

**Beitrag zur Stichprobenziehung defekter Bauteile im Rahmen der technischen Zuverlässigkeitsanalyse in der Nutzungsphase am Beispiel der Automobilindustrie**



Vom Fachbereich D – Abteilung Sicherheitstechnik der  
**Bergischen Universität Wuppertal**  
zur Erlangung des akademischen Grades

- Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) -

genehmigte Dissertation

von

Diplom-Wirtschaftsingenieur Stephan Haller

aus Bonn

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Bracke

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Arno Meyna

Tag der mündlichen Prüfung:

06.12.2013

D468



Berichte aus der Zuverlässigkeitsanalytik und Risikoforschung  
herausgegeben von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Bracke

Band 2

**Stephan Haller**

**Beitrag zur Stichprobenziehung defekter Bauteile im  
Rahmen der technischen Zuverlässigkeitsanalyse in der  
Nutzungsphase am Beispiel der Automobilindustrie**

Shaker Verlag  
Aachen 2014

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Wuppertal, Univ., Diss., 2013

Copyright Shaker Verlag 2014

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2758-7

ISSN 2199-1251

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Meiner Frau und meinen Eltern gewidmet



## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Sicherheitstechnik / Risikomanagement der Bergischen Universität Wuppertal.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Bracke, Leiter des Lehrstuhls Sicherheitstechnik / Risikomanagement, für die fachliche und wissenschaftliche Betreuung. Insbesondere für die fachlichen Anregungen und Diskussionen, die stetige Förderung und Unterstützung der Arbeit sowie das mir stets entgegengebrachte Vertrauen.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Meyna, Fachgebiet Sicherheitstheorie und Verkehrstechnik, für die kritische Durchsicht der Arbeit und die Übernahme des zweiten Gutachtens. Univ.-Prof. Dr.-Ing. B. H. Müller und Univ.-Prof. Dr.-Ing. E. Schmidt danke ich für Ihre Mitwirkung im Promotionsausschuss.

Des Weiteren möchte ich bei allen aktiven und ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls für die kollegiale und freundschaftliche Zusammenarbeit bedanken. Insbesondere gilt mein Dank M.Sc. J. Michalski für die fachlichen Diskussionen und bei der praktischen Umsetzung.

Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. S. Persin, Daimler AG, danke ich für die wertvollen Anregungen und fachlichen Diskussionen.

Ohne den Rückhalt und die Unterstützung meiner Frau und meiner Familie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ihnen möchte ich daher in ganz besonderem Maße danken.





## Kurzfassung

Zunehmende Bauteilfunktionalität und Produktkomplexität führen zu einem Anstieg komplexer Schadenssymptome und Schadensbilder innerhalb der Nutzungsphase der Kunden. Insbesondere in der Fahrzeugtechnik, jedoch auch bei Produkten der Investitions- und Konsumgüterbranche, liegt die Ursache komplexer Schadenssymptome oft in mehreren möglichen Schadenskausalitäten begründet. Bedeutend für den Automobilhersteller (OEM) und die Zulieferer ist daher die Ermittlung und technische Analyse von Schadenskausalitäten sowie die Kenntnis des Bauteil-Ausfallverhaltens. Auf Basis der Ergebnisse der technischen Zuverlässigkeitsanalyse können zielgerichtete präventive und prädiktive Maßnahmen bei aktuellen und/oder zukünftigen Produktgenerationen eingeleitet werden. Die Zielsetzung der Ermittlung und Abstimmung von Schadenskausalitäten stellt eine große Herausforderung an das Qualitätsmanagement im Rahmen der technischen Zuverlässigkeitsanalyse dar. Ein industrieller Standard zur Stichprobenziehung existiert nicht. Mit der Anforderung von konservativen (großen) bis risikobehafteten (kleinen) Stichprobenumfängen verfolgen die Automobilhersteller unterschiedliche Ansätze. Zusätzlich erschweren die divergierenden Anforderungen zur Ermittlung von Regressquoten sowie zur Erkennung von Fehlerschwerpunkten die Erstellung eines ganzheitlichen Ansatzes zur Stichprobenziehung schadhafter Feldteile.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden bestehende Ansätze zur Stichprobenziehung kritisch untersucht und der Bedarf zur Optimierung der Stichprobenziehung hinsichtlich Zuverlässigkeitsansprüchen und wirtschaftlicher Randbedingungen aufgezeigt. Darauf aufbauend wird ein Konzept zur Stichprobenziehung defekter Bauteile im Rahmen der technischen Zuverlässigkeitsanalyse in der Nutzungsphase entwickelt, das anwendungsorientiert ist und erstmalig die Anforderungen der Regressquoten-Ermittlung und Produktqualitäts-Analyse in einem ganzheitlichen Ansatz ermöglicht. Das Konzept und dessen Anwendbarkeit werden anhand praxisnaher Referenzbeispiele aus der Automobilindustrie verdeutlicht.

## **Abstract**

Increasing functionality of components and complexity of technical products result in complex damage symptoms within the customer use phase. Particularly, in automotive engineering, but also in manufacturing of capital-intensive products and consumer goods, the reason of complex damage symptoms is based on multiple failure modes. For the manufacturer (OEM) and the suppliers, the goals are the identification and technical analysis of possible failure modes and thus the knowledge of the product's failure behaviour. Based on the results of the technical reliability analysis, targeted roll out of preventive and predictive actions in current and/or subsequent product generations is feasible. The objection of the identification and retraction of failure modes poses a challenge in quality management strategies within technical reliability analysis. An industry-wide approach for sampling procedures does not exist. Besides the request from conservative (large) to risky (small) sampling sizes, many different approaches for the technical analysis are known among the manufacturers. Additionally, a comprehensive approach is difficult through divergent requirements of the determination of the regress rate and the identification of critical failure modes.

Within this research work, existing approaches for sampling procedures are critically examined and the demand to optimise sampling procedures regarding reliability requirements and business conditions is presented. This generates the basis for the development of a concept of sampling procedures for damaged components in the context of technical reliability analysis within the use phase. It has to be applicable and conjunct the requirements of the determination of the regress rate and the identification of critical failure modes in a comprehensive approach. The concept and its applicability are validated with case studies from the automotive industry.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung .....	1
2	Grundlagen der statistischen Zuverlässigkeitsanalyse in der Nutzungsphase 6	
2.1	Grundlagen der Statistik .....	6
2.1.1	Grundgesamtheit, Zufallsvariable und Stichprobe .....	6
2.1.2	Diskrete und stetige Verteilungen .....	9
2.1.3	Konfidenzintervalle und statistische Testverfahren .....	11
2.2	Grundlagen der Zuverlässigkeitstheorie.....	17
2.3	Garantie- und Gewährleistungsdatenbanken.....	19
2.4	Graphische Darstellungsvarianten: Schichtliniendiagramm und Pareto-Diagramm .....	21
2.5	Statistische Zuverlässigkeitsprognose auf Basis Garantie- und Gewährleistungsdatenbanken innerhalb der Automobilindustrie.....	23
2.6	Berücksichtigung des zeitlichen Zulassungs- und Meldeverzugs.....	27
3	Grundlagen und Stand der Technik der technischen Zuverlässigkeitsanalyse in der Nutzungsphase .....	30
3.1	Technische Zuverlässigkeitsanalyse, passive Kundenrückmeldungen und Schadteilesteuerung.....	30
3.2	Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen der technischen Zuverlässigkeitsanalyse.....	33
3.2.1	Inhomogenität der Grundgesamtheit .....	33
3.2.2	Zufälligkeit der Stichprobenziehung .....	37
3.2.3	Referenzmarkt und Marktspezifika.....	38
3.2.4	Erforderliche Mindest-Datenbasis .....	39
3.2.5	Zeitlicher Melde- und Anforderungsverzug (Kommunikation) ...	40
3.2.6	Zeitlicher Analyseverzug .....	41
3.2.7	NTF- No Trouble Found .....	42
3.3	Rechtliche Einflussfaktoren: Produktbeobachtungspflicht .....	42

3.4	Industrielle Ansätze zur technischen Zuverlässigkeitsanalyse .....	44
3.4.1	Der VDA Band Schadteilanalyse Feld .....	44
3.4.2	Stichprobenziehungskonzepte innerhalb der deutschen Automobilindustrie .....	54
3.4.3	Vorgehensweise zur technischen Zuverlässigkeitsanalyse eines repräsentativen OEM .....	56
3.5	Kennzahlen zur Quantifizierung der Stichprobenstrategie.....	58
4	Stand der Forschung: Erweiterte Ansätze zur technischen Zuverlässigkeitsanalyse in der Nutzungsphase .....	62
4.1	Regressprozess nach Schnoor .....	62
4.2	Stichprobenstrategie nach Probst .....	64
4.3	Stichprobenkonzepte zur Fehlerschwerpunktsuche und für den Regressierungsprozess nach Kluth.....	66
4.3.1	Stichprobenstrategie auf Basis eines signifikanten Fehlerschwerpunktes .....	66
4.3.2	Stichprobenstrategie auf Basis einer Fehlerschwerpunktgrenze .....	70
4.3.3	Zeitpunkt einer erneuten Stichprobenziehung .....	72
4.3.4	Stichprobenstrategie zur Anerkennungsquoten-Bestimmung ...	73
4.4	IDREMA Prozess: Identifikation des Referenzmarktes zur Schadteilsteuerung .....	76
4.5	Zusammenfassung und Ableitung des Handlungsbedarfs .....	78
5	Entwicklung des Konzepts zur Stichprobenziehung defekter Bauteile im Rahmen der technischen Zuverlässigkeitsanalyse in der Nutzungsphase am Beispiel der Automobilindustrie .....	80
5.1	Zielsetzung und Ansatz .....	80
5.2	Vorüberlegungen und Randbedingungen .....	81
5.2.1	Berücksichtigung des inhomogenen und unvorhersehbaren Ausfallverhaltens von Schadenskausalitäten .....	82

---

5.2.2	Kombination der Anforderungen der Regressquoten-Ermittlung und Produktqualitäts-Analyse in einem ganzheitlichen Ansatz .	83
5.2.3	Referenzbeispiele, Referenzmarkt und Prozess der Anforderung defekter Bauteile .....	84
5.2.4	Zeitlicher Melde-, Anforderungs- und Analyseverzug.....	85
5.2.5	Zufälligkeit der Stichprobenziehung.....	86
5.2.6	Bauteiländerungen .....	86
<b>5.3</b>	<b>Grundstruktur des Konzepts</b> .....	<b>87</b>
5.3.1	Prozess der Stichprobenziehung .....	87
5.3.2	Prozess zur Bewertung des Schadenssymptoms auf Basis statistischer und technischer Daten .....	89
5.3.3	Prozess zur Auswahl geeigneter Methoden zur Stichprobenziehung.....	93
5.3.4	Prozess zur Datenanalyse .....	94
<b>5.4</b>	<b>Methodenpool zur Stichprobenziehung</b> .....	<b>95</b>
5.4.1	Cluster I - Stichprobenumfang .....	97
5.4.2	Cluster II - Stichprobenziehungsintervall .....	109
5.4.3	Cluster III - Datenzensierung .....	113
<b>5.5</b>	<b>Prozess der Datenanalyse</b> .....	<b>124</b>
5.5.1	Anwendungsbereich.....	124
5.5.2	RAW Konzept: Erweiterte Zuverlässigkeitsanalyse von Gewährleistungsdatenbanken.....	125
<b>5.6</b>	<b>Auswahl geeigneter Methoden auf Basis der Schadensrangzahl</b>	<b>129</b>
<b>6</b>	<b>Verifizierung des Konzepts zur Stichprobenziehung anhand ausgewählter Referenzbeispiele</b> .....	<b>133</b>
6.1	Kombiinstrument.....	135
6.2	Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) .....	146
6.3	Bewertung und Ergebnisse .....	156
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>158</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>160</b>

<b>Anhang .....</b>	<b>168</b>
A1-1 Abkürzungsverzeichnis .....	168
A3-1 Erforderlicher Stichprobenumfang $n$ für Abweichung (Kluth 2009).....	170
A4-1 Hypothesen zur Identifikation von Fehlerschwerpunkten (Kluth 2009)	171
A5-1 Exaktes statistische Bestimmung des Stichprobenumfangs je Reparaturmonat in Abhängigkeit der Grundgesamtheit.....	172