

## Reihe 1

Konstruktions-  
technik/  
Maschinen-  
elemente

Nr. 446

Frank Mersch, M.Sc.  
Schwelm

## Verfahren zur Optimierung der haptischen Wertanmutung von Produkten auf der Basis von Simulationsmodellen



Ingenieurwissenschaftliche Berichte des  
**Lehrstuhls Konstruktion**  
an der Bergischen Universität Wuppertal





# **Verfahren zur Optimierung der haptischen Wertanmutung von Produkten auf der Basis von Simulationsmodellen**

**Dissertation  
zur Erlangung eines Doktorgrades  
(Dr.-Ing.)**

in der  
Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik

der  
**Bergischen Universität Wuppertal**

vorgelegt von  
**Frank Mersch**  
geboren in Schwelm

Wuppertal 2018

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Janoske

Referent: Prof. Dr.-Ing. Peter Gust

Korreferentin: Prof. Dr.-Ing. habil. Anke Kahl

Beisitzer: Prof. Dr.-Ing. Klaus Höfer

Tag der Disputation: 16. 04. 2018

# Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 1

Konstruktionstechnik/  
Maschinenelemente

Frank Mersch, M.Sc.  
Schwelm

Nr. 446

Verfahren zur  
Optimierung der  
haptischen Wertanmutung  
von Produkten auf  
der Basis von  
Simulationsmodellen



Ingenieurwissenschaftliche Berichte des  
**Lehrstuhls Konstruktion**  
an der Bergischen Universität Wuppertal

Mersch, Frank

## **Verfahren zur Optimierung der haptischen Wertanmutung von Produkten auf der Basis von Simulationsmodellen**

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 1 Nr. 446 . Düsseldorf: VDI Verlag 2018.

144 Seiten, 94 Bilder, 11 Tabellen.

ISBN 978-3-18344601-8 ISSN 0178-949X,

€ 52,00/VDI-Mitgliederpreis € 46,80.

**Für die Dokumentation:** Produktentwicklung – Wahrgenommene Qualität – Produkthaptik – Wertanmutung – Simulation der Haptik – Optimierung der Haptik

Die vorliegende Arbeit beschreibt ein Verfahren, welches Produktentwicklern bereits im Entwurfsprozess die Möglichkeit bietet, die Haptik von Produkten zielgerichtet für die Kunden auszulegen. Im Gegensatz zu den bestehenden Vorgehensweisen umfasst das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren den gesamten Prozess zur simulationsbasierten Optimierung der Produkthaptik – von der Objektivierung der Produkthaptik über die direkte Kopplung dieser Wahrnehmungsobjektivierung mit Methoden aus der Simulationstechnik bis hin zum abschließenden Einsatz von Optimierungsverfahren. Die Anwendbarkeit des Verfahrens wird anhand einer Optimierung eines Handygehäuses und eines Handwerkzeugs nachgewiesen.

### **Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

### **Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek**

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at [www.dnb.de](http://www.dnb.de).

D 468

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-949X

ISBN 978-3-18-344601-8

---

# Vorwort

Während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Konstruktion der Bergischen Universität Wuppertal war ich durch die Bearbeitung verschiedener Forschungs- und Entwicklungsprojekte immer wieder mit den Herausforderungen im Rahmen der kundengerechten Produktentwicklung konfrontiert. Insbesondere die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus dem Bereich Wirtschaftswissenschaften, Marketing und Produktdesign ermöglichte es mir, die verschiedenen Sichtweisen auf das Thema Produktentwicklung kennenzulernen und zu studieren. Eine Frage, die besonders häufig im Konstruktionsprozess mit den verschiedenen Partnern diskutiert wurde, lautete: „Wie fühlt sich das an?“ Aus diesem Grund habe ich nach Lösungen gesucht, wie „das Gefühle“ sichtbar und quantifizierbar wird.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Gust, der mit seinem Vorschlag zur Themenrichtung „Objektivierung der Produktgestaltung“ den Impuls für diese Arbeit gegeben hat. Ich danke Ihnen für Ihr Vertrauen und die Schaffung der Rahmenbedingungen, die diese Arbeit ermöglicht haben. Frau Prof. Dr.-Ing. habil. Anke Kahl danke ich herzlich für das Interesse an dieser Arbeit und für die Übernahme des Zweitgutachtens. Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Janoske für die Übernahme des Vorsitzes und bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Höfer für den Beisitz der Prüfungskommission bedanken.

Meinen Kollegen, insbesondere meinem langjährigen Büronachbarn und Freund Dr.-Ing. Aydin Ünlü, danke ich für die vielen fachlichen Diskussionen und die hervorragende Arbeitsatmosphäre. Bedanken möchte ich mich auch bei allen Studenten und wissenschaftlichen Hilfskräften, die mich im Rahmen von Abschluss- und Projektarbeiten tatkräftig unterstützt haben. Abschließend möchte ich mich bei den wichtigsten Menschen in meinen Leben bedanken, meinen Eltern und meiner Lebensgefährtin Pia. Durch euren Rückhalt und die Freiräume, die ihr mir gegeben habt, habt ihr einen großen Teil zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Schwelm, den 26.01.2018

gez. Frank Mersch



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Nomenklatur</b>	<b>IX</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>XI</b>
<b>Abstract</b>	<b>XII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	2
1.2 Aufbau der Arbeit	3
<b>2 Grundlagen und Stand der Wissenschaft</b>	<b>4</b>
2.1 Die wahrgenommene Qualität	4
2.2 Mathematische Grundlagen	6
2.2.1 Kennwerte zur Beschreibung von Datensätzen	6
2.2.2 Regressionsmodelle	7
2.2.3 Varianzanalyse	8
2.3 Gütekriterien der Datenerhebung	10
2.3.1 Objektivität	10
2.3.2 Reliabilität	11
2.3.3 Validität	11
2.4 Die menschliche Wahrnehmung	12
	V

2.4.1	Grundlagen der Wahrnehmung	13
2.4.2	Die haptische Wahrnehmung	14
2.4.3	Taktile Sensorik	15
2.4.4	Propriozeptive Sensorik	17
2.5	Haptische Explorationsprozeduren	17
2.6	Griffarten und Kräfte	19
2.7	Simulationsmethoden	20
2.7.1	FEM	21
2.7.2	MKS	22
2.8	Forschung im Bereich der haptischen Wahrnehmung von Produkten	23
2.8.1	Taster und Drehsteller	24
2.8.2	Schaltgetriebe	28
2.8.3	Haptik eines Griffgestänges	28
2.8.4	KFZ-Innenräume	31
2.9	Zusammenfassung und Diskussion	34
<b>3</b>	<b>Handsystem zur Erfassung der Belastungskollektive</b>	<b>35</b>
3.1	Sensorische Kraftmesssysteme	37
3.2	Verwendetes System	38
<b>4</b>	<b>Entwicklung eines Verfahrens zur numerischen Analyse und Optimierung der Produkthaptik</b>	<b>41</b>
4.1	System analysieren	43

4.2	Nutzertest durchführen	44
4.3	Testobjekte vermessen	46
4.4	Simulation durchführen	47
4.5	Optimierungsziele ermitteln	49
4.6	Optimierung durchführen	51
<b>5</b>	<b>Erprobung des Verfahrens am Beispiel eines Handygehäuses</b>	<b>54</b>
5.1	System analysieren	55
5.2	Nutzertest durchführen	56
5.3	Testobjekt vermessen	63
5.4	Simulation durchführen	66
5.5	Optimierungsziele ermitteln	70
5.6	Optimierung durchführen	76
5.7	Validierung der Optimierung	79
<b>6</b>	<b>Anwendungsbeispiel Gartenschere</b>	<b>82</b>
6.1	Optimierung der Schneidhaptik	83
6.1.1	System analysieren	83
6.1.2	Nutzertest durchführen	83
6.1.3	Testobjekte vermessen	87
6.1.4	Simulation durchführen	89
6.1.5	Optimierungsziele ermitteln	91
6.1.6	Optimierung durchführen	91

6.2	Optimierung der Haptik im Lastfall	92
6.2.1	System analysieren	93
6.2.2	Nutzertest durchführen	93
6.2.3	Testobjekte vermessen	95
6.2.4	Simulation durchführen	97
6.2.5	Optimierungsziele ermitteln	98
6.2.6	Optimierung durchführen	99
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>103</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>107</b>
A.1	Sensoranordnung des Handschuhs	107
A.2	Verwendete Messtechnik	108
A.3	Modelldaten aus der Simulation des Handygehäuses	112
A.4	Daten der Scheren A1-A6 und B1-B6	118
A.5	Gesamtansicht des FE-Modells der Schere C5	121
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>122</b>

---

# Nomenklatur

## Abkürzungen

ANOVA	Analysis of Variance
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
DOE	Design Of Experiments
EVAC	Ethylen-Vinylacetat-Copolymer
EEG	Elektroenzephalografie
FDM	Fused Deposition Modeling
FE	Finite Elemente
FEM	Finite-Elemente-Methode
FSR	Force Sensing Resistor
KFZ	Kraftfahrzeug
LED	Light Emitting Diode
MKS	Mehrkörpersimulation
PA	Polyamid
RMS	Root Mean Square
SAO	Sequential Approximation Optimization
VR	Virtual Reality
ZNS	Zentralnervensystem

## Formelzeichen

Abkürzung	Bedeutung	Einheit
$d$	Durchmesser	mm
$DP_{DO}$	Designparameter Deckeloberseite	mm
$DP_{DU}$	Designparameter Deckelunterseite	mm
$F$	Kraft	N
$F_N$	Normalkraft	N
$F_R$	Reibkraft	N
$S_{DO}$	Deckelstärke der Gehäuseoberseite	mm
$S_{DU}$	Deckelstärke der Gehäuseunterseite	mm
$f$	Verformung	mm
$WQ(f)$	Zusammenhang zwischen Bewertung und Verformung	—
$\alpha$	Irrtumswahrscheinlichkeit	%
$\mu$	Reibkoeffizient	—
$\sigma$	Spannung	MPa

---

## Kurzfassung

Die Qualitätswahrnehmung des Kunden ist ein wichtiges Kriterium im Rahmen der Kaufentscheidung. Vor dem Hintergrund eines stetig wachsenden Wettbewerbs stehen Unternehmen vor der Herausforderung, Produkte so zu gestalten, dass diese vom Kunden als hochwertig empfunden werden, und gleichzeitig Entwicklungskosten einzusparen. Ein Sinneskanal, der für die Qualitätswahrnehmung verantwortlich ist, ist die Haptik.

Das Ziel dieser Arbeit liegt in der Entwicklung eines Verfahrens, welches von Produktentwicklern zur Objektivierung der menschlichen Wahrnehmung und zur gezielten Optimierung von Produkten in der Entwurfsphase verwendet werden kann.

Im Gegensatz zu den bestehenden Vorgehensweisen beschreibt das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren den gesamten Prozess zur simulationsbasierten Optimierung der Produkthaptik – von der Objektivierung der Produkthaptik über die direkte Kopplung dieser Wahrnehmungsobjektivierung mit Methoden aus der Simulationstechnik bis hin zum abschließenden Einsatz von Optimierungsverfahren. Die Effektivität des Verfahrens wird am Beispiel eines Handygehäuses belegt. Die Sicherstellung der Anwendbarkeit auf verschiedene Produktgruppen und Anwendungsfälle wird abschließend – anhand einer anwendungsorientiert beschriebenen Optimierung eines Handwerkzeugs – nachgewiesen.

---

# Abstract

The quality perception of the customer is an important criterion in the purchase decision. Especially in view of a continuously increasing market competition, companies are faced with the challenge of designing products, in such a way, that customers perceive them as high-quality and – at the same time – saving development costs. One sensory channel, responsible for the perception of quality, is the haptics.

The objective of this work is the development of a method for the optimization of product haptics. In an early concepts stage, the method enables product developers to objectify the human perception of products and to use it for targeted optimization.

In contrast to existing procedures, this method describes the entire process for the simulation-based optimization of product haptics. From the objectification of product haptics, the linkage of this perceptual objectification with methods from simulation technology, to the final use of optimization methods. The effectiveness of this method is demonstrated by using the example of a mobile phone case. The applicability to different product groups and use cases is finally demonstrated on the base of an application-oriented described optimization of a hand tool.