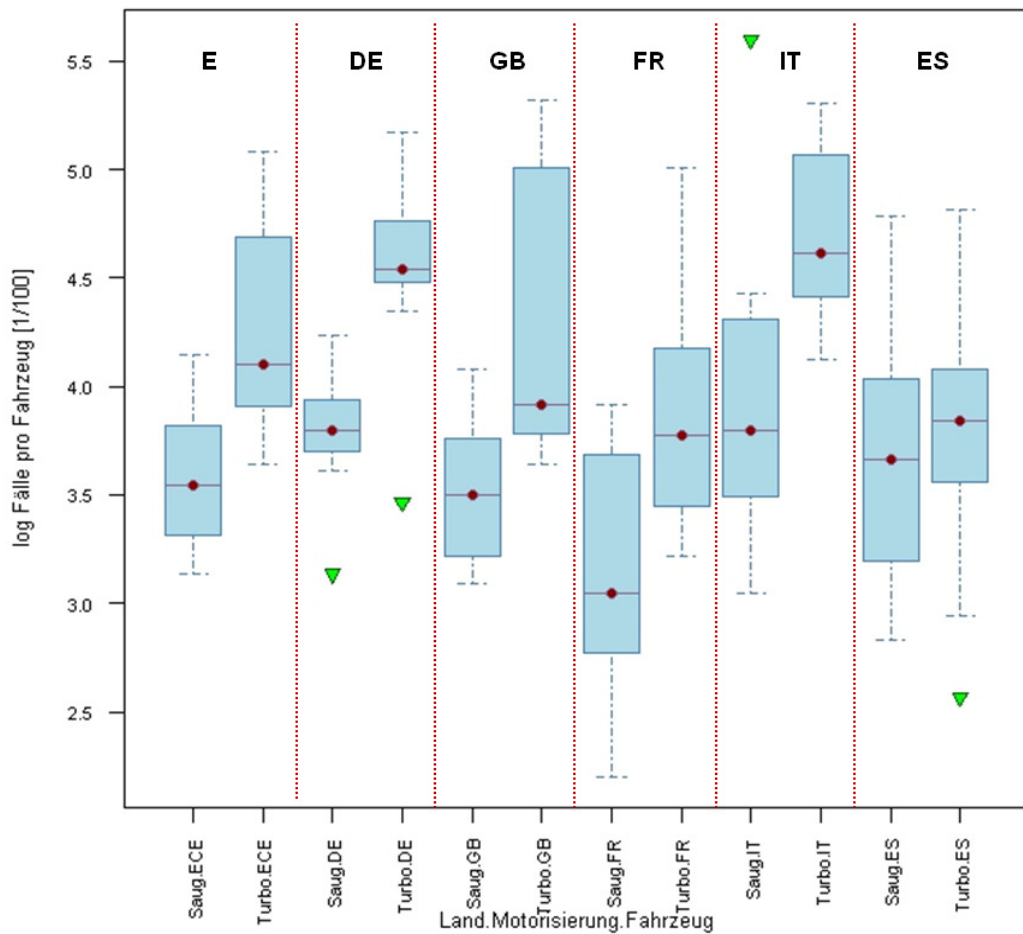


Abbildung 33: Boxplot Motorenkonzept

Die weiter unten angeführten Plots der Haupteffekte und Wechselwirkungen zeigen einen deutlichen Unterschied zwischen Saug- und Turbomotoren und bestätigen somit den ersten Eindruck aus der grafischen Analyse.

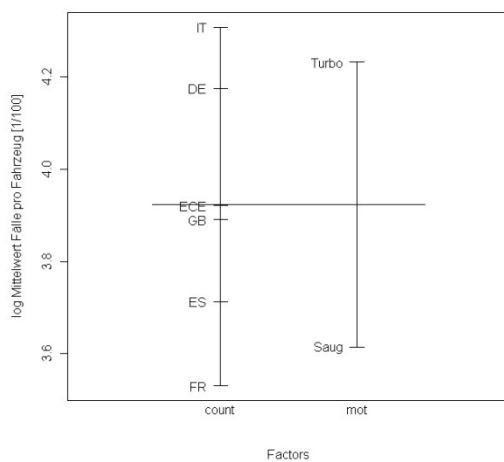


Abbildung 35: Haupteffekte Motorenkonzept

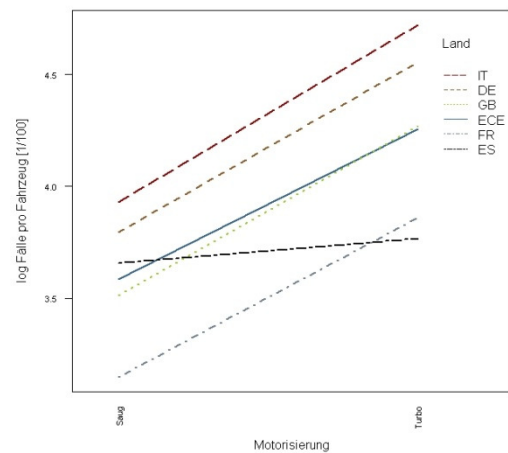


Abbildung 34: Wechselwirkung Motorenkonzept

Die nachfolgende Zusammenfassung der Varianzanalyse weist die Parameter Land [*count*] und Motorenkonzept [*mot*] als signifikante Einflussfaktoren aus.

Tabelle 4: Ergebnis Varianzanalyse Motoren

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
count	5	9.548	1.9097	7.4064	3.849e-06 ***
mot	1	14.042	14.0416	54.4586	1.677e-11 ***
count:mot	5	2.006	0.4012	1.5561	0.1770
Residuals	130	33.519	0.2578		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

2 observations deleted due to missingness

Multiple R-squared: 0.1292, Adjusted R-squared: 0.09718

4 Serienentwicklung

In der Angebotsphase werden das GW-Kooperationsmodell und der Gesamtfahrzeugzielwert festgelegt. Die Zielerreichung wird anschließend in der Serienentwicklung mithilfe eines Controllingkreislaufs überprüft.

Nachfolgende Abbildung zeigt die wichtigsten Schritte der PEP-Prognose⁵⁴.

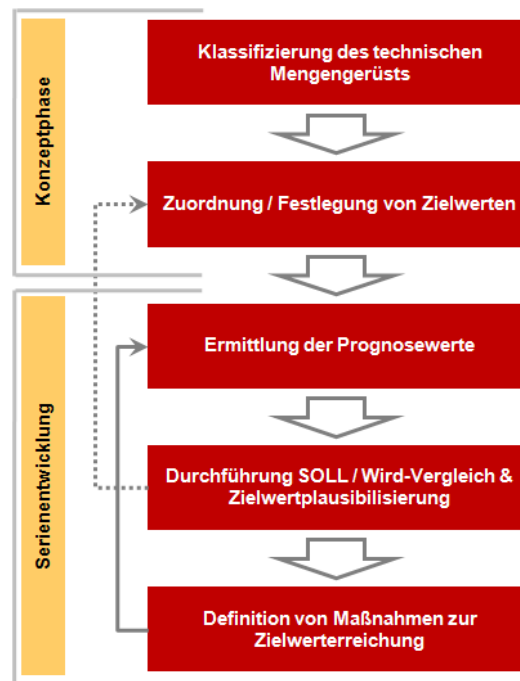


Abbildung 36: Ablauf PEP-Prognose⁵⁵

Den Anfang macht hierbei die in der Konzeptphase stattfindende Klassifizierung des technischen Mengengerüsts in

- Gleichteile,
- Synergie- bzw. Änderungsteile sowie
- Neuteile.

Danach wird das Gesamtfahrzeugziel auf die einzelnen Systemkomponenten heruntergebrochen und in Zielvereinbarungen festgehalten.

In der Phase der Serienentwicklung werden anschließend in regelmäßigen Abständen Prognosewerte ermittelt, mit den Sollwerten verglichen sowie gegebenenfalls Maßnahmen zur Zielwerverreichung definiert. Diese Maßnahmen können sowohl Änderungen am Produkt als auch Änderungen am Prozess beinhalten.

Unterscheidet sich der Zielwert in unerwartetem Ausmaß vom aktuellen Prognosewert, so empfiehlt es sich den Zielwert zu plausibilisieren und im Anlassfall anzupassen.

⁵⁴ vgl. (Jander, 2004, S. 112-119)

⁵⁵ ebenda

Um das Gewährleistungsrisiko in der Serienentwicklung zu bewerten, stehen in der Regel folgende vier Kategorien an Daten zur Verfügung⁵⁶

1. Historische Felddaten
2. Test- bzw. Erprobungsergebnisse
3. Daten aus präventiven Methoden (FMEA, FTA, etc.)
4. Experteneinschätzung

Während historische Felddaten von Referenzteilen in der Regel bereits zu Beginn der Serienentwicklung zur Verfügung stehen, werden Ergebnisse aus Komponenten- und Gesamtfahrzeugerprobungen erst im Laufe des Entwicklungsprojekts generiert und können somit nicht von Anfang an für eine Risikobewertung genutzt werden.

Im Fall von Gleichteilen erfolgt die Risikobewertung primär mit der Hilfe von Felddaten des jeweiligen Referenzteiles. Dieser Vorgehensweise liegt die Annahme zugrunde, dass sämtliche gewährleistungsrelevanten Faktoren wie beispielsweise die Konstruktion, das Material, der Montageprozess, etc. unverändert bleiben.⁵⁷ Synergieteile werden zusätzlich mit einem Risikoauf- bzw. Risikoabschlag versehen.

Da es im Falle von Neuteilen keine Erfahrungswerte gibt, auf die man zurückgreifen kann, werden sowohl die Fälle als auch die Kosten pro Fahrzeug von einer Expertengruppe geschätzt. Diese Gruppe sollte interdisziplinär zusammengesetzt sein und die Fachbereiche Qualität, Montage, Lieferantenmanagement und Entwicklung beinhalten.

Unabhängig von der Teilekategorie werden darüber hinaus laufende Änderungen am Produkt oder Prozess vom Expertenteam bewertet und fließen somit in die Risikobewertung ein.

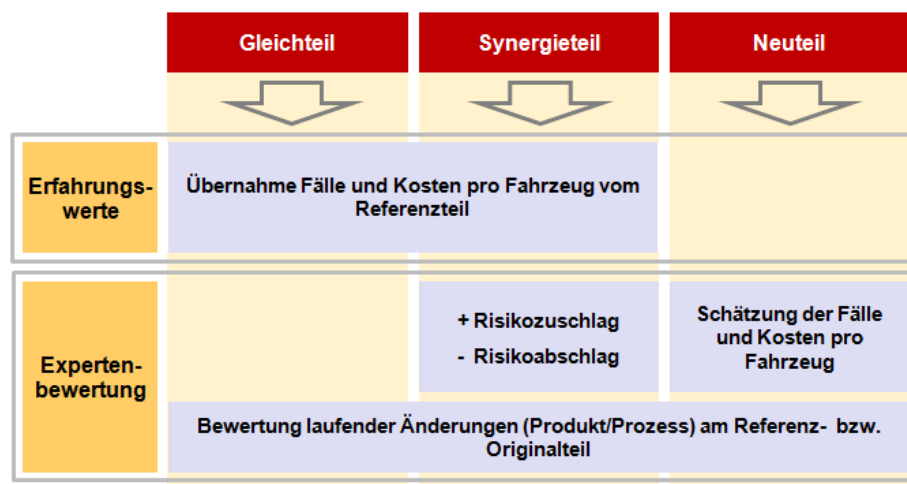


Abbildung 37: Bewertungsmethodik im Produktentstehungsprozess⁵⁸

⁵⁶ vgl. (Estermann, Gerst, Stiebitz, & Ishii, 2005, S. 5-6)

⁵⁷ vgl. (Jander, 2004, S. 114)

⁵⁸ vgl. (Jander, 2004, S. 115)

Vor allem bei der Entwicklung von Neuteilen sind Design for Reliability-Ansätze⁵⁹ und ein gut durchdachtes Validierungsprogramm unerlässlich. Nur so können etwaige Risiken hinsichtlich der Zuverlässigkeit und der Gewährleistungskosten aufgezeigt und Maßnahmen zur Gegensteuerung ergriffen.

Um die Produktlebenszykluskosten zu minimieren ist es notwendig, die Kosten für die Validierung wirtschaftlich zu bewerten und den fiktiv eingesparten Gewährleistungskosten gegenüberzustellen.⁶⁰

⁵⁹ Für Details zum Design for Reliability-Prozess und den dazugehörigen Methoden siehe (Crowe & Feinberg, 2001); (Yang, 2007)

⁶⁰ vgl. (Kleyner & Sandborn, 2008)

5 Serienproduktion

5.1 Vorgehensweise

Um das Gewährleistungsrisiko in der Phase der Serienproduktion möglichst exakt abschätzen zu können, wird ein Prognosemodell konzipiert und mit Bewertungsinstrumenten aus der Literatur verglichen. Dafür wird folgende Vorgehensweise gewählt:

1. Literaturrecherche
2. Datenanalyse
3. Modellbildung
4. Modellvalidierung
5. Vergleich mit Modellen aus der Literatur

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Ergebnisse näher beschrieben und diskutiert.

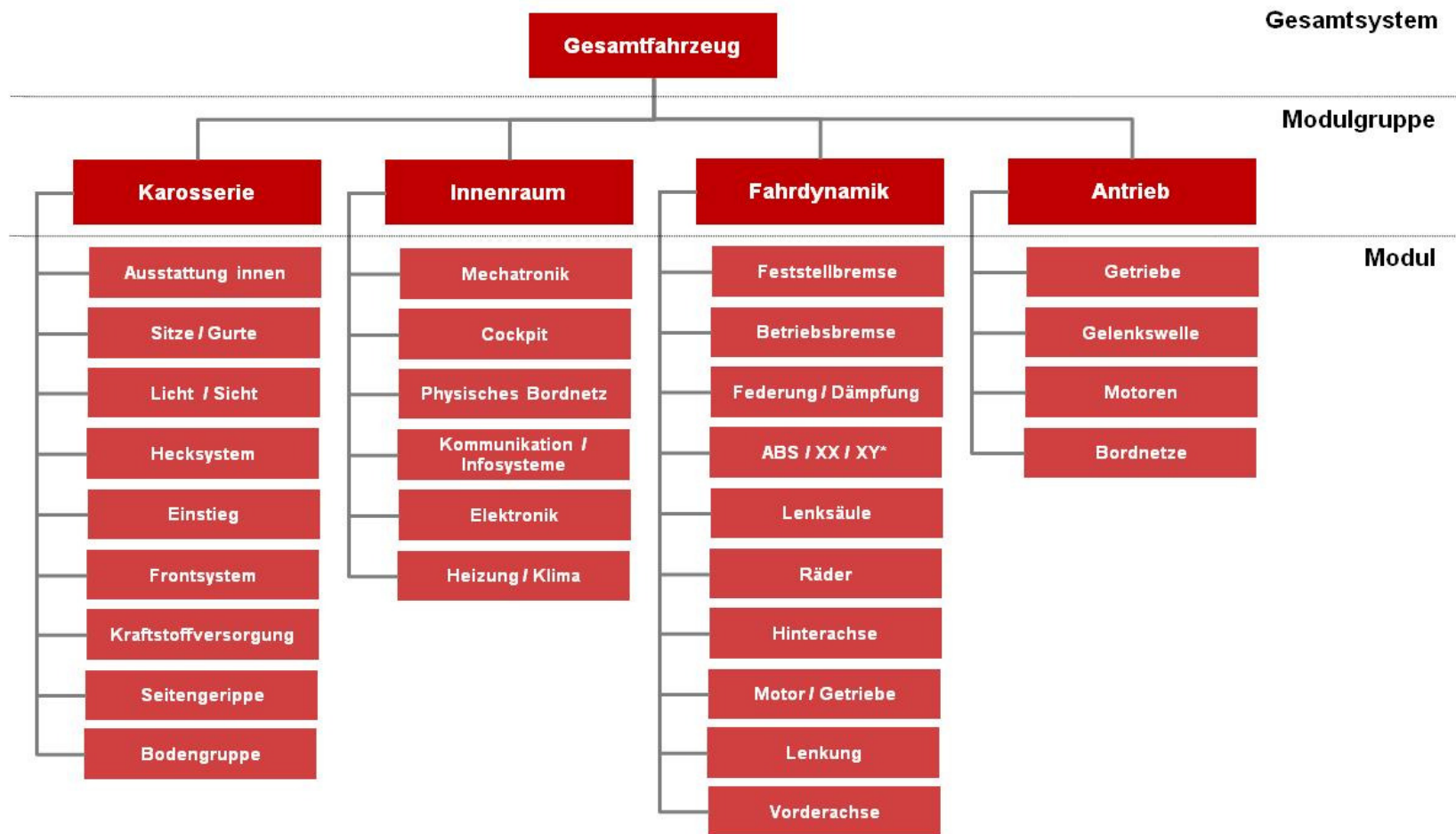
5.2 Datenanalyse

Die für die Analyse verwendeten Daten stammen von einem Fahrzeug, das bei MAGNA STEYR in Graz assembliert und zum Teil auch dort entwickelt wurde. Es werden sowohl Gewährleistungskosten als auch Gewährleistungsfälle normiert auf das monatliche Produktionsvolumen und für die Ebenen

1. Gesamtfahrzeug
2. Modulgruppe
3. Modul

untersucht.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Architektur des untersuchten Fahrzeugs, die in vier Modulgruppen mit 29 Modulen (9, 6, 10, 4) aufgegliedert ist.



*Anmerkung: XX und XY repräsentieren elektronische Bauteile mit markenspezifischer Bezeichnung

Abbildung 38: Fahrzeugarchitektur

Untersucht werden die Isochronen des Gesamtfahrzeugs, der Modulgruppen und ausgewählter Module bzw. deren Datenbasis.

Nachstehende Grafik zeigt ein Isochronendiagramm für Gewährleistungskosten auf Gesamtfahrzeugebene.

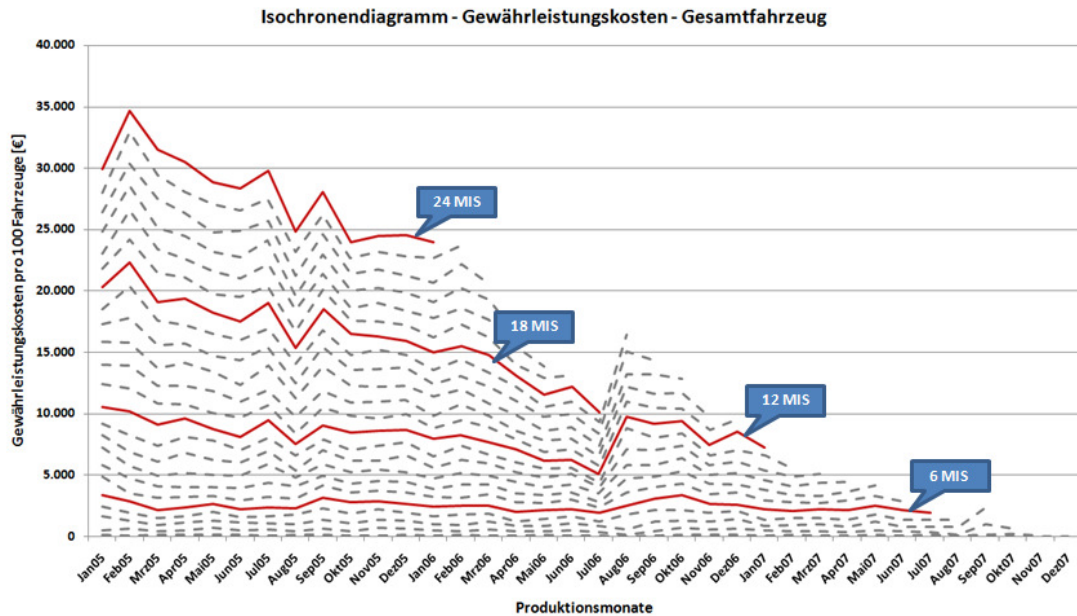


Abbildung 39: Isochronendiagramm

Die Korrelationsanalyse in 5.2.1 untersucht die Korrelation zwischen den einzelnen Isochronen auf Gesamtfahrzeugebene. Hierzu wird der Zeitraum 7 Monate nach Start der Serienproduktion (MnSOP) bis 54 MnSOP analysiert.

Im Unterabschnitt 5.2.2 werden die Korrelationen zwischen den Gewährleistungskosten und den Gewährleistungsfällen auf den Ebenen Gesamtfahrzeug, Modulgruppe und Modul untersucht. Dabei werden die Daten eines Modelljahres (24 MnSOP-36 MnSOP), respektive 12 Produktionsmonate, analysiert.

In den darauffolgenden Unterabschnitten werden die Fehler- und Kostenstruktur sowie die inkrementellen Zuwachsraten eines Modelljahres untersucht.

Abschließend werden die finanziellen Auswirkungen des Zulassungsverzugs auf einen GU aufgezeigt.

5.2.1 Korrelationsanalyse Isochrone X vs. Isochrone X+t

Als erster Schritt wird mit Hilfe der Korrelationsanalyse untersucht, ob sich die einzelnen Isochronen im Zeitverlauf gleichläufig oder entgegengesetzt zu einander bewegen.

Nachfolgende Korrelationsmatrix zeigt ab der 6 MIS-Isochrone (siehe grüne Markierung; MIS=Nutzungsdauer in Monaten) eine stark positive Korrelation zwischen den Isochronen, die mit der Nutzungsdauer der Fahrzeuge zunimmt. Daraus folgt, dass der Wert einer Isochrone durch den Wert einer ihrer Vorgänger-Isochronen gut prognostizierbar ist.

Gewährleistungsfälle																								
	24 MIS	23 MIS	22 MIS	21 MIS	20 MIS	19 MIS	18 MIS	17 MIS	16 MIS	15 MIS	14 MIS	13 MIS	12 MIS	11 MIS	10 MIS	9 MIS	8 MIS	7 MIS	6 MIS	5 MIS	4 MIS	3 MIS	2 MIS	1 MIS
24 MIS	1,00																							
23 MIS	1,00	1,00																						
22 MIS	1,00	1,00	1,00																					
21 MIS	1,00	1,00	1,00	1,00																				
20 MIS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00																			
19 MIS	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00																		
18 MIS	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00																	
17 MIS	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00																
16 MIS	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00															
15 MIS	0,97	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00														
14 MIS	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00													
13 MIS	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00												
12 MIS	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00											
11 MIS	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00										
10 MIS	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00									
9 MIS	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00								
8 MIS	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00							
7 MIS	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,92	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00						
6 MIS	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	1,00					
5 MIS	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75	0,77	0,78	0,80	0,80	0,81	0,81	0,83	0,85	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	1,00				
4 MIS	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55	0,57	0,58	0,60	0,62	0,63	0,63	0,64	0,66	0,67	0,70	0,72	0,74	0,79	0,82	0,94	1,00			
3 MIS	0,34	0,35	0,37	0,37	0,38	0,38	0,40	0,41	0,43	0,44	0,44	0,44	0,46	0,48	0,50	0,53	0,55	0,60	0,65	0,82	0,93	1,00		
2 MIS	0,21	0,22	0,24	0,24	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,31	0,33	0,36	0,38	0,41	0,45	0,49	0,69	0,80	0,88	1,00	
1 MIS	0,42	0,42	0,40	0,40	0,40	0,39	0,39	0,40	0,39	0,39	0,41	0,44	0,44	0,42	0,40	0,35	0,38	0,35	0,35	0,21	0,15	0,04	0,05	1,00

Abbildung 40: Korrelationsmatrix Gewährleistungsfälle - Gesamtfahrzeug

Eine mögliche Begründung für diesen Strukturbruch und die zunehmende Korrelation, ist die mit der Nutzungsdauer breiter werdende Laufleistungsverteilung.

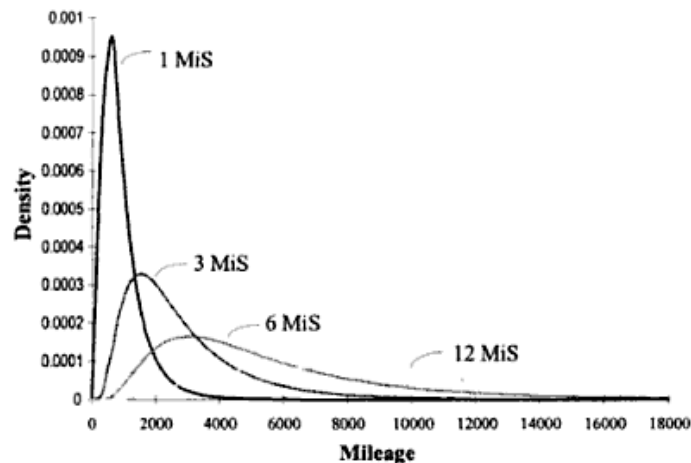


Abbildung 41: Laufleistungsverteilung Ford Mondeo⁶¹

⁶¹ vgl. (Davis, 2003)

Die Abbildungen 42 bis 44 zeigen einen stark linearen und positiven Zusammenhang zwischen den Isochronen mit den Nutzungsdauern von 6 MIS, 12 MIS, 18 MIS und 24 MIS für Gewährleistungsfälle⁶². Weiters zeigt sich ein mit der Nutzungsdauer zunehmender Determinationskoeffizient (=Bestimmtheitsgrad R^2).

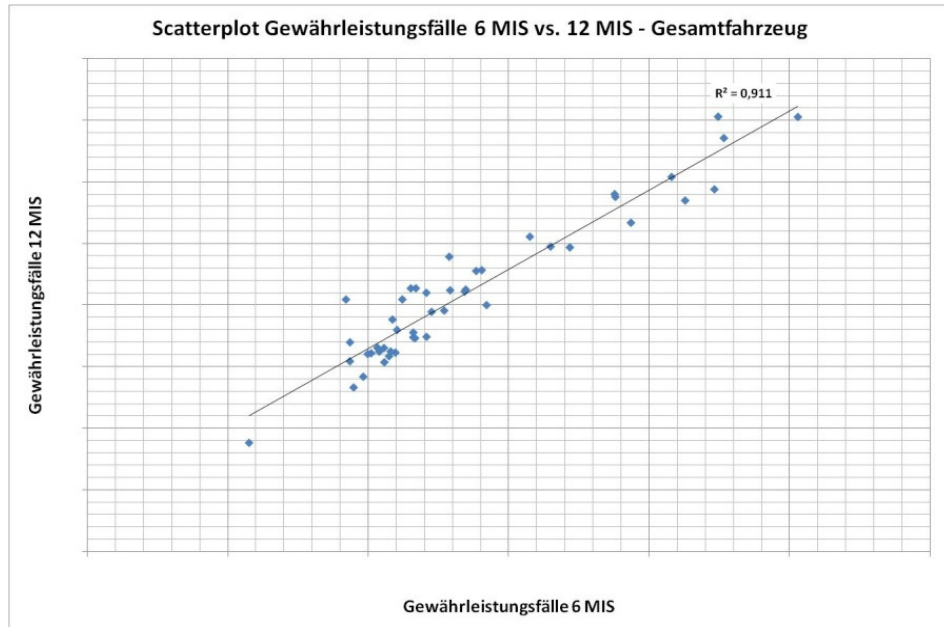


Abbildung 42: Scatterplot Gewährleistungsfälle 6 MIS vs. 12 MIS - Gesamtfahrzeug

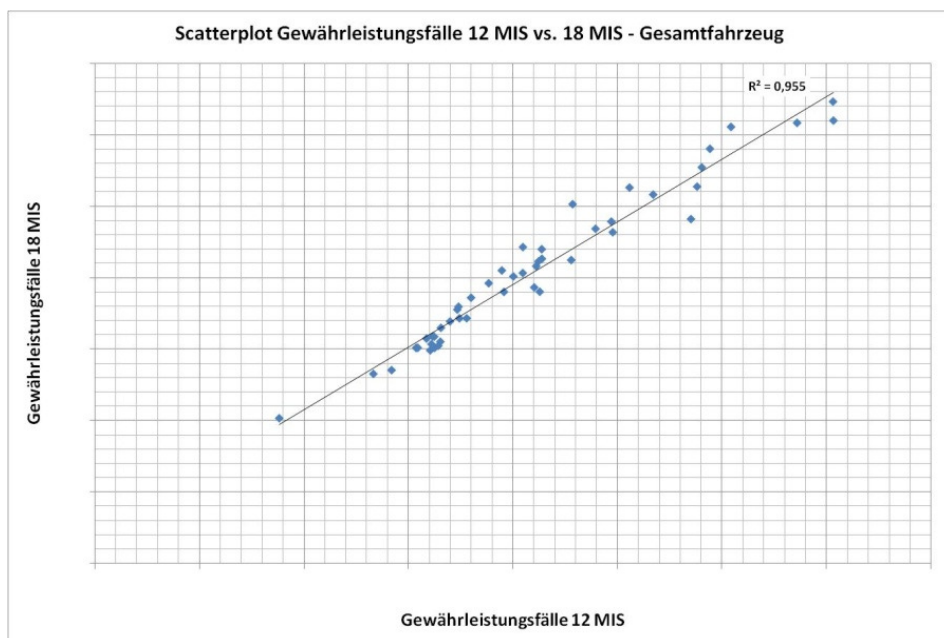


Abbildung 43: Scatterplot Gewährleistungsfälle 12 MIS vs. 18 MIS - Gesamtfahrzeug

⁶² Die Analyse der Gewährleistungskosten ergab ein ähnliches Bild. Die Ergebnisse sind im Anhang dargestellt.

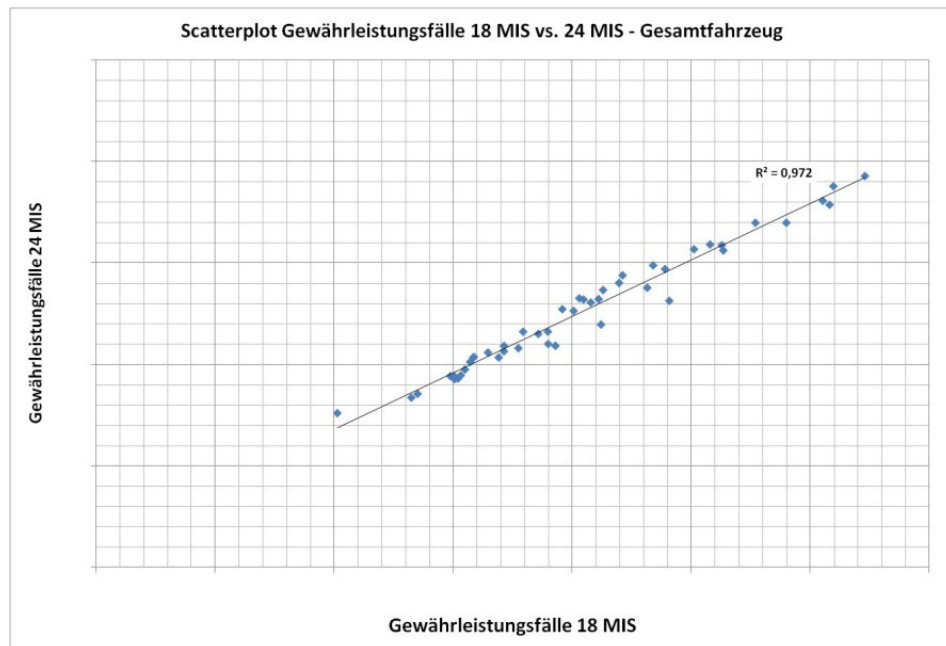


Abbildung 44: Scatterplot Gewährleistungsfälle 18 MIS vs. 24 MIS - Gesamtfahrzeug

5.2.2 Korrelationsanalyse Gewährleistungsfälle vs. Gewährleistungskosten

Mit der Hilfe weiterer Analysen konnten auch hohe positive Korrelationen zwischen den Gewährleistungsfällen und den daraus resultierenden Gewährleistungskosten nachgewiesen werden. Diese Wechselwirkung ist sowohl auf der Ebene Gesamtfahrzeug als auch auf den Ebenen Modulgruppe und Modul zu beobachten.

Nachfolgende Abbildung zeigt den linearen Zusammenhang zwischen den Gewährleistungsfällen und –kosten auf der Ebene Gesamtfahrzeug. Der Bestimmtheitsgrad ist mit einem Wert von über 0,9 sehr hoch.

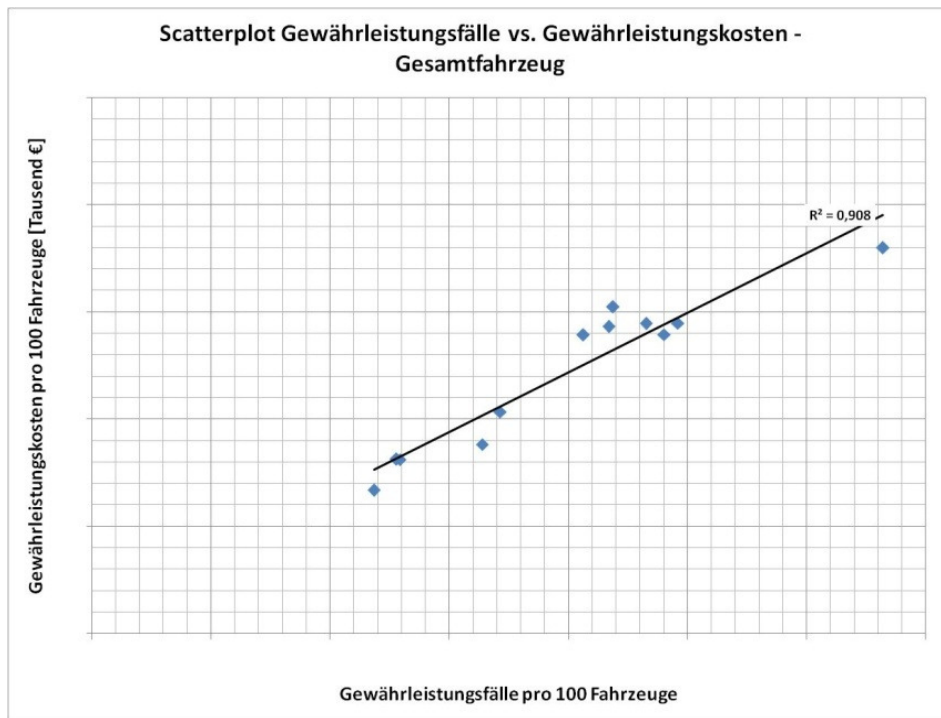


Abbildung 45: Scatterplot Gewährleistungsfälle vs. -kosten - Gesamtfahrzeug

Auf der darunterliegenden Ebene weist die Modulgruppe Fahrodynamik mit einem Determinationskoeffizienten von 0,917 die höchste Korrelation auf. Weiters folgen die Modulgruppen Innenraum (0,816), Antrieb (0,746) und Karosserie (0,641).

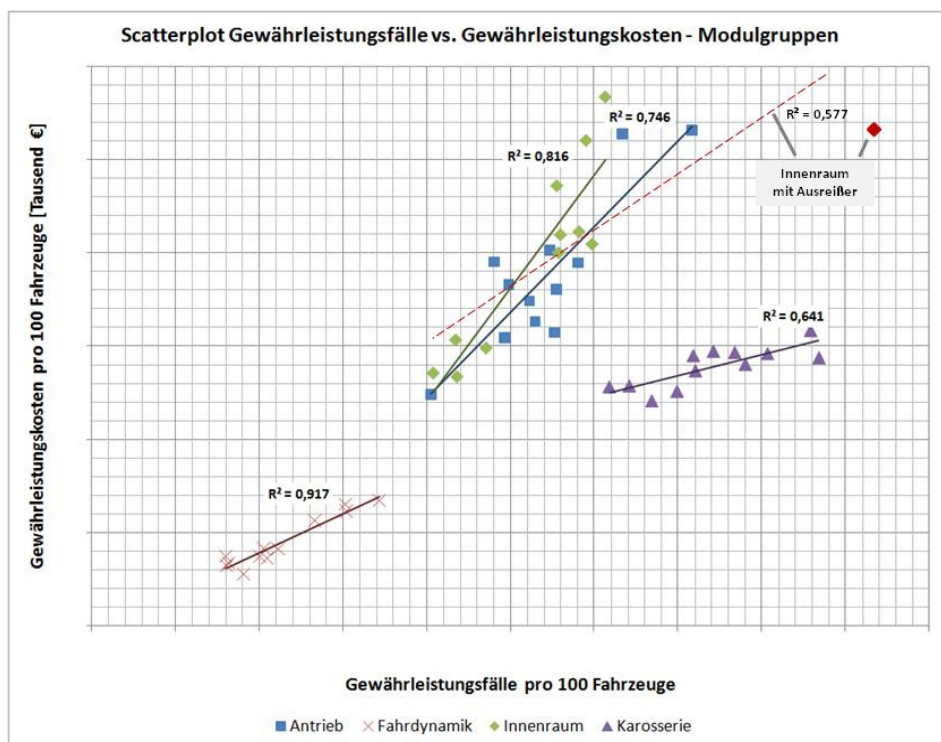


Abbildung 46: Scatterplot Gewährleistungsfälle vs. -kosten - Modulgruppen

An der Steigung der eingezeichneten Ausgleichsgeraden ist die durchschnittliche Höhe der Gewährleistungskosten pro Gewährleistungsfall zu erkennen. Demnach sind Fehler im Innenraum- und Antriebsbereich teurer als Fehler, die im Bereich Fahrdynamik oder Karosserie auftreten.

Auf der Ebene Modul sind im Bereich Bordnetze, Gelenkswellen und Getriebe stark positive Korrelationen zu erkennen. Beim Modul Motoren ist die Korrelation zwar weniger stark ausgeprägt, aber mit einem Determinationskoeffizienten von 0,64 dennoch in sehr hohen Regionen.

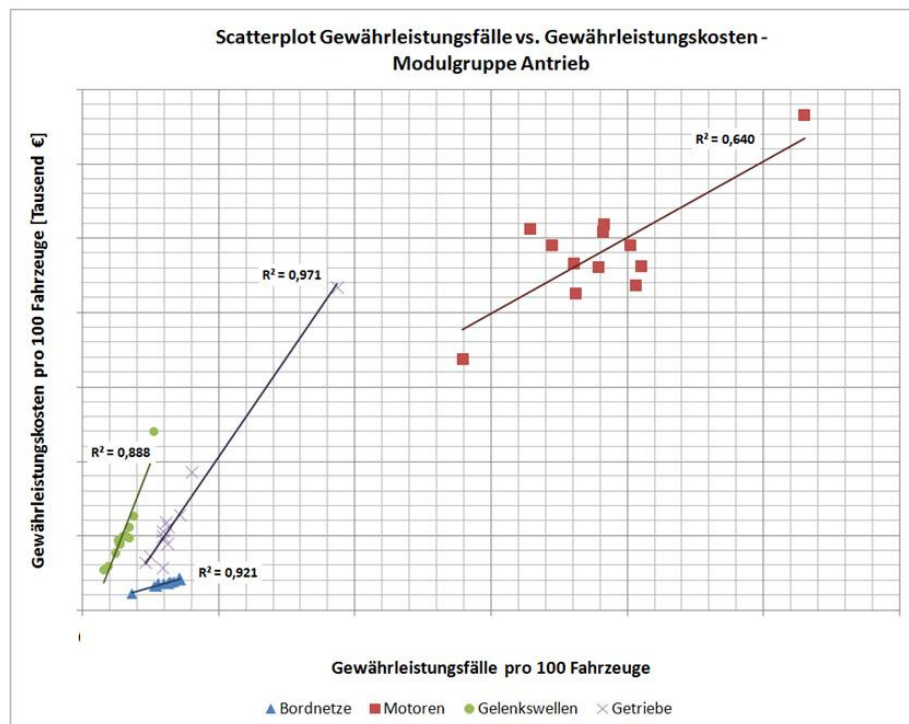


Abbildung 47: Scatterplot Gewährleistungsfälle vs. -kosten - Modulgruppe Antrieb

5.2.3 Fehler- und Kostenstruktur

Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Analyse der Kosten- und Fehlerstruktur. Hierfür werden die Verteilung der Gewährleistungskosten sowie der Gewährleistungsfälle über den Zeitraum eines Modelljahres (12 Monate) für verschiedene Nutzungsdauern (6 MIS, 12 MIS, 18 MIS, 24 MIS) untersucht.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Ergebnisse für die einzelnen Modulgruppen. Die Verteilung der Gewährleistungsfälle über die Nutzungsdauer kann im Fall der Modulgruppen Karosserie und Fahrdynamik als konstant bezeichnet werden. Die Modulgruppe Innenraum zeigt eine mit der Nutzungsdauer abnehmende und die Modulgruppe Antrieb eine leicht zunehmende Tendenz.

Auf der Seite der Gewährleistungskosten zeigen die Modulgruppen Antrieb und Fahrdynamik ein konstantes Verhalten. Die Modulgruppe Karosserie hingegen verursachte nach einer Nutzungsdauer von 6 MIS 21 % der Gewährleistungskosten und steigerte den

Anteil nach 24 MIS leicht auf 25 %. Der Anteil der Modulgruppe Innenraum ist bis zur Nutzungsdauer von 18 MIS konstant bei 36 %, fällt dann aber auf 32 % ab.

Mit Hilfe der in der Grafik angeführten Faktoren für die Gewährleistungsfälle und –kosten, kann man das Gewährleistungsrisiko auf eine triviale Art und Weise abschätzen.

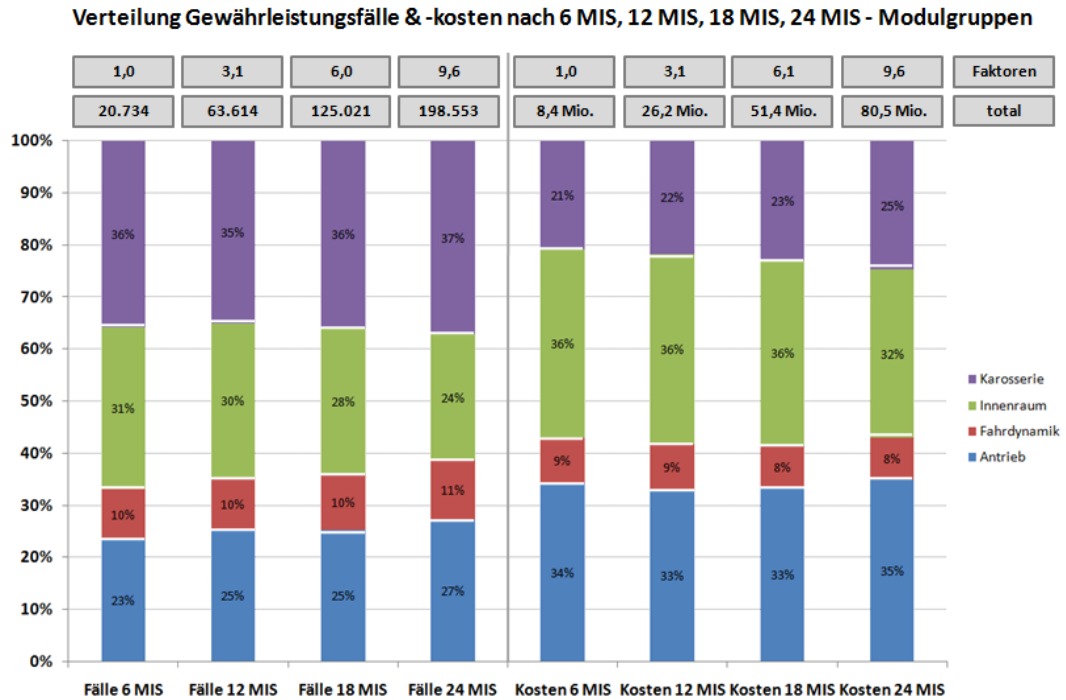


Abbildung 48: Verteilung Gewährleistungskosten/-fälle - Modulgruppen

Betrachtet man die Fehler- und Kostenstruktur in der Modulgruppe Antrieb näher, so fällt auf, dass das Modul Bordnetze sowohl bei den Gewährleistungsfällen als auch bei den Gewährleistungskosten über die Nutzungsdauer einen konstant hohen Anteil aufweist. Ein ähnliches Bild ist bei dem Modul Getriebe zu erkennen.

Die Gewährleistungsfälle und –kosten des Moduls Motor steigen über die Nutzungsdauer um 4-5 %, jene des Moduls Gelenkwelle fallen um 3 %.

Verteilung Gewährleistungsfälle & -kosten nach 6 MIS, 12 MIS, 18 MIS, 24 MIS – Modulgruppe Antrieb

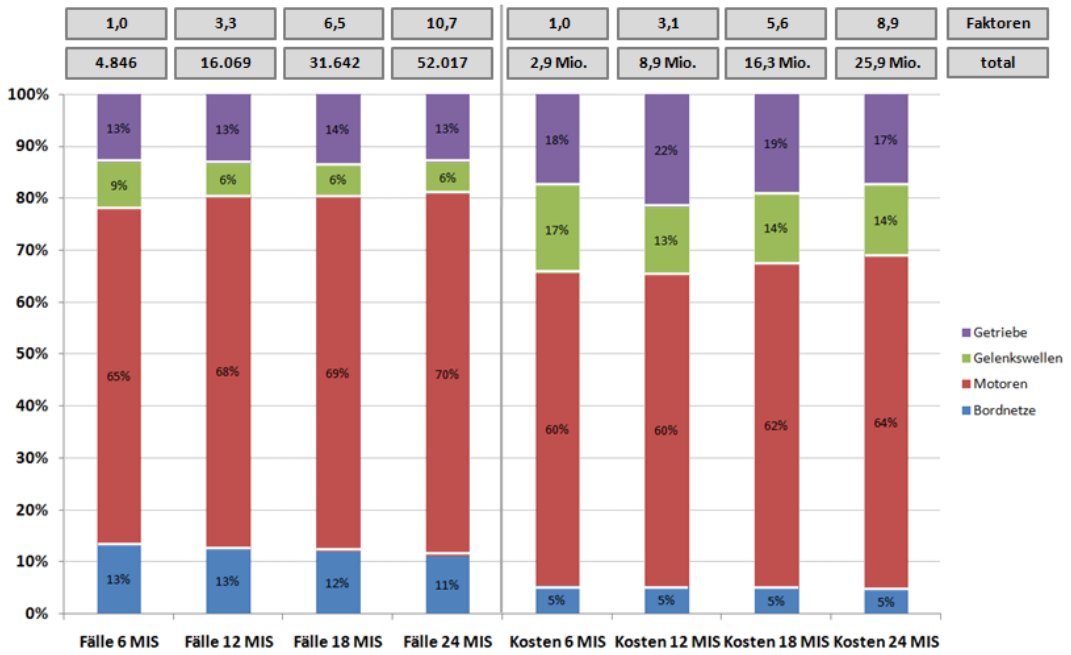


Abbildung 49: Verteilung Gewährleistungskosten/-fälle - Modulgruppe Antrieb

Die nachstehende Abbildung gibt einen Überblick über jene Fahrzeugbereiche, die entlang der Nutzungsdauer und innerhalb der jeweiligen Modulgruppe ein aufsteigendes, absteigendes oder konstantes Gewährleistungsrisiko aufweisen. Die detaillierten Auswertungen sind im Anhang angeführt.

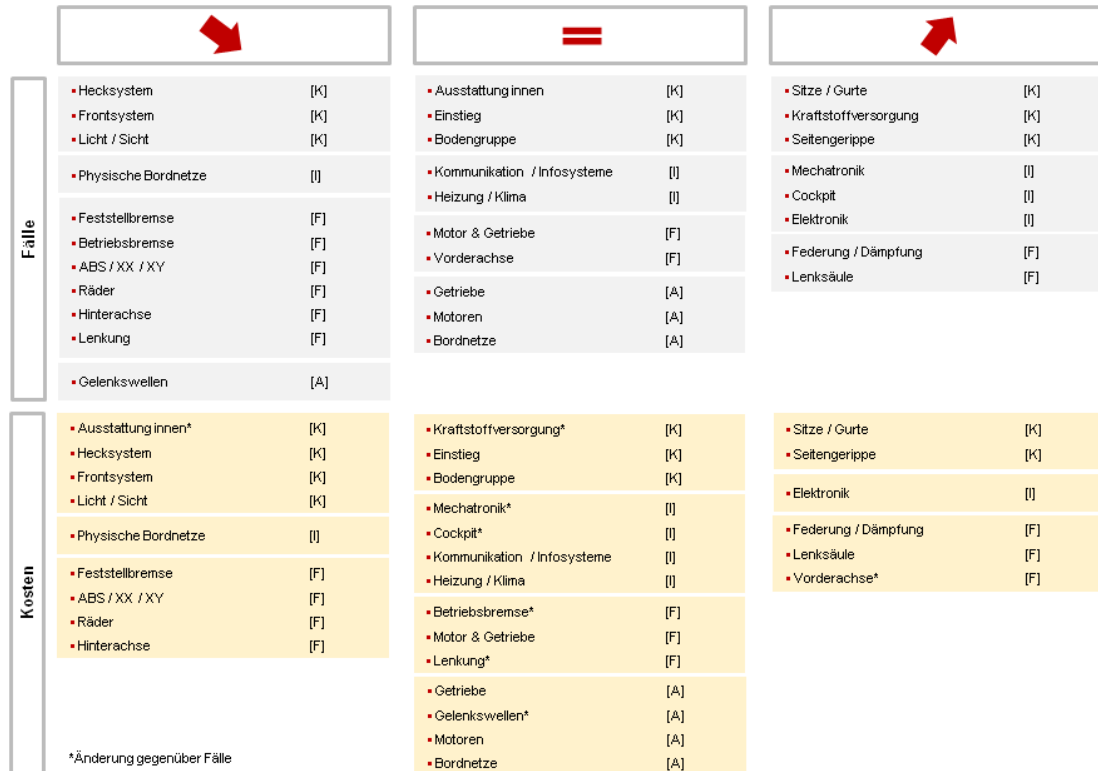


Abbildung 50: Tendenzielle Entwicklung des Gewährleistungsrisiko auf Modulebene

5.2.4 Inkrementelle Zuwächse

Da die Fehler- und Kostenstruktur nur eine Aussage über die Zusammensetzung der Gewährleistungsfälle bzw. –kosten liefert und dadurch nur bedingt Aufschluss über die Entwicklung entlang der Nutzungsdauer gibt, werden zusätzlich Analysen bezüglich der monatlichen Zuwächse durchgeführt.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die inkrementellen Zuwächse der einzelnen Modulgruppen in Form von Gewährleistungsfällen pro 100 Fahrzeuge bzw. Gewährleistungskosten pro 100 Fahrzeuge für ein untersuchtes Modelljahr.

Sowohl bei den Gewährleistungsfällen als auch bei den Gewährleistungskosten sind auf einer globalen Ebene steigende Zuwächse zu erkennen. Die geringsten Zuwächse weist in beiden Fällen die Modulgruppe Fahrdynamik auf. Die Entwicklung der inkrementellen Zuwächse für die Modulgruppen Antrieb und Innenraum zeigt abgesehen von den Peaks bei den Gewährleistungskosten (Modulgruppe Innenraum) ein ähnliches Bild. Betrachtet man den Verlauf der Modulgruppe Karosserie, so fällt auf, dass die Zuwächse im Bereich der Gewährleistungsfälle höher sind als jene im Bereich der Gewährleistungskosten.

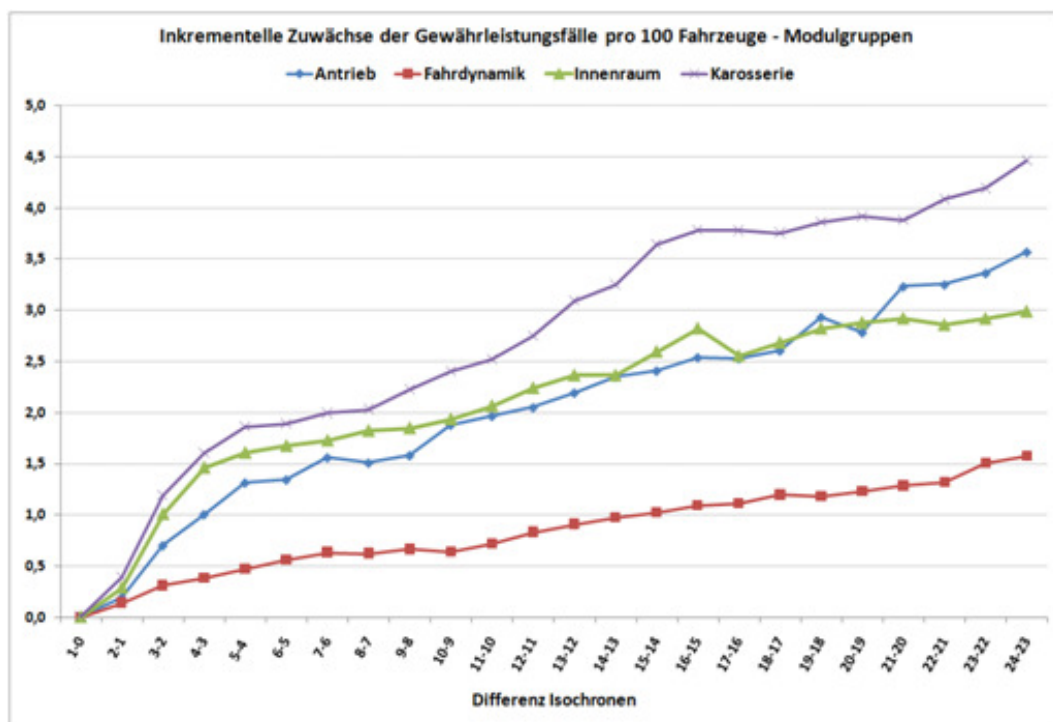


Abbildung 51: Inkrementelle Zuwächse - Gewährleistungsfälle - Modulgruppen

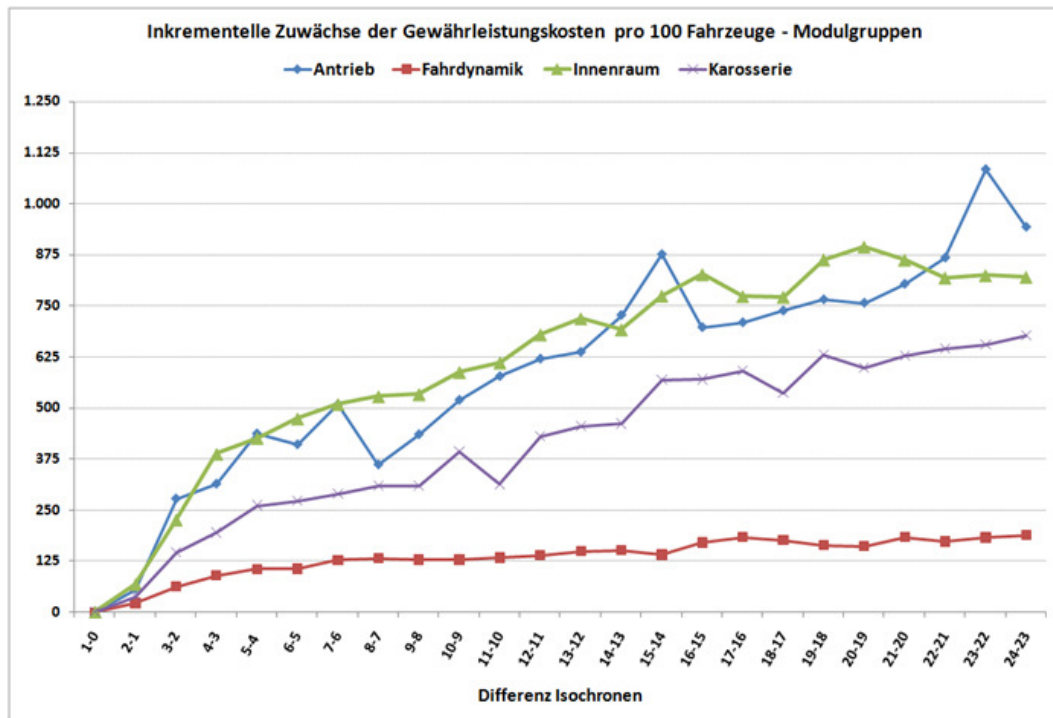


Abbildung 52: Inkrementelle Zuwächse - Gewährleistungskosten - Modulgruppen

Die Charakteristik auf der Ebene Gesamtfahrzeug ergibt sich aus der Superposition der einzelnen Modulgruppen und zeigt ebenfalls mit der Nutzungsdauer steigende inkrementelle Zuwächse.

5.2.5 Zulassungsverzug

Die Analyse des Zulassungsverzugs soll Aufschluss darüber geben, wie sich etwaige Änderungen in den Absatzmärkten auf das Gewährleistungsrisiko auswirken können.

Nachfolgende Auswertung zeigt die Verteilung des länderspezifischen Zulassungsverzugs eines bei MAGNA STEYR produzierten Fahrzeugs. Hierbei fällt auf, dass die in europäischen Ländern produzierten Fahrzeuge im Median nach ca. 25 Tagen zugelassen werden. Im Falle der USA liegt dieser Wert hingegen bei ca. 65 Tagen. Die Gründe für den erhöhten Zulassungsverzug in den USA liegen einerseits an der weiteren Logistikstrecke und andererseits daran, dass Amerikaner in der Regel mit dem soeben gekauften Fahrzeug nach Hause fahren.⁶³ Letzteres impliziert eine überwiegende Built-to-Stock-Produktionsstrategie der Automobilhersteller für den amerikanischen Markt.

⁶³ vgl. (Frühbauer, 2007, S. 17)

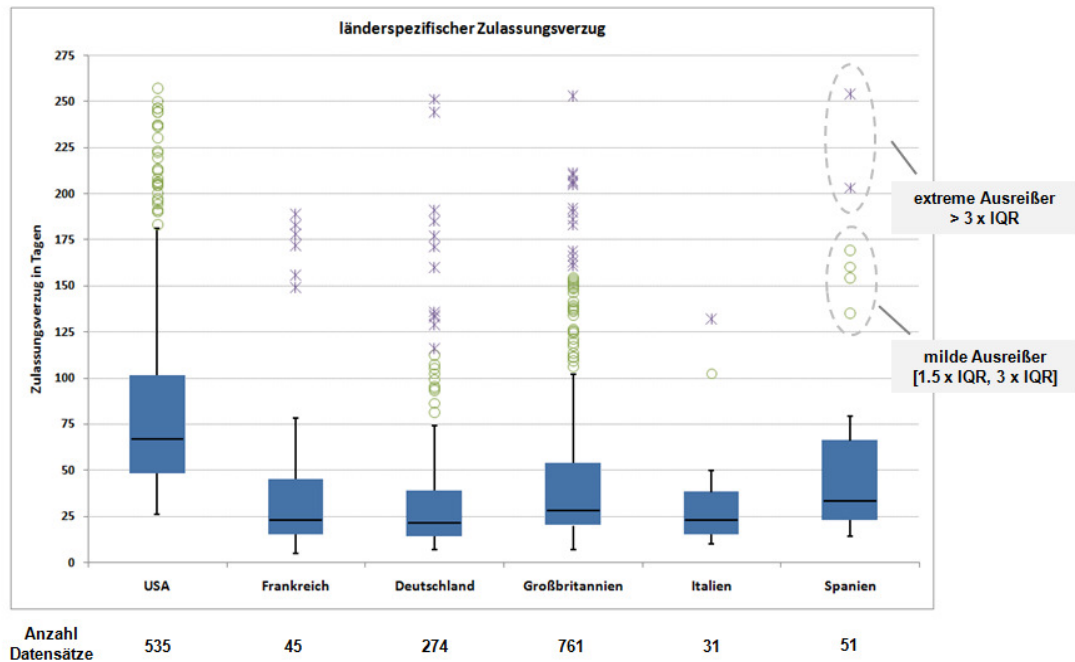


Abbildung 53: Länderspezifischer Zulassungsverzug

Verschiebt sich nun beispielsweise der Absatzschwerpunkt von Europa nach Amerika, so erhöht sich dadurch auch der durchschnittliche Zulassungsverzug des abgesetzten Volumens. Nachfolgende Grafik zeigt die monetären Auswirkungen eines um 30 Tage erhöhten Zulassungsverzugs im Falle eines Anreizmodells. Die Isochronen weisen sichtbar niedrigere Werte auf als jene ohne den erhöhten Zulassungsverzug. Das liegt daran, dass der Endkunde sein Fahrzeug erst verzögert in Betrieb nimmt und sich dadurch auch die Reklamationen zeitlich nach hinten verschieben.

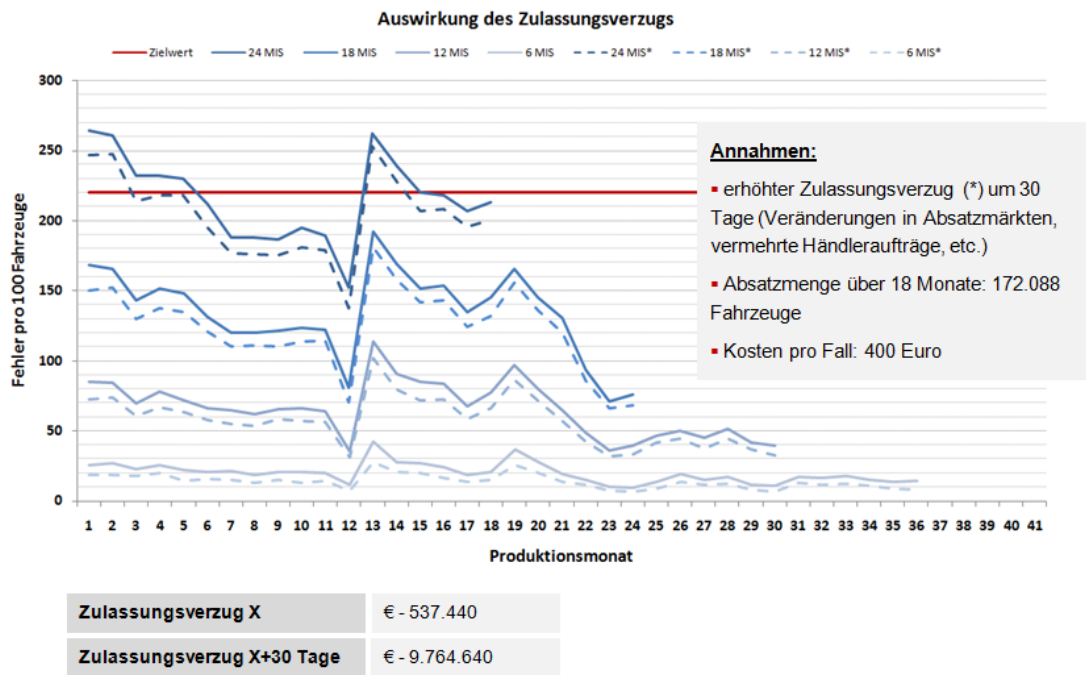


Abbildung 54: Auswirkungen Zulassungsverzug

Für die getroffenen Annahmen:

- Zielwert 220 Gewährleistungsfälle pro 100 Fahrzeuge (24 MIS)
- Durchschnittliche Kosten pro Gewährleistungsfall: 400 Euro
- Produktionsvolumen: 172.088 Fahrzeuge

ergibt sich aufgrund des erhöhten Zulassungsverzugs über einen Beobachtungszeitraum von 18 Monaten eine beachtliche Differenz von ca. 9,2 Mio. Euro.

5.3 Modellbildung

Die weiter oben beschriebenen Ergebnisse zeigen, dass die Korrelationen am untersuchten Fahrzeug erst mit der 6 MIS-Isochrone einen hohen Wert erreichen und die Anwendung eines kausalanalytischen Prognosemodells erst ab diesem Zeitpunkt hinreichend genaue Ergebnisse liefern kann.

Darüber hinaus ist die Datenverfügbarkeit ein weiterer Punkt, den es zu beachten gilt. Da die ersten 24 MIS-Daten des betrachteten Fahrzeugs (Originalfahrzeug) frühestens im 25. Produktionsmonat verfügbar sind, muss man sich für diesen Zeitraum mit Daten des Referenzfahrzeugs⁶⁴ behelfen. Der Zeitraum bis zum 25. Produktionsmonat wird in weiterer Folge als Bereich 1 bezeichnet. Der Bereich 2 beginnt somit ab dem 25. Produktionsmonat und endet mit dem Ende der Serienproduktion (EOP).

Abbildung 55 zeigt die verfügbaren Daten in Abhängigkeit des Produktionsmonats.

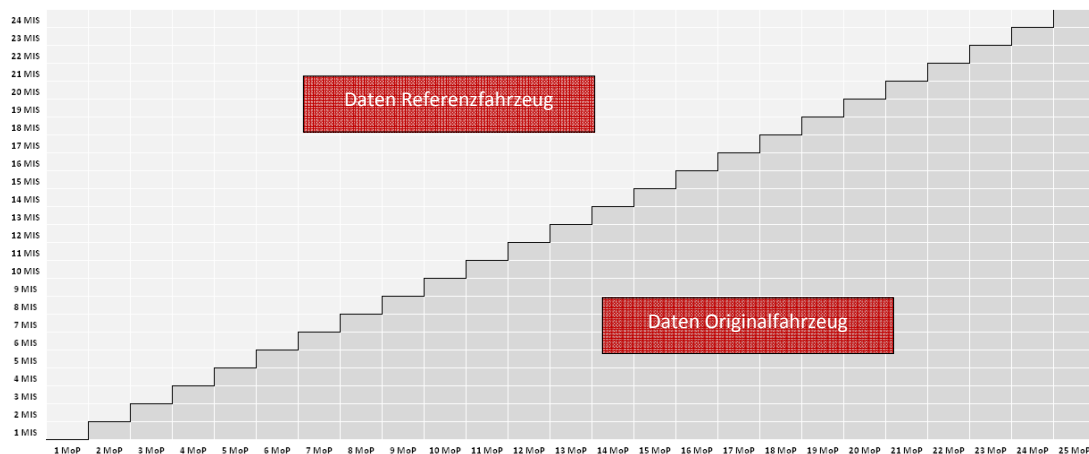


Abbildung 55: Datenverfügbarkeit – Bereich 1

⁶⁴ Das Referenzfahrzeug ist in der Regel der Vorgänger des betrachteten Fahrzeugmodells, dem Originalfahrzeug.

5.3.1 Prognosemodell 1 – Berücksichtigung des Einschwingvorgangs

Die ersten Monate eines Fahrzeugprojekts weisen in der Regel ein erhöhtes Niveau an Gewährleistungsfällen und –kosten auf. Dieses Phänomen wird als Einschwingvorgang bezeichnet und ist auf aus der Serienentwicklung bekannte und auch neue Produkt- und Prozessabweichungen zurückzuführen.

Aus diesem Grund wurde ein erstes, einfach anwendbares Modell erarbeitet, welches den Einschwingvorgang abbildet. Nachstehende Grafik beschreibt das Modell schematisch.

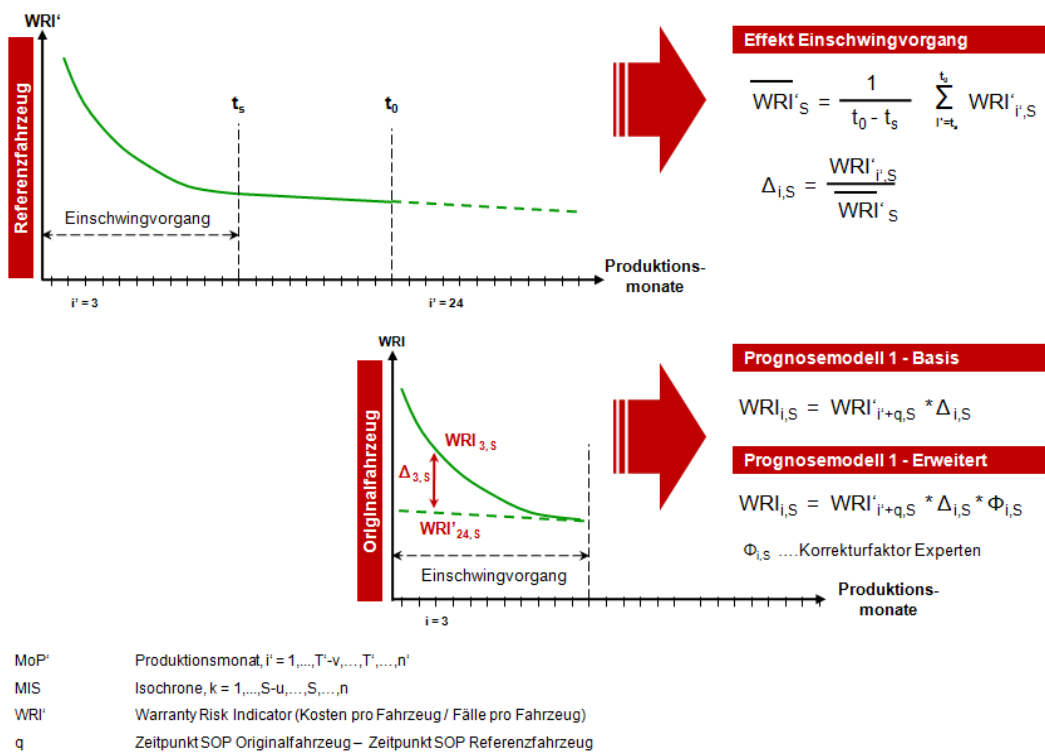


Abbildung 56: Prognosemodell 1

Die Basis des Modells bilden Faktoren, die sich aus der Normierung der Gewährleistungskosten bzw. –fälle aus dem Einschwingvorgang auf jene des eingeschwungenen Zustands ergeben. Um etwaige Peaks zu berücksichtigen empfiehlt sich die Mittelung der Werte im eingeschwungenen Zustand über einen definierten Zeitraum (z.B. Modelljahr). Diese Faktoren werden aus Daten des Referenzfahrzeugs ermittelt und sind für jede Isochrone bzw. zu betrachtendes Produktionsmonat separat zu berechnen.

Mit Hilfe der berechneten Faktoren und den aktuellen Felddaten des Referenzfahrzeugs wird anschließend auf die betrachtete Isochrone extrapoliert. Etwaige Expertenbewertungen können zusätzlich mit einem Korrekturfaktor berücksichtigt werden.

Dieses Prognosemodell ist nur für den Bereich 1 relevant und ergänzt das im nachfolgenden beschriebene Prognosemodell 2.

5.3.2 Prognosemodell 2

Das Prognosemodell 2 basiert im Wesentlichen auf den weiter oben (Kapitel 5.2.1.) nachgewiesenen Korrelationen. Auch hier wird wieder ein Faktor berechnet, mit dessen Hilfe auf den zu prognostizierenden Wert extrapoliert werden kann. Dieser Faktor wiederum stellt eine Funktion von einem oder mehreren Multiples dar, die sich aus den Warranty Risk Indicators ergeben. Nachfolgende Grafik veranschaulicht die Berechnungsmethode.

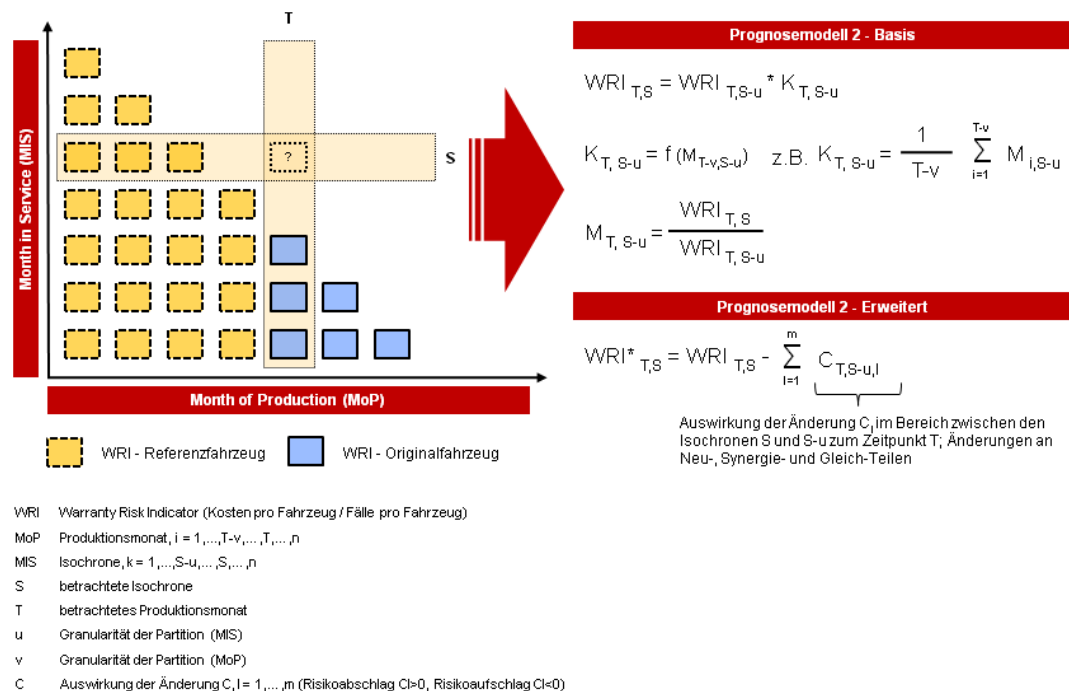


Abbildung 57: Prognosemodell 2

Etwaige Änderungen können wie im Prognosemodell 1 mit Hilfe von Expertenbewertungen berücksichtigt werden.

Ein Multiple kann aus Daten des Originalfahrzeugs oder aus jenen des Referenzfahrzeugs berechnet werden. Sobald die Daten des Originalfahrzeugs zur Verfügung stehen sind diese zu bevorzugen, da sie das Untersuchungsobjekt – das Originalfahrzeug – besser repräsentieren. Die Güte des Referenzobjekts zeigt sich in der Übereinstimmung der Multiples des Original- und des Referenzfahrzeugs.

Multiples können einmalig oder periodisch berechnet werden (statischer bzw. dynamischer Multiple). Um die Auswirkung atypischer Verhaltensmuster zu minimieren, empfiehlt sich die Betrachtung und Berücksichtigung von mehreren Vergangenheitswerten. Dies kann mit Hilfe statistischer Methoden wie z.B. der exponentiellen Glättung oder der Regression erfolgen. Als Schätzer kommen der Mittelwert oder der Median in Frage.

Die weiter unten angeführte Grafik beschreibt die Berechnung der Prognosewerte für den Bereich 1 schematisch. In diesem Beispiel ist das Originalfahrzeug bereits seit 11 Monate im Feld. Auf Basis der vorhandenen Originalfahrzeugdaten kann für die Hochrechnung das

Prognosemodell 2 verwendet werden, wobei die Multiples zum Teil aus den Referenzfahrzeugdaten ermittelt werden müssen. Für jenen Bereich, indem lediglich Felddaten des Originalfahrzeugs mit weniger als 6 Monaten Nutzungsdauer vorliegen, empfiehlt es sich aufgrund der in Unterabschnitt 5.2.1 aufgezeigten geringen Korrelation, auf Daten des Referenzfahrzeugs zurückzugreifen. In diesem Bereich findet das Prognosemodell 1 Anwendung.

	1 MnSOP	2 MnSOP	3 MnSOP	4 MnSOP	5 MnSOP	6 MnSOP	7 MnSOP	8 MnSOP	9 MnSOP	10 MnSOP	11 MnSOP	IST-Wert (2) (1)/(2)
	255,63	255,86	214,86	176,43	199,06	204,10	187,92	178,81	192,98	159,20	147,10	
	83%	72%	102%	95%	108%	87%	93%	104%	88%	99%	112%	
24 MIS	212,24	185,37	219,89	168,45	214,79	178,49	175,00	185,88	169,34	158,26	165,35	Prognosewert (1)
23 MIS	200,72	175,30	207,95	159,30	203,13	169,57	164,08	174,50	159,47	150,01	157,98	
22 MIS	188,97	165,04	195,77	149,97	191,24	164,89	156,80	164,86	151,20	140,60	151,32	
21 MIS	177,98	155,44	155,44 = 146,24 x 1,063			168	150,98	156,08	141,49	130,71	137,87	
20 MIS	167,45	146,24	Faktor 1,063: Multiple aus Referenzdaten			75	141,91	149,84	132,91	119,36	128,23	
19 MIS	156,95	137,08	162,61	124,57	158,84	143,39	136,47	140,91	128,01	111,36	116,31	
18 MIS	146,21	127,70	151,48	116,04	147,97	138,54	130,48	134,62	118,25	105,10	109,00	
17 MIS	135,35	118,21	140,22	107,42	136,97	131,57	123,66	126,66	111,21	96,28	103,41	
16 MIS	124,02	108,31	128,48	98,43	125,51	125,82	115,82	115,82 = 109,33 x 1,059				
15 MIS	112,07	97,88	116,11	88,95	113,42	116,63	109,33	Faktor 1,059: Berücksichtigung Einschwingvorgang ($\Delta_{t,d}$)				
14 MIS	100,60	87,86	104,23	79,84	101,81	106,77	99,36	101,55	84,81	72,58	76,56	
13 MIS	89,93	78,54	93,17	71,37	91,01	100,31	90,80	92,06	77,04	64,64	66,67	
12 MIS	79,88	69,76	82,76	63,40	80,84	88,83	84,92	83,16	67,51	58,23	59,95	
11 MIS	70,53	61,59	73,07	55,97	71,37	81,30	73,55	76,13	58,82	50,06	53,09	
10 MIS	61,09	53,36	63,29	48,49	61,83	73,32	65,66	64,12	52,82	43,31	43,01	
9 MIS	47,44	41,43	49,15	49,15 = 41,51 x 1,184			57,61	56,44	44,00	38,48	38,38	
8 MIS	41,30	33,98	41,51	1,184 = ((47,44/41,30)+(41,43/33,98))/2			50,45	49,77	38,63	32,73	33,78	
7 MIS	31,40	25,27	33,15	24,18	30,83	45,03	39,78	40,34	32,26	27,56	26,93	
6 MIS	23,89	17,13	24,88	19,51	23,29	38,46	31,51	30,48	25,27	22,26	21,61	
5 MIS	11,60	8,52	13,31	14,46	15,85	28,57	25,14	22,27	17,20	15,88	17,51	
4 MIS	5,80	2,61	5,97	8,76	9,92	23,24	18,51	18,14	12,05	9,47	10,64	
3 MIS	1,71	0,39	1,78	3,90	4,23	12,16	11,85	8,79	7,72	4,25	5,98	
2 MIS	0,34	0,10	0,29	0,74	0,77	5,10	4,33	4,61	2,57	1,84	1,77	
1 MIS	0,34	0,00	0,00	0,00	0,04	0,21	0,33	0,19	0,69	0,16	0,14	

Abbildung 58: Auszug Berechnungsmodell - Bereich 1

5.4 Modellvalidierung

5.4.1 Schematische Darstellung der Prognosemodelle

Im Nachfolgenden werden zum besseren Verständnis die einzelnen Prognosemodelle an einem praktischen Beispiel schematisch dargestellt. Die verwendete Datenmatrix enthält Gewährleistungsfälle pro 100 Fahrzeuge für die Nutzungsdauern von 1-24 Monaten und stammt vom Originalfahrzeug, das sich zum Betrachtungszeitpunkt im eingeschwungenen Zustand befand (25 MnSOP-36MnSOP).

5.4.1.1 Chain-Ladder

Der Prognosewert \hat{S} errechnet sich mit Hilfe des Chain-Ladder-Algorithmus indem man den letzten Istwert der Isochrone mit dem Faktor Z_1/N_1 multipliziert. Dieser Faktor ergibt sich aus der Summation der WRI des betrachteten Produktionsmonats und anschließender Division durch die Summe der WRI des vorherigen Produktionsmonats.

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	MnSOP
	108,1	106,6	109,2	101,3	103,8	103,4	94,3	85,5	92,8	83,7	132,7	132,3	IST-Wert (2)
	101%	100%	99%	99%	99%	100%	105%	106%	108%	104%	103%	107%	(1)/(2)
24 MIS	109,6	107,0	107,6	100,3	103,2	103,0	99,1	90,7	100,6	86,6	136,5	141,4	Prognosewert (1)
23 MIS	101,9	99,5	100,1	93,3	96,0	95,8	92,2	84,4	93,5	80,6	126,9	131,5	
22 MIS	94,8	92,6	93,1	86,8	89,3	89,1	85,8	78,5	87,0	75,0	118,1	122,3	
21 MIS	88,8	86,2		80,8	83,1	82,0	79,8	73,1	81,0	69,8	109,9	113,9	
20 MIS	81,9	80,4	S_1	74,6	76,7	\hat{S}	73,7	67,5	74,8	64,4	101,5	105,1	
19 MIS	76,4	73,9	74,9	68,1	70,1	69,9	67,3	61,6	68,3	58,8	92,7	96,0	
18 MIS	71,0	68,5	68,5	62,9	63,5	63,4	61,0	55,8	61,9	53,3	84,0	87,0	
17 MIS	63,7	63,7	63,5	56,4	58,7	57,2	55,1	50,4	55,9	48,1	75,8	78,6	
16 MIS	57,7	56,7	58,9	51,5	52,2	52,5	49,5	45,3	50,2	43,2	68,1	70,6	
15 MIS	52,0	50,8		47,1	47,9		45,0	40,1	44,4		38,3	62,4	
14 MIS	45,2	45,2	N_1	40,5	42,8	Z_1	39,6	36,4	39,5	34,0	53,6	55,5	
13 MIS	40,2	39,2	41,6	35,8	37,0	37,8	35,7	31,8	35,2	29,7	46,8	48,5	
12 MIS	34,7	34,9	35,6	31,7	32,3	32,5	32,1	28,4	30,7	26,6	41,0	42,4	
11 MIS	29,3	30,0	31,3	26,5	28,5	28,4	27,1	25,6	27,4	23,0	35,0	36,4	
10 MIS	25,9	25,3	26,7	22,7	23,9	24,9	23,2	22,1	24,5	20,5	27,9	31,6	
9 MIS	22,1	22,3	21,8	19,3	20,1	20,7	20,1	18,9	20,8	18,2	22,6	26,2	
8 MIS	18,1	19,0	18,6	15,8	16,9	17,3	16,1	16,0	17,5	14,6	18,4	21,5	
7 MIS	14,7	15,1	15,5	13,3	13,3	14,1	13,3	12,7	14,6	12,0	13,2	17,7	
6 MIS	11,7	12,1	11,6	10,7	11,0	10,4	10,0	9,8	10,6	9,5	9,2	12,9	
5 MIS	7,8	9,2	8,7	7,7	8,4	8,0	6,8	7,2	7,5	6,1	6,2	8,4	
4 MIS	4,6	5,7	6,0	5,2	4,8	5,6	4,9	4,1					
3 MIS	1,9	2,9	3,0	2,6	2,6	2,5	2,8	2,2					
2 MIS	0,5	0,5	0,8	0,5	1,0	0,6	0,6	0,7					
1 MIS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					

$$\hat{S} = S_1 \cdot \frac{Z_1}{N_1}$$

Daten Originalfahrzeug	Prognosewerte Chain-Ladder-Algorithmus
------------------------	--

Abbildung 59: Berechnungsmethodik Modell „Chain-Ladder“

5.4.1.2 Robinson und McDonald

Im Falle des Modells „Robinson/McDonald“ errechnet sich der Prognosewert \hat{S} aus log-transformierten Daten der jeweils betrachteten Isochrone sowie der Vorgänger-Isochrone. Aus den transformierten Daten (N_1 , Z_1) werden mit Hilfe einer Regressionsanalyse die Parameter a und b der Ausgleichsgeraden ermittelt und für die Berechnung von \hat{S} benutzt.

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	MnSOP
	108,1	106,6	109,2	101,3	103,8	103,4	94,3	85,5	92,8	83,7	132,7	132,3	IST-Wert (2)
	101%	101%	98%	99%	98%	97%	102%	104%	103%	101%	93%	97%	(1)/(2)
24 MIS	109,6	107,2	107,5	99,9	101,8	100,3	96,2	89,3	95,9	84,2	123,1	129,0	Prognosewert (1)
23 MIS	101,9	99,7	99,9	92,9	94,7	93,3	89,5	83,0	89,1	78,3	114,4	119,9	
22 MIS	94,8	92,6	92,8	85,8	87,6	86,2	82,5	76,0	82,1	71,4	107,4	113,0	
21 MIS	88,8	86,2	86,7	80,5	82,1	80,5	77,5	71,8	77,2	67,7	99,5	104,3	
20 MIS	81,9	80,4	80,0	74,6	76,1	74,6	71,9	66,6	71,6	62,8	92,1	96,6	
19 MIS	76,4	73,9	74,9	68,1	70,1	68,1	66,0	60,8	65,7	57,1	85,9	90,4	
18 MIS	71,0	68,5	68,5	62,9	63,5	63,5	60,6	55,9	60,3	52,5	78,9	83,0	
17 MIS	63,7	63,7	63,5	56,4	58,7	57,2	55,1	50,6	54,8	47,4	72,5	76,4	
16 MIS	57,7	56,7	58,9	51,5	52,2	52,5	49,5	45,3	49,3	42,2	66,6	70,5	
15 MIS	52,0	50,8	52,3	47,1	47,9	46,8	45,0	40,1	44,4	38,2	59,6	63,0	
14 MIS	45,2	45,2	47,2	40,5	42,8	42,2	39,6	36,4	39,5	34,0	52,7	55,6	
13 MIS	40,2	39,2	41,6	35,8	37,0	37,8	35,7	31,8	35,2	29,7	46,8	49,5	
12 MIS	34,7	34,9	35,6	31,7	32,3	32,5	32,1	28,4	30,7	26,6	41,0	42,4	
11 MIS	29,3	30,0	31,3	26,5	28,5	28,4	27,1	25,6	27,4	23,0	35,0	36,4	
10 MIS	25,9	25,3	26,7	22,7	23,9	24,9	23,2	22,1	24,5	20,5	27,9	31,6	
9 MIS	22,1	22,3	21,8	19,3	20,1	20,7	20,1	18,9	20,8	18,2	22,6	26,2	
8 MIS	18,1	19,0	18,6	15,8	16,9	17,3	16,1	16,0	17,5	14,6	18,4	21,5	
7 MIS	14,7	15,1	15,5	13,3	13,3	14,1	13,3	12,7	14,6	12,0	13,2	17,7	
6 MIS	11,7	12,1	11,6	10,7	11,0	10,4	10,0	9,8	10,6	9,5	9,2	12,9	
5 MIS	7,8	9,2	8,7	7,7	8,0	7,7	7,4	7,0	7,7	7,0	7,0	8,0	
4 MIS	4,6	5,7	6,0	5,2	4,9	4,9	4,6	4,3	4,6	4,3	4,3	4,3	
3 MIS	1,9	2,9	3,0	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	
2 MIS	0,5	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
1 MIS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

$$\hat{S} = \exp [a + \ln (S_1) \times b]$$

Die Faktoren a und b stellen die Parameter der Ausgleichsgerade der Log-transformierten Daten N_1 und Z_1 dar

Daten Originalfahrzeug
Prognosewerte Robinson/McDonald

Abbildung 60: Berechnungsmethodik Modell „Robinson/McDonald“

5.4.1.3 Lineare Regression

Das Berechnungsmodell der linearen Regression ist analog dem Modell nach Robinson und McDonald, mit dem einzigen Unterschied, dass die Daten keiner Transformation unterzogen werden.

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	MnSOP
	108,1	106,6	109,2	101,3	103,8	103,4	94,3	85,5	92,8	83,7	132,7	132,3	IST-Wert (2)
	101%	101%	98%	99%	98%	97%	102%	104%	103%	100%	93%	98%	(1)/(2)
24 MIS	109,6	107,2	107,5	99,9	101,8	100,2	96,0	89,2	95,6	84,0	123,8	129,7	Prognosewert (1)
23 MIS	101,9	99,7	99,9	92,9	94,6	93,2	89,3	82,9	88,9	78,1	115,1	120,6	
22 MIS	94,8	92,6	92,8	85,7	87,5	86,0	82,1	75,7	81,7	70,9	108,1	113,7	
21 MIS	88,8	86,2	86,7	80,5	82,0	80,5	77,3	71,7	77,0	67,5	100,1	104,9	
20 MIS	81,9	80,4	80,0	74,6	76,0	74,9	71,7	66,5	71,4	62,6	92,6	97,1	
19 MIS	76,4	73,9	74,9	68,1	70,1	69,0	65,8	60,8	65,5	56,9	86,4	90,8	
18 MIS	71,0	68,5	68,5	62,9	63,5	60,5	55,9	50,7	54,8	47,4	72,6	76,4	
17 MIS	63,7	63,7	63,5	56,4	58,7	57,2	55,1	50,7	54,8	47,4	72,6	76,4	
16 MIS	57,7	56,7	58,9	51,5	52,2	52,5	49,5	45,3	49,2	42,0	66,8	70,5	
15 MIS	52,0	50,8	52,3	47,1	47,9	46,8	45,0	40,1	44,4	38,2	59,6	62,8	
14 MIS	45,2	45,2	47,2	40,5	42,8	42,2	39,6	36,4	39,5	34,0	52,7	55,5	
13 MIS	40,2	39,2	41,6	35,8	37,0	37,8	35,7	31,8	35,2	29,7	46,8	49,4	
12 MIS	34,7	34,9	35,6	31,7	32,3	32,5	32,1	28,4	30,7	26,6	41,0	42,4	
11 MIS	29,3	30,0	31,3	26,5	28,5	28,4	27,1	25,6	27,4	23,0	35,0	36,4	
10 MIS	25,9	25,3	26,7	22,7	23,9	24,9	23,2	22,1	24,5	20,5	27,9	31,6	
9 MIS	22,1	22,3	21,8	19,3	20,1	20,7	20,1	18,9	20,8	18,2	22,6	26,2	
8 MIS	18,1	19,0	18,6	15,8	16,9	17,3	16,1	16,0	17,5	14,6	18,4	21,5	
7 MIS	14,7	15,1	15,5	13,3	13,3	14,1	13,3	12,7	14,6	12,0	13,2	17,7	
6 MIS	11,7	12,1	11,6	10,7	11,0	10,4	10,0	9,8	10,6	9,5	9,2	12,9	
5 MIS	7,8	9,2	8,7	7,7	8,1	7,8	7,4	7,0	7,6	7,0	7,6	9,2	
4 MIS	4,6	5,7	6,0	5,2	4,4	4,6	4,4	4,1	4,4	4,0	4,4	5,1	
3 MIS	1,9	2,9	3,0	2,6	2,2	2,4	2,3	2,1	2,4	2,0	2,4	2,9	
2 MIS	0,5	0,5	0,8	0,5	1,1	1,0	0,9	0,8	0,9	0,7	0,8	1,0	
1 MIS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

$$\hat{S} = a + S_1 \times b$$

Die Faktoren a und b stellen die Parameter der Ausgleichsgerade der Daten N_1 und Z_1 dar

Daten Originalfahrzeug
Prognosewerte Lineare Regression

Abbildung 61: Berechnungsmethodik Modell „Lineare Regression“

5.4.1.4 Multiple

Der Prognosewert \hat{S} errechnet sich unter der Verwendung des Multiple-Modells durch die Multiplikation des letzten Istwerts der Vorgänger-Isochrone mit einem Faktor, der sich aus den Multiples (M_1 - M_4) ergibt. Diese Multiples ergeben sich aus der Division des WRI der betrachteten Isochrone durch den WRI der Vorgänger-Isochrone.

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	MnSOP
	108,1	106,6	109,2	101,3	103,8	103,4	94,3	85,5	92,8	83,7	132,7	132,3	IST-Wert (2)
	101%	100%	98%	98%	97%	96%	100%	100%	101%	97%	95%	99%	(1)/(2)
24 MIS	109,6	106,4	107,1	99,6	100,7	99,2	94,6	85,6	93,8	81,4	126,6	131,3	Prognosewert (1)
23 MIS	101,9	98,9	99,5	92,6	93,7	92,2	88,0	79,6	87,2	75,7	117,7	122,1	
22 MIS	94,8	92,6	93,1	86,7	87,6	86,3	82,3	74,5	81,6	70,8	110,1	114,2	
21 MIS	88,8	86,2	86,7	80,7	81,6	80,5	76,6	69,3	75,9	65,9	102,5	106,3	
20 MIS	81,9	80,4	80,0	74,6	75,4	74,9	70,9	64,1	70,2	60,9	94,8	98,3	
19 MIS	76,4	73,9	74,9	68,1	70,1	69,0	65,8	59,5	65,2	56,6	88,1	91,3	
18 MIS	M_1	M_2	M_3	M_4	63,5	60,5	54,7	59,9	52,0	80,9	83,9		
17 MIS	63,7	63,7	63,5	56,4	58,7	57,2	55,1	49,8	54,6	47,3	73,7	76,4	
16 MIS	57,7	56,7	58,9	51,5	52,2	52,5	49,5	45,3	49,6	43,0	67,0	69,4	
15 MIS	52,0	50,8	52,3	47,1	47,9	46,8	45,0	40,1	44,4	38,5	60,0	62,2	
14 MIS	45,2	45,2	47,2	40,5	42,8	42,2	39,6	36,4	39,5	34,0	52,9	54,9	
13 MIS	40,2	39,2	41,6	35,8	37,0	37,8	35,7	31,8	35,2	29,7	46,8	48,6	
12 MIS	34,7	34,9	35,6	31,7	32,3	32,5	32,1	28,4	30,7	26,6	41,0	42,4	
11 MIS	29,3	30,0	31,3	26,5	28,5	28,4	27,1	25,6	27,4	23,0	35,0	36,4	
10 MIS	25,9	25,3	26,7	22,7	23,9	24,9	23,2	22,1	24,5	20,5	27,9	31,6	
9 MIS	22,1	22,3	21,8	19,3	20,1	20,7	20,1	18,9	20,8	18,2	22,6	26,2	
8 MIS	18,1	19,0	18,6	15,8	16,9	17,3	16,1	16,0	17,5	14,6	18,4	21,5	
7 MIS	14,7	15,1	15,5	13,3	13,3	14,1	13,3	12,7	14,6	12,0	13,2	17,7	
6 MIS	11,7	12,1	11,6	10,7	11,0	10,4	10,0	9,8	10,6	9,5	9,2	12,9	
5 MIS	7,8	9,2	8,7	7,7	8,1	7,8	7,4	7,0	7,6	7,0	7,6	9,2	
4 MIS	4,6	5,7	6,0	5,2	4,4	4,6	4,4	4,1	4,4	4,0	4,4	5,1	
3 MIS	1,9	2,9	3,0	2,6	2,2	2,4	2,3	2,1	2,4	2,0	2,4	2,9	
2 MIS	0,5	0,5	0,8	0,5	1,1	1,0	0,9	0,8	0,9	0,7	0,8	1,0	
1 MIS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

$$\hat{S} = S_1 \times \text{Median}(M_1, M_2, M_3, M_4)$$

Für das Modell Multiple (Median) ist statt dem Median der Mittelwert zu verwenden

Daten Originalfahrzeug
Prognosewerte Multiple (Median)

Abbildung 62: Berechnungsmethodik Modell „Multiple (Median)“

5.4.2 Validierungsergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Modellvalidierung näher beschrieben und diskutiert. Aufgrund der vorhandenen Daten konnten die Prognosemodelle nur in der Basisversion – ohne bewertete Änderungen – validiert werden.

Für die Darstellung der Prognosegenauigkeit wurde der relative Prognosefehler gewählt, welcher sich mithilfe folgender Formel berechnen lässt:

$$\text{relativer Prognosefehler} = \frac{\text{Istwert} - \text{Prognosewert}}{\text{Istwert}}$$

Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung der Multiples wird der Median und nicht der Mittelwert als Schätzer gewählt. Weiters werden für die Validierung zwei Bereiche berücksichtigt. Einerseits jener Bereich in dem sowohl Daten des Referenzfahrzeugs als auch Daten des Originalfahrzeugs für die Prognose verwendet werden (Bereich 1). Andererseits wurde jener Bereich berücksichtigt, in dem nur Daten des Originalfahrzeugs verwendet werden (Bereich 2).

Der Übergang von den Daten des Referenzfahrzeugs zu den Daten des Originalfahrzeugs wird als Bruchpunkt bezeichnet und mit der zugehörigen Isochrone angegeben.

Die Abbildungen 63 und 64 zeigen die Prognosegenauigkeit im Bereich 1. Hier ist der Strukturbruch in der Verwendung der Daten nach 18 bzw. 12 Monaten deutlich zu erkennen.

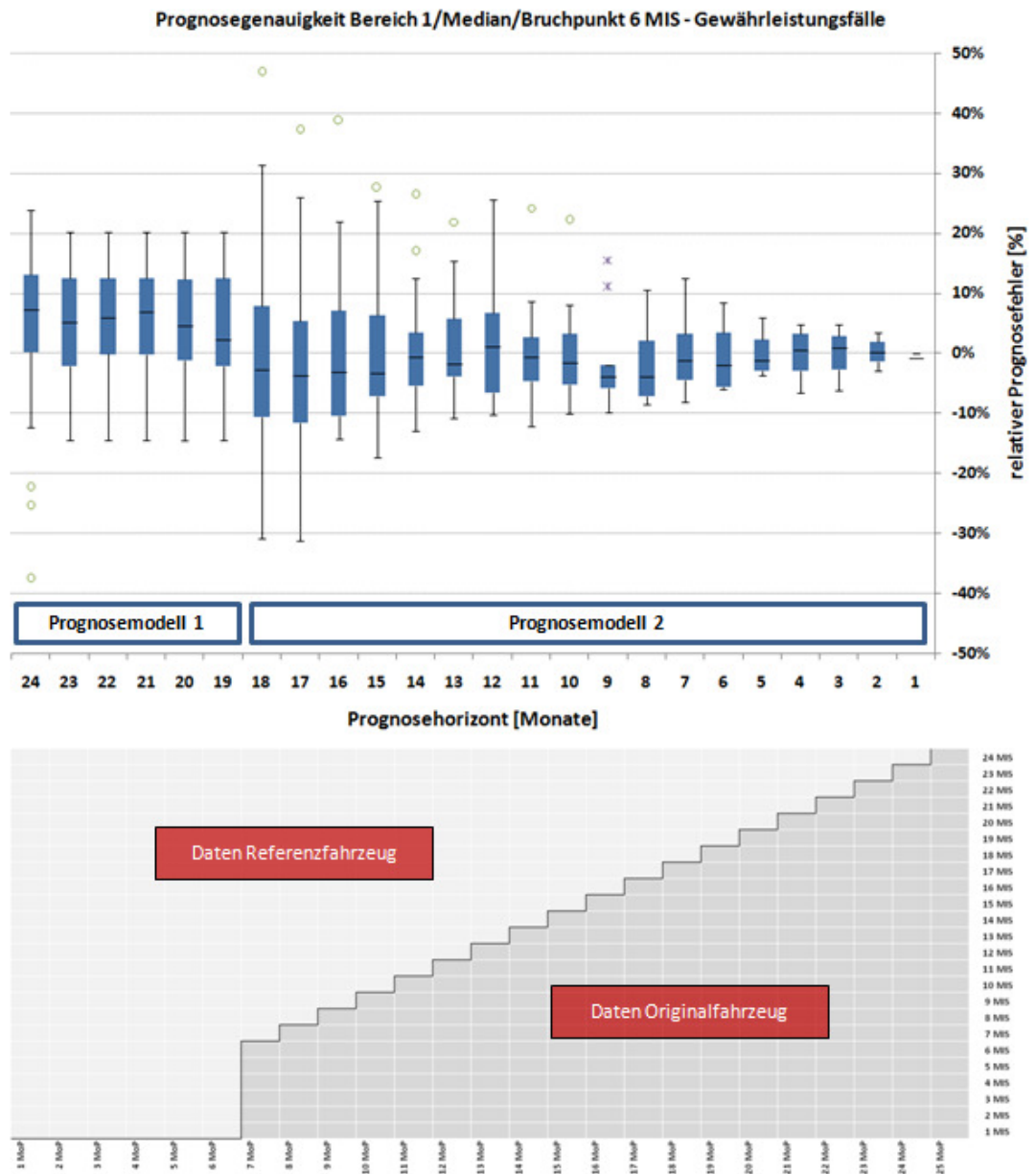


Abbildung 63: Prognosegenauigkeit Bereich 1/Median/Fälle/Bruchpunkt 6 MIS

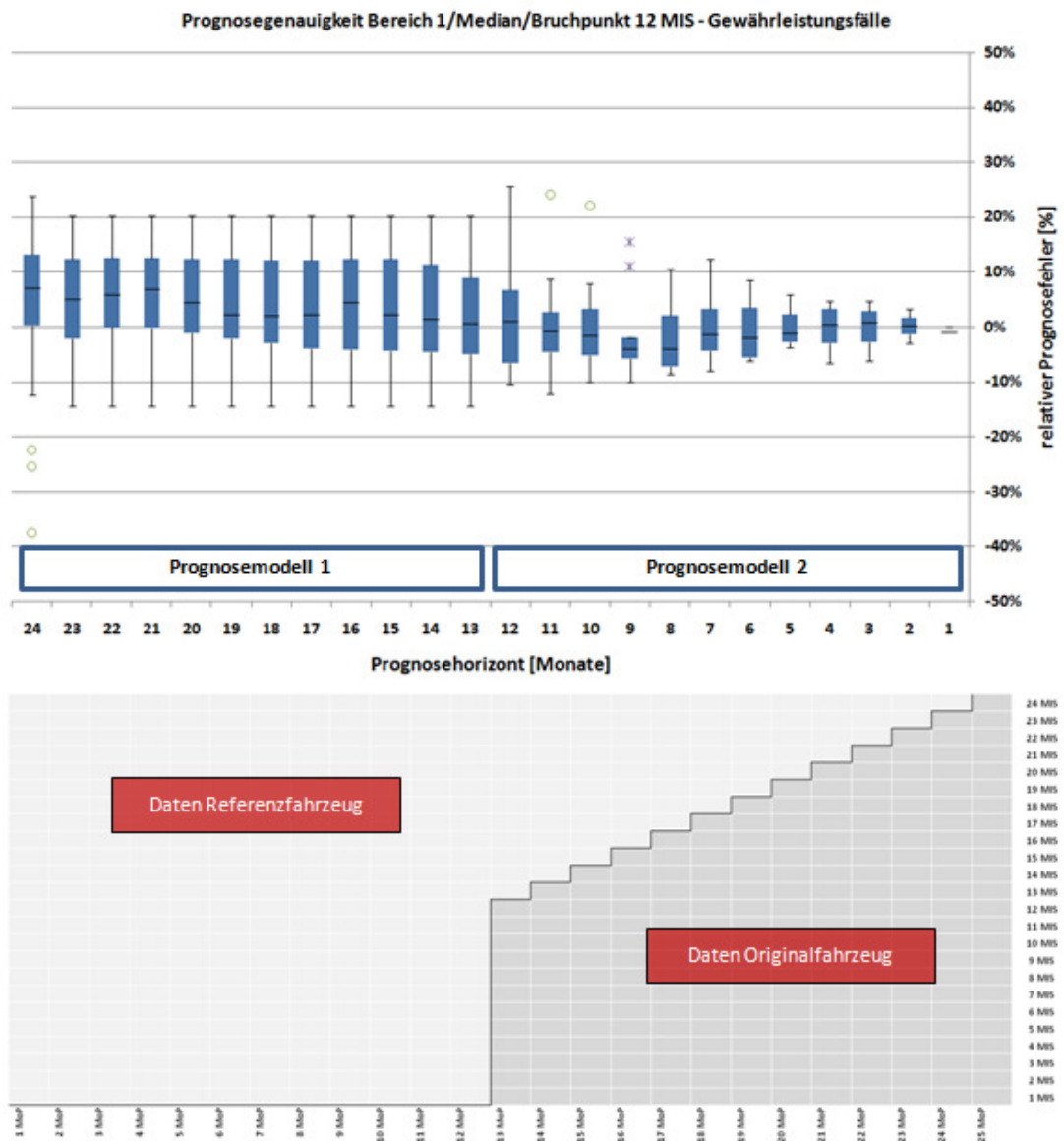


Abbildung 64: Prognosegenauigkeit Bereich 1/Median/Fälle/Bruchpunkt 12 MIS

Das Prognosemodell im Bereich 2 basiert zur Gänze auf Daten des Originalfahrzeugs und ist bei der Betrachtung eines Gewährleistungszeitraums von 24 Monaten somit frühestens ab dem 25. Produktionsmonat anwendbar. Nachstehende Abbildungen zeigen die Prognosegenauigkeit für die Warranty Risk Indicators Gewährleistungsfälle und –kosten pro Fahrzeug.

Sowohl bei den Gewährleistungsfällen als auch bei den –kosten ist bis zu einem Prognosehorizont von 18 Monaten eine stabile Prognose möglich. In diesem Bereich liegt der Median nahe dem Istwert und die Streuung ist relativ gering. Betrachtet man jedoch die Ergebnisse mit einem Prognosehorizont über 18 Monaten, so zeigt sich eine immer größer werdende Streuung der Prognosegenauigkeit womit keine verlässliche Prognose mehr möglich ist. Weiters zeigt sich, dass die Streuung im Falle der Gewährleistungskosten deutlich höher ist als bei den Gewährleistungsfällen.

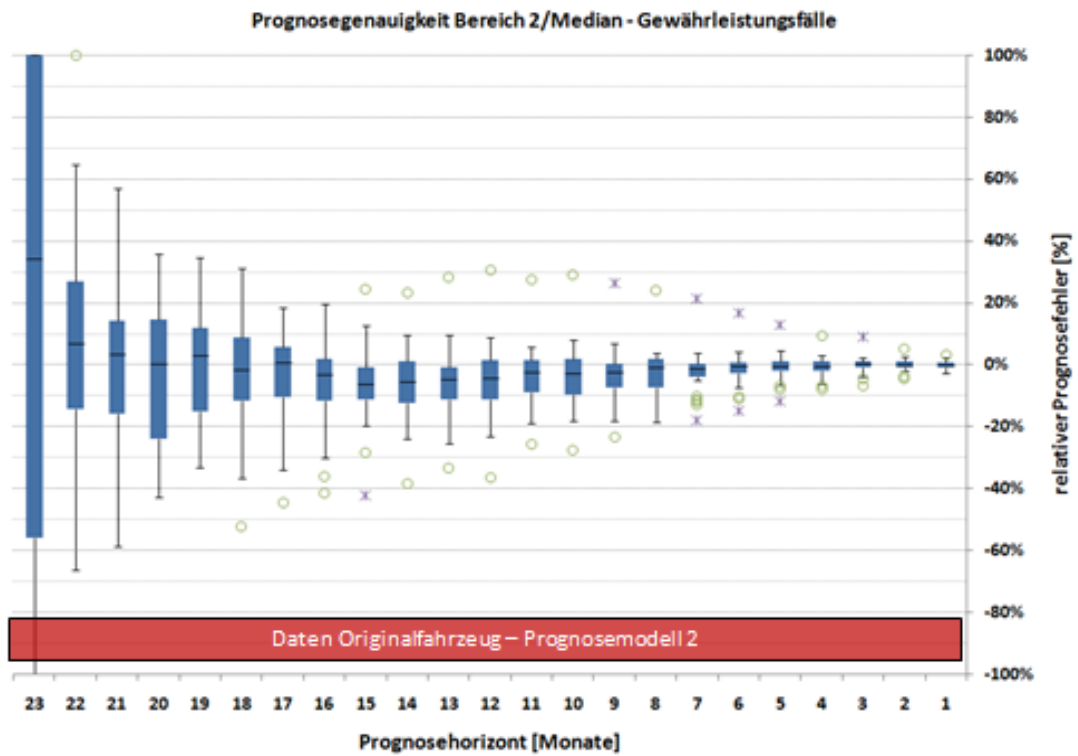


Abbildung 65: Prognosegenauigkeit Bereich 2/Median/Fälle

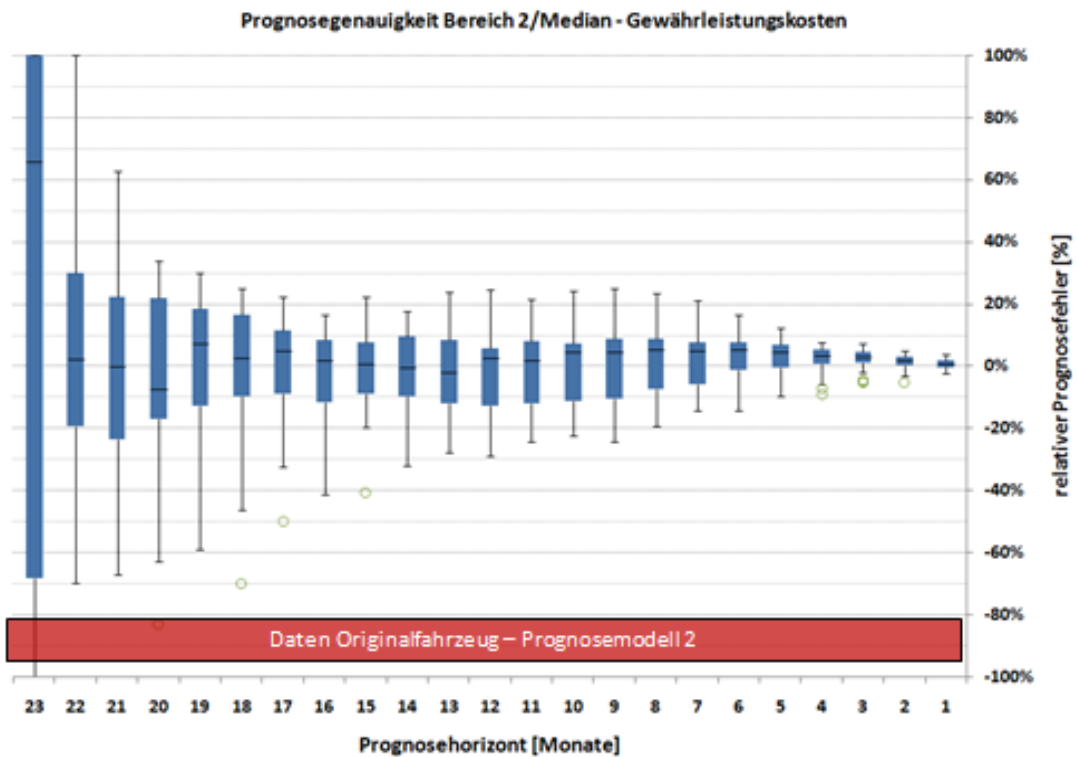


Abbildung 66: Prognosegenauigkeit Bereich 2/Median/Kosten

5.5 Vergleich der Prognosemodelle

Im Nachfolgenden werden ausgewählte Prognosemodelle aus der Literatur mit den im Rahmen der vorliegenden Arbeit aussichtsreichsten Modellen vergleichend dargestellt. Der Vergleich basiert auf Daten des Originalfahrzeugs im eingeschwungenen Zustand. Die angegebene Prognosegenauigkeit wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Prognosegenauigkeit [\%]} = \left(\frac{\text{Prognosewert}}{\text{Istwert}} - 1 \right) \times 100$$

Für die Darstellung wurden der Median, das 0,9-Quantil und das 0,1-Quantil aus 24 Einzelwerten pro betrachteten Prognosehorizont gewählt. Nachstehende Grafik zeigt die Prognosegenauigkeit der Gewährleistungsfälle in Abhängigkeit des Prognosehorizonts für die ausgewählten Verfahren. Bis zu einem Prognosehorizont von 12 Monaten entwickeln sich die Modelle ähnlich. Danach erhöht sich die Ungenauigkeit vor allem bei den Prognosemodellen lineare Regression, Robinson/McDonald und Multiple (Mittelwert). Diese Modelle prognostizieren eine höhere Anzahl an Gewährleistungsfällen als tatsächlich anfallen werden. Das Chain-Ladder-Verfahren zeigt ab einem Prognosehorizont von 18 Monaten ein sehr volatiles Verhalten. Das im Rahmen der Dissertation erarbeitete Multiple-Verfahren mit dem Median als Schätzer liefert die genaueste Prognose über die zu erwartenden Gewährleistungsfälle.

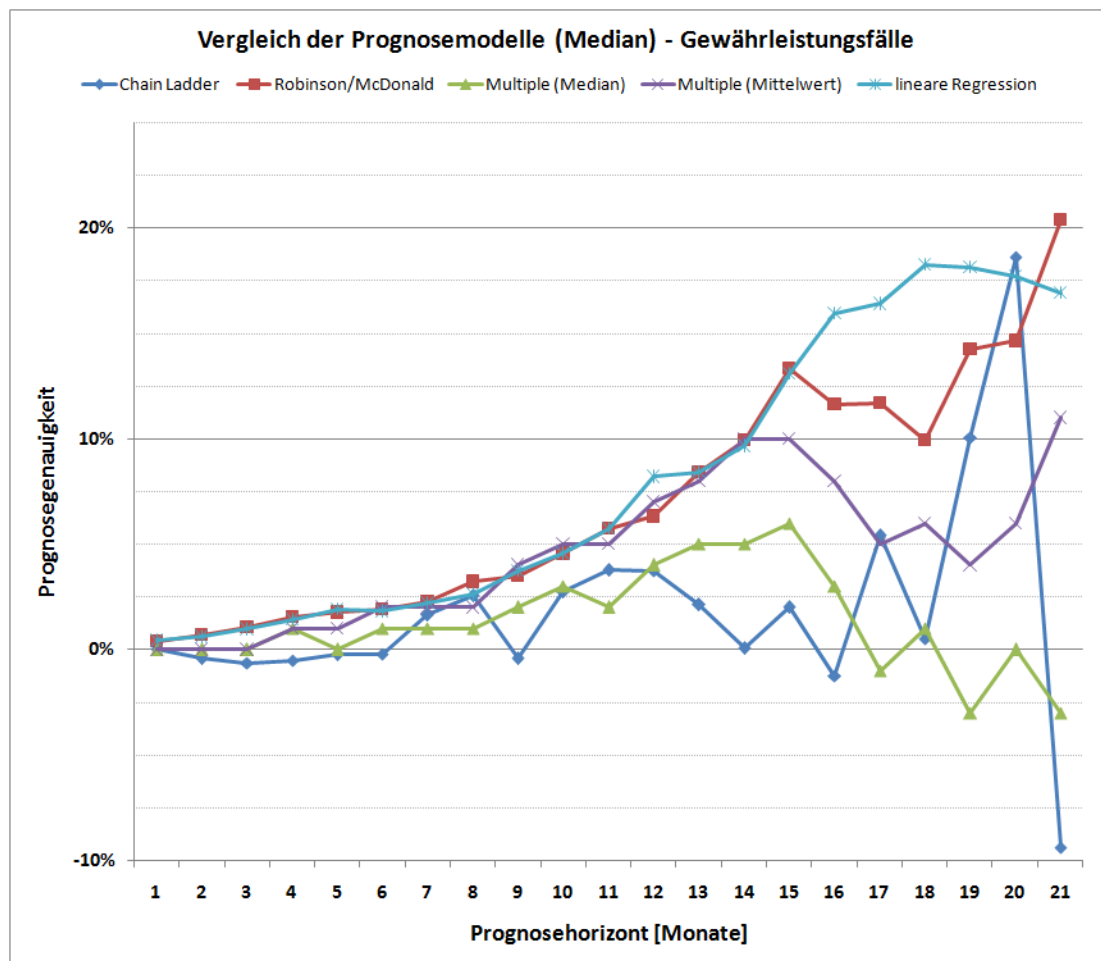


Abbildung 67: Vergleich der Prognosemodelle – Gewährleistungsfälle (Median)

Um auch Aussagen über das Konfidenzniveau der Prognosegenauigkeit zu erhalten, sind in den nachfolgenden Grafiken das 0,1- und 0,9-Quantil dargestellt.

Bei der Betrachtung des 0,1-Quantils der Prognosegenauigkeit kann man eine deutlich schlechtere Performance des Chain-Ladder-Verfahrens erkennen. Die anderen Modelle entwickeln sich bis zu einem Prognosehorizont ähnlich. Danach zeigt sich ein Abfall bei den Multiple-Verfahren. Die Modelle Robinson/McDonald und lineare Regression liefern in diesem Bereich die genauesten Prognosen.

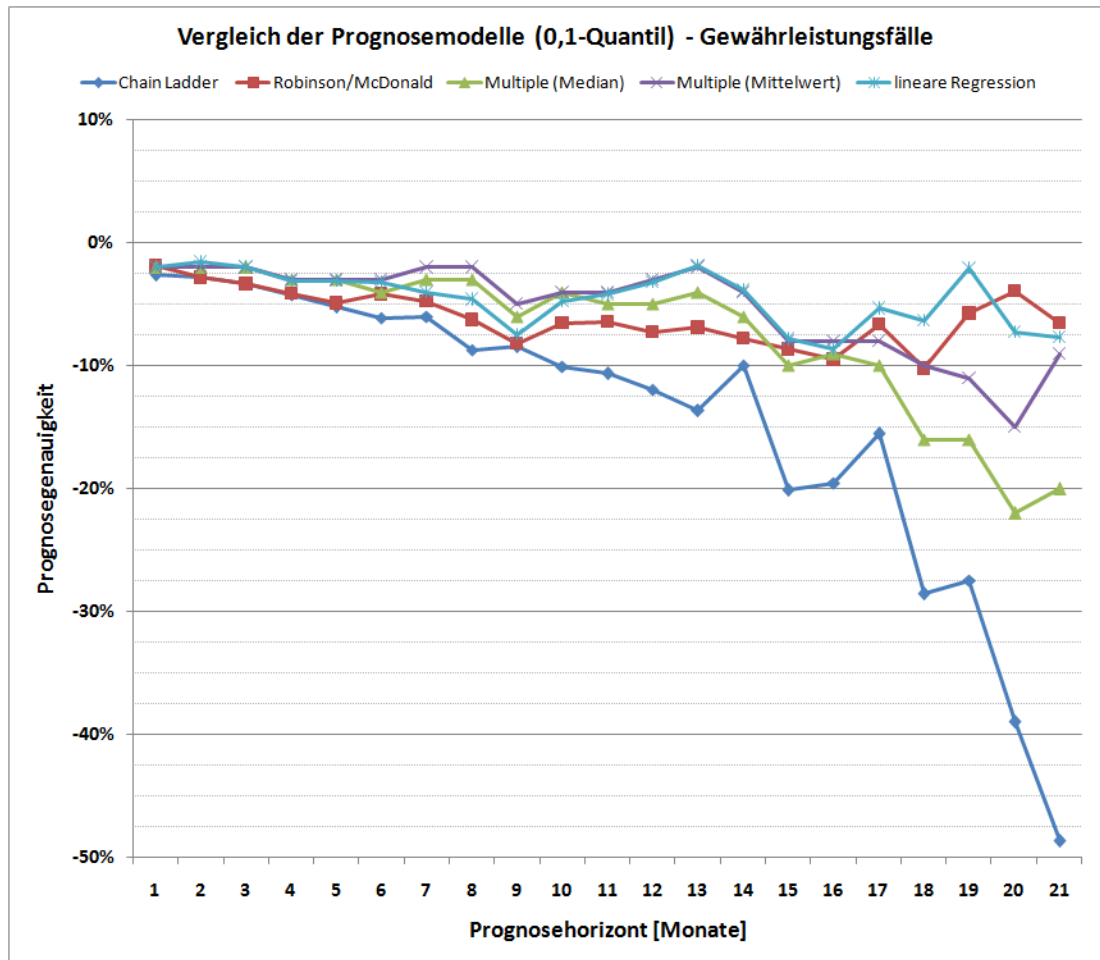


Abbildung 68: Vergleich der Prognosemodelle – Gewährleistungsfälle (0,1-Quantil)

Der Vergleich des 0,9-Quantils zeigt wiederum eine schlechte Performance des Chain-Ladder-Verfahrens und eine ähnliche Entwicklung der anderen Prognosemodelle. Im Gegensatz zum 0,1-Quantil weisen hier aber die Multiple-Verfahren und vor allem jenes mit dem Median als Schätzer ab einem Prognosehorizont von 12 Monaten deutlich bessere Ergebnisse auf.

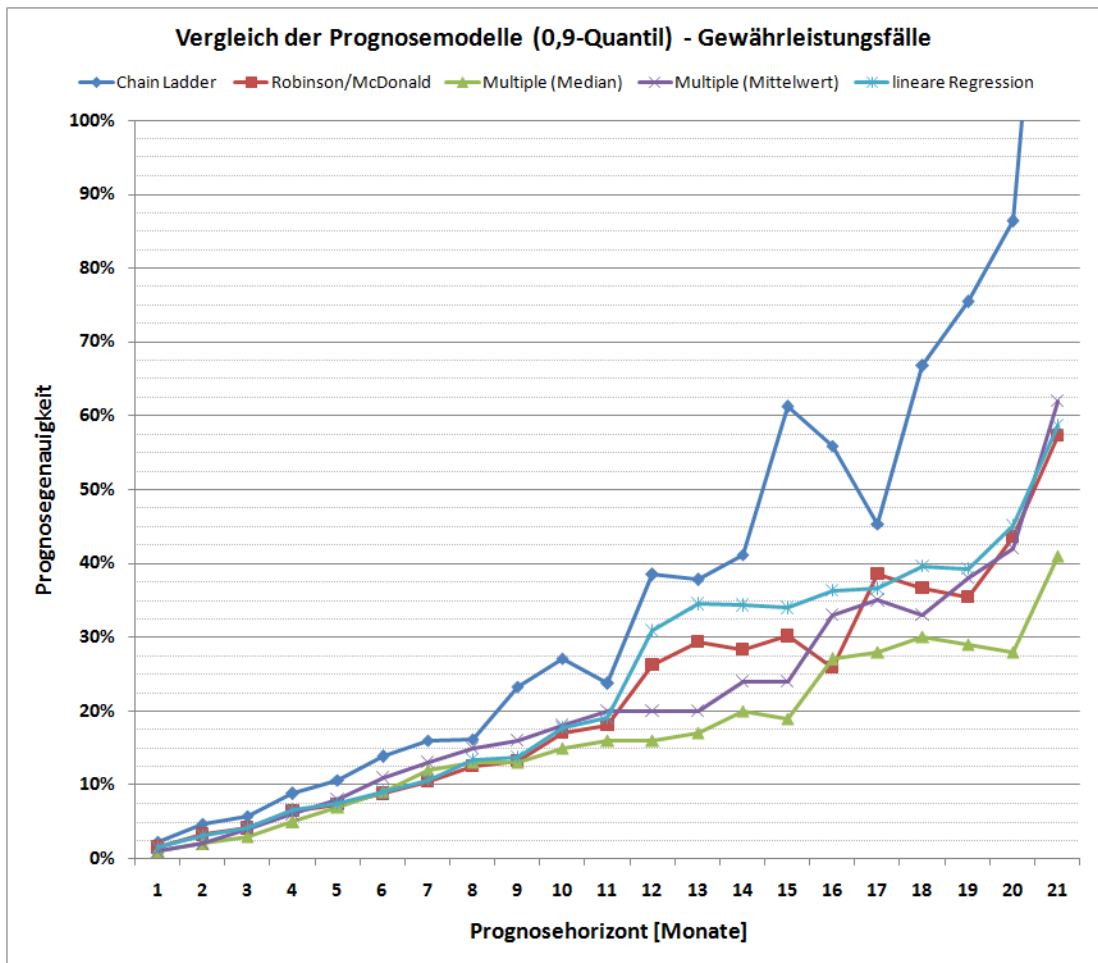


Abbildung 69: Vergleich der Prognosemodelle – Gewährleistungsfälle (0,9-Quantil)

Der Vergleich der einzelnen Modelle hat gezeigt, dass die Prognosegenauigkeit mit zunehmendem Prognosehorizont deutlich abnimmt und sich die Streuung der Werte deutlich erhöht. Das Chain-Ladder-Verfahren schneidet aufgrund der hohen Streuung mit Abstand am schlechtesten ab. Die Modelle Robinson/McDonald, lineare Regression, Multiple (Median) und Multiple (Mittelwert) zeigen eine ähnliche Charakteristik, wobei die Multiple-Modelle eine höhere Treffsicherheit und eine niedrigere Streuung der Prognosewerte aufweisen.

6 Phasenspezifisches Vorgehensmodell

Basierend auf den in den Kapiteln 3-5 beschriebenen Ergebnissen wurde ein phasenspezifisches Vorgehensmodell erarbeitet. Dieses Vorgehensmodell soll einem Generalunternehmer für Entwicklung und Produktion von Gesamtfahrzeugen unterstützen, das Gewährleistungsrisiko beginnend von der Angebotsphase bis hin zur Serienproduktion zu bewerten.

Nachfolgende Grafik veranschaulicht das Vorgehensmodell, welches im Nachfolgenden näher beschrieben wird.



Abbildung 70: Phasenspezifisches Vorgehensmodell

6.1 Festlegung des GW-Kooperationsmodells

Nachdem in der Initial-Phase vom Automobilhersteller die Entscheidung getroffen wurde ein neues Fahrzeug auf den Markt zu bringen, führt dieser in der Regel eine Make-or-Buy-Bewertung durch und stößt damit den Angebotsprozess bei einem Generalunternehmer für Fahrzeugentwicklung und Fahrzeugproduktion an.

Im Zuge des Angebotsprozess müssen sämtliche projektrelevanten Inhalte – wie beispielsweise Beauftragungsumfang, Projektlaufzeit, Stückzahlen, etc. – soweit wie möglich abgestimmt werden, damit der Generalunternehmer dem potentiellen Auftraggeber ein fundiertes Angebot unterbreiten kann.

Bereits in dieser frühen Phase ist es wichtig, dass auch ein grundlegendes Kooperationsmodell im Bereich der Gewährleistung festgelegt wird. In Kapitel 3 der vorliegenden Arbeit wurden folgende in der Praxis bereits angewandte Modelle hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile untersucht:

- Anreizmodell
- Verursacher-Modell
- Keine bzw. pauschalierte GW-Verantwortung

und ein allgemeines Modell mit vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten abgeleitet.

Bei der Auswahl des passenden Kooperationsmodells sollen unter anderem folgende Bewertungskriterien unterstützen:

- Bisherige Erfahrungen mit dem Auftraggeber und dem Produkt
- Zugriff auf Felddaten (Basis für Produktverbesserung)
- Möglichkeit der Einsteuerung von Gleichteilthemen
- Steuerung des Produktverbesserungsprozesses
- GWK- Prognosemöglichkeiten
- Beauftragungsumfang
 - Produktion
 - Logistik
 - Entwicklung
 - Lieferantenmanagement
 - Konzeptverantwortung
 - Weiterentwicklung

Abbildung 71 gibt einen Überblick über die Gestaltungsmöglichkeiten des allgemeinen GW-Kooperationsmodells.

Messgröße	Kosten pro Fahrzeug	Fälle pro Fahrzeug	---
Zielwert	absolut	relativ	---
Referenz	keine	Fahrzeug XY	---
Produktionszeitraum	von 12 MnSOP	bis EOP	---
Fahrzeugnutzungsdauer	von 6 MIS	bis 24 MIS	---
Teileumfang	Neuteile	Synergieteile	Gleichteile
Downside Risk-Faktor p^*	p Auftragnehmer	$1-p$ Auftraggeber	---
Upside Risk-Faktor q^*	q Auftragnehmer	$1-q$ Auftraggeber	---

* $p < [0,1]$, $q < [0,1]$

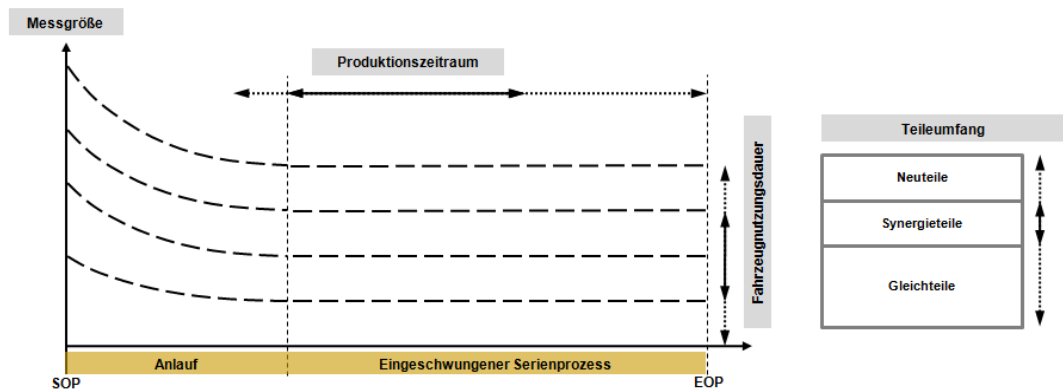


Abbildung 71: Allgemeines GW-Modell

6.2 Durchführung der Risikoanalyse & -bewertung

Nach der Festlegung bzw. Konzeption des GW-Kooperationsmodells müssen sowohl der Auftragnehmer als auch der Auftraggeber das Gewährleistungsrisiko analysieren und bewerten. Da ein Fahrzeug in der Regel nicht zu hundert Prozent neu entwickelt wird, sondern zum größten Teil auf einem Vorgängermodell basiert, empfiehlt sich für eine erste Annäherung die Gewährleistungsdaten des Vorgängermodells zu übernehmen und mit Hilfe von Risikoauf- bzw. abschlägen etwaige Änderungen zu berücksichtigen.

In Kapitel 3 wurde gezeigt, wie das Gewährleistungsrisiko mittels mehrfaktorieller Varianzanalyse bewertet werden kann. Hierzu müssen in einem ersten Schritt die Effekte und Wechselwirkungen der globalen Einflussfaktoren aus den Referenzdaten ermittelt und in einem mathematischen Modell abgebildet werden. Danach werden die Änderungen dieser Einflussfaktoren abgeschätzt und mit Hilfe des Modells die Auswirkung auf das Gewährleistungsrisiko bewertet. Da in dieser frühen Phase die Fahrzeugarchitektur noch nicht feststeht, macht die Bewertung des Gewährleistungsrisikos lediglich auf der Ebene Gesamtfahrzeug Sinn.

Nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Vorgehensweise.

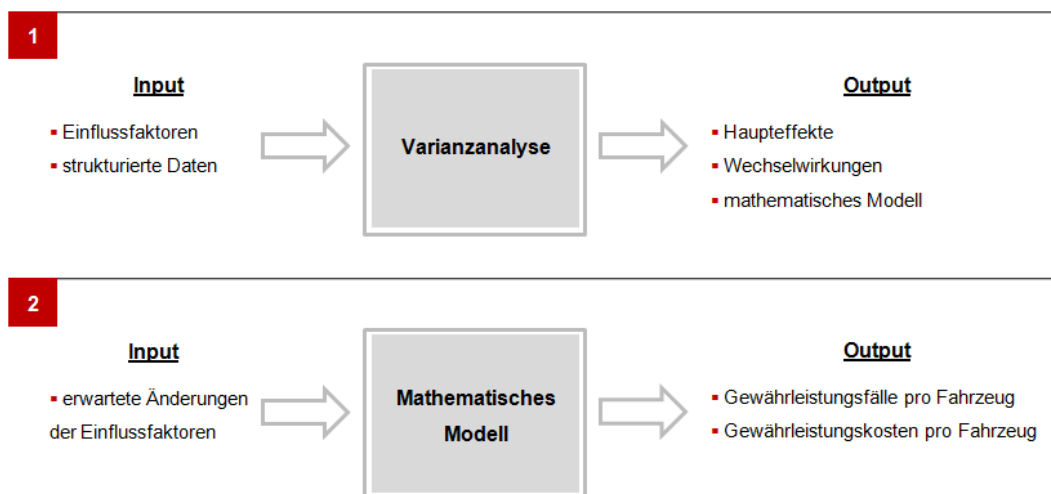


Abbildung 72: Initiale quantitative Risikobewertung

Die Qualität der Risikobewertung ist stark von der Qualität der verwendeten Datenbasis abhängig.

6.3 Definition des Gesamtfahrzeugzielwerts

Die Definition des Gesamtfahrzeugzielwerts erfolgt in der Regel in mehreren Verhandlungsschleifen zwischen dem Fahrzeughersteller und dem Generalunternehmer.

Der Auftraggeber verfügt mit den Daten des Vorgängerfahrzeugs über eine sehr gute Basis und damit über einen gewissen Informationsvorsprung gegenüber dem Auftragnehmer. Dem Auftragnehmer stehen diese Daten aus verhandlungstaktischen Gründen für gewöhnlich nicht zur Verfügung und dieser kann das Gewährleistungsrisiko nur mit anderen Fahrzeugdaten quantifizieren. Dabei kann es unter anderem zu markenspezifischen und fahrzeugspezifischen Unschärfen kommen.

Untersucht man beispielsweise die Fahrzeugdaten eines anderen Herstellers, so hat das zur Folge, dass Unterschiede in der Servicequalität (z.B. schnelle und richtige Fehlerdiagnose sowie Fehlerbehebung) nicht berücksichtigt werden.

Weitere Einflussfaktoren im Rahmen der Verhandlungen sind auf Seiten des Auftraggebers die Unternehmensstrategie und die daraus abgeleiteten Ziele sowie auf Auftragnehmerseite einschlägige Marktanalysen hinsichtlich der Produktqualität.

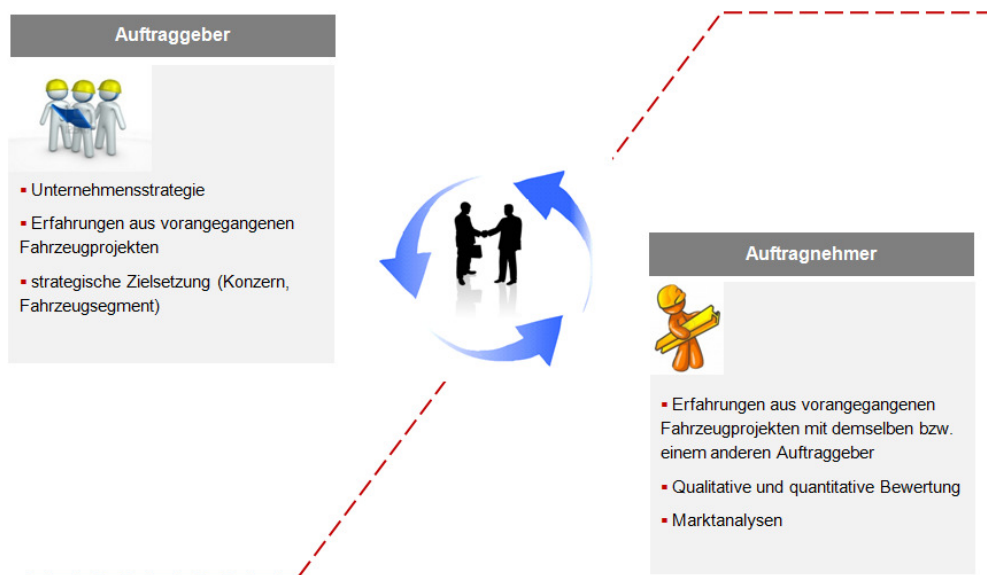


Abbildung 73: Festlegung des Gesamtfahrzeugzielwerts

Die Verhandlungsrunden zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer erweisen sich in der Praxis als sehr schwierig und werden oftmals erst nach der erfolgten Entscheidung zur Projektumsetzung beendet.

6.4 Festlegung des Konzeptmengerüsts

Im Zuge der Konzeptphase muss des Weiteren das Mengerüst festgelegt werden. Hierzu werden alle benötigten Einzelteile in die Kategorien

- Gleichteil
- Synergieteil
- Neuteil

unterteilt.⁶⁵

Ein Gleichteil ist ein Einzelteil, das unverändert vom Referenzfahrzeug übernommen wird. Dabei bleiben sämtliche Parameter, die einen Gewährleistungsfall auslösen können, wie zum Beispiel die Konstruktion, das verwendete Material sowie die Produktions- und Montageprozesse, unverändert. Unter einem Synergie- oder auch Änderungsteil versteht man ein Einzelteil bei dem mindestens ein gewährleistungsrelevanter Parameter verändert wurde, aber weiterhin eine Ähnlichkeit zu dem Referenzteil besteht. Liegt weder ein Gleich- noch ein Synergieteil vor, so handelt es sich um ein Neuteil.⁶⁶

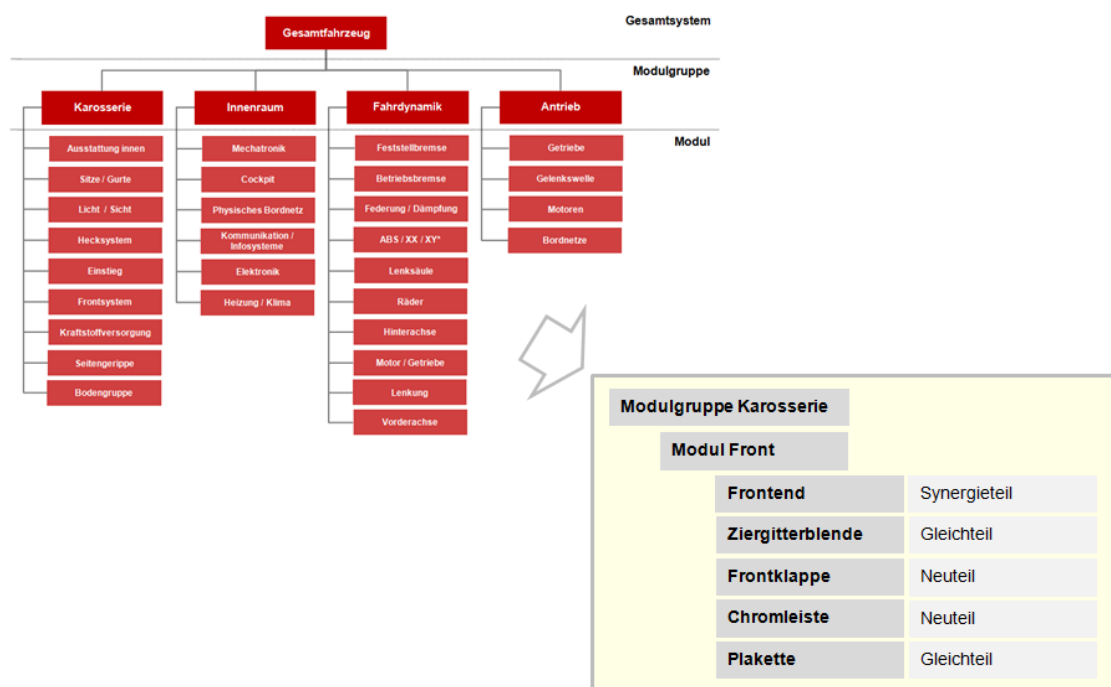


Abbildung 74: Festlegung des Konzeptmengerüsts

⁶⁵ Unter Einzelteil versteht man das kleinste einer Reparatur zugängliche Element einer übergeordneten Produktkomponente. Das Aggregationsniveau ist frei wählbar und hat wesentlichen Einfluss auf die Wirksamkeit der Controllingaktivitäten sowie den Analyse- und Datenerhebungsaufwand. vgl. (Jander, 2004, S. 113)

⁶⁶ vgl. (Jander, 2004, S. 114)

6.5 Definition der Zielwerte auf Modulebene

Um das Gewährleistungsrisiko möglichst effektiv steuern zu können, werden im weiteren Verlauf der Konzeptphase Zielwerte auf Modulebene definiert. Hierzu wird der Gesamtfahrzeugzielwert unter der Berücksichtigung der zuvor festgelegten Klassifizierung sowie vorhandener Erfahrungswerte auf die einzelnen Module und Einzelteile heruntergebrochen.

Nachstehende Abbildung zeigt exemplarische Zielwerte für die Ebenen Gesamtfahrzeug, Modulgruppe und Modul. Das Gesamtfahrzeug hat demnach einen Zielwert von 2 Fehler pro Fahrzeuge, welcher sich wie folgt auf die Modulgruppen aufteilt: Karosserie: 0,8 / Innenraum: 0,6 / Fahrdynamik: 0,2 / Antrieb: 0,4.

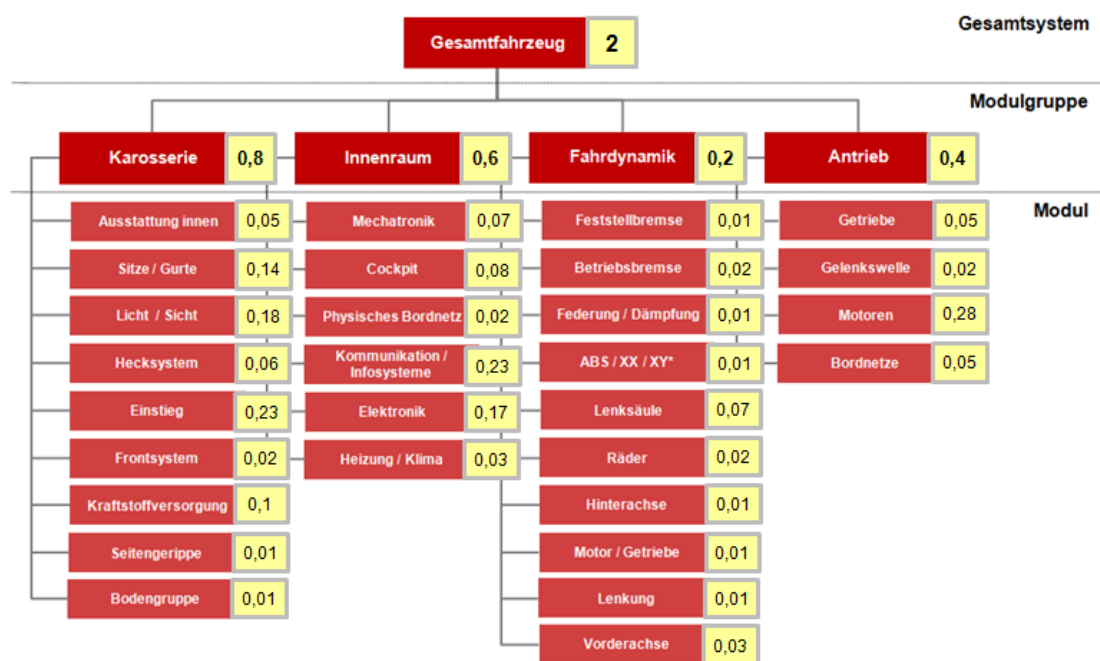


Abbildung 75: Ableitung des Gesamtfahrzeugzielwerts auf die Fahrzeugmodule

6.6 Durchführung der PEP-Prognose

Die PEP-Prognose ist ein wichtiges Instrument um den aktuellen Status der zu erwartenden Gewährleistungsfälle und –kosten abzufragen. Sie sollte im Zuge der Serienentwicklung regelmäßig und zu bestimmten Meilensteinen durchgeführt werden.

Nachfolgende Grafik beschreibt die Bewertungsmethodik näher.

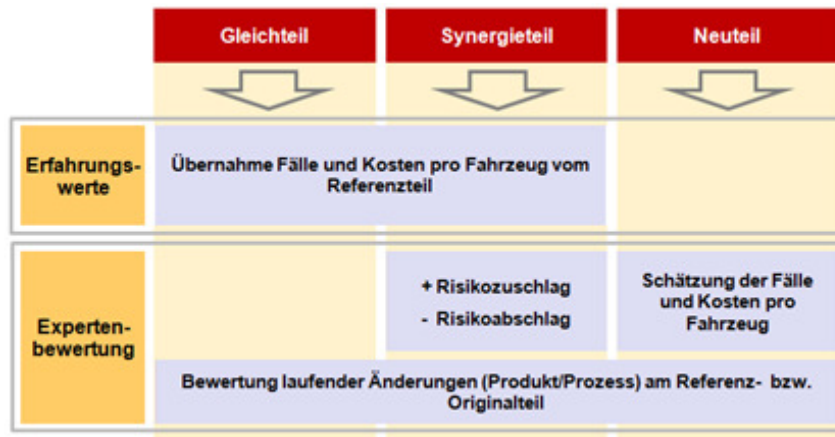


Abbildung 76: Bewertungsmethodik im Produktentstehungsprozess⁶⁷

6.7 Definition von Maßnahmen zur Zielerreichung

Die im Rahmen der PEP-Prognose erlangten Prognosewerte werden anschließend den Zielwerten gegenübergestellt. Ist der Prognosewert über dem Zielwert, muss die Ursache für die Abweichung analysiert sowie Maßnahmen zur Zielerreichung ausgearbeitet und wirtschaftlich bewertet werden.

6.8 Entwicklung und Validierung des Serienprognosemodells

Der nächste wichtige Schritt um das Gewährleistungsrisiko entlang der gesamten Prozesskette beginnend mit der Angebotsphase über die Serienentwicklung bis hin zur Serienproduktion abzuschätzen, ist die Entwicklung eines validen Serienprognosemodells.

Basierend auf Referenzdaten eines möglichst ähnlichen Fahrzeugs, im Idealfall sind das jene des Vorgängermodells, werden umfangreiche statistische Analysen durchgeführt, um Eigenschaften in der Datenstruktur zu finden, die es erlauben das Gewährleistungsrisiko in Form von Gewährleistungsfällen und Gewährleistungskosten pro Fahrzeug zu prognostizieren.

Dazu können unter anderem folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

- Korrelationsanalysen
- Analyse der Fehler- und Kostenstruktur
- Analyse der inkrementellen Zuwächse
- Analyse des Zulassungsverzugs

Des Weiteren gilt es den Einschwingvorgang zu Beginn der Fahrzeugproduktion sowie die Datenverfügbarkeit des betrachteten Fahrzeugs zu berücksichtigen.

⁶⁷ vgl. (Jander, 2004, S. 115)

Anschließend wird das entwickelte Serienprognosemodell hinsichtlich seiner Genauigkeit validiert. Hierbei ist es wichtig, nicht jene Daten zu verwenden, welche auch für die Entwicklung des Modells verwendet wurden.

6.9 Anwendung des Serienprognosemodells

Das validierte, einsatzfähige Prognosemodell fungiert in der Phase der Serienproduktion als zentraler Bestandteil eines Frühwarnsystems, mit dessen Hilfe das Risiko einer Zielwertüberschreitung in den nächsten Monaten quantifizierbar wird. Damit kann das Prognosemodell einen wesentlichen Beitrag zur Beschleunigung des Fehlerabstellprozesses leisten.

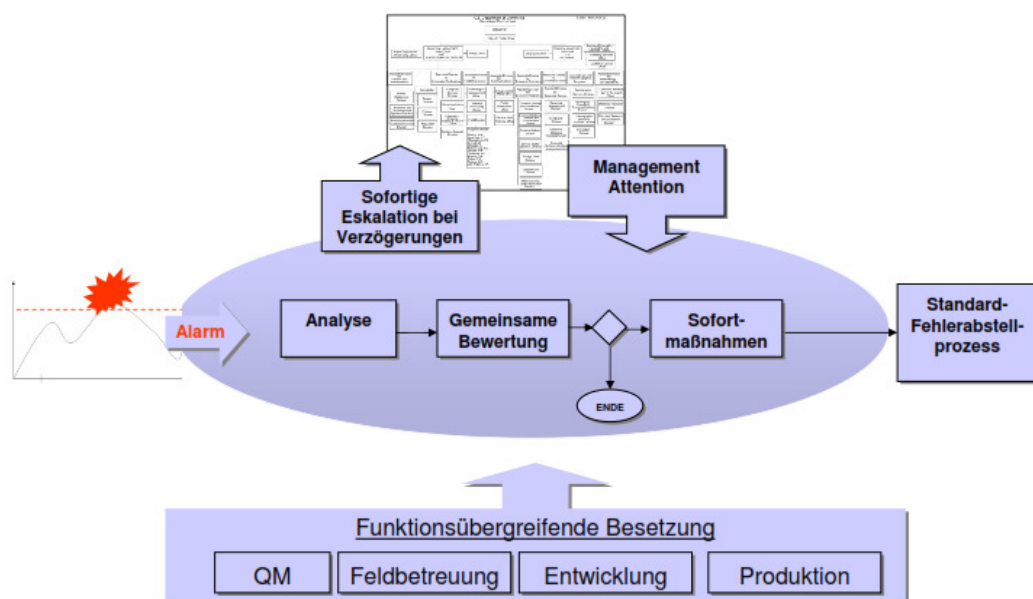


Abbildung 77: Beispiel Prozessablauf Frühwarnsystem⁶⁸

Ein weiterer, finanzwirtschaftlicher Nutzen des Prognosemodells ist eine fundierte Bewertung der Gewährleistungsrückstellungen.

⁶⁸ vgl. (Schwarz, 2008)

7 Zusammenfassung & Ausblick

Ausgehend von der Frage wie man das Gewährleistungsrisiko aus Sicht eines Generalunternehmers für die Entwicklung und Produktion von Gesamtfahrzeugen bewerten kann, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit zahlreiche Analysen durchgeführt, mit dem Ziel quantitative Modelle zur Risikoabschätzung zu entwickeln. Nachfolgend werden die wesentlichsten Ergebnisse zusammenfassend dargestellt.

Da das Gewährleistungsrisiko für einen GU maßgeblich von den vertraglichen Vereinbarungen mit dem Auftraggeber abhängt, wurden in einem ersten Schritt mögliche Kooperationsmodelle mit unterschiedlichem Verantwortungsumfang im Bereich der Gewährleistung beschrieben und qualitative Faktoren aufgezeigt, die den Auswahlprozess unterstützen sollen. Darüber hinaus wurde ein generisches Modell mit einer Vielzahl an Parametern formuliert, welches eine flexible Anpassung an die Kundenwünsche ermöglicht.

In weiterer Folge wurde ein Bewertungsmodell für die Angebotsphase entwickelt. Dieses Modell basiert im Wesentlichen auf den Ergebnissen einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse. So wurde gezeigt, dass das Gewährleistungsrisiko unter anderem davon abhängt, ob es sich um einen Kleinwagen oder SUV handelt, in welchem Land das Fahrzeug zugelassen ist und welche Motorisierungsvariante das Fahrzeug besitzt. Sind die Ausprägungen dieser globalen Einflussfaktoren für das zukünftige Fahrzeugprojekt bekannt, kann man das Gewährleistungsrisiko frühzeitig quantitativ abschätzen. Mit Hilfe von Detailanalysen wurden weitere Erkenntnisse gewonnen, die bei einer Bewertung des Gewährleistungsrisikos hilfreich sind. Beispielsweise wurde gezeigt, dass die untersuchten Saugmotoren im Vergleich zu aufgeladenen Motoren ein niedrigeres Gewährleistungsrisiko aufweisen und dass das Kulanzverhalten bzw. die Fehlersensibilität der Kunden in den untersuchten Ländern ein unterschiedliches Verhalten aufweist.

Des Weiteren wurden Felddaten eines ausgewählten Fahrzeugs für Korrelationsanalysen sowie für die Analyse der Fehler- und Kostenstruktur herangezogen. Basierend auf den Ergebnissen entstand ein kausalanalytisches Instrument zur Vorhersage von Gewährleistungskosten und -fällen in der Phase der Serienproduktion. Der entwickelte Algorithmus zeichnet sich durch eine hohe Prognosegenauigkeit aus und ist den herkömmlichen Prognosemodellen vor allem in den unteren Quantilsbereichen deutlich überlegen.

Den Abschluss der Arbeit bildet das neu entworfene phasenspezifische Vorgehensmodell, das den groben Handlungsrahmen für Qualitätsverantwortliche bei zukünftigen Fahrzeugprojekten darstellen soll.

Mit der vorliegenden Arbeit wurde das Thema Gewährleistung erstmals aus Sicht eines Generalunternehmers entlang der gesamten Prozesskette betrachtet. Es wurden mögliche Kooperationsmodelle beschrieben, bisher noch nicht bekannte Zusammenhänge aufgezeigt sowie Methoden und Vorgehensweisen im Umgang mit dem Gewährleistungsrisiko dargestellt.

Aufgrund der eingangs der Arbeit beschriebenen Entwicklungen – zunehmender Kostendruck, Verschiebung der Wertschöpfungstiefe, etc. – werden die Automobilhersteller auch weiterhin danach streben, dass sich die Zulieferer an den Gewährleistungskosten beteiligen.

Im Falle von finanziell gut aufgestellten Lieferanten mit einer hohen Integrationstiefe wäre es beispielsweise auch denkbar, die in der Datenbank registrierten Gewährleistungsfälle an den betroffenen Lieferanten weiterzuleiten und die damit verbundenen Kosten mit zukünftigen Lieferungen gegenzurechnen.

Nachfolgende Grafik veranschaulicht das Konzept.

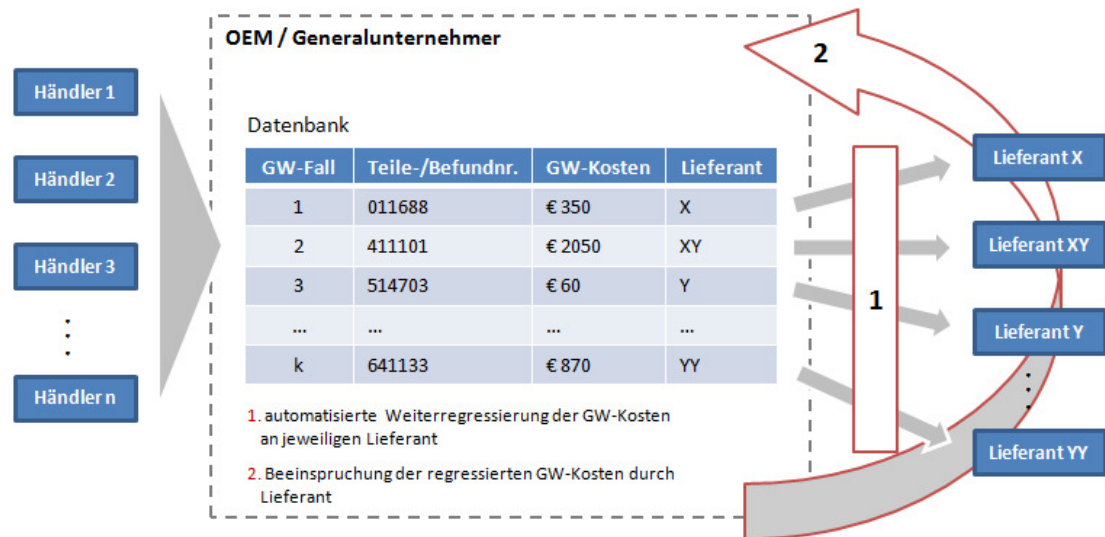


Abbildung 78: Zukunftsszenario

Dieses Konzept sieht vor, dass die Felddatenanalyse vom jeweiligen Lieferanten übernommen wird und wäre damit die logische Konsequenz aus den sich verschiebenden Wertschöpfungsanteilen. Vorteile dieser Vorgehensweise wären u.a.:

1. Der Lieferant wird zeitnahe mit Informationen über die Feldperformance seiner Produkte versorgt.
2. Die Felddatenanalyse wird von Mitarbeitern mit hohem Produkt-Know-How durchgeführt.
3. Durch die Punkte 1 und 2 wird der Fehlerabstellprozess beschleunigt und die Chancen einer nachhaltigen Fehlerbehebung erhöht.

Neben der Entwicklung neuer Kooperationsmodelle für die Geschäftsbeziehung zwischen OEM bzw. GU und den Lieferanten der unterschiedlichsten Ebenen der Zulieferpyramide, liegt der weitere Forschungsbedarf vor allem in der (Weiter-)Entwicklung von Prognosemodellen auf Modul-/System-/Teile- und Komponentenebene sowie in der genaueren Untersuchung des länderspezifischen Gewährleistungsverhaltens und dessen Beeinflussbarkeit.

8 Literaturverzeichnis

- AT Kearney. (2002). Sechste Jahresstudie zur Automobilindustrie.
- Becker, H. (2007). *Auf Crashkurs: Automobilindustrie im globalen Verdrängungswettbewerb*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Blischke, W. R., & Murthy, D. N. (2003). *Case Studies in Reliability and Maintenance*. John Wiley & Sons.
- Box, G. E., & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 26 , S. 211-252.
- Crowe, D., & Feinberg, A. (2001). *Design for Reliability*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Dannenberg, J., & Kleinhans, C. (2004). The Coming Age of Collaboration in the Automotive Industry. *Mercer Management Journal* 17 , S. 88-94.
- Davis, T. (2003). *Global vehicle reliability*. Wiltshire, UK: The Cromwell Press.
- Dudenhöffer, F. (05. Juli 2006). Die Ära der Kooperationen in der Automobilindustrie. *Börsen-Zeitung Nr.126* .
- Eight Annual Automotive Warranty Report. (7. April 2011). *Warranty Week* .
- Estermann, M., Gerst, P., Stiebitz, P. H., & Ishii, K. (2005). A Framework for Warranty Prediction during Product Development. In A. I. Exposition (Hrsg.). Orlando.
- Frühbauer, R. (2007). Entwicklung und Bedeutung von Build to Order Konzepten in der Supply Chain globaler Automobilhersteller. *Schriftenreihe des Instituts für Transportwirtschaft und Logistik* .
- Gemeinsam mehr erreichen. (August 2010). *Automobil-Elektronik* , S. 45.
- Jander, H. (2004). *Controlling der Gewährleistung - Phasenspezifisches Controlling der Gewährleistung im Entstehungszyklus langlebiger hochwertiger Gebrauchsgüter* (Bd. 9). Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Kalbfleisch, J., & Lawless, J. (1995). Statistical analysis of warranty claims data. In W. Blischke, & D. Murthy, *Warranty Handbook* (S. 231-259). New York: Marcel Dekker.
- Karim, M. R., & Suzuki, K. (2005). Analysis of warranty claim data: a literature review. *International Journal of Quality & Reliability Management* 22, 7 , S. 667-686.
- Kleyner, A., & Sandborn, P. (2005). A warranty forecasting model based on piecewise statistical distributions and stochastic simulation. *Reliability Engineering and System Safety* 88 (88), S. 207-214.
- Kleyner, A., & Sandborn, P. (2008). Minimizing life cycle cost by managing product reliability via validation plan and warranty return cost. *International Journal of Production Economics* 112 , S. 796-807.
- Majeske, K. D. (2007). A non-homogeneous Poisson process predictive model for automobile warranty claims. *Reliability Engineering and System Safety* 92 (92), S. 243-251.

- Manna, D., Pal, S., & Kulandaiyan, A. (2004). Warranty cost estimation of a multi-module product. *International Journal of Quality & Reliability* 21, 1 , S. 102-117.
- Meyer, M. (2003). Methoden zur Analyse von Garantiedaten für die Sicherheits- und Zuverlässigkeitsprognose von Komponenten und Baugruppen im Kraftfahrzeug.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2006). *Applied Statistics and Probability for Engineers, 4th Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Murthy, D. P., & Blischke, W. R. (2006). *Warranty Management and Product Manufacture*. London: Springer.
- Pfeifer, T. (2001). *Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken*. München: Carl Hanser.
- Rai, B., & Singh, N. (2006). Customer-Rush Near Warranty Expiration Limit, and Nonparametric Hazard Rate Estimation From Known Mileage Accumulation Rates. *IEEE Transactions on Reliability* 55, 3 , S. 480-489.
- Schecht, W. (2011). Regressionsproblematik und Gewährleistung, Zulieferforum der ArGeZ 2011. Düsseldorf.
- Schmidt, K. D., & Schnaus, A. (November 1996). An extension of Mack's model for the Chain Ladder Method. *Astin Bulletin* , S. 247-26.
- Schreiner, M. (2010). *Gewährleistungsfälle - globale Einflussfaktoren*. Graz.
- Schwarz, I. (2008). Garantiekostensenkung durch ganzheitliche Integration von Gewährleistungsabwicklung und –controlling in den Regelkreis der Fehlerabstellung. *Tagung „IT-gestütztes und integriertes Gewährleistungs- und Garantiemanagement“*. Stuttgart.
- VDA. (2009). *Schadteilanalyse Feld*. Henrich Druck + Medien GmbH .
- VDA. (2004). *VDA Band 3 Teil 2 Zuverlässigkeitssicherung bei Automobilherstellern und Lieferanten*.
- VDA-AK. (Dezember 2001). VDA-Empfehlung 4961/2: Kooperationsmodelle und SE-Checkliste zur Abstimmung der Datenlogistik in SE-Projekten. Frankfurt/M.: Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA).
- Wallentowitz, H., Freialdenhoven, A., & Olschewski, I. (2009). *Strategien in der Automobilindustrie: Technologietrends und Marktentwicklungen* (1. Ausg.). Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Weissenberger-Eibl, U.-P. D., & Koch, D. D. (2011). *Gesamtkostenrechnung TCO*. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Yang, G. (2007). *Life Cycle Reliability Engineering*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

9 Anhang

3.2.2 Datenanalyse, Modellerstellung, Modellvalidierung

Tukey-HSD-Test Modell 2

In den nachfolgenden Tabellen sind jene Kombinationen angeführt, deren Mittelwertsdifferenzen signifikant sind.

count	diff	lwr	upr	p adj
DE-E	0.5108035	0.18691360	0.83469348	0.0001312
GB-E	-0.7254929	-1.05110115	-0.39988475	0.0000000
FR-E	-0.4159651	-0.73985500	-0.09207513	0.0037139
ES-E	-0.6207627	-0.94465267	-0.29687279	0.0000013
GB-DE	-1.2362965	-1.56190469	-0.91068829	0.0000000
FR-DE	-0.9267686	-1.25065854	-0.60287867	0.0000000
IT-DE	-0.3966473	-0.72225552	-0.07103912	0.0072247
ES-DE	-1.1315663	-1.45545621	-0.80767633	0.0000000
IT-GB	0.8396492	0.51233173	1.16696661	0.0000000
IT-FR	0.5301213	0.20451309	0.85572948	0.0000689
ES-IT	-0.7349190	-1.06052715	-0.40931075	0.0000000

mot	diff	lwr	upr	p adj
D-B	0.4064608	0.2777555	0.535166	0.0000000

veh	diff	lwr	upr	p adj
F2-F1	0.2012012	0.07249594	0.3299064	0.0023039

count:mot	diff	lwr	upr	p adj
GB:B-E:B	-0.54566636	-1.077529191	-0.01380354	0.0385786
ES:B-E:B	-0.67022125	-1.196395542	-0.14404696	0.0021251
DE:D-E:B	0.95256430	0.426390007	1.47873859	0.0000005
GB:D-E:B	-0.56186373	-1.088038024	-0.03568944	0.0249105
IT:D-E:B	0.63717181	0.110997517	1.16334610	0.0047395
GB:B-DE:B	-0.95782032	-1.489683150	-0.42595749	0.0000006
FR:B-DE:B	-0.86111008	-1.387284375	-0.33493579	0.0000098
ES:B-DE:B	-1.08237521	-1.608549500	-0.55620092	0.0000000

DE:D-DE:B	0.54041034	0.014236049	1.06658463	0.0381482
GB:D-DE:B	-0.97401769	-1.500191983	-0.44784340	0.0000002
ES:D-DE:B	-0.64034699	-1.166521285	-0.11417270	0.0043961
E:D-GB:B	0.88877754	0.356914709	1.42064036	0.0000055
DE:D-GB:B	1.49823066	0.966367834	2.03009349	0.0000000
IT:D-GB:B	1.18283817	0.650975345	1.71470100	0.0000000
E:D-FR:B	0.79206730	0.265893007	1.31824159	0.0000785
DE:D-FR:B	1.40152042	0.875346132	1.92769472	0.0000000
IT:D-FR:B	1.08612793	0.559953642	1.61230223	0.0000000
ES:B-IT:B	-0.58919219	-1.121055019	-0.05732936	0.0160682
DE:D-IT:B	1.03359336	0.501730530	1.56545619	0.0000000
IT:D-IT:B	0.71820087	0.186338041	1.25006370	0.0007558
E:D-ES:B	1.01333242	0.487158132	1.53950672	0.0000001
DE:D-ES:B	1.62278555	1.096611257	2.14895984	0.0000000
FR:D-ES:B	0.63035842	0.104184132	1.15653272	0.0055618
IT:D-ES:B	1.30739306	0.781218767	1.83356735	0.0000000
DE:D-E:D	0.60945313	0.083278833	1.13562742	0.0089794
GB:D-E:D	-0.90497491	-1.431149198	-0.37880061	0.0000024
ES:D-E:D	-0.57130421	-1.097478500	-0.04512992	0.0205102
GB:D-DE:D	-1.51442803	-2.040602323	-0.98825374	0.0000000
FR:D-DE:D	-0.99242713	-1.518601417	-0.46625283	0.0000001
ES:D-DE:D	-1.18075733	-1.706931625	-0.65458304	0.0000000
IT:D-GB:D	1.19903554	0.672861250	1.72520983	0.0000000
IT:D-FR:D	0.67703464	0.150860344	1.20320893	0.0017918
ES:D-IT:D	-0.86536484	-1.391539136	-0.33919055	0.0000086

count:veh	diff	lwr	upr	p adj
GB:F1-E:F1	-0.7539969140	-1.285859742	-0.22213409	0.0002905
FR:F1-E:F1	-0.5951352083	-1.121309500	-0.06896092	0.0123345
DE:F2-E:F1	0.8426945708	0.316520279	1.36886886	0.0000173
GB:F2-E:F1	-0.6041816763	-1.130355968	-0.07800738	0.0101030

ES:F2-E:F1	-0.7189199709	-1.245094263	-0.19274568	0.0006048
GB:F1-DE:F1	-1.0289042890	-1.560767117	-0.49704146	0.0000001
FR:F1-DE:F1	-0.8700425833	-1.396216875	-0.34386829	0.0000074
ES:F1-DE:F1	-0.7015180000	-1.227692292	-0.17534371	0.0009570
DE:F2-DE:F1	0.5677871958	0.041612904	1.09396149	0.0220610
GB:F2-DE:F1	-0.8790890513	-1.405263343	-0.35291476	0.0000056
ES:F2-DE:F1	-0.9938273459	-1.520001638	-0.46765305	0.0000001
IT:F1-GB:F1	0.7980656116	0.260574449	1.33555677	0.0001073
E:F2-GB:F1	0.8499917764	0.318128949	1.38185460	0.0000182
DE:F2-GB:F1	1.5966914848	1.064828657	2.12855431	0.0000000
FR:F2-GB:F1	0.6131968598	0.081334032	1.14505969	0.0095643
IT:F2-GB:F1	1.0293153182	0.497452491	1.56117815	0.0000001
IT:F1-FR:F1	0.6392039059	0.107341078	1.17106673	0.0053065
E:F2-FR:F1	0.6911300708	0.164955779	1.21730436	0.0012521
DE:F2-FR:F1	1.4378297791	0.911655487	1.96400407	0.0000000
IT:F2-FR:F1	0.8704536125	0.344279321	1.39662790	0.0000073
DE:F2-IT:F1	0.7986258731	0.266763045	1.33048870	0.0000831
GB:F2-IT:F1	-0.6482503739	-1.180113202	-0.11638755	0.0042959
ES:F2-IT:F1	-0.7629886685	-1.294851496	-0.23112584	0.0002269
DE:F2-ES:F1	1.2693051958	0.743130904	1.79547949	0.0000000
IT:F2-ES:F1	0.7019290292	0.175754738	1.22810332	0.0009468
DE:F2-E:F2	0.7466997083	0.220525417	1.27287400	0.0002844
GB:F2-E:F2	-0.7001765387	-1.226350830	-0.17400225	0.0009910
ES:F2-E:F2	-0.8149148333	-1.341089125	-0.28874054	0.0000400
GB:F2-DE:F2	-1.4468762471	-1.973050539	-0.92070196	0.0000000
FR:F2-DE:F2	-0.9834946250	-1.509668917	-0.45732033	0.0000002
IT:F2-DE:F2	-0.5673761665	-1.093550458	-0.04120187	0.0222489
ES:F2-DE:F2	-1.5616145417	-2.087788833	-1.03544025	0.0000000
IT:F2-GB:F2	0.8795000805	0.353325789	1.40567437	0.0000055
ES:F2-FR:F2	-0.5781199167	-1.104294208	-0.05194563	0.0177799
ES:F2-IT:F2	-0.9942383751	-1.520412667	-0.46806408	0.0000001

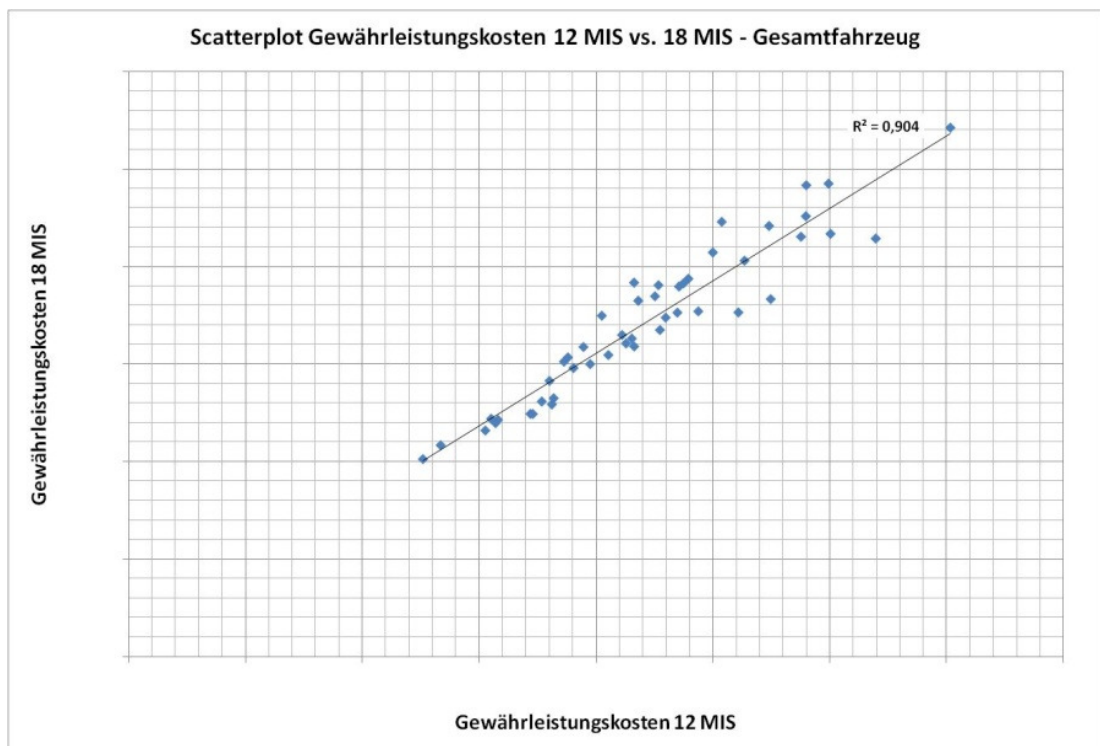
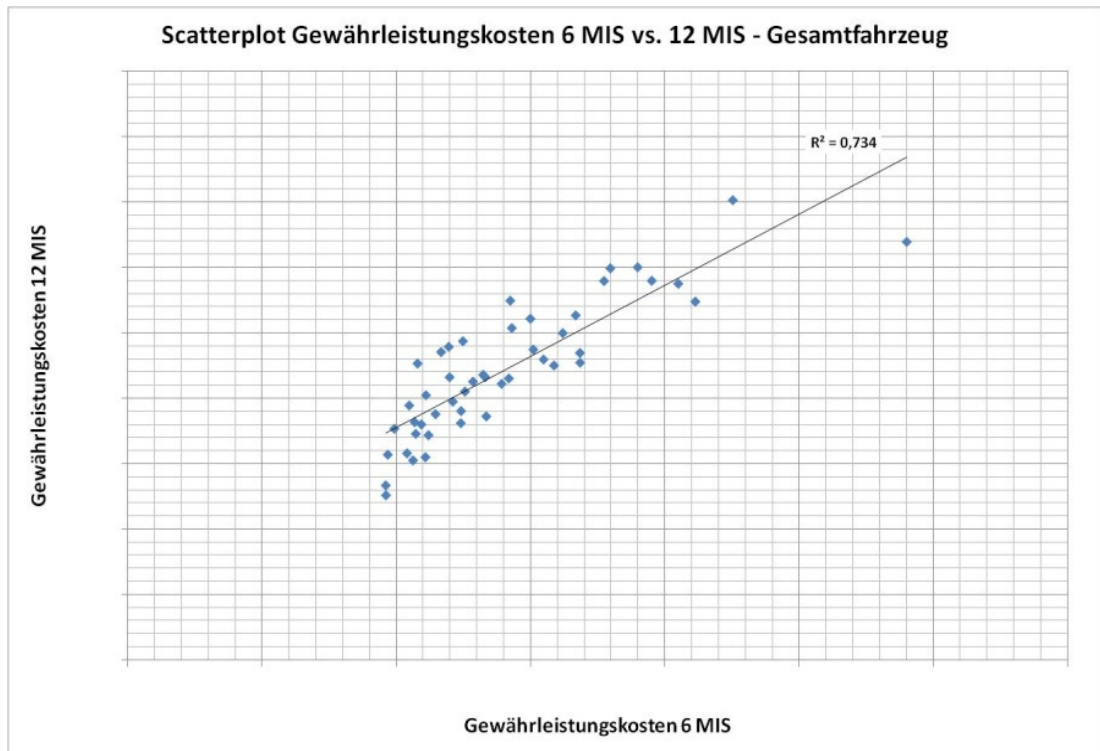
mot:veh	diff	lwr	upr	p adj
D:F1-B:F1	0.3832740	0.14340774	0.62314018	0.0002822
D:F2-B:F1	0.6087012	0.36883497	0.84856741	0.0000000
D:F2-B:F2	0.4321344	0.19396339	0.67030546	0.0000259

count:mot:veh	diff	lwr	upr	p adj
DE:D:F2-E:B:F1	1.28.087750	0.45748096	2.116694543	0.0000084
GB:D:F1-DE:B:F1	-0.908523000	-1.73812979	-0.078916207	0.0151663
ES:B:F2-DE:B:F1	-0.862367667	-1.69197446	-0.032760873	0.0310628
DE:D:F2-DE:B:F1	1.109238417	0.27963162	1.938845210	0.0003916
DE:D:F1-GB:B:F1	1.134138818	0.28588685	1.982390789	0.0003919
IT:D:F1-GB:B:F1	1.032240068	0.18398810	1.880492039	0.0026637
DE:B:F2-GB:B:F1	1.159681818	0.31142985	2.007933789	0.0002357
DE:D:F2-GB:B:F1	1.661304568	0.81305260	2.509556539	0.0000000
IT:D:F2-GB:B:F1	1.128106235	0.27985426	1.976358206	0.0004412
E:D:F1-FR:B:F1	0.912788000	0.08318121	1.742394793	0.0141573
DE:D:F1-FR:B:F1	1.284753417	0.45514662	2.114360210	0.0000089
IT:D:F1-FR:B:F1	1.182854667	0.35324787	2.012461460	0.0000849
DE:B:F2-FR:B:F1	1.310296417	0.48068962	2.139903210	0.0000049
E:D:F2-FR:B:F1	0.964978333	0.13537154	1.794585127	0.0058959
DE:D:F2-FR:B:F1	1.811919167	0.98231237	2.641525960	0.0000000
FR:D:F2-FR:B:F1	0.864469333	0.03486254	1.694076127	0.0300997
IT:D:F2-FR:B:F1	1.278720833	0.44911404	2.108327627	0.0000102
DE:D:F1-IT:B:F1	0.963352273	0.11510030	1.811604243	0.0087097
IT:D:F1-IT:B:F1	0.861453523	0.01320155	1.709705493	0.0415882
DE:B:F2-IT:B:F1	0.988895273	0.14064330	1.837147243	0.0056766
DE:D:F2-IT:B:F1	1.490518023	0.64226605	2.338769993	0.0000001
IT:D:F2-IT:B:F1	0.957319689	0.10906772	1.805571660	0.0096170
E:D:F1-ES:B:F1	0.904874333	0.07526754	1.734481127	0.0160809
DE:D:F1-ES:B:F1	1.276839750	0.44723296	2.106446543	0.0000107
IT:D:F1-ES:B:F1	1.174941000	0.34533421	2.004547793	0.0001005
DE:B:F2-ES:B:F1	1.302382750	0.47277596	2.131989543	0.0000059

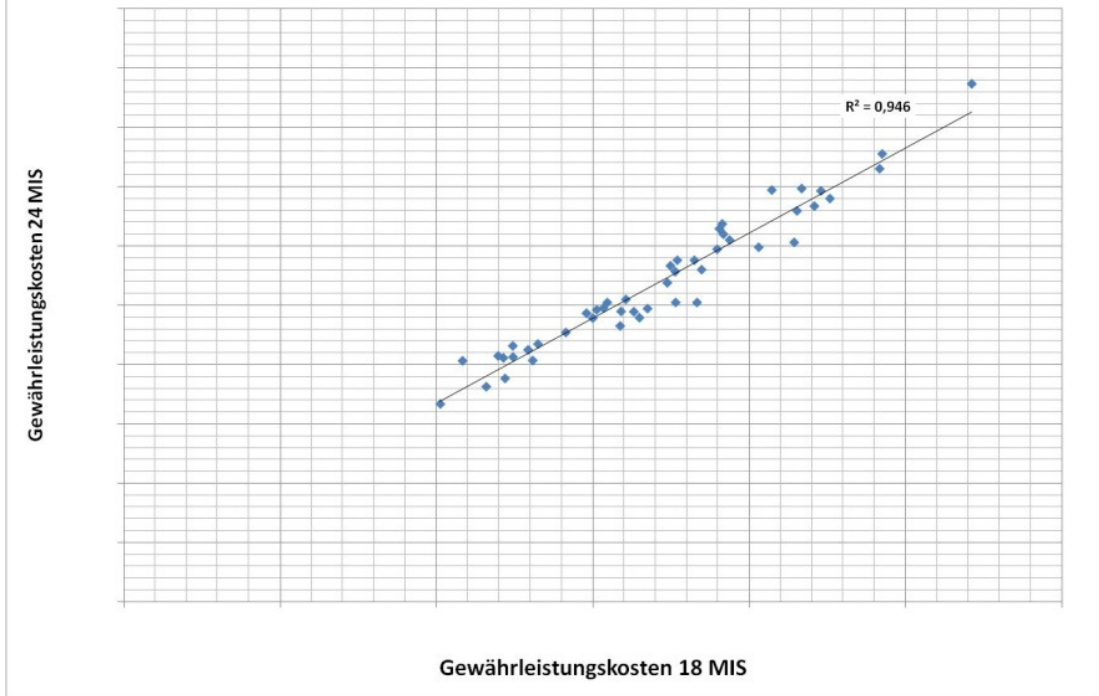
E:D:F2-ES:B:F1	0.957064667	0.12745787	1.786671460	0.0067595
DE:D:F2-ES:B:F1	1.804005500	0.97439871	2.633612293	0.0000000
FR:D:F2-ES:B:F1	0.856555667	0.02694887	1.686162460	0.0338695
IT:D:F2-ES:B:F1	1.270807167	0.44120037	2.100413960	0.0000122
GB:D:F1-E:D:F1	-1.118630250	-1.94823704	-0.289023457	0.0003239
GB:B:F2-E:D:F1	-0.953318333	-1.78292513	-0.123711540	0.0072080
ES:B:F2-E:D:F1	-1.072474917	-1.90208171	-0.242868123	0.0008114
DE:D:F2-E:D:F1	0.899131167	0.06952437	1.728737960	0.0176223
GB:D:F1-DE:D:F1	-1.490595667	-2.32020246	-0.660988873	0.0000001
FR:D:F1-DE:D:F1	-1.037404417	-1.86701121	-0.207797623	0.0015886
GB:B:F2-DE:D:F1	-1.325283750	-2.15489054	-0.495676957	0.0000035
FR:B:F2-DE:D:F1	-0.993996417	-1.82360321	-0.164389623	0.0035312
ES:B:F2-DE:D:F1	-1.444440333	-2.27404713	-0.614833540	0.0000002
GB:D:F2-DE:D:F1	-1.015406750	-1.84501354	-0.185799957	0.0023925
ES:D:F2-DE:D:F1	-1.126080000	-1.95568679	-0.296473207	0.0002783
IT:D:F1-GB:D:F1	1.388696917	0.55909012	2.218303710	0.0000008
E:B:F2-GB:D:F1	0.869680083	0.04007329	1.699286877	0.0278253
DE:B:F2-GB:D:F1	1.516138667	0.68653187	2.345745460	0.0000000
IT:B:F2-GB:D:F1	0.899312417	0.06970562	1.728919210	0.0175717
E:D:F2-GB:D:F1	1.170820583	0.34121379	2.000427377	0.0001097
DE:D:F2-GB:D:F1	2.017761417	1.18815462	2.847368210	0.0000000
FR:D:F2-GB:D:F1	1.070311583	0.24070479	1.899918377	0.0008463
IT:D:F2-GB:D:F1	1.484563083	0.65495629	2.314169877	0.0000001
IT:D:F1-FR:D:F1	0.935505667	0.10589887	1.765112460	0.0097418
DE:B:F2-FR:D:F1	1.062947417	0.23334062	1.892.54210	0.0009761
DE:D:F2-FR:D:F1	1.564570167	0.73496337	2.394176960	0.0000000
IT:D:F2-FR:D:F1	1.031371833	0.20176504	1.860978627	0.0017791
GB:B:F2-IT:D:F1	-1.223385000	-2.05299179	-0.393778207	0.0000353
FR:B:F2-IT:D:F1	-0.892097667	-1.72170446	-0.062490873	0.0196914
ES:B:F2-IT:D:F1	-1.342541583	-2.17214838	-0.512934790	0.0000023
GB:D:F2-IT:D:F1	-0.913508000	-1.74311479	-0.083901207	0.0139931

ES:D:F2-IT:D:F1	-1.024181250	-1.85378804	-0.194574457	0.0020343
DE:D:F2-ES:D:F1	1.235434667	0.40582787	2.065041460	0.0000270
DE:D:F2-E:B:F2	1.148081333	0.31847454	1.977688127	0.0001768
GB:B:F2-DE:B:F2	-1.350826750	-2.18043354	-0.521219957	0.0000019
FR:B:F2-DE:B:F2	-1.019539417	-1.84914621	-0.189932623	0.0022169
ES:B:F2-DE:B:F2	-1.469983333	-2.29959013	-0.640376540	0.0000001
GB:D:F2-DE:B:F2	-1.040949750	-1.87055654	-0.211342957	0.0014859
ES:D:F2-DE:B:F2	-1.151623000	-1.98122979	-0.322016207	0.0001642
E:D:F2-GB:B:F2	1.005508667	0.17590187	1.835115460	0.0028675
DE:D:F2-GB:B:F2	1.852449500	1.02284271	2.682056293	0.0000000
FR:D:F2-GB:B:F2	0.904999667	0.07539287	1.734606460	0.0160487
IT:D:F2-GB:B:F2	1.319251167	0.48964437	2.148857960	0.0000040
DE:D:F2-FR:B:F2	1.521162167	0.69155537	2.350768960	0.0000000
IT:D:F2-FR:B:F2	0.987963833	0.15835704	1.817570627	0.0039340
ES:B:F2-IT:B:F2	-0.853157083	-1.68276388	-0.023550290	0.0356124
DE:D:F2-IT:B:F2	1.118449000	0.28884221	1.948055793	0.0003251
E:D:F2-ES:B:F2	1.124665250	0.29505846	1.954272043	0.0002865
DE:D:F2-ES:B:F2	1.971606083	1.14199929	2.801212877	0.0000000
FR:D:F2-ES:B:F2	1.024156250	0.19454946	1.853763043	0.0020352
IT:D:F2-ES:B:F2	1.438407750	0.60880096	2.268014543	0.0000002
DE:D:F2-E:D:F2	0.846940833	0.01733404	1.676547627	0.0390051
GB:D:F2-DE:D:F2	-1.542572500	-2.37217929	-0.712965707	0.0000000
FR:D:F2-DE:D:F2	-0.947449833	-1.77705663	-0.117843040	0.0079663
ES:D:F2-DE:D:F2	-1.653245750	-2.48285254	-0.823638957	0.0000000
IT:D:F2-GB:D:F2	1.009374167	0.17976737	1.838980960	0.0026723
ES:D:F2-IT:D:F2	-1.120047417	-1.94965421	-0.290440623	0.0003147

5.2.1 Korrelationsanalyse Isochrone X vs. Isochrone X+t



Scatterplot Gewährleistungskosten 18 MIS vs. 24 MIS - Gesamtfahrzeug

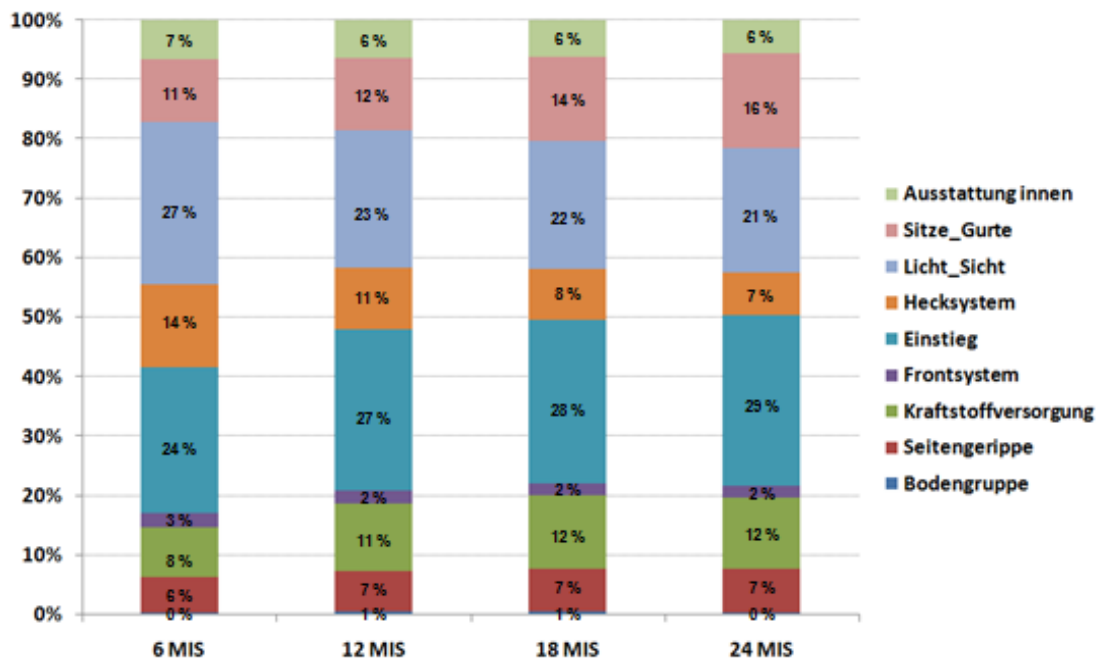


Korrelationsmatrix Gewährleistungskosten

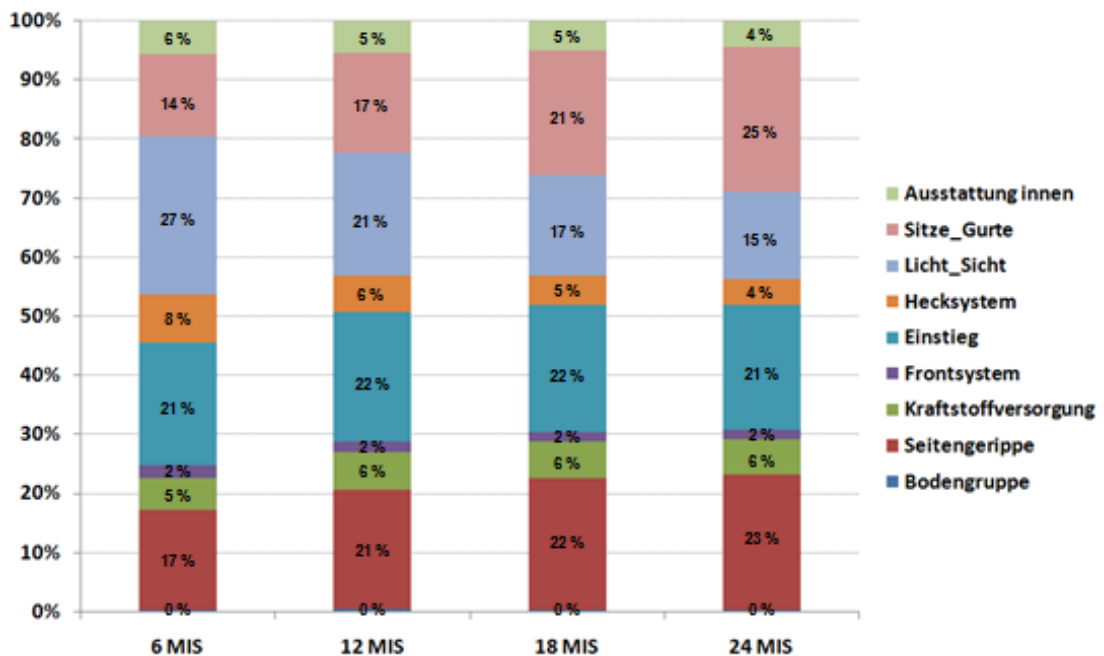
	Gewährleistungskosten																								
	24 MIS	23 MIS	22 MIS	21 MIS	20 MIS	19 MIS	18 MIS	17 MIS	16 MIS	15 MIS	14 MIS	13 MIS	12 MIS	11 MIS	10 MIS	9 MIS	8 MIS	7 MIS	6 MIS	5 MIS	4 MIS	3 MIS	2 MIS	1 MIS	
24 MIS	1,00																								
23 MIS	1,00	1,00																							
22 MIS	1,00	1,00	1,00																						
21 MIS	1,00	1,00	1,00	1,00																					
20 MIS	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00																				
19 MIS	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00																			
18 MIS	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00																		
17 MIS	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00																	
16 MIS	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00																
15 MIS	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00															
14 MIS	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00														
13 MIS	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00													
12 MIS	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00												
11 MIS	0,95	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00											
10 MIS	0,94	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00										
9 MIS	0,92	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00									
8 MIS	0,91	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,94	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00								
7 MIS	0,86	0,86	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,89	0,92	0,93	0,92	0,92	0,91	0,92	0,94	0,96	0,97	1,00							
6 MIS	0,82	0,81	0,83	0,84	0,84	0,85	0,86	0,84	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86	0,88	0,90	0,92	0,98	1,00						
5 MIS	0,50	0,49	0,51	0,51	0,50	0,50	0,51	0,49	0,53	0,52	0,50	0,49	0,46	0,45	0,46	0,48	0,51	0,65	0,78	1,00					
4 MIS	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,24	0,24	0,23	0,25	0,25	0,22	0,21	0,19	0,17	0,17	0,19	0,20	0,34	0,48	0,86	1,00				
3 MIS	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,03	0,02	0,01	-0,01	-0,03	-0,03	-0,02	0,07	0,21	0,63	0,87	1,00			
2 MIS	-0,01	-0,01	0,00	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,05	-0,06	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,11	-0,11	-0,08	0,00	0,11	0,49	0,69	0,82	1,00		
1 MIS	0,26	0,26	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,24	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,23	0,22	0,18	0,15	0,05	0,02	-0,05	0,01	0,09	0,08	1,00	

5.2.3 Fehler- und Kostenstruktur

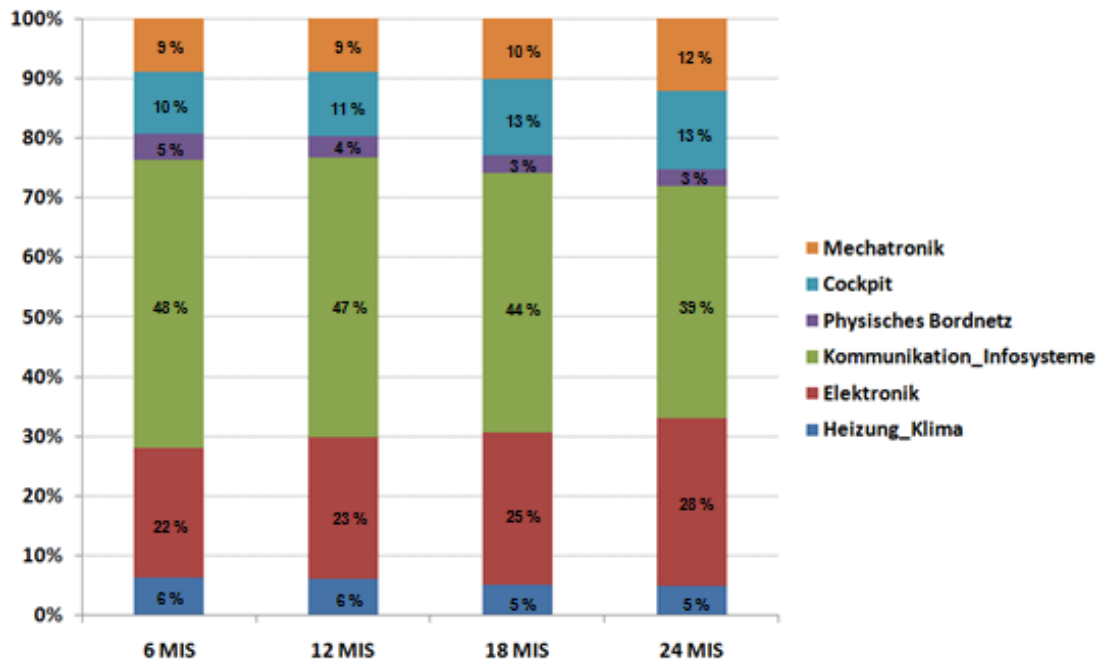
Modulgruppe Karosserie - Gewährleistungsfälle



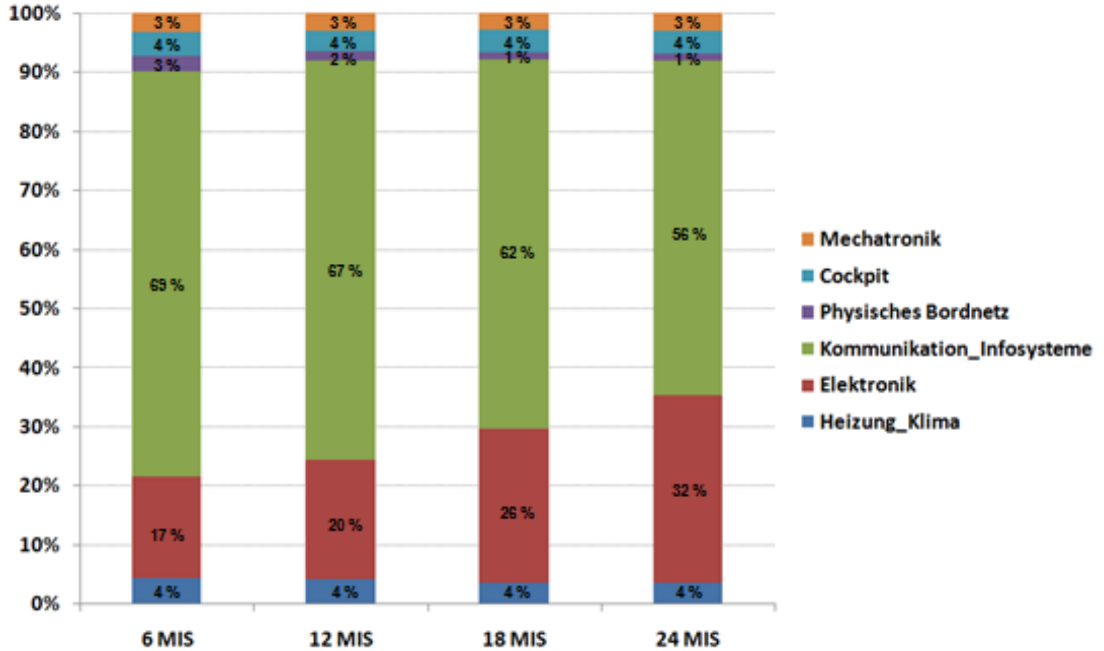
Modulgruppe Karosserie - Gewährleistungskosten



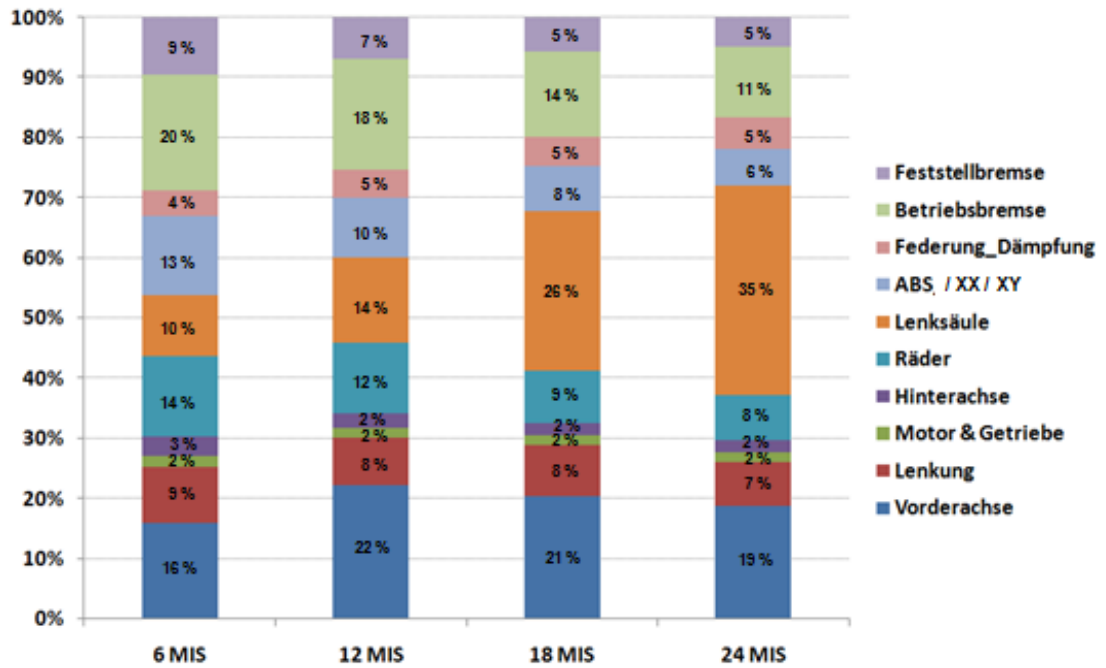
Modulgruppe Innenraum - Gewährleistungsfälle



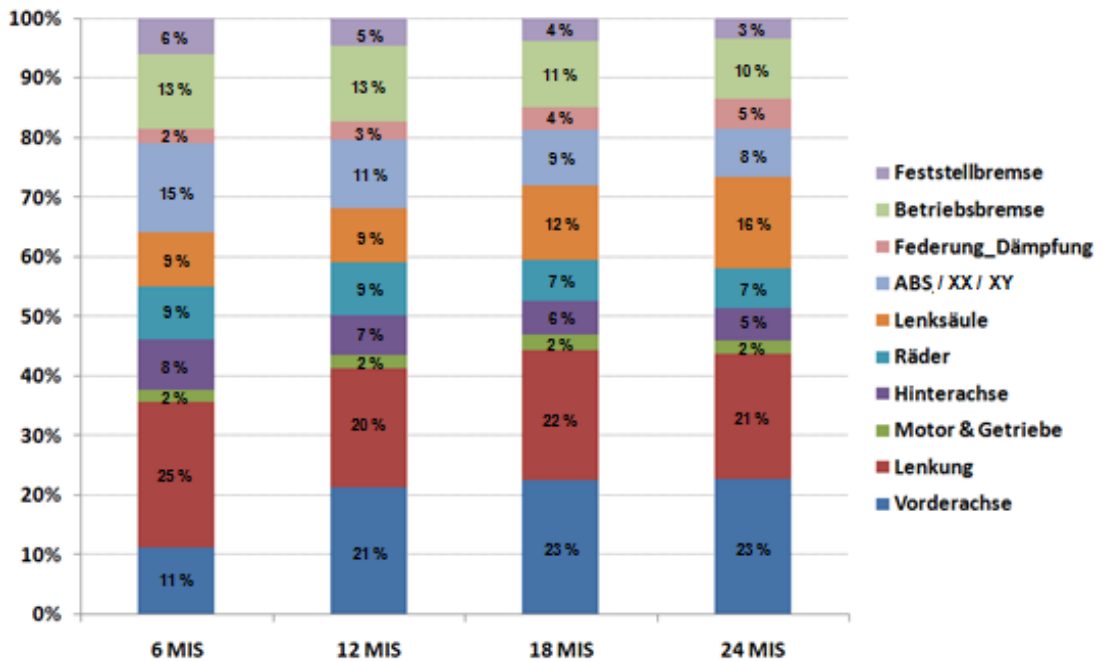
Modulgruppe Innenraum - Gewährleistungskosten



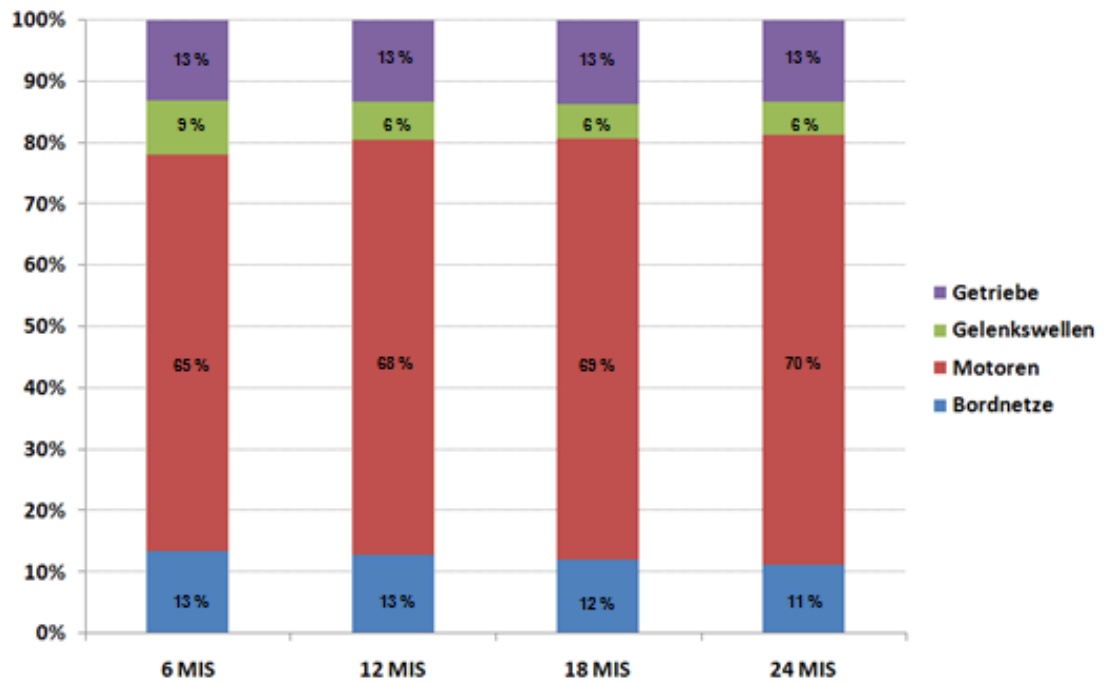
Modulgruppe Fahrdynamik - Gewährleistungsfälle



Modulgruppe Fahrdynamik - Gewährleistungskosten



Modulgruppe Antrieb - Gewährleistungsfälle



Modulgruppe Antrieb - Gewährleistungskosten

