

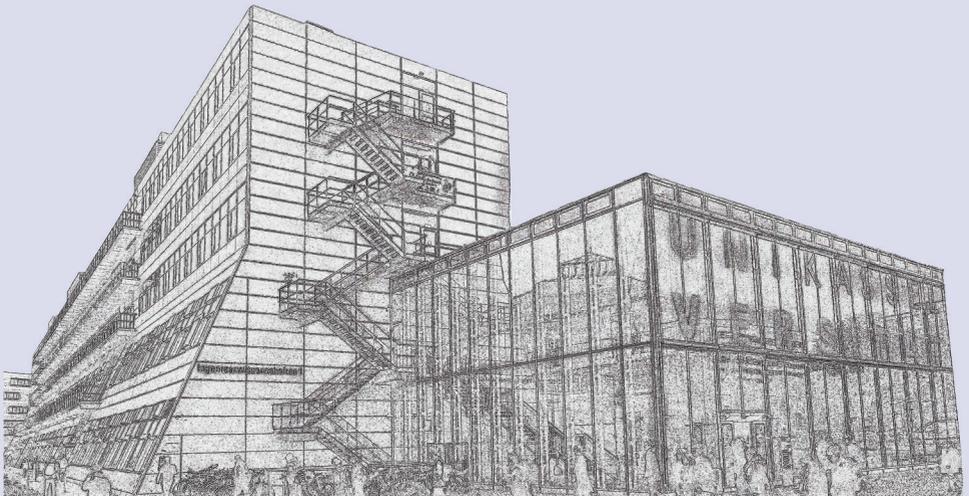
## **Fortschrittsberichte aus der Produktionstechnik**

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm

Band 24

Tobias Wilbert

# **Beitrag zur Bestimmung des Geltungsbereichs, der Klassifizierung und Umsetzung von Klebungen nach DIN 2304 am Beispiel mechatronischer Bauteile**



# **Beitrag zur Bestimmung des Geltungsbereichs, der Klassifizierung und Umsetzung von Klebungen nach DIN 2304 am Beispiel mechatronischer Bauteile**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

Vorgelegt von:	Tobias Wilbert, MBA
Geburtsdatum/-ort:	13.11.1990 in Stuttgart
Vorgelegt am:	Fachbereich 15 Maschinenbau der Universität Kassel
Im Institut:	Institut für Produktionstechnik und Logistik Fachgebiet Trennende und Fügende Fertigungsverfahren der Universität Kassel



Fortschrittsberichte aus der Produktionstechnik

Herausgegeben von:  
Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm  
Universität Kassel

Band 24

**Tobias Wilbert**

**Beitrag zur Bestimmung des Geltungsbereichs, der  
Klassifizierung und Umsetzung von Klebungen nach  
DIN 2304 am Beispiel mechatronischer Bauteile**

D 34 (Diss. Univ. Kassel)

Shaker Verlag  
Düren 2023

### **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.: Kassel, Univ., Diss., 2023

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Maschinenbau der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) angenommen.

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm

Zweiter Gutachter: Prof. -Ing. Henning Gleich

Tag der mündlichen Prüfung: 26.04.2023

Copyright Shaker Verlag 2023

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-9109-0

ISSN 2195-5670

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

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

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit fertigte ich in der Zeit von November 2017 bis August 2022 als externer Doktorand im Fachgebiet Trennende und Fügende Fertigungsverfahren (tff) des Fachbereiches Maschinenbau an der Universität Kassel unter Anleitung von Herrn Prof. Dr. Ing. Prof. h. c. Stefan Böhm an.

Mein Dank gilt allen, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Besonders herzlich bedanke ich mich bei:

Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. h. c. Stefan Böhm für die Bereitstellung des Themas und die fachliche Betreuung. Seine umfangreichen Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Klebtechnik haben meine Untersuchungen erleichtert und das Gelingen dieser Arbeit ermöglicht. Des Weiteren förderte er meine persönliche Weiterentwicklung.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Henning Gleich für die Übernahme des Zweitgutachtens und das Einbringen seiner Expertise.

Frau Dr.-Ing. Astrid Wagner, die in der Promotionsphase immer ein offenes Ohr für mich hatte und durch ihre fachliche Kompetenz einen bedeutenden Anteil am Erfolg dieser Arbeit hat.

Ganz besonderer Dank gilt meiner gesamten Familie für die Unterstützung und die Geduld während meiner Studien- und Promotionszeit. Ohne diese wäre der erfolgreiche Abschluss der Dissertation nicht möglich gewesen.

Diese Arbeit widme ich meiner Tochter Clara Wilbert (\*† 19. Juni 2022).

Tobias Wilbert, im September 2022

## Kurzfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde aus der DIN 2304 eine Systematik herausgearbeitet, die eine vereinfachte Darstellung der Bewertung von Klebungen nach DIN 2304 ermöglicht. Damit ist eine Umsetzung in jeder Industrie möglich. Dies wird durch eine Anwendung im umfangreichen Automobilprozess verdeutlicht.

Die Norm wurde als Leitlinie für jeden betroffenen Industrieprozessschritt von der ersten Anfrage bis zum Ende des Produktlebenszyklus angewendet. Das zur Veranschaulichung genutzte Beispiel ist ein Head-up-Display (HUD) mit integriertem Driver-Monitoring-System (DMS). Dabei bildet die Klebfassung des Objektivs des DMS den Schwerpunkt.

Um das Kleben von zum Beispiel sicherheitsrelevanten Bauteilen im HUD zu ermöglichen und zu standardisieren, wurde ein Bewertungswerkzeug für die Einteilung der einzelnen Bauteile in vier Sicherheitsklassen erstellt. Diese allgemeingültig entwickelte Logik im Bewertungswerkzeug erlaubt eine zeitsparende Analyse auch außerhalb des ursprünglichen Anwendungsbereiches.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Formblätter entworfen, die aus dem Spezialgebiet des HUD heraus auf andere Industriebereiche übertragbar sind. An die Sicherheitseinteilung des Bewertungswerkzeuges schließt sich eine Vorgehensweise an, die notwendige Anweisungen für Prüfungen und erforderliche Nachweise mit sich bringt. Dies beinhaltet im Zweifelsfall eine höhere Sicherheitseinstufung.

Die einzelnen Prozessschritte werden bei der Implementierung durch einen 14-Stufen-Plan unterstützt.

## **Abstract**

In the context of the present work a system was worked out from the DIN 2304, which makes a simplified representation of the evaluation of the DIN 2304 possible. This allows an implementation in any industry. It is illustrated by an application in the extensive automotive process.

The standard was applied as a guideline for each affected industrial process step from the first inquiry to the end of the product life cycle. The example used to illustrate this is a head-up display (HUD) with integrated driver monitoring system (DMS). The focus here is on the adhesive mounting of the lens of the DMS.

To enable and standardize the bonding of, for example, safety-relevant components in the HUD, an evaluation tool was created for classifying products into four safety classes. This universally developed logic in the evaluation tool allows a time-saving analysis even outside the original area of application. Within the scope of the present work, forms were designed that are transferable from the special field of HUD to other industrial fields. The safety classification of the evaluation tool is followed by a procedure that includes necessary instructions for tests and required proofs. This implies a higher safety rating in case of doubt.

The individual process steps are supported by a 14-step plan during implementation.

## Veröffentlichungen

Veröffentlichungen im Rahmen der Dissertation:

Wilbert, T., Wagner, A., Kahlmeyer, M., & Böhm, S. (2020). *Implementierung und Umsetzung der DIN 2304 in der Automobilindustrie*. Uni Kassel, Trennende und Fügende Fertigungsverfahren (tff). Bad Kreuznach: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Wilbert, T. (19. November 2020). *Implementierung und Umsetzung der DIN 2304 in der Automobilindustrie*. 14. Internationale Klebefachtagung, Online, Rheinland-Pfalz, Deutschland.

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	I
Kurzfassung .....	II
Abstract .....	III
Veröffentlichungen .....	IV
Inhaltsverzeichnis .....	V
Abbildungsverzeichnis .....	VIII
Tabellenverzeichnis .....	XI
Formelverzeichnis .....	XII
Abkürzungsverzeichnis .....	XIII
1. Einleitung und Problemstellung .....	1
1.1. Ausgangssituation .....	2
1.2. Zielstellung .....	3
1.3. Forschungshypothese .....	4
1.4. Arbeitshypothese .....	4
2. Kleben als spezieller Prozess .....	5
2.1. Klebtechnik .....	5
2.2. DIN 2304 – Qualitätsanforderungen an den Klebprozess .....	10
2.2.1. Auswahl der klebtechnischen Anforderungen .....	11
2.2.2. Erforderliche Infrastruktur für die Anforderungen .....	13
2.2.3. Benötigtes Personal .....	13
2.2.4. Vertragsprüfung mit Lieferanten .....	16
2.2.5. Anforderungen an den Entwicklungsprozess und die Konstruktion .....	16
2.2.6. Unterauftragsvergabe zur Realisierung einer Klebung .....	18
2.2.7. Prozessplanung in der Fertigung .....	19
2.2.8. Lagerung und Logistik .....	19
2.2.9. Fertigung .....	20
2.2.10. Instandhaltung .....	23
2.2.11. Qualitätsmanagement .....	23
2.3. Definition der Einflussgrößen für die Systematik aus der DIN 2304 .....	24
2.3.1. Umwelt .....	24
2.3.2. Funktion .....	25

---

2.3.3. Personen .....	27
2.3.4. Kommerzielle Betrachtung .....	27
3. Herleitung der Systematik aus der DIN 2304 .....	31
3.1. Berechnung der Wertigkeit .....	31
3.1.1. Minimalberechnung .....	32
3.1.2. Maximalberechnung .....	33
3.1.3. Einteilung der Wertigkeiten für die DIN 2304 .....	34
3.1.4. Ergebnis Wertigkeit .....	37
3.2. Übersicht der Wertigkeit für die DIN 2304 .....	38
3.3. Allgemeine Anwendung der Systematik für die Klassifizierung und Umsetzung .....	39
3.3.1. Erste Schritte bei der Anwendung der Systematik .....	39
3.3.2. Nächste Schritte bei der Anwendung der Systematik .....	40
4. Anwendung der DIN 2304 auf ein mechatronisches Bauteil .....	49
4.1. Head-up-Displays in der Automobilindustrie (als Enabler für autonomes Fahren) .....	51
4.1.1. Arten von Head-up-Displays .....	51
4.1.2. Aufbau eines Head-up-Displays .....	56
4.1.3. Anforderungen an das Head-up-Display .....	60
4.2. Praktische Umsetzung .....	64
4.2.1. Entwicklungsanfrage .....	65
4.2.2. Voruntersuchung .....	68
4.2.3. Entwicklungsauftrag .....	71
4.2.4. Optikdesign .....	73
4.2.5. Mechanikdesign .....	75
4.2.6. Musterunterlagen .....	91
4.2.7. A-Muster .....	92
4.2.8. B-Muster .....	95
4.2.9. C-Muster .....	97
4.2.10. Freigabe Serienproduktion .....	98
4.2.11. Start Serienproduktion .....	99
4.2.12. Produktion .....	102
4.2.13. Letztes Bauteil in der Produktion .....	104
4.2.14. Ende der Lebenszeit .....	106

---

4.3 Diskussion der Ergebnisse.....	106
5. Übertragung der Ergebnisse auf andere Industriebereiche .....	110
6. Zusammenfassung und Ausblick .....	113
7. Literaturverzeichnis.....	i
Anhang.....	ix
i. Eigenschaften HUD .....	ix
ii. Bewertung Fassungen .....	xiv
iii. Badewannenkurve .....	xxii
iv. Formblätter.....	xxiii

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Probekörper zum Prüfen von Linsen, eingeklebt in metallische Fassungen [Wagner, A., 2014] .....	1
Abb. 2: Leichtbau-Roboter-Gelenkeinheit Rokviss [DLR, 2022] .....	2
Abb. 3: Schematische Darstellung des Aufbaus einer Klebung [Gleich, 2004] .....	5
Abb. 4: Klebtechnische Fehlleistungen [vgl. Hellwig, 2015] .....	8
Abb. 5: Zehnerregel [Schnurr, 2019] .....	9
Abb. 6: Rohr Loctite Komposit-Reparatursystem [Elfes & Kretzberg, 2014] .....	25
Abb. 7: Zierleisten [Unbekannt, 2013] .....	26
Abb. 8: Feste Blende [Fermum, 2020] .....	26
Abb. 9: ECU-Etikett [Wise, 2000] .....	28
Abb. 10: Top-down-Baugruppenmodellierung [Tide, 2011] .....	39
Abb. 11: Funktionsstrang Aufteilung (eigene Darstellung) .....	39
Abb. 12: 14-Stufen-Plan-Anwendung DIN 2304 (eigene Darstellung) .....	41
Abb. 13: Beispiel Optikdesign [Wiebe & Hobbach, 2020] .....	43
Abb. 14: a) FEM-Modell einer asphärischen Linse in CATIA V5 und b) Deformation der Linsenoberfläche bei Temperatureinwirkung [Weiberle, 2003] .....	43
Abb. 15: PCB-Design [RS Components, 2022] .....	44
Abb. 16: Beispiel Klebfassung mit markierter Klebfuge [vgl. Maus, 2015] .....	44
Abb. 17: Lessons-Learned-Prozess [Mittelmann, 2011] .....	47
Abb. 18: Kernstufen im 14- Stufen-Plan (eigene Darstellung) .....	48
Abb. 19: Anzahl an Klebbaugruppen des HUD [vgl. Panasonic Automotive Systems Europe, 2018] .....	50
Abb. 20: Combiner-HUD Mazda .....	51
Abb. 21: AR-HUD Projektion .....	51
Abb. 22: Beispiel HUD-Strahlengang aus Zemax [Tippner, Klebtechnologie, 2019] ..	52
Abb. 23: Optischer Aufbau Combiner [Continental Automotive GmbH, 2014] .....	52
Abb. 24: Optischer Aufbau WSS-HUD [Continental Automotive GmbH, 2014] .....	53
Abb. 25: DMD von TI [Texas Instruments Inc., 2006] .....	54
Abb. 26: AR-HUD VW ID.3 [VW, 2020] .....	54
Abb. 27: AR-HUD mit DMS [Panasonic Automotive Systems Europe, 2018] .....	55
Abb. 28: Optische Strahlung [BAuA, 2019] .....	55
Abb. 29: Einflussgrößen auf die HUD-Optik [vgl. Miličić, 2009] .....	56
Abb. 30: HUD-Komponenten [BMW Service, 2006] aus [Miličić, 2009] .....	57
Abb. 31: DMS im Fahrzeug [Fuchslocher, 2017] .....	60
Abb. 32: Automatisiertes Fahren [Naupold, 2020] von [Wilbert, Wagner, Kahlmeyer, & Böhm, 2020] .....	61
Abb. 33: Betrachtungsebenen für die Sicherheit von Fahrerassistenzsystemen [vgl. Georgieff, 1995; Dorrer, 2003] .....	62

Abb. 34: Funktionsstrang HUD mit DMS (eigene Darstellung).....	64
Abb. 35: Subbaugruppen Funktionsstrang DMS (eigene Darstellung).....	65
Abb. 36: Funktionsstrang DMS-Bauteile in der RFI-Phase (eigene Darstellung).....	66
Abb. 37: a) Master-System [vgl. Volkswagen AG, 2021] b) Slave-System [vgl. Volkswagen AG, 2021] .....	68
Abb. 38: Aufbau Objektiv IR-Kamera in der RFQ-Phase (eigene Darstellung).....	69
Abb. 39: Freigabe Entwicklungsauftrag (Ausschnitt aus eigener Darstellung, vollständige Darstellung s. Anhang).....	72
Abb. 40: a) Optikdesign IR-Kamera 3-D-Ansicht und b) Optikdesign IR-Kamera Strahlengänge [Mayer R. , 2018] .....	73
Abb. 41: Einfluss Optikdesign auf die Fassungstechnologie, a) mit Klebung und b) mit Schraubring (eigene Darstellung).....	74
Abb. 42: Finaler Strukturbaum Mechanikdesign (eigene Darstellung).....	75
Abb. 43: Schraubbringsicherung (eigene Darstellung).....	77
Abb. 44: Sicherung durch stoffschlüssige Verbindungsbestandteile [vgl. Sondermann, 2011] .....	79
Abb. 45: Simulation – Einfluss des Klebspalts auf das Bauteil [vgl. Böhm & Wagner, 2010].....	79
Abb. 46: Simulation – Spannungen bei +60 K im Vergleich [Böhm & Wagner, 2010].	80
Abb. 47: Simulation – Verschiebung in y-Richtung bei +60 K [Böhm & Wagner, 2010] .....	80
Abb. 48: Simulation – Verschiebung in z-Richtung bei +60 K [Böhm & Wagner, 2010] .....	81
Abb. 49: Beugung von Licht an einem Spalt und das daraus resultierende Beugungsmuster [Sczepek, 2021].....	83
Abb. 50: Fassglied geklebt a) konstruktiver Aufbau, b) schematische Wirkungsweise [Sondermann, 2011], c) Klebfassung seitlich [Tippner, Klebtechnologie, 2019].....	83
Abb. 51: Fassung Justierdrehen.....	85
Abb. 52: Fertigungstoleranzen einer Subbaugruppe für High-End- oder Präzisionsoptiken [Gebhardt, 2010].....	85
Abb. 53: Toleranzen Justierdrehen [Gebhardt, 2010].....	86
Abb. 54: Montage Fassung [Sondermann, 2011].....	86
Abb. 55: Vorzentrierte Klebfassung [vgl. Maus, 2015].....	87
Abb. 56: a) Fassung mit Schraubring und Kleben [Sondermann, 2011], b) Querschnitt Klebung [Tippner, Moderne Fassungstechnologien, 2020].....	88
Abb. 57: Zentrierte Klebfassung mit Schraubdeckel [Sondermann, 2011].....	88
Abb. 58: Entwicklungs- und Musterunterlagenfreigabe Teil 1 (Ausschnitt aus eigener Darstellung, vollständige Darstellung s. Anhang) .....	91

Abb. 59: Entwicklungs- und Musterunterlagenfreigabe Teil 2 (Ausschnitt aus eigener Darstellung, vollständige Darstellung s. Anhang) .....	92
Abb. 60: REM-Aufnahmen geklebter Glasrohlinge im Rahmen [Böhm & Wagner, 2010] .....	93
Abb. 61: Druckscherversuch an Glasrohlingen im Spannrahmen [Böhm & Wagner, 2010] .....	94
Abb. 62: A-Muster-Freigabe DIN 2304 (Ausschnitt aus eigener Darstellung, vollständige Darstellung s. Anhang) .....	95
Abb. 63: Beispiel B-Muster-Freigabe (Ausschnitt aus eigener Darstellung, vollständige Darstellung s. Anhang) .....	96
Abb. 64: C-Muster-Freigabe (Ausschnitt aus eigener Darstellung, vollständige Darstellung s. Anhang) .....	97
Abb. 65: Serienfreigabe (Ausschnitt aus eigener Darstellung, vollständige Darstellung s. Anhang) .....	98
Abb. 66: Prozessmessung Luftfeuchtigkeit SOP (eigene Darstellung) .....	100
Abb. 67: Prozessmessung Temperatur SOP (eigene Darstellung) .....	100
Abb. 68: Durchlaufzeit je Los oder Charge SOP (eigene Darstellung) .....	101
Abb. 69: Kapazitätsübersicht Produktion (eigene Darstellung) .....	102
Abb. 70: Matrixdiagramm der Parameter [Kierdorf, 2011] .....	103
Abb. 71: Formblatt Muster EOP (Ausschnitt aus eigener Darstellung, vollständige Darstellung s. Anhang) .....	105
Abb. 72: Kosten pro Fehler zum Zeitpunkt der Feststellung und Einflussmöglichkeiten [Schnurr, 2019] aus [Wilbert, Wagner, Kahlmeyer, & Böhm, 2020] .....	109
Abb. 73: DIN 2304 – Implementierung 14-Stufen-Plan ohne Anwendung von Optik (eigene Darstellung) .....	110
Abb. 74: Beispiel Fehlerrate und Produktqualität mit Umsetzungsschritten (eigene Darstellung) .....	112
Abb. 75: Optischer Weg mit Absorber [Miličić, 2009] .....	ix
Abb. 76: Asphärische Linse mit Pfeilhöhe z .....	x
Abb. 77: Optisches Design der W-HUD-/AR-HUD-Bildgebung in Zemax [Sydney, 2019] .....	xi
Abb. 78: Prinzip des virtuellen Bildes [Schneid, 2009] .....	xi
Abb. 80: Beispiel Stärkediagramm [Feldhusen, 2014] .....	xv
Abb. 80: Bewertung nach Kesselring [Feldhusen, 2014] .....	xv
Abb. 81: Grafische Darstellung Stärkediagramm – Fassungsstechnologien .....	xxi
Abb. 82: Badewannen Graph – Ausfallrate [Büttel und Marx GmbH, 2021] .....	xxii

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Sicherheitsklassen S1, S2, S3 und S4 nach DIN 2304-1 [DIN 2304-1, 2020-04].....	12
Tab. 2: Anforderungen an das klebtechnische Personal (S3) [vgl. DIN 2304-1, 2016-04].....	15
Tab. 3: Übersicht über die Anforderungen im Entwicklungsprozess und bei der Konstruktion.....	17
Tab. 4: Rahmenbedingungen Prozessvalidierung für S1 und S2 [DIN 2304-1, 2020-04].....	21
Tab. 5: Zusätzliche Rahmenbedingungen Prozessvalidierung für S1 [DIN 2304-1, 2020-04].....	21
Tab. 6: Übersicht Wertigkeit.....	37
Tab. 7: Einteilung DIN 2304-1 mit Wertigkeit.....	38
Tab. 8: Bewertung Funktionsbaugruppen.....	40
Tab. 9: Übersicht HUD-Arten [Mayer R. , 2018].....	51
Tab. 10: Bewertung RFI Bauteil Wertigkeit.....	66
Tab. 11: Bewertung Slave- und Master-System DMS.....	69
Tab. 12: Bewertung Vorzentrierte Linsenfassung.....	74
Tab. 13: Klassifizierung optischer Systeme nach Genauigkeitsklassen [Frank, 2008] von [Sondermann, 2011].....	82
Tab. 14: Bewertung Vorzentrierte Linsenfassung und Beschriftungsetikett.....	89
Tab. 15: Bewertung Beschriftungsetikett auf Basis der [DIN 2304-1, 2016-03]...	107
Tab. 16: Beschriftungsetikett (nur eigene Funktion).....	108
Tab. 17: Beispielbewertung Kraftstofftank.....	111
Tab. 18: Bewertung nach [DIN 2304-1, 2020-04] von Wilbert.....	113
Tab. 19: Eigenschaften optischer Elemente [vgl. Miličić, 2009].....	ix
Tab. 20: Technische Bewertungskriterien.....	xix
Tab. 21: Wirtschaftliche Bewertungskriterien.....	xx

## Formelverzeichnis

Formel 1: Umsatz im Jahr .....	29
Formel 2: Gewinn im Jahr .....	29
Formel 3: Schadenskosten im Jahr .....	29
Formel 4: Liquidität 2. Grades (ATR) .....	30
Formel 5: Beispiel Liquidität 2. Grades (ATR) .....	30
Formel 6: Sicherheitsstufe $S1_{\min}$ .....	32
Formel 7: Sicherheitsstufe $S2_{\min}$ .....	32
Formel 8: Sicherheitsstufe $S3_{\min}$ .....	32
Formel 9: Sicherheitsstufe $S4_{\min}$ .....	32
Formel 10: Sicherheitsstufe $S1_{\max}$ .....	33
Formel 11: Sicherheitsstufe $S2_{\max}$ .....	33
Formel 12: Sicherheitsstufe $S3_{\max}$ .....	34
Formel 13: Sicherheitsstufe $S4_{\max}$ .....	34
Formel 14: Sicherheitsstufe $S1$ .....	34
Formel 15: Sicherheitsstufe $S2$ .....	35
Formel 16: Sicherheitsstufe $S3$ .....	36
Formel 17: Sicherheitsstufe $S4$ .....	37
Formel 18: Risikobewertung ADAS .....	62
Formel 19: Dynamische Viskosität ( $\eta$ ) .....	84
Formel 20: SI-Einheit der dynamischen Viskosität ( $\eta$ ) .....	84
Formel 21: Multiple Regressionsgleichung für mehrere x .....	103
Formel 22: Meridiankurve einer asphärischen Fläche .....	x
Formel 23: Polynom für die Beschreibung einer Freiformfläche .....	xii
Formel 24: Technischer Faktor .....	xvi
Formel 25: Wirtschaftlicher Faktor .....	xvi
Formel 26: Geradenverfahren .....	xvi
Formel 27: Hyperbelverfahren .....	xvi

## Abkürzungsverzeichnis

HUD	Head-up-Display
ISO	Internationale Organisation für Normung
DIN	Deutsches Institut für Normung
KAP	Klebaufsichtspersonal
OEM	Original Equipment Manufacturer, Erstausrüster
DMD	Digital Micromirror Device
ASIL	Automotive Safety Integrity Level
RMS	Quadratische Rauheit
RFI	Request for Information, Entwicklungsanfrage
RFQ	Request for Quotation
Tier1	Zulieferer erster Ebene
PCB	Hardware Platine (Printed Circuit Board)
ATR	Acid Test Ratio / Liquidität
ACC	Adaptive Cruise Control, Abstandsregeltempomat
CAB	Computer Aided Bonding
GAK	Gemeinschaftsausschuss Klebtechnik
ECU	Electronic Control Unit
ABS	Antiblockiersystem
FAS	Fahrerassistenzsystem
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
HMI	Human-Machine-Interface, dt. Mensch-Maschine-Schnittstelle
Lkw	Lastkraftwagen
Pkw	Personenkraftwagen
DMS	Driver Monitoring System
AR	Augmented Reality
FOV	Field of View
VID	View in Distance
DMS	Driver monitoring system
WSS	Windschutzscheibe