



Institut für Konstruktionstechnik  
und Technisches Design  
Universität Stuttgart

Forschungs- und Lehrgebiet  
Technisches Design

Prof. Dr.-Ing. T. Maier

Matthias Sebastian Fischer

**Geometrieanalyse und menschenzentrierte  
Untersuchung zur markenspezifischen  
Formgebung von Produkten mit  
unterschiedlicher Aufbaugestalt**

Bericht Nr. 717



# **Geometrieanalyse und menschenzentrierte Untersuchung zur markenspezifischen Formgebung von Produkten mit unterschiedlicher Aufbaugestalt**

Geometry Analysis and Human-Centered Study on Brand-Specific Shape  
of Products with Different Body Layout

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik  
der Universität Stuttgart  
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von  
Matthias Sebastian Fischer  
geboren in Stuttgart

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier

Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath (i.R.)

Tag der mündlichen Prüfung: 10.08.2023

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design  
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design  
Universität Stuttgart

2023

**D 93**

**ISBN-13: 978-3-946924-23-4**

**Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design  
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 9

D-70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 685-66055

Telefax: +49 (0)711 685-66219

E-Mail: [mail@iktd.uni-stuttgart.de](mailto:mail@iktd.uni-stuttgart.de)

---

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als akademischer Mitarbeiter am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD), Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, der Universität Stuttgart.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier danke ich ganz herzlich für das in mich gesetzte Vertrauen und die Betreuung der Arbeit. Die wertvollen fachlichen Diskussionen und die Freiheiten bei der Wahl und Bearbeitung meines Forschungsvorhabens, haben entscheidend zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Ebenfalls danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h.c. Dieter Spath für das Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Mitberichts. Prof. Dr.-Ing. Andreas Wagner danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Allen meinen ehemaligen Kollegen gilt mein Dank für das stets freundliche Umfeld am Institut und den guten Zusammenhalt im Team. Ganz besonders danken möchte ich Dr.-Ing. Daniel Holder für die fachlichen und persönlichen Gespräche und Unterstützung über all die Jahre. Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Peter Schmid, M.Sc. und Herrn Florian Reichelt, M.Sc. für die sorgfältige Durchsicht der Arbeit und Herrn Michael Tondera, M.Sc. für die wertvollen Hinweise bei Fragen zur statistischen Studienauserwertung. Einen entscheidenden Anteil daran, dass ich Mitarbeiter am Institut wurde, haben Dr.-Ing. Roland Mandel und Dr.-Ing. Markus Schmid, denen ich herzlich für die Unterstützung danke.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich auf meinem bisherigen Weg, im Studium und bei meinem Promotionsvorhaben begleitet haben. Noch größerer Dank gilt meiner Frau, die mich in der gesamten Zeit motiviert, mir den Rücken freigehalten und dabei auch viel zurückgesteckt hat. Abschließend danke ich meinem Herrn und Gott.

Stuttgart, August 2023

Matthias Sebastian Fischer



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Formelzeichen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung und Abgrenzung .....	2
1.3 Struktur der Arbeit.....	3
<b>2 Grundlagen und Stand der Technik.....</b>	<b>5</b>
2.1 Definition des Produktes und der Produktgestalt .....	5
2.1.1 Gestaltdefinition mit Teilgestalten .....	8
2.1.2 Definition der Teilgestalt Aufbau .....	8
2.1.3 Definition der Teilgestalt Form .....	9
2.2 Produktgestaltung und -modellierung .....	11
2.2.1 Produktentwicklungsprozess.....	12
2.2.2 Freiheitsgrad der Gestaltung.....	14
2.2.3 Grundlagen der geometrischen Modellierung .....	15
2.2.3.1 Topologie und Geometrie .....	15
2.2.3.2 Geometrische Darstellung von Kurven und Flächen .....	16
2.2.3.3 Geometrische Eigenschaften von Kurven und Flächen.....	18
2.2.4 Computer-Aided Design.....	21
2.2.5 Computer-Aided Styling .....	23
2.2.5.1 Modellierungssysteme.....	23
2.2.5.2 Oberflächenklassifizierung .....	24
2.2.5.3 Modellierungsvorgehen und -operationen .....	26
2.3 Markenspezifische Produktgestalt .....	28
2.3.1 Marken und deren Kernaspekte.....	29
2.3.2 Markenstrategien und -architektur .....	30
2.3.3 Markenspezifische Produktgestaltung .....	30
2.3.4 Modell der Produkt-Beziehungsebenen im Markenkontext.....	31
2.4 Grundlagen der menschlichen Wahrnehmung.....	33

2.4.1	Prozess der Wahrnehmung.....	33
2.4.2	Psychophysik - Messung der Wahrnehmung.....	34
2.4.2.1	Wahrnehmungsschwellen und psychometrische Funktion .....	35
2.4.2.2	Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmung.....	37
2.4.2.3	Methoden in der Psychophysik.....	37
2.4.3	Visuelle Wahrnehmung .....	38
2.4.3.1	Prozess des Sehens.....	38
2.4.3.2	Objekterkennung .....	40
2.4.3.3	Visuelle Aufmerksamkeit und Veränderungsblindheit.....	42
2.4.3.4	Wahrnehmung der Teilgestalt Form .....	42
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung.....</b>	<b>46</b>
3.1	Eingrenzung und Klassifizierungssystem.....	46
3.2	Analyse der Forschungsarbeiten.....	48
3.3	Zwischenfazit und Forschungsbedarf.....	55
<b>4</b>	<b>Formbeschreibungmodell und Formelementauswahl.....</b>	<b>57</b>
4.1	Formbeschreibungmodell.....	57
4.1.1	Definition Fläche und Flächenübergang.....	57
4.1.2	Herkunftsklassifizierung von Flächen und Flächenübergängen .....	61
4.1.3	Eigenschaften von Formelementen und Ordnungsbeziehungen.....	63
4.2	Auswahl relevanter Formelemente und deren geometrische Eigenschaften .....	65
4.2.1	Anforderungen an die Formelemente und deren Eigenschaften .....	65
4.2.2	Herkunftsbezogene Formelementauswahl .....	66
4.2.3	Bewertung und Auswahl der Formelementeigenschaften .....	67
<b>5</b>	<b>Parametrisierung von Flächen- und Kantenrundheit .....</b>	<b>71</b>
5.1	Produktspezifizierung und Reizmusterabstraktion .....	71
5.1.1	Anforderungen an die Produkte und Vorgaben für die Reizmustererstellung .....	72
5.1.2	Produktfokus und Aufbauabstraktion .....	73
5.2	Modellierungsansatz .....	76
5.2.1	Analyse bestehender Parametrisierungsansätze .....	76
5.2.2	Geometrischer Modellierungsansatz.....	78
5.3	Reizmusterdarstellung .....	83
5.4	Vorstudie zu geometrischen und wahrgenommenen Rundheiten .....	84
5.4.1	Studienplanung und -design.....	84
5.4.1.1	Forschungsfrage.....	85
5.4.1.2	Versuchsablauf und Untersuchungsmodelle .....	86
5.4.1.3	Versuchsaufbau.....	91
5.4.2	Studienergebnisse .....	92



---

5.4.2.1	Vorgehen der Auswertung.....	92
5.4.2.2	Auswahl statistischer Verfahren und Ergebnisdarstellung.....	94
5.4.2.3	Probandenkollektiv .....	95
5.4.2.4	Ergebnisse Flächenrundheit.....	96
5.4.2.5	Ergebnisse Kantenrundheit.....	98
5.4.3	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	103
5.5	Modellierungsvorgehen technischer Produkte .....	105
<b>6</b>	<b>Studien zur Formgestalt im Markenkontext .....</b>	<b>109</b>
6.1	Studie 1: Formgestaltmatrix .....	110
6.1.1	Studienplanung und -design .....	110
6.1.1.1	Ziele und Hypothesen .....	110
6.1.1.2	Aufgabe und Fragestellung .....	112
6.1.1.3	Untersuchungsmodelle und Versuchsaufbau.....	114
6.1.1.4	Versuchsablauf .....	117
6.1.2	Studienergebnisse .....	118
6.1.2.1	Vorgehen der Auswertung.....	118
6.1.2.2	Auswahl statistischer Verfahren und Ergebnisdarstellung.....	119
6.1.2.3	Probandenkollektiv .....	120
6.1.2.4	Ergebnisse Formgestaltmatrix.....	122
6.1.2.5	Ergebnisse Markenebene .....	127
6.1.2.6	Ergebnisse Farbeigenschaften.....	128
6.1.3	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	129
6.2	Studie 2: Produktkategorie.....	132
6.2.1	Studienplanung und -design .....	133
6.2.1.1	Ziele und Hypothesen .....	133
6.2.1.2	Aufgabe und Fragestellung .....	134
6.2.1.3	Untersuchungsmodelle und Versuchsaufbau.....	135
6.2.1.4	Versuchsablauf .....	139
6.2.2	Studienergebnisse .....	140
6.2.2.1	Vorgehen der Auswertung.....	140
6.2.2.2	Auswahl statistischer Verfahren und Ergebnisdarstellung.....	140
6.2.2.3	Probandenkollektiv .....	141
6.2.2.4	Ergebnisse S-Kurven und Urteilsschwellen.....	144
6.2.2.5	Ergebnisse Produktkategorie .....	151
6.2.2.6	Ergebnisse Kantenrundheitsdetails.....	154
6.2.2.7	Ergebnisse Markenebene .....	155
6.2.2.8	Ergebnisse Betrachtungsverhalten .....	157
6.2.3	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	161
6.3	Interpretation und Anwendung der Studienergebnisse .....	164

---

<b>7 Zusammenfassung</b> .....	<b>168</b>
<b>8 Ausblick</b> .....	<b>172</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>175</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>191</b>
A1 Vorstudie .....	191
A2 Studie 1: Formgestaltmatrix .....	191
A3 Studie 2: Produktkategorie .....	200
<b>Lebenslauf</b> .....	<b>217</b>

### **Hinweise für den Leser**

Die Quellenangaben in dieser Arbeit erfolgen innerhalb des fortlaufenden Textes in eckigen Klammern und verweisen auf einen ausführlichen Eintrag im Literaturverzeichnis. Quellenangaben am Ende eines Absatzes beziehen sich auf den gesamten Absatz.

Im Interesse einer besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit nicht ausdrücklich in geschlechtsspezifische Personenbezeichnungen differenziert. Es soll an dieser Stelle jedoch darauf hingewiesen werden, dass die gewählten sprachlichen Formen stets alle Geschlechter einschließen.

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
3D/S1	Standardtest für räumliches Vorstellungsvermögen
An	Anforderung
AOI	Area of Interest
AS	Akkuschrauber
AV	Abhängige Variable
BE	Bügeleisen
B-Rep	Boundary-Representation
B-Spline	Basis-Spline
CAAD	Computer-Aided Aesthetic Design
CAD	Computer-Aided Design
CAID	Computer-Aided Industrial Design
CAS	Computer-Aided Styling
CAX	Computer-Aided X
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow und Key (Farbmodell)
CSG	Constructive Solid Geometry
CSG-B-Rep	Constructive Solid Geometry - Boundary-Representation (Hybridmodell)
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EHW	Elektrohandwerkzeug
FGM	Formgestaltmatrix
HG	Haushaltsgerät
HS	Handstaubsauger
H <sub>0</sub> x	Nullhypothese
H <sub>x</sub>	Alternativhypothese
IGES	Initial Graphics Exchange Standard
IKTD	Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design
KG	Küchengerät

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
KM	Kaffeemaschine
LG	Ladegerät
MAYA	Most Advanced, Yet Acceptable
Messwdh.	Messwiederholung
NURBS	nicht uniforme rationale Basis-Splines
P	Produkt
P.	Punkt
P1	Produkt 1
P2	Produkt 2
PH	Produktgeschichte
Pkw	Personenkraftwagen
PO	Produktportfolio
PP	Produktprogramm
PS	Produktsystem
PW	Produktwettbewerb
Ref.	Referenz
Std.	Standard
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
Techn.	Technisch
TR	Toaster
U	Umrechnung
WSg	Winkelschleifer groß
WSk	Winkelschleifer klein
WTS	Wiener Testsystem

## Formelzeichen

Symbol	Einheit	Erläuterung
$a$	mm	Querschnittskurve (gerade Linie)
$A$	mm <sup>2</sup>	Flächeninhalt
$a_H$	mm	Kantenlänge regelmäßiges Hexagon
$A_H$	mm <sup>2</sup>	Flächeninhalt regelmäßiges Hexagon
$A_K$	mm <sup>2</sup>	Flächeninhalt Kreis
$A_{Ks}$	mm <sup>2</sup>	Flächeninhalt Kreissegment
$b$	mm	Höhe Kreissegment
$c_F$	-	Konstante des Fechner'schen Gesetzes
$c_S$	-	Konstante der Stevens'schen Potenzfunktion
$c_{S-FR}$	-	Konstante Kantenrundheit
$c_{S-KR}$	-	Konstante Kantenrundheit
$c_W$	-	Weber'sche Konstante
$C^x$	-	Parametrische Stetigkeit
$d$	-	Cohen's $d$ , Effektstärke (Statistik)
$E$	-	Erlebbare Empfindungsstärke
$F$	-	Teststatistik $F$ -Verteilung (Statistik)
$f(u)$	-	Parametrische Kurvendarstellung
$f(u, v)$	-	Parametrische Flächendarstellung
$F(x; \alpha, \beta)$	-	S-förmige Basisfunktion (psychometrische Funktion )
$F_{mod}$	-	Modifikationsfaktor Flächenrundheit
$gFR$	-	Geometrische Flächenrundheit
$gKR$	-	Geometrische Kantenrundheit
$G^x$	-	Geometrische Stetigkeit
$Hardness$	-	Kennzahl Härte
$K_{mod}$	-	Modifikationsfaktor Kantenrundheit
$l$	mm	Länge

<b>Symbol</b>	<b>Einheit</b>	<b>Erläuterung</b>
$l_F$	mm	Länge der Flächenkurve
$l_K$	mm	Länge Kantenabschnitt
$n$	-	Exponent der Stevens'schen Potenzfunktion
$n$	-	Normalenvektor
$n$	-	Probandenanzahl (Statistik)
$n_{FR}$	-	Exponent Flächenrundheit
$n_{KR}$	-	Exponent Kantenrundheit
$n_p$	-	Polynomgrad Kurve
$p$	-	Signifikanzwert (Statistik)
$p_{Korr}$	-	Korrigierter Signifikanzwert, Bonferroni-Holm (Statistik)
$r$	mm	Radius
$r$	-	Korrelationskoeffizient / Effektstärke (Statistik)
$R^2$	-	Bestimmtheitsmaß (Statistik)
$r_F$	mm	Radius der Flächenkurve
$r_K$	mm	Radius Kreis
$r_{Kmin}$	mm	Minimaler Radius im Kantenquerschnitt
$r_{min}$	mm	Minimaler Radius
$r_p$	-	Korrelationskoeffizient nach Pearson (Statistik)
$r_s$	-	Korrelationskoeffizient nach Spearman (Statistik)
$r_{soll}$	mm	Radius-Sollwert für Kurvenquerschnittsmodifikation
$S$	-	Physikalischer Ausgangsreiz bzw. physikalische Reizintensität
<i>Sharpness</i>	-	Kennzahl Schärfe
<i>Softness</i>	-	Kennzahl Weichheit
$t$	-	Tangentialvektor
$t$	-	Teststatistik bei $t$ -Tests (Statistik)
$t_{H1}$	-	Tangentialvektor bei minimalen Hauptkrümmung
$t_{H2}$	-	Tangentialvektor bei maximalen Hauptkrümmung
$u$	-	Kurven- bzw. Flächenparameter

<b>Symbol</b>	<b>Einheit</b>	<b>Erläuterung</b>
$v$	-	Flächenparameter
$wFR$	-	Wahrgenommene Flächenrundheit
$wKR$	-	Wahrgenommene Kantenrundheit
$z$	-	Teststatistik bei z-Tests (Statistik)
$\alpha$	-	Lageparameter (psychometrische Funktion)
$\alpha$	° / rad	Winkel zwischen Vektoren
$\alpha_K$	rad	Winkel zwischen Tangentialvektoren im Kantenabschnitt
$\beta$	-	Steigungsparameter (psychometrische Funktion)
$\gamma$	-	Ratewahrscheinlichkeit (psychometrische Funktion)
$\Delta$	-	Distanz / Differenz in Formgestaltmatrix
$\Delta S$	-	Reizgröße des eben merklichen Unterschiedes
$\eta_p^2$	-	Partielles Eta-Quadrat, Effektstärke (Statistik)
$\kappa$	1/mm	Krümmungswert
$\kappa_1$	1/mm	Minimale Hauptkrümmung
$\kappa_2$	1/mm	Maximale Hauptkrümmung
$K_{Curvedness}$	1/mm	Curvedness (Gekrümmtheit)
$K_{Gauß}$	1/mm <sup>2</sup>	Gaußsche Krümmung
$K_{Mittel}$	1/mm	Mittlere Krümmung
$K_{Shape Index}$	-	Shape Index (Formindex)
$\lambda$	-	Lapsus-Rate (psychometrische Funktion)
$\chi^2$	-	Chi-Quadrat, Teststatistik $\chi^2$ -Verteilung (Statistik)
$\psi$	-	Psychometrische Funktion





## Abstract

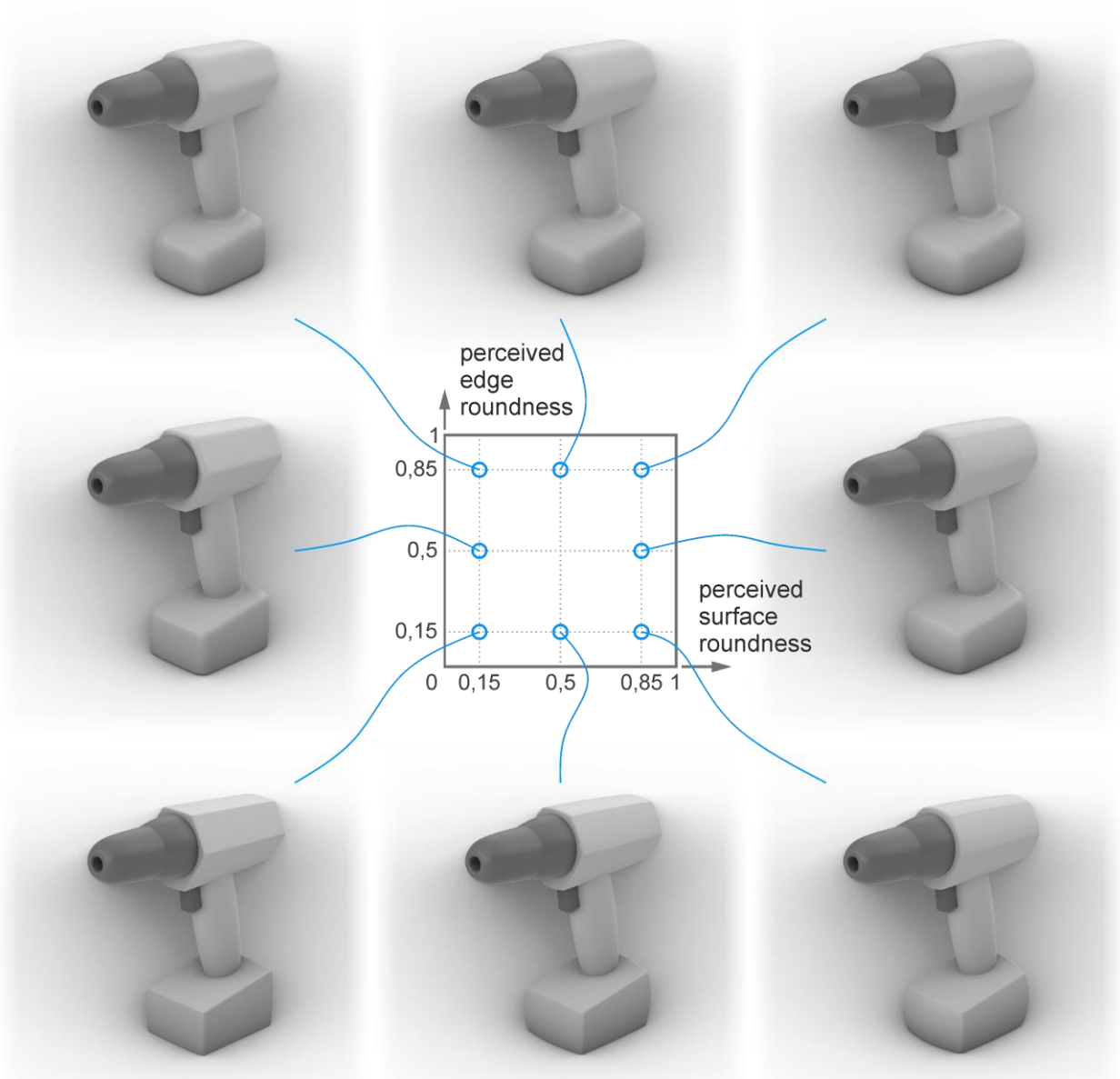
Technical products can be assigned to brands on the basis of similarities in external appearance. An essential design parameter for this is the shape, which has so far hardly been considered for products with different structures at the brand level of the product system. In the present work, surface and edge roundness of the primary shape were found to be suitable for the uniform design of a brand or for differentiation from competitors. For surface and edge roundness, the judgment thresholds of brand affiliation, which determine the degree of design freedom, were investigated.

The first step was to consider the fundamentals of product design and modelling, as well as brand-specific product design and human perception (Chapter 2). This was followed by an analysis of scientific research on shape design in the brand context (Chapter 3). Among other things, it was found that implicit attributes (the essence and effect of the product) are more often considered at the product system brand level (PS, related products with different purposes) than at the product program brand level (PP, products with identical purposes).

The shape description model (Chapter 4) presented a description for the geometric differentiation of the elements surface and surface transition (edge, corner) on product surfaces, taking into account visual perception. Furthermore, a system for classifying the origin of surfaces and surface transitions for technical products was developed. According to this system, surfaces and surface transitions can be classified in terms of their origin into the overall technical function (goal: body enclosure), detailed technical function (goal: manufacturability, function fulfilment) and appearance function (goal: aesthetics). From the shape description model, global shapes such as the primary shape of the overall technical function and facets of the appearance function (secondary shape) were identified as suitable origin-related shapes for brand affiliation. By considering their implicit attributes, "surface roundness" and "edge roundness" were identified as relevant shape properties for the PS brand level.

On this basis, the parameterization of surface and edge roundness was developed (Chapter 5). For minimum surface roundness, a surface is flat and becomes more curved as the surface roundness increases. Minimum edge roundness describes unrounded, sharp edges that increase in radius as edge roundness increases. During the stimulus pattern abstraction, it was first noticed that cylindrical structural elements with minimum surface roundness have a hexagonal cross-section instead of a circular cross-section. In addition to the bodies with hexagonal cross-sections, a modelling approach was created for cu-

boiled basic bodies with variable surface and edge roundness. The results of the preliminary study form the core of the parameterization. In this preliminary study (12 experts), scale-independent relationships between geometric and perceived surface and edge roundness were determined in the form of the Stevens power function (psychophysics). The results can be used to model products with a pure shape independent of their scale (see shape matrix in Figure 1). It is also possible to compare products on the basis of perceived surface and edge roundness.

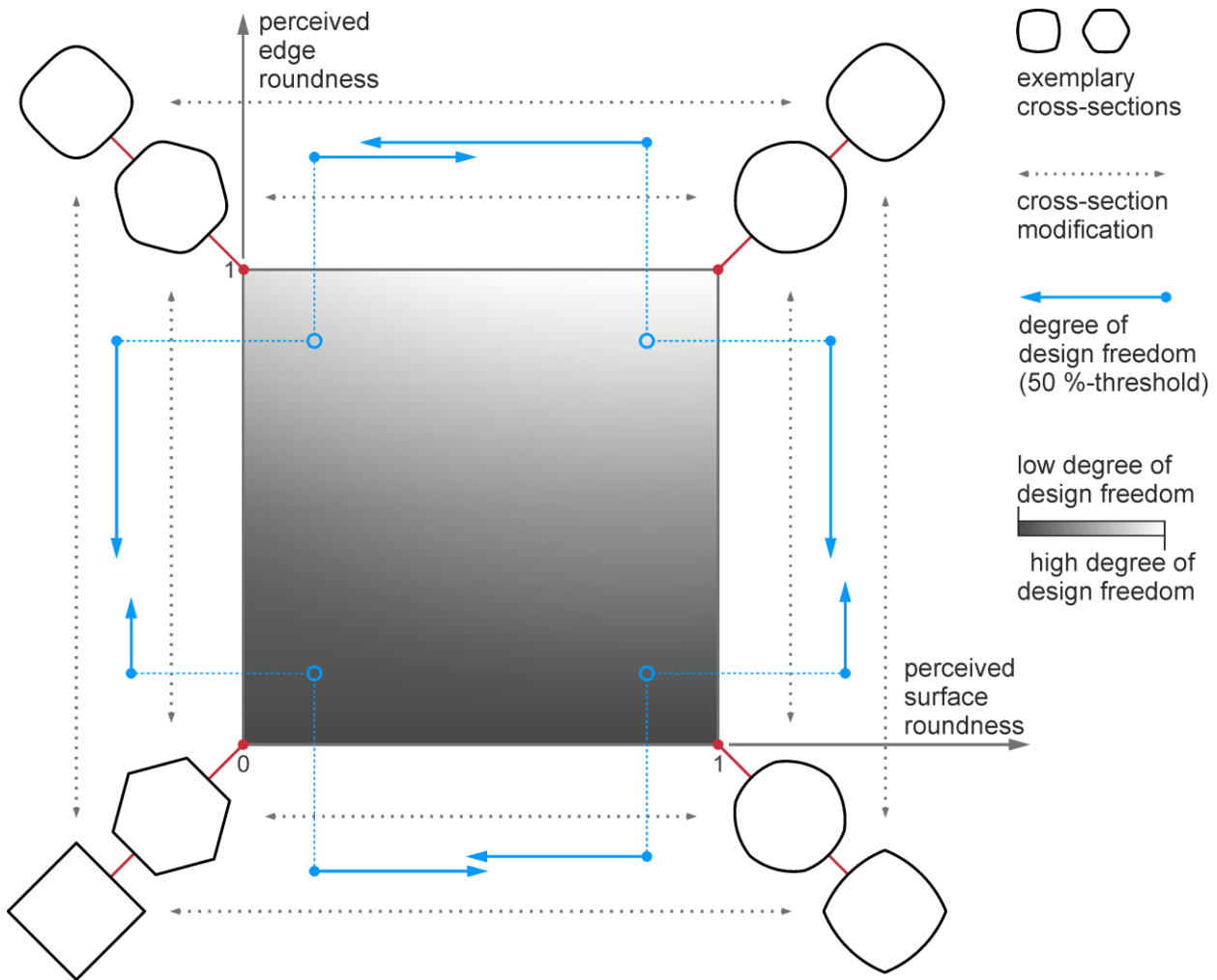


**Figure 1:** Shape matrix with cordless screwdriver as a product example (greyscale rendering)

These findings were used to model product models of target perceived surface and edge roundness were modelled for the study of brand affiliation. These stimulus patterns were

used in two studies (Chapter 6). Two products (reference product and comparison product) were always presented simultaneously as greyscale renderings side by side on a screen. In Study 1, the product patterns were represented by electric hand tools. The comparison products were steplessly adjusted to the judgment threshold by the 36 subjects according to the method of adjustment (psychophysics). The judgment threshold indicates whether the comparison product and the reference product belong to the same brand or different brands. There were no significant differences in the 50 %-judgment thresholds between the brand levels (PP & PS). Overall, the judgment thresholds (and thus also the degrees of design freedom) are smaller for low reference roundness than for high reference roundness. In addition, the degrees of design freedom are generally lower for edge roundness than for surface roundness (see Figure 2). Based on this result, the second study focused on perceived edge roundness in the brand context at the PS level. The study focused on possible differences between different product categories (32 subjects).

For the design of the study, the more precise psychophysical study design of the method of constant stimuli was used. Judgement thresholds were determined by analogy with the psychometric function using S-curves. Electrical hand tools, kitchen appliances and household appliances were used as stimulus patterns. In addition, possible differences between the PP and PS brand levels were tested with a reduced scope using the electric hand tools. In addition, the subjects' gaze data were recorded during the study to analyse their viewing behaviour. The dichotomous evaluation of the ratings of the product pairs resulted in S-curves as judgement thresholds. Differences were found between the product categories in the evaluation of brand affiliation. However, these differences did not occur for all surface and edge roundness of the reference products. No general correlation could be found between the differences in perceived edge roundness between the product categories. Overall, across all product categories, the degree of design freedom is lowest for low edge roundness and increases with increasing edge roundness (see Figure 2). Small differences were found between the PP and PS brand levels, but these could also be due to details in the course of the S-curves. The study also identified the limits of scale-independent perceived surface and edge roundness. In the case of large deviations in surface subdivisions and product dimensions, absolute radii or curvatures of surfaces and edges seem to be more relevant than relative roundness. Furthermore, the analysis of the viewing behaviour shows that not all areas of the products received the same attention in this task. The focused product areas can be used for targeted product modelling if required.



**Figure 2:** Qualitative degree of design freedom for surface and edge roundness in the shape matrix

In total, three different psychophysical study designs were successfully applied to evaluate surface and edge roundness and to determine brand affiliation judgment thresholds. The theoretical work and results of the preliminary study (Chapters 4 & 5) clarify and extend the understanding of the shape of technical products. The results of the main studies (Chapter 6) can be used for competitive analysis and targeted product modelling according to brand strategy and management.

# 1 Einleitung

Das Erscheinungsbild oder Design eines Produkts hat einen erheblichen Einfluss auf die Akzeptanz beim Kunden und den Erfolg auf dem Markt [BLOCH 1995]. Dabei wird das Produkt nicht nur als Einzelobjekt wahrgenommen, sondern steht im Wettbewerb mit anderen Produkten. Die visuell wahrnehmbare Produktgestalt ist vor allem bei Gegenüberstellungen von Produkten derselben Kategorie relevant [CRILLY ET AL. 2004]. Die Nutzer vergleichen dabei auch die verfügbaren Marken und entscheiden sich dann in der Regel für die Produkte einer einzigen Marke [SCHMITT 2012]. Durch die globalen Märkte gewinnt das Produktdesign zusätzlich an Bedeutung, da viele Produkte vergleichbare Funktionalitäten zu ähnlichen Preisen aufweisen [VAN BREEMEN & SUDIJONO 1999], [ESCH & HANISCH 2013, S. 99] und zudem die Anzahl an angebotenen Produkten und Marken „in den letzten Jahren explodierte“ [ESCH ET AL. 2019, S. 9]. Eine kennzeichnende, charakteristische Designsprache ist für Produkte einer Marke daher essenziell und ist ein wichtiger Faktor bei der Gestaltung technischer Produkte im Industriedesign [vgl. VDI/VDID 2424 2023].

## 1.1 Motivation und Problemstellung

Die Marke gibt dem Käufer eine Orientierung bei der Produktvielfalt und kann dem Unternehmen bei der Kundenbindung dienlich sein [VDI/VDID 2424 2023, S. 28ff.]. Generell wird eine Differenzierung zu Wettbewerbern und eine Einheitlichkeit bzw. Ähnlichkeit der Produkte einer Marke angestrebt [PERSON ET AL. 2008]. Im Produktentwicklungsprozess muss ergänzend beachtet werden, dass neue Produkte nicht nur Ähnlichkeiten zu bestehenden Produkten aufweisen sollen, sondern auch differenzierbar als Neuheit erkennbar sein sollten [vgl. PERSON ET AL. 2008]. Kenntnisse über den Freiheitsgrad der Gestaltung bei weiterhin bestehender guter Markenzugehörigkeit sind daher bei der Produktgestaltung ein wertvoller Vorteil. Unter Markenzugehörigkeit wird verstanden, ob zwei oder mehrere Produkte bei einer Beurteilung zu einer Marke oder zu unterschiedlichen Marken zugeordnet werden.

Ähnlichkeiten und Differenzierungen für die Markenzugehörigkeit können durch relevante Gestaltmerkmale wie z. B. Form, Farbe und Grafik erzielt werden [VDI/VDID 2424 2023, S. 41]. Unter Anwendung der Einteilung der Produktgestalt in Teilgestalten nach SEEGER [2005, S. 47ff.], stellt die Form die erste Konkretisierung des technischen (Produkt-)Aufbaus dar. Danach folgen Farbe und Grafik, wodurch die Form als erste Teilgestalt im Produktentwicklungsprozess für die Markenzugehörigkeit relevant ist.

Nach den einleitenden Beschreibungen werden die technischen Produkte einer Kategorie miteinander verglichen. Dabei kann zwischen Produkten mit gleicher Zwecksetzung (Produktprogramm) und Produkten mit unterschiedlicher Zwecksetzung bei räumlichem und / oder funktionellem Zusammenwirken (Produktsystem) unterschieden werden [SEEGER 2005, S. 4f.]. Aufgrund der abweichenden Zwecksetzung besitzen die Produkte in der Produktsystem-Markenebene in der Regel verschiedene Aufbaugestalten und unterschiedliche funktionale Elemente.

Für die Form technischer Produkte liegt der Freiheitsgrad der Gestaltung für die Markenzugehörigkeit idealerweise als Quantifizierung der Oberflächengeometrie vor. Aktuelle Methoden aus dem Stand der Forschung mit geometrisch-quantitativer Betrachtung der Formgestalt im Markenkontext lassen sich allerdings nur auf Produkte mit identischem Aufbau anwenden [vgl. FISCHER ET AL. 2019]. Dabei werden z. B. Ähnlichkeitskennzahlen für Konturen von technischen Funktionselementen wie Pkw-Scheinwerfern berechnet. Anwendbar sind die Methoden nur, wenn sich vergleichbare Funktionselemente bei allen Produkten an den identischen Positionen im Aufbau befinden. Folglich basieren die Ähnlichkeitswerte und Gestaltungsfreiheitsgrade im Markenkontext auf Kennzahlen weniger spezifischer Elemente und nicht der gesamten Produkterscheinung. Die bisherigen Ansätze stoßen demnach an ihre Grenzen, wenn der Aufbau der Produkte variiert und / oder aufgrund unterschiedlicher Zwecksetzung der Produkte im Produktsystem keine identischen Funktionselemente in der Formgestalt für die Markenzugehörigkeit nutzbar sind [vgl. FISCHER ET AL. 2019]. Folglich ist auch nicht bekannt, inwiefern der Freiheitsgrad der Formgestaltung von der Markenebene (Produktprogramm und Produktsystem) abhängig ist.

Ein bisher weitgehend unbeachteter Aspekt bei der Interpretation von geometrischer Quantifizierung und der menschlichen Bewertung der Markenzugehörigkeit ist die Psychophysik. Diese befasst sich mit den nichtlinearen Zusammenhängen zwischen physikalischen Reizen (z. B. Oberflächenkrümmung) und deren psychisches Erleben (z. B. Rundheit der Fläche) [vgl. MYERS 2015, S. 856]. Bedeutsam ist diese Verknüpfung, da die *„Marke als ein in der Psyche des Konsumenten [...] fest verankertes, unverwechselbares Vorstellungsbild von einem Produkt“* [MEFFERT ET AL. 2002, S. 6] beschrieben wird.

## **1.2 Zielsetzung und Abgrenzung**

Das Hauptziel der Arbeit ist, einen Ansatz zur geometrisch-quantitativen Beschreibung des Freiheitsgrads der Formgestalt für technische Produkte unterschiedlichen Aufbaus

bzw. im Produktsystem zu entwickeln. Weiterhin ist von Interesse, wie groß dieser Freiheitsgrad für eine eindeutige Markenzugehörigkeit ist und inwiefern sich dieser Freiheitsgrad zwischen Produktprogramm- und Produktsystem-Ebene unterscheidet.

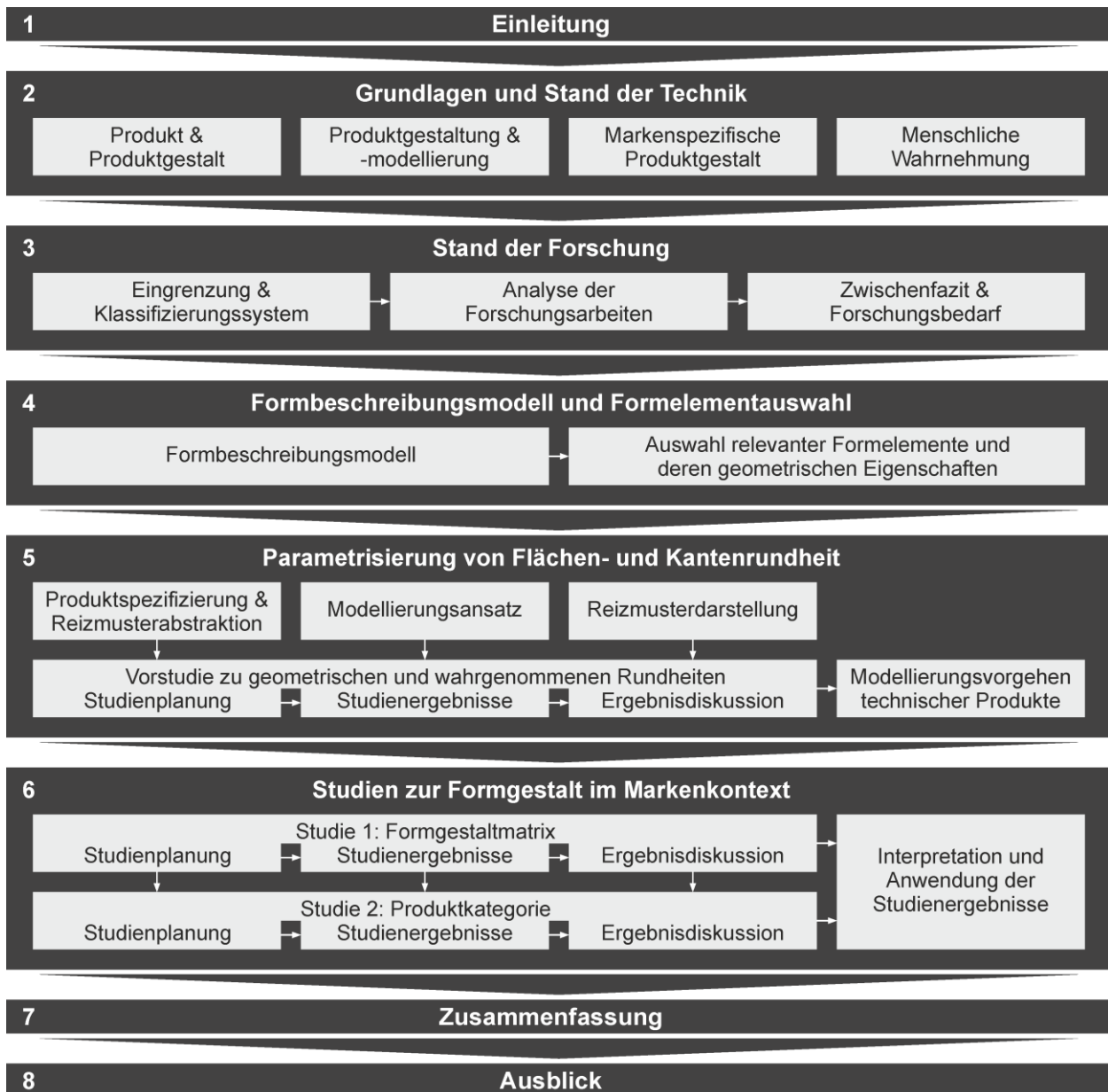
Berücksichtigt werden soll dabei, welche Auswirkung die Reizänderungen bei Formmodifikationen auf die menschliche Wahrnehmung bzw. auf das psychische Erleben haben. Dafür müssen methodisch die relevanten Formelemente identifiziert und ein experimentelles Vorgehen für die Ermittlungen der Freiheitsgrade entwickelt werden. Durchgeführte Studien haben daher stets explorative Untersuchungsanteile und basieren auf psychophysischen Methoden.

Aufgrund der vielen möglichen Parameter auf dem Weg zur Erreichung dieser Ziele, ist eine Abgrenzung notwendig. Behandelt wird nur die Form der Außengestalt von technischen Endprodukten ohne Elemente mit transparenten Eigenschaften. Der Fokus liegt speziell bei Produkten, die einen hohen gestalterischen Freiheitsgrad (Freiformflächen) in der Formgestalt besitzen, damit dieser für die Markenzugehörigkeit nutzbar ist. Zudem müssen die Produktbeispiele Teil eines Produktsystems sein, in welchem unterschiedliche Aufbaugestalten üblich sind. Dabei wird nur die visuelle Wahrnehmung untersucht, da über diese der erste Eindruck über das Produkt erfolgt [vgl. ESCH 2012, S. 250ff.]. Einflüsse von diversen Herstellungsverfahren und -prozessen auf die Formgestalt werden nicht betrachtet. Bei der Darstellung von Oberflächen ist deren Einfärbung erforderlich. Hier kommen ausschließlich neutrale Grautöne zum Einsatz. Da allgemeingültige Zusammenhänge ermittelt werden sollen, sind keine real existierenden Marken Untersuchungsgegenstand. Stattdessen ist die Frage relevant, ob zwei oder mehrere Produkte zu einer Marke oder zu unterschiedlichen Marken zugehörig sind.

### **1.3 Struktur der Arbeit**

Die Arbeit ist in acht Kapitel untergliedert (siehe Abbildung 1.1). Die Einleitung beschreibt die Motivation, Zielsetzung und Abgrenzung der vorliegenden Arbeit. In Kapitel 2 werden Grundlagen und der Stand der Technik behandelt. Dazu gehört die Definition von Produkt und Produktgestalt inkl. der Teilgestalt Form. Darauf aufbauend werden Grundlagen zur Produktgestaltung und -modellierung mit dem Fokus auf der digitalen Geometrieerstellung erarbeitet. Weiterhin wird die markenspezifische Produktgestalt erörtert und Grundlagen zur menschlichen Wahrnehmung mit dem Schwerpunkt der visuellen Wahrnehmung und der Psychophysik beschrieben. Nachfolgend wird in Kapitel 3 der Stand der Forschung zur Formgestalt im Markenkontext analysiert und der Forschungsbedarf präzisiert. Kapitel 4 stellt ein allgemeingültiges Formbeschreibungsmo-  
dell vor. Weiterhin werden methodisch relevante geometrische Formelemente und deren Eigenschaften für

das Forschungsthema erarbeitet. In Kapitel 5 werden die resultierende Flächen- und Kantenrundheit parametrisiert. Dazu gehört u. a. die Reizmusterabstraktion und -darstellung sowie ein Modellierungsansatz. Darauf aufbauend wird eine Vorstudie für die Verknüpfung der geometrischen und wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheit durchgeführt. Daraus resultiert ein Modellierungsvorgehen für die technischen Produkte der Hauptstudien. In Kapitel 6 erfolgt die Untersuchung der Formgestalt im Markenkontext anhand der zwei Hauptstudien. Die erste Studie hat das Ziel, grundlegende Zusammenhänge und Urteilsschwellen in der Formgestaltmatrix (Flächen- und Kantenrundheit) und zu Markenebenen zu ermitteln. Darauf aufbauend werden in der zweiten Studie Unterschiede bzgl. der Kantenrundheit zwischen Produktkategorien untersucht. Den Abschluss der Arbeit bilden Kapitel 7 & 8 mit der Zusammenfassung und dem Ausblick.



**Abbildung 1.1:** Struktur der Arbeit



## 2 Grundlagen und Stand der Technik

Dieses Kapitel dient dazu, Grundlagen bereitzustellen, Begriffe zu definieren und den Fokus der Arbeit im aktuellen Forschungskontext aufzuzeigen. Relevant sind die Produktdefinition und Produktgestalt (Kapitel 2.1) und wie Produkte gestaltet und digital modelliert werden (Kapitel 2.2). Darauf aufbauend wird die Produktgestalt im Kontext der Marke betrachtet (Kapitel 2.3). Anschließend folgen Grundlagen zur menschlichen Wahrnehmung (Kapitel 2.4) mit dem Schwerpunkt auf der Psychophysik und der visuellen Wahrnehmung.

### 2.1 Definition des Produktes und der Produktgestalt

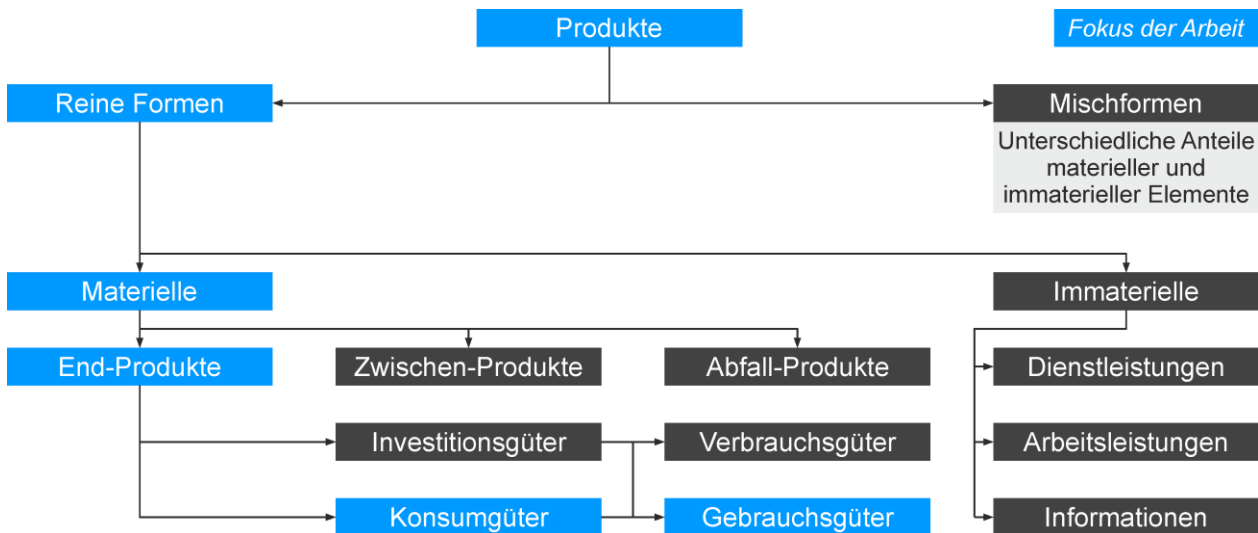
Die Entwicklung der Gestalttheorie und die Verwendung des Gestaltbegriffs geht auf Christian von Ehrenfels zurück [METZ-GÖCKEL 2016, S. 1], [EHRENFELS 1890]. In der nach seinem Tod veröffentlichten Schrift definiert und konkretisiert er den Begriff der Gestalt [EHRENFELS 1932, S. 63]: „*Jeder feste Körper hat irgendeine Gestalt. [...] Höhere Gestalten sind diejenigen, in denen das Produkt von Einheitlichkeit des Ganzen und Mannigfaltigkeit der Teile ein größeres ist.*“ Mit der Aussage wird deutlich, dass die Gestalt nicht nur die Summe der Teile, sondern „*mehr sei als die Summe der Teile*“ [METZ-GÖCKEL 2016, S. 2]. METZGER [1975A, S. 62ff.] nennt drei Arten von Gestalteeigenschaften:

- *Struktur / Gefüge* (u. a.: Anordnung, Aufbau, Figuralstruktur, Helligkeits- und Farbprofil, Verlaufsstruktur), z. B.: gerade, rund, geschlossen, symmetrisch, stetig, unstetig, steigend etc.,
- *Ganzqualität / -beschaffenheit* (u. a.: stoffliche Eigenschaften, Material), z. B.: durchsichtig, leuchtend, rau, glänzend, seidig etc.,
- *Wesen und Wirkung / Anmutung* (u. a.: Charakter, Stimmung, Gefühlswert), z. B.: feierlich, freundlich, stolz, finster, männlich, weiblich etc. für das Wesen und anziehend, abstoßend, beruhigend, langweilig, beängstigend, ermutigend etc. für die Wirkung / Anmutung.

Die Gestalterscheinung ist Träger von Informationen eines Produktes und kann diese kommunizieren. Neben der technischen Funktionsweise, Gebrauch, Nutzungskomfort, Qualität, Leistung, Solidität und Innovation gehört dazu auch das Corporate Product Design (Markenstil). [WOHLGEMUTH 2016, S. 105]

Das Produkt wird definiert als „*Ergebnis oder Erzeugnis menschlicher Arbeit und menschlichen Könnens, etwas, was nicht auf natürliche Weise, sondern künstlich hervorgebracht*

wurde, ein Artefakt“ [JACKSTIEN & VAJNA 2014, S. 68]. Dieses Erzeugnis dient zur Befriedigung von Nutzerbedürfnissen und ist materieller und / oder immaterieller Art [VDI/VDID 2424 2023, S. 4f.]. In Abbildung 2.1 ist die Systematisierung von Produkten dargestellt.

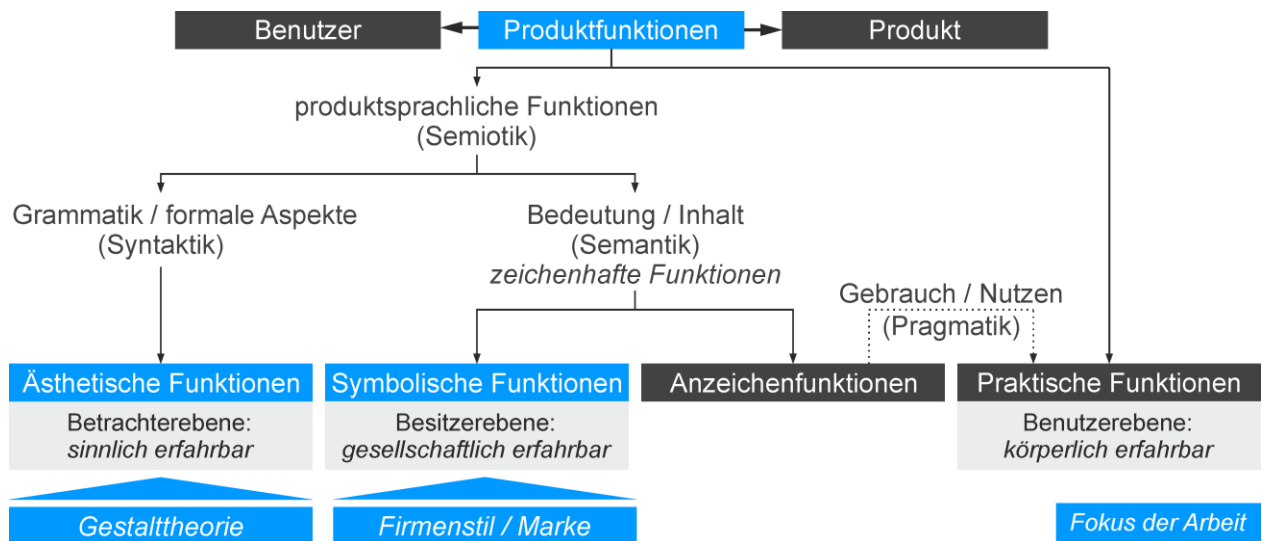


**Abbildung 2.1:** Systematisierung von Produkten nach [KÖHLER 2017, S. 16], [CORSTEN & GÖSSINGER 2016, S. 9]

Materielle Endprodukte lassen sich in Investitionsgüter (dienen der weiteren Leistungserstellung) und Konsumgüter (für Endverbraucher) einteilen [KÖHLER ET AL. 2000, S. 1370], [PICOT ET AL. 2000, S. 1637], [BÖCKING ET AL. 2000, S. 1799f.]. Unter Verbrauchsgüter fallen Güter, die für den Einbau in andere Güter (bei Investitionsgütern) oder die Vernichtung in einem Konsumakt (bei Konsumgütern) vorgesehen sind [WINDISCH ET AL. 2000, S. 3232f.]. Gebrauchsgüter dienen demgegenüber dem mehrmaligen, langfristigen Gebrauch (z. B. Maschinen) [KÖHLER ET AL. 2000, S. 1187].

Die hier fokussierten materiellen Endprodukte werden „als Träger unterschiedlichster Funktionen“ [HEUFLER ET AL. 2019, S. 49] mit Wirkung auf Mensch und Umgebung angesehen [GROS 1983, S. 59ff.], [HEUFLER ET AL. 2019, S. 49ff.]. GROS [1983] führte unter dem Offenbacher Ansatz den Begriff der sog. „Produktsprache“ ein. Neben der praktischen Funktion existiert die produktsprachliche Funktion (Semiotik, siehe Abbildung 2.2) [EBD., S. 62], [HEUFLER ET AL. 2019, S. 61ff.]. Die praktische Funktion umfasst die direkte physische Produktwirkung, die nicht über menschliche Wahrnehmungskanäle vermittelt wird [GROS 1983, S. 62]. Als produktsprachliche Funktionen werden psychische Produktwirkungen, welche über menschliche Wahrnehmungskanäle bzw. Sinne vermittelt werden, definiert [EBD.]. Darin enthalten sind die ästhetische / formalästhetische Funktion

(produktsprachliche Aspekte unabhängig von inhaltlicher Bedeutung; Grammatik, Syntaktik) und zeichenhafte Funktionen (produktsprachliche Aspekte als Bedeutungsträger; Semantik) [EBD., S. 64], [HEUFLER ET AL. 2019, S. 61ff.].



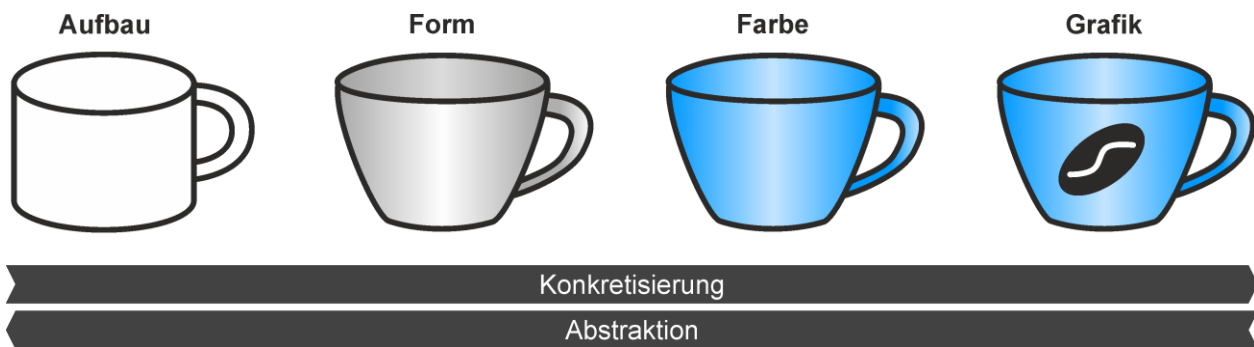
**Abbildung 2.2:** Produktfunktionen und Funktionsebenen nach [HEUFLER ET AL. 2019, S. 63ff.], [GROS 1983, S. 70] mit Einordnung von Gestalttheorie und Firmenstil / Marke

Die ästhetische Funktion basiert auf der Gestalttheorie von Christian von Ehrenfels [STEFFEN 2000, S. 34ff.] und den dazu genannten Gestalteeigenschaften Struktur / Gefüge und Ganzqualität / -beschaffenheit. Die zeichenhaften Funktionen werden weiterhin in Anzeichenfunktionen (zeichenhafte Funktionen, die Auskunft über Bedienung und technische Funktionen geben; Pragmatik) und symbolische Funktionen (rufen Assoziationen unabhängig von der praktischen Funktion hervor) unterteilt [GROS 1983, S. 68f.], [HEUFLER ET AL. 2019, S. 61ff.]. Anzeichenfunktionen beziehen sich damit auf die praktische Funktion des Produktes [GROS 1983, S. 68]. Symbolische Funktionen gelten auch als komplexester Aspekt der Produktsprache [HEUFLER ET AL. 2019, S. 81]. Während die ästhetischen Funktionen auf der sinnlich erfahrbaren Betrachterebene und die praktischen Funktionen auf der körperlich erfahrbaren Benutzerebene eingeordnet werden, befinden sich die symbolischen Funktionen auf der Besitzerebene (siehe Abbildung 2.2) [EBD., S. 51ff.]. Merkmale des Produktes werden hier auf den Besitzer übertragen (z. B. wird ein Rolls-Royce mit einem wohlhabenden Besitzer assoziiert) [EBD., S. 81f.]. Wie das Produkt dabei erlebt wird, ist abhängig vom Kontext (z. B. Kultur oder Zeit) [VDI/VDID 2424 2023, S. 13ff.]. Unterschieden werden kann hier zusätzlich zwischen einzelnen Assoziationen (z. B. jung / alt) und Symbolkomplexen [STEFFEN 2000, S. 88ff.]. Als Beispiel für Symbolkomplexe können Epochenstile (Barock, Klassizismus, etc.) und Partialstile (Designerstil, Firmenstil / Marke, Regionalstil, etc.) genannt werden

[EBD., S. 94f.]. Eine Übersicht über die Produktfunktionen und deren Verknüpfungen befindet sich in Abbildung 2.2.

### 2.1.1 Gestaltdefinition mit Teilgestalten

Die Gestalt materieller Produkte kann durch die Gesamtheit der geometrisch beschreibbaren Merkmale inkl. des Werkstoffes beschrieben werden [EHRENSPIEL & MEERKAMM 2017, S. 558]. In der vorliegenden Arbeit wird die Gesamtheit der Gestalt nach SEEGER [2005, S. 47f.] in die vier Teilgestalten Aufbau, Form, Farbe und Grafik aufgeteilt (siehe Abbildung 2.3).



**Abbildung 2.3:** Darstellung der vier Teilgestalten am Beispiel der Kaffeetasse nach [HOLDER ET AL. 2018]

Der Aufbau umfasst dabei Anordnungen, Symmetrien und Proportionen von Grundelementen. Detaillierungen der Flächen der Aufbauelemente beschreiben die Teilgestalt Form. Unter Farbe wird Farbton, -helligkeit, Sättigungsgrad und Oberflächentextur (z. B. Glanz, Riefen) der geformten Gestalt verstanden. Die Grafik beinhaltet Elemente wie Logos und Schriften. [SEEGER 2005, S. 47ff., 237ff.].

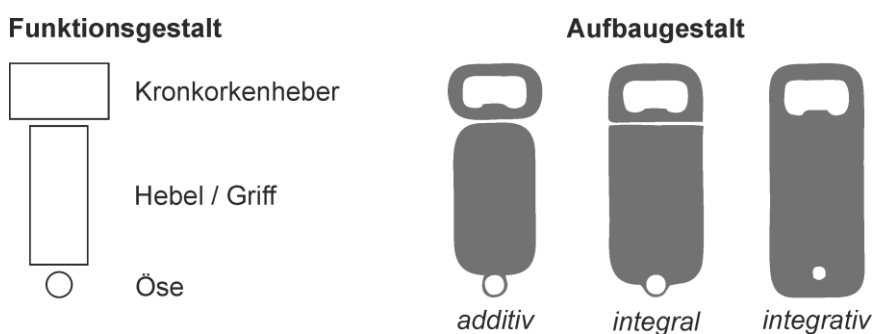
### 2.1.2 Definition der Teilgestalt Aufbau

Der Aufbau ist die Abstraktion der Produktgestalt ohne Form, Farbe und Grafik [SEEGER 2005, S. 49]. Ohne die Teilgestalt Aufbau kann ein Produkt nicht beschrieben werden, wodurch dieser eine zentrale Rolle einnimmt [HOLDER 2016, S. 8]. Einzelne Elemente der Teilgestalt Form können ohne die Teilgestalt Aufbau betrachtet werden, nicht aber die Gesamtheit der Teilgestalt Form [EBD.].

Die Zusammensetzung räumlicher Grundkörper (Bsp.: Würfel, Quader, Zylinder) beschreibt den Aufbau [MAIER 1993, S. 13f.]. Die Grundkörper und deren Anordnung, Proportionen und Symmetrien ergeben sich maßgeblich aus funktionalen, fertigungstechnischen und wirtschaftlichen Anforderungen [SEEGER 2005, S. 49, 103]. Dabei wird zwischen Elementen der Funktionsgestalt (z. B. Motor, Getriebe), Interfacegestalt (z. B.

Schalter, Hebel) und der Tragwerksgestalt (z. B. Gehäuseelemente, Rahmen) unterschieden [SEEGER 2005, S. 49].

Im Fokus dieser Arbeit steht die visuell wahrnehmbare Aufbaugestalt des Endproduktes. Exemplarisch kann eine zylindrische Funktionsgestalt (z. B. Elektromotor) durch die Tragwerksgestalt erhalten bleiben bzw. betont werden, oder durch ein quaderförmiges Tragwerk wird die außen sichtbare Aufbaugestalt verändert [vgl. SEEGER 2005, S. 225]. Weiterhin kann durch die Anordnung und Proportion von Funktions- und Tragwerksgestalt und die Gestaltung von Übergängen zwischen Aufbauelementen in der Formgestalt das Aufbaukonzept additiv, integrativ oder integral erscheinen (siehe Abbildung 2.4) [vgl. HEUFLER ET AL. 2019, S. 70].



**Abbildung 2.4:** Darstellung der Funktionsgestalt und visuellen Aufbaukonzepte am Beispiel eines Flaschenöffners nach [HEUFLER ET AL. 2019, S. 70].

Form, Farbe und Grafik sind an einem Produkt auch ohne weitere Abstraktionen eindeutig quantitativ beschreibbar. Dahingegen ist die Beschreibung des Aufbaus immer eine Abstraktion des Endproduktes. Ausnahmen für eine eindeutige quantitative Beschreibung des Aufbaus stellen Hauptabmessungen und funktionale Schnittstellen wie der Radstand eines Pkws dar. Analog dazu beschreibt LÖBACH [1976, S. 156ff.] die Produktgestalt als Summe von Gestaltelementen (Form, Material, Oberfläche, Farbe) und deren Wechselbeziehung im Gestaltaufbau (Ordnung, Komplexität). Die Teilgestalt Aufbau dient somit als Grundträger für die weiteren Teilgestalten.

### 2.1.3 Definition der Teilgestalt Form

Im Gegensatz zu den räumlichen Grundkörpern beschreibt die Teilgestalt Form flächige Elemente [MAIER 1993, S. 13f.] bzw. den dreidimensionalen Verlauf der Oberfläche (z. B. konvex, konkav) [LÖBACH 1976, S. 160]. Demnach ist die Formgestalt des Endproduktes mathematisch bzw. geometrisch beschreibbar [WOHLGEMUTH 2016, S. 85]. Allerdings ist deren menschliche Wahrnehmung auch von der Ansicht abhängig [LÖBACH 1976, S. 161]. Der Aufbau wird durch die Festlegung der Flächen, aber u. a. auch Kanten und Fugen konkretisiert [SEEGER 2005, S. 203]. Im einfachsten Fall bleiben dabei Flächen der

Aufbauabstraktion (z. B. ebene oder zylindrische Flächen) erhalten. Bei sog. „organischen Freiformflächen“ wird allerdings jede Fläche der Aufbauabstraktion modifiziert (vgl. Kapitel 2.2.3.2).

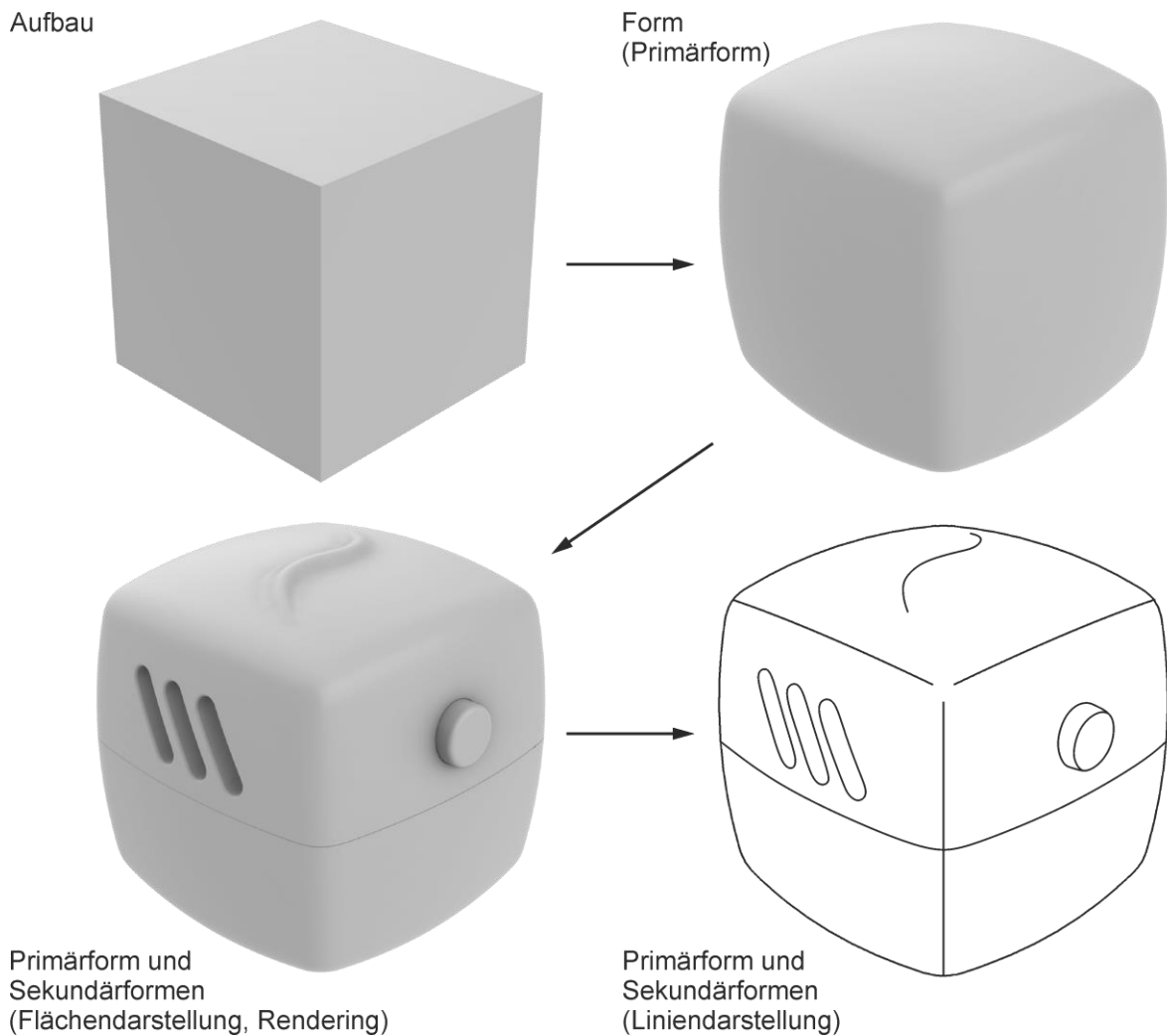
Für die Gliederungen und Beschreibung der Formgestalt bestehen einige Ansätze (vgl. [HÜCKLER 2000, S. 563ff.], [KOPPELMANN 2001, S. 370ff.], [SEEGER 2005, S. 203ff.], [WOHLGEMUTH 2016, S. 85ff.], [HEUFLER ET AL. 2019, S. 66f.]). Allgemein werden folgende Parameter der Formgestalt genannt:

- *Formelemente (geometrische Elemente) und deren Beschreibungen:* Punkt / Ecke, Linie / Kurve / Kante, Fläche / Oberfläche, Körper (vgl. [HÜCKLER 2000, S. 563ff.], [KOPPELMANN 2001, S. 371ff.], [WOHLGEMUTH 2016, S. 97]).
- *Ordnungsbeziehungen und formale Qualität:* u. a. Proportion, Symmetrie, Zentrierung, Komplexität, Kontrast (vgl. [HÜCKLER 2000, S. 567ff.], [KOPPELMANN 2001, S. 371ff.], [SEEGER 2005, S. 223ff.], [WOHLGEMUTH 2016, S. 97], [HEUFLER ET AL. 2019, S. 66f.]).

Ein weiterer Aspekt ist die Untergliederung der Teilgestalt in Primärform (Basisformgestalt) und Sekundärformen (eingearbeitete Details in der Primärform) [HEUFLER ET AL. 2019, S. 66].

Obwohl die Formgestalt grundsätzlich eine flächige Gestalt ist, wird in der Literatur die Wichtigkeit der Linienführung betont [vgl. SEEGER 2005, S. 231], [HEUFLER ET AL. 2019, S. 66]. Zu beachten ist, dass in diesem Kontext die „Linie“ nicht der geometrischen Definition einer geraden, ungekrümmten Kurve entspricht (vgl. Kapitel 2.2.3.2). Als Linien bzw. Formleitlinien werden markante Linien bezeichnet, welche den Formcharakter des Objekts darstellen [vgl. BONITZ 2009, S. 186]. Die „Linie“ muss demnach nicht gerade sein und entspricht vielmehr den visuell wahrnehmbaren Kanten der Teilgestalt Form (siehe Kapitel 2.4.3.4). Eine ungekrümmte Kurve im geometrischen Sinn wird in dieser Arbeit daher stets als „gerade Linie“ bezeichnet.

In der visuellen Wahrnehmung durch den Menschen, spielen die Linien u. a. für die Objekterkennung eine wichtige Rolle (siehe Kapitel 2.4.3), wodurch die Formgestalt in Flächendarstellung und abstrahierter Liniendarstellung dargestellt werden kann (siehe Abbildung 2.5) [vgl. FISCHER ET AL. 2019]. Visualisierungen von schattierten Flächen werden auch „Rendering“ genannt und u. a. computergestützt auf Basis von 3D-Modellen erzeugt [SCHIELE 2012, S. 171], [ERLHOFF & MARSHALL 2008, S. 345]. In Abbildung 2.5 sind die Weiterentwicklung der Aufbaugestalt zur Formgestalt sowie Primärform und Sekundärformen als auch Linien- und Flächendarstellung visualisiert.



**Abbildung 2.5:** Beispiele für Aufbaugestalt, Primärform und Sekundärformen sowie Flächen- und Liniendarstellung

## 2.2 Produktgestaltung und -modellierung

Unter der (Produkt-) Gestaltung wird das „*Erarbeiten der wahrnehmbaren Gestalt eines Produkts [...]; dessen technische Ausarbeitung und Wirkung auf den Nutzer und die Nutzerin*“ [VDI/VDI 2424 2023, S. 8] verstanden. In diesem Zusammenhang wird die Produktmodellierung als ein Prozess der Produktgestaltung angesehen, aus dem ein 3D-Modell des Produktes resultiert [vgl. VDI 2209 2009].

Im Fokus dieser Arbeit steht dabei die Produktgestaltung als Teil des technischen Entwicklungsprozesses (Kapitel 2.2.1) mit entsprechenden Freiheitsgraden der Gestaltung (Kapitel 2.2.2). Nachfolgend werden Grundlagen der geometrischen Modellierung beschrieben (Kapitel 2.2.3). Aufgrund der zunehmenden virtuellen Produktentwicklung [vgl. LASHIN & STARK 2021, S. 1097ff.] und Umstieg von 2D-Computer-Aided Design (CAD) auf 3D-CAD [VAJNA ET AL. 2018, S. 206] werden vor allem die 3D-CAD- / 3D-Computer-

Aided Styling (CAS)-Systeme und -Modellierungsaspekte behandelt (Kapitel 2.2.4 & 2.2.5).

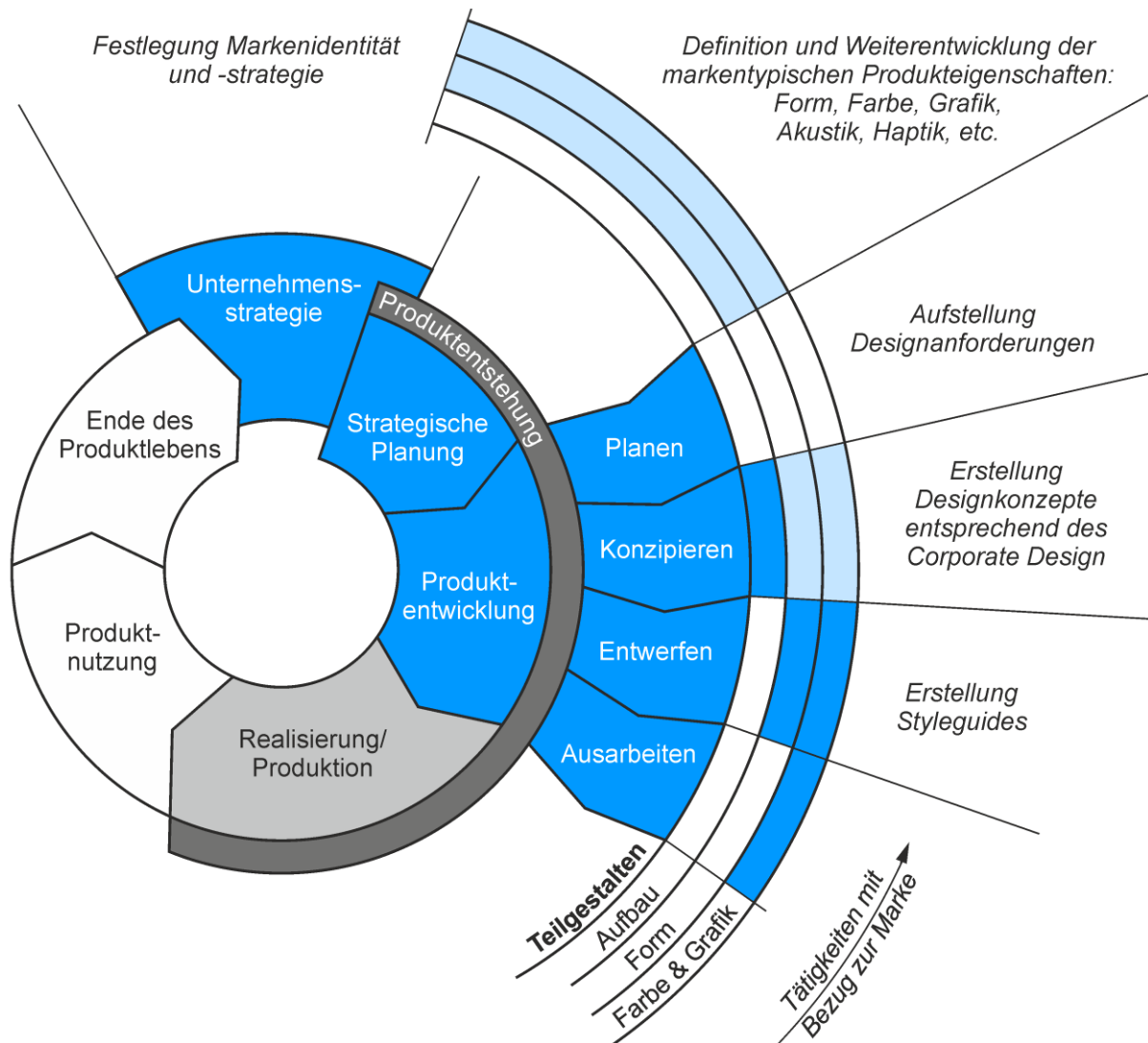
### 2.2.1 Produktentwicklungsprozess

Der Produktentwicklungsprozess ist Teil des Produktentstehungsprozesses und ist ein „interdisziplinärer Unternehmensprozess zur Entwicklung eines marktfähigen Produkts, basierend auf der Definition initialer Ziele und Anforderungen an das Produkt, die im Lauf des Prozesses kontinuierlich weiterentwickelt und iterativ angepasst werden“ [VDI 2221-1 2019, S. 8]. Ein Produktentwicklungsvorhaben ist ein iterativer Prozess, wobei das methodische Vorgehen das Ziel hat, die Arbeit effektiv zu gestalten und Iterationsschleifen klein zu halten [GERICKE ET AL. 2021, S. 63]. Allgemein wird der Produktentwicklungsprozess in vier Hauptphasen gegliedert: Klären der Aufgabe (Planen), Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten (siehe Abbildung 2.6) [EBD., S. 66]. Es existieren zahlreiche Prozessmodelle, welche sich unter anderem in Umfang, Anwendungsgebiet und Lebenszyklusphasen unterscheiden [EBD., S. 80ff.]. Ein allgemeingültiges Prozessmodell für technische Produkte und Systeme beschreibt die VDI 2221 [VDI 2221-1 2019], [VDI 2221-2 2019], [GERICKE ET AL. 2021, S. 85]. Für die Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme existiert ein sog. V-Modell [VDI/VDE 2206 2021]. Die nutzerzentrierte Gestaltung im Industriedesign beschreibt die VDI/VDID 2424 [2023], welche auf der VDI 2221-1 [2019] basiert.

Für diese Arbeit ist die Entwicklung der vier Teilgestalten (vgl. Kapitel 2.1.1) und der Bezug zur Marke (vgl. Kapitel 2.3) von besonderem Interesse. Diese Aspekte werden in der VDI/VDID 2424 [2023] beschrieben. Teil der Unternehmensstrategie ist die Festlegung einer Markenidentität und -strategie (vgl. Kapitel 2.3). In dem ersten Abschnitt der Produktentstehung (strategische Planung) werden die markentypischen und designrelevanten Produkteigenschaften definiert und weiterentwickelt (siehe Abbildung 2.6). Neben den Teilgestalten Form, Farbe und Grafik gehören dazu unter anderem auch die Akustik, Haptik und Usabilityprinzipien. In der Produktentwicklung werden in der ersten Phase (Planen) relevante Designanforderungen aufgestellt. Während der Konzeptphase werden Designkonzepte entsprechend des Corporate Design (unternehmensspezifisches, visuelles Erscheinungsbild) generiert. Zudem wird die Aufbaugestalt des Produktes festgelegt. In der anschließenden Entwurfsphase folgt die Erstellung von Formvarianten und die Festlegung der Formgebung, sowie erste Farb- und Grafikentwürfe. Hier werden auch Styleguides (Gestaltungsrichtlinie für Markenassoziation) erstellt. In der letzten Phase (Ausarbeitung) erfolgt die Festlegung des Farb- und Grafikdesigns. [vgl. VDI/VDID 2424 2023, S. 4f., 27ff., 41ff.]



Für diese Arbeit ist zudem bedeutsam, dass die Teilgestalt Aufbau nicht als designrelevante und markentypische Produkteigenschaft aufgezählt wird [vgl. EBD., S. 41]. Entsprechend Kapitel 2.1.1 ist die Form im Entwicklungsprozess die erste Teilgestalt mit Markenbezug. Die Einordnung der Teilgestaltentwicklung und Tätigkeiten mit Bezug zur Marke im Produktlebenszyklus nach VDI 2221-1 [2019] ist in Abbildung 2.6 dargestellt.



**Abbildung 2.6:** Einordnung der Teilgestaltentwicklung und Tätigkeiten mit Bezug zur Marke in dem Produktlebenszyklus nach VDI 2221-1 [2019], basierend auf [VDI/VDID 2424 2023, S. 41]

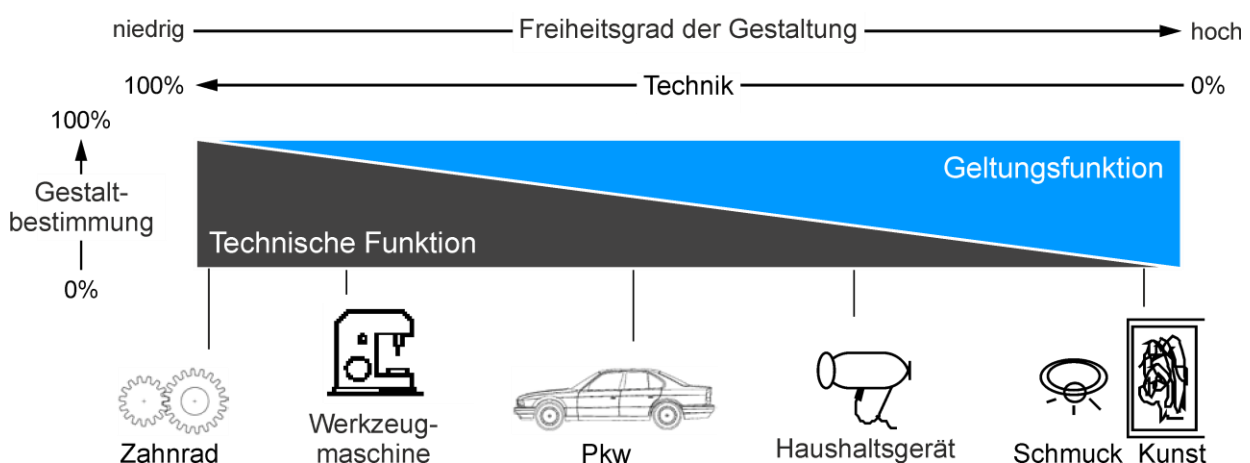
Für eine gezielte Entwicklung der Gestalteigenschaften Wesen und Anmutung / Wirkung (vgl. Kapitel 2.1) können mittels „Kansei Engineering“ Nutzergefühle analysiert und in Gestaltungsparameter übersetzt werden. Bei der Analyse werden unter anderem psychologische und psychophysische Messungen durchgeführt (vgl. Kapitel 2.4.2). [NAGAMACHI 2011, S. 3ff.]

## 2.2.2 Freiheitsgrad der Gestaltung

Nach Kapitel 2.1 besitzt das Produkt neben der praktischen Funktion auch produkt-sprachliche Funktionen. EHRENSPIEL & MEERKAMM [2017, S. 513f.] bezeichnen diese als „technische Funktion“ und „Geltungsfunktion“ (siehe Abbildung 2.7). Dabei stellt die technische Funktion die Grundlage für den Freiheitsgrad der Gestaltung dar [MAYER 1996, S. 76]. Der Freiheitsgrad ist „das Maß, das bei gleicher technischer Lösung an Möglichkeiten zur Verfügung steht, das Erscheinungsbild zu verändern“ [VDI/VDE 2424-2 1986, S. 14].

Der Freiheitsgrad der Gestaltung wird unter anderem durch die technische Funktion, gebrauchstechnische Eigenschaften (Ergonomie), Herstellungsverfahren, Vorschriften, Gesetze, Standards, Leitlinien, technologische (neue Verfahren oder Produkterfindungen) und ökologische (z. B. Recycling) Umfeldbedingungen bestimmt. Weiterhin spielen auch wirtschaftliche Faktoren (Projekt- und Fertigungskosten) und produktpolitische Entscheidungen (vgl. Markenstrategie und -identität in Kapitel 2.3) eine Rolle. [MAYER 1996, S. 76ff.], [FISCHER ET AL. 2020A, S. 223]

Nach EHRENSPIEL & MEERKAMM [2017, S. 514] können Produkte bzgl. des Einflusses der technischen Funktion und Geltungsfunktion auf die sichtbare Produktgestalt eingeteilt werden. Produkte mit hohem Einfluss der technischen Funktion sind meist Investitionsgüter und gut objektiv quantifizierbar, während Produkte mit hohem Einfluss der Geltungsfunktion meist Konsumgüter und vor allem subjektiv bewertbar sind [KLÖCKER 1981, S. 29], [EHRENSPIEL & MEERKAMM 2017, S. 514]. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2.7 dargestellt.



**Abbildung 2.7:** Gestaltbestimmung eines Produktes durch technische Funktion und Geltungsfunktion nach [EHRENSPIEL & MEERKAMM 2017, S. 514]

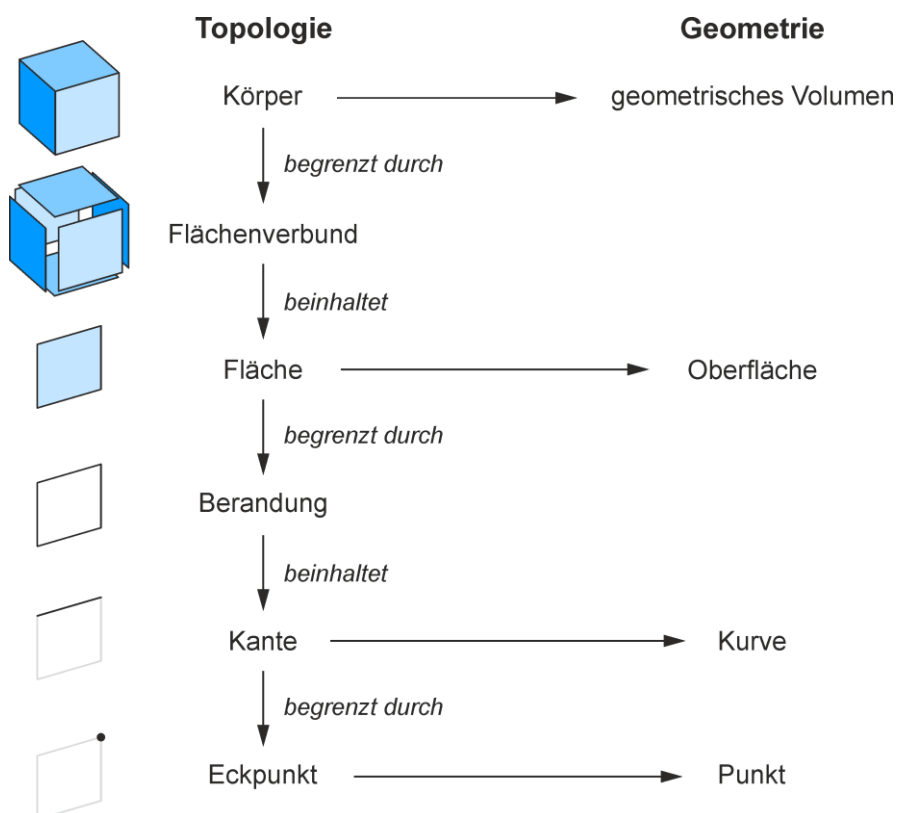
SEEGER [2005, S. 85ff.] verknüpft die vier Teilgestalten (siehe Kapitel 2.1.1) mit dem Freiheitsgrad der Gestaltung durch eine Einteilung dieser in variable und invariable Teilgestalten. Invariable Teilgestalten werden durch die technische Funktion dominiert und schränken den Freiheitsgrad der Gestaltung dementsprechend ein [vgl. EBD.].

### 2.2.3 Grundlagen der geometrischen Modellierung

Nach SPUR & KRAUSE [1997, S. 132] kommen bei der geometrischen Modellierung verschiedene Disziplinen zusammen. Für diese Arbeit relevant ist dabei die Unterscheidung zwischen Topologie und Geometrie (Kapitel 2.2.3.1) sowie Aspekte der analytischen Geometrie und Differentialgeometrie. Kapitel 2.2.3.2 beschreibt die geometrische Darstellung von Flächen und Kurven, während Kapitel 2.2.3.3 deren geometrischen Eigenschaften behandelt.

#### 2.2.3.1 Topologie und Geometrie

Die Norm ISO 10303-1 [2021] definiert mit ihren weiteren Teilen das neutrale Format von Produktmodelldaten STEP [ANDERL & JOHN 2000, S. 9]. Dabei wird zwischen Basismodellen für Topologie und Geometrie unterschieden (siehe Abbildung 2.8) [ARLT ET AL. 2000, S. 72ff.].



**Abbildung 2.8:** Darstellung des STEP-Topologiemodells und -Geometriemodells nach [SPUR & KRAUSE 1997, S. 163], [ARLT ET AL. 2000, S. 73], [PERZYLO ET AL. 2015]

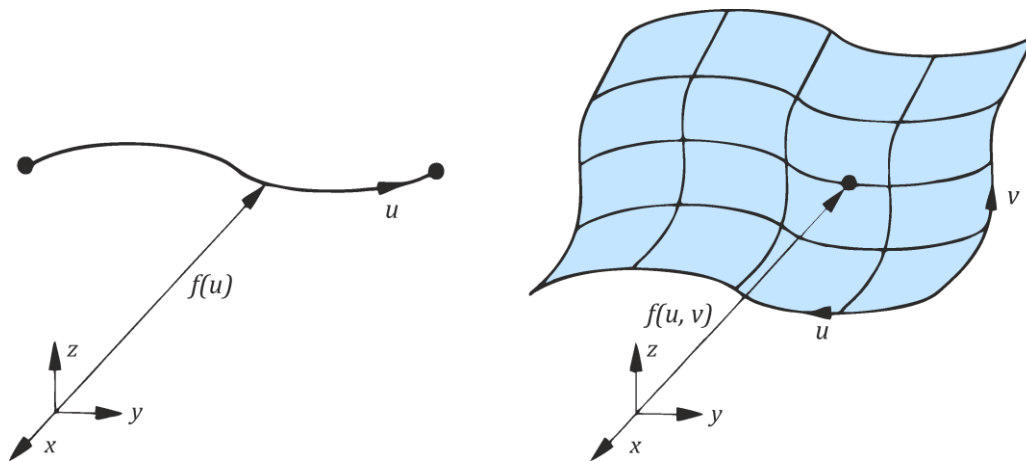
Die Geometrie beschreibt quantitativ die Gestalteeigenschaften von geometrischen Elementen (Punkt, Kurve, Oberfläche, geometrisches Volumen) und deren Lage im Raum (siehe Abbildung 2.8). Unter Topologie wird die qualitative Beschreibung der Anordnung von Elementen zueinander verstanden. Für die geometrischen Elemente Punkt, Kurve, Oberfläche und geometrisches Volumen gibt es die topologischen Entsprechungen Eckpunkt, Kante, Fläche und Körper. Weiterhin existieren in der Topologie die Berandung (Kanten, die eine Fläche definieren) und Flächenverbund / Schale (geschlossenen Flächengruppe, die eine Unterscheidung zwischen innen und außen erlaubt). Alle topologischen Elemente können hierarchisch nach ihrer Dimension geordnet werden. In der Topologie werden die Elemente einer Hierarchiestufe durch die Anordnung von Elementen der nächstniedrigeren Stufe definiert. Die topologischen und geometrischen Elemente sowie deren Beziehungen sind in Abbildung 2.8 visualisiert. [SPUR & KRAUSE 1997, S. 162f.], [ARLT ET AL. 2000, S. 73]

### 2.2.3.2 Geometrische Darstellung von Kurven und Flächen

Unterschieden wird bei der Beschreibung von Kurven und Flächen zwischen analytischer und parametrischer Darstellung [SPUR & KRAUSE 1997, S. 134ff.]. Bei der analytischen Darstellung werden Methoden der Algebra für die Beschreibung geometrischer Grundelemente eingesetzt [EBD.]. Dabei werden die Elemente mit reellen Zahlen in Abhängigkeit des Koordinatensystems beschrieben (z. B.  $y = f(x)$  oder  $f(x, y) = 0$ ) [EBD.], [VAJNA ET AL. 2018, S. 209]. Beispiele für analytische Darstellungen von Kurven und Flächen nennen SPUR & KRAUSE [1997, S. 137ff.].

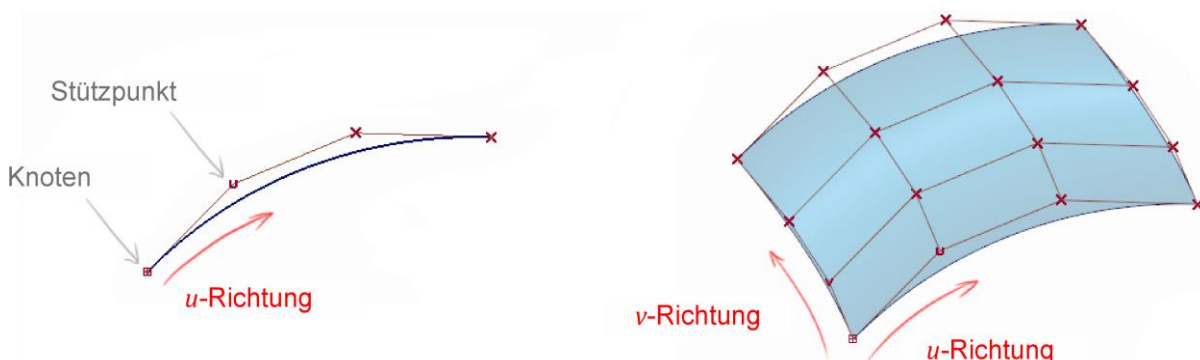
Bei der parametrischen Darstellung wird eine Kurve  $f(u)$  mithilfe eines „*entlang der Kurve zu zählenden Kurvenparameters*“  $u$  beschrieben (siehe Abbildung 2.9) [VAJNA ET AL. 2018, S. 209]. Alle drei Raumkoordinaten  $(x, y, z)$  können dabei als Funktion des Kurvenparameters  $u$  beschrieben werden [EBD.]. Die Flächenbeschreibung  $f(u, v)$  erfolgt anhand zweier Parameter  $(u, v)$  auf der Oberfläche [SPUR & KRAUSE 1997, S. 143]. Jeder Punkt entlang einer Kurve bzw. auf einer Fläche lässt sich mit den Parametern  $u$  bzw.  $u$  und  $v$  eindeutig im Raum bestimmen (siehe Abbildung 2.9) [EBD., S. 145].

Analytisch nicht beschreibbare Kurven und Flächen werden „Freiformkurven bzw. -flächen“ („Freiformgeometrie“) genannt und sind nur in parametrischer Darstellungsform beschreibbar [SPUR & KRAUSE 1997, S. 143f.]. Freiformkurven werden anhand von Stützpunkten interpoliert (Kurve verläuft durch die Stützpunkte) oder approximiert (Kurve wird den Stützpunkten angenähert) und auch als Spline- oder Parameterkurve bezeichnet [VAJNA ET AL. 2018, S. 208f.].



**Abbildung 2.9:** Parametrische Darstellung von Kurve und Fläche nach [SPUR & KRAUSE 1997, S. 145]

Aufbauend auf Bezier-Kurven und B-Spline-Kurven wurden die NURBS-Kurven (nicht uniforme rationale B-Splines) entwickelt [vgl. EBD., S. 215]. NURBS-Kurven können sowohl analytisch beschreibbare Geometrien exakt nachbilden, als auch Freiformgeometrien darstellen und sind deswegen bei neutralen Datenformaten wie STEP (siehe Kapitel 2.2.3.1) und IGES einsetzbar [PIEGL & TILLER 1997, S. IX], [SPUR & KRAUSE 1997, S. 151]. Die Kurven basieren auf Polynomen des Grades  $n_p$  [EBD., S. 145ff.]. Freiformflächen können aus mehreren NURBS-Kurven erstellt werden [VAJNA ET AL. 2018, S. 215.]. NURBS-Kurven werden anhand des Polynomgrades  $n_p$  mit Stützpunkten aufgebaut. Bei  $n_p = 1$  entspricht die Kurve einer geraden Linie und mit  $n_p = 2$  können z. B. Kreise generiert werden. Freiformkurven besitzen einen Polynomgrad  $n_p > 2$ . Die NURBS-Kurven werden durch die Stützpunkte an Anfang und Ende (auch Knoten genannt) der Kurve interpoliert und anhand der Stützpunkte dazwischen approximiert (siehe Abbildung 2.10). Wie nahe die Kurve einem Stützpunkt kommt, ist vom sog. „Gewicht“ des Stützpunktes abhängig. In Abbildung 2.10 sind Beispiele für NURBS-Kurve und -Fläche dargestellt. [vgl. BECKER 1999, S. 21ff.]



**Abbildung 2.10:** Beispiele für NURBS-Kurve- und -Fläche nach [AUTODESK 2022A]

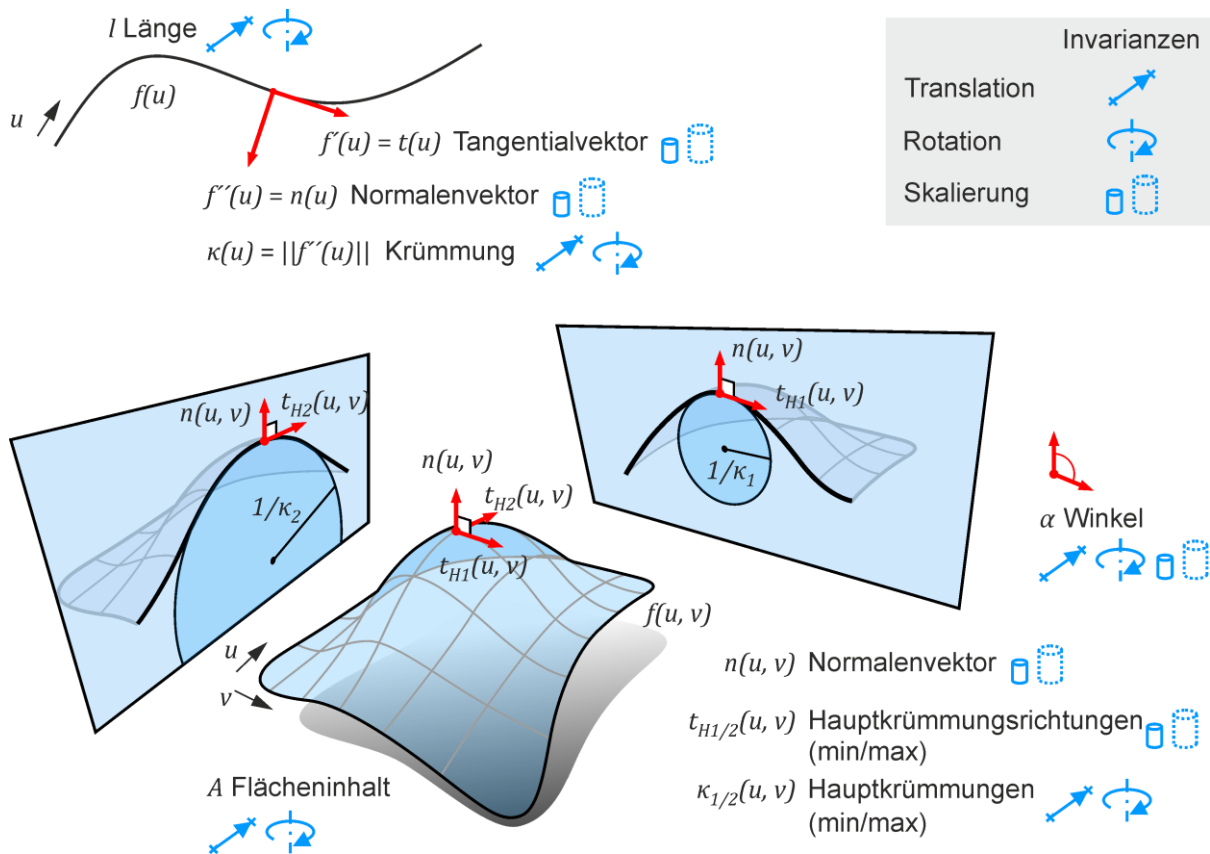
Für weitere Details zu der Berechnung von NURBS-Kurven und -Flächen wird auf PIEGL & TILLER [1997] verwiesen.

### 2.2.3.3 Geometrische Eigenschaften von Kurven und Flächen

Während sich Punkte anhand von Koordinaten und geometrischen Volumen durch den Kubikinhalt bzw. Volumen beschreiben lassen, sind die Eigenschaften der geometrischen Elemente Kurve und Fläche (vgl. Kapitel 2.2.3.2) komplexer. Für die Ermittlung einiger Eigenschaften mittels der Differentialgeometrie ist zudem erforderlich, dass die NURBS-Kurven und -Flächen ausreichend differenzierbar sind [SPUR & KRAUSE 1997, S. 134]. Geometrische Eigenschaftsbeschreibungen können weiterhin bzgl. deren Invarianz bei Translation, Rotation und Skalierung klassifiziert werden [LAGA ET AL. 2019, S. 67].

Für eine differenzierbare Kurve  $f(u)$  kann an jedem Kurvenpunkt der Tangentialvektor, Normalenvektor und die Krümmung berechnet werden. Der Tangentialvektor entspricht der ersten Ableitung der Kurve an dem zu untersuchenden Punkt (siehe Abbildung 2.11). Über das Integral der Tangentialvektoren kann zudem die Länge der Kurve berechnet werden. Der Normalenvektor entspricht der zweiten Ableitung der Kurve an dem zu untersuchenden Punkt. Der Betrag des Normalenvektors ist der Krümmungswert  $\kappa$ . Bei einem Kreisbogen entspricht der Betrag der Krümmung  $\kappa$  dem Kehrwert des Radius  $r$ . [vgl. LAGA ET AL. 2019, S. 13ff.]

Auf die Details der Berechnungen von Flächeneigenschaften wird aufgrund der Komplexität nicht präziser eingegangen. Mit Methoden der Differentialgeometrie kann für jeden Punkt auf der Fläche  $f(u, v)$  der Normalenvektor und ein Tangentialvektor berechnet werden (siehe Abbildung 2.11). Der Tangentialvektor kann um den Normalenvektor rotiert werden und für jeden dieser Tangentialvektoren kann ein Krümmungswert auf der Oberfläche ermittelt werden. Die dabei ermittelte minimale Krümmung  $\kappa_1$  und maximale Krümmung  $\kappa_2$  werden Hauptkrümmungen genannt. Da die Hauptkrümmungsrichtungen bzw. -vektoren eine lokale Orthonormalbasis darstellen, stehen diese immer senkrecht zueinander. Bei einer Oberfläche kann zudem der Flächeninhalt als geometrische Eigenschaft berechnet werden. Weiterhin können Kanten der Fläche oder Kurven auf der Oberfläche entsprechend der Kurveneigenschaften beschrieben werden. Für jegliche Vektorpaarung ist zudem die Berechnung des Zwischenwinkels möglich. Die geometrischen Eigenschaften inkl. deren Invarianzen sind in Abbildung 2.11 dargestellt. [vgl. LAGA ET AL. 2019, S. 15ff.]



**Abbildung 2.11:** Geometrische Eigenschaften von Kurven und Flächen inkl. Invarianzen nach [SPUR & KRAUSE 1997, S. 134ff.], [LAGA ET AL. 2019, S. 13ff.], [CRANE 2019]

Eine Hauptkrümmung ist negativ, wenn die Oberfläche in Krümmungsrichtung konkav verläuft und positiv, wenn die Oberfläche in Krümmungsrichtung konvex gestaltet ist. Anhand der Hauptkrümmungen können die mittlere Krümmung und die Gaußsche Krümmung als Oberflächenkennzahlen (bzw. Krümmungskennzahlen) berechnet werden (siehe Abbildung 2.12) [LAGA ET AL. 2019, S. 20]:

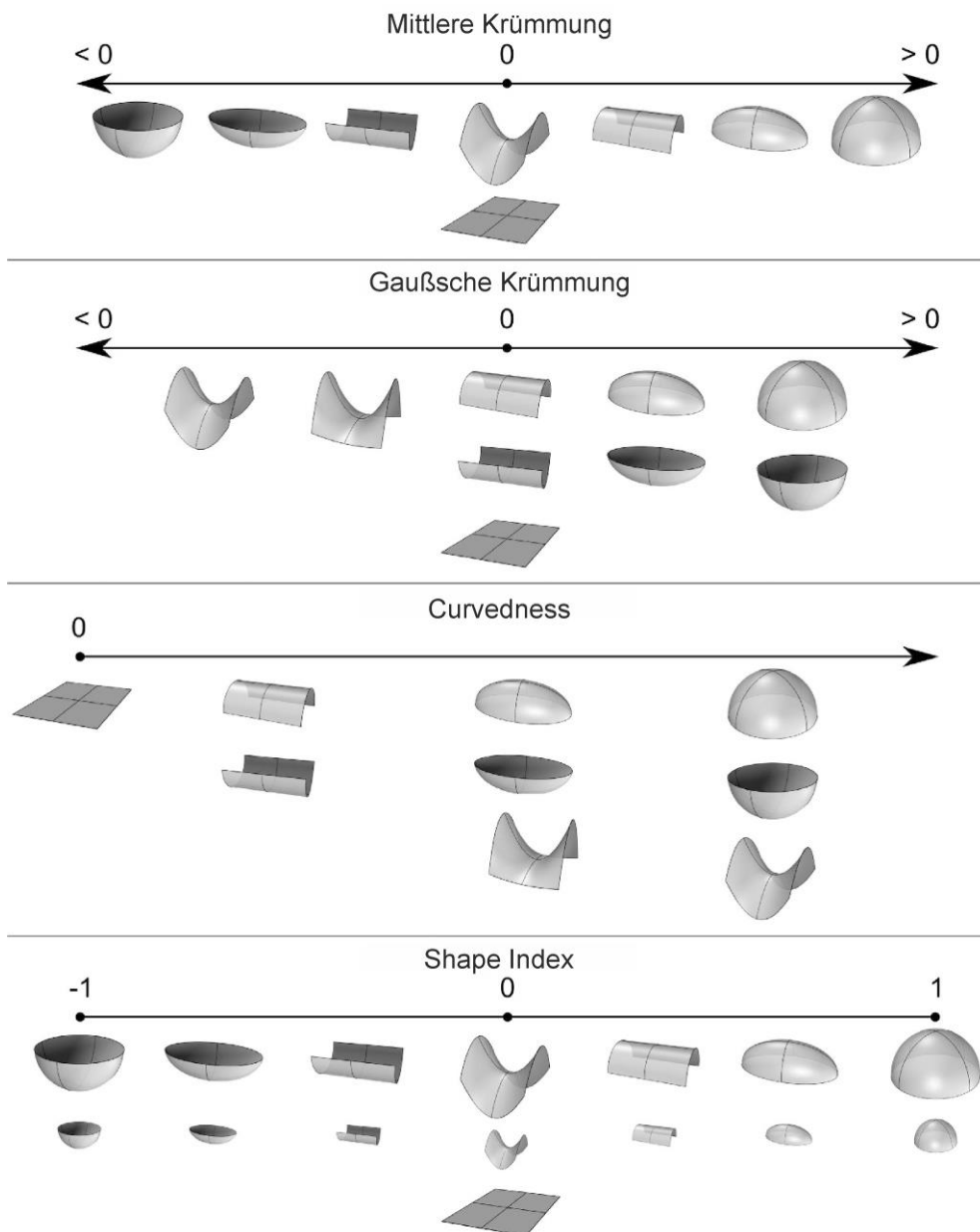
$$K_{Mittel} = \frac{\kappa_1 + \kappa_2}{2} \tag{2.1}$$

$$K_{Gau\beta} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \tag{2.2}$$

Da die mittlere Krümmung und die Gaußsche Krümmung aufgrund der vorzeichenbehafteten Hauptkrümmungen nur bedingt für die Klassifizierung der Oberflächeneigenschaften geeignet sind, haben KOENDERINK & VAN DOORN [1992] die Faktoren Curvedness (Gekrümmtheit) und Shape Index (Formindex) vorgestellt (siehe Abbildung 2.12):

$$K_{Curvedness} = \sqrt{\frac{\kappa_1^2 + \kappa_2^2}{2}} \tag{2.3}$$

$$K_{Shape\ Index} = \frac{2}{\pi} \cdot \arctan\left(\frac{\kappa_1 + \kappa_2}{\kappa_1 - \kappa_2}\right) \quad (2.4)$$



**Abbildung 2.12:** Visualisierung der Wertebereiche von mittlerer Krümmung, Gaußscher Krümmung, Curvedness und Shape Index [TSAGKRASOULIS ET AL. 2017, S. 15]

Der Faktor Curvedness gibt unabhängig von konkaven und konvexen Oberflächen eine Aussage über die Gekrümmtheit der Oberfläche und ist wie die mittlere Krümmung und Gaußsche Krümmung invariant gegenüber Translation und Rotation. Die hier fehlenden Informationen über die Konkavität und Konvexität der Oberfläche werden mit dem Shape Index eindeutig bestimmt. Im Gegenzug beinhaltet der Shape Index keine Information über die Quantität der Krümmung. Der Faktor Shape Index ist neben den Invarianzen



bzgl. Translation und Rotation auch skalierungsinvariant und kann nur die Werte  $-1 \leq K_{Shape\ Index} \leq 1$  annehmen. Ein Vergleich der vorgestellten Krümmungskennzahlen ist in Abbildung 2.12 visualisiert. [vgl. KOENDERINK & VAN DOORN 1992]

## 2.2.4 Computer-Aided Design

Computer-Aided x (CAx) fasst alle Systeme eines Unternehmens für die Rechnerunterstützung im Produktentstehungsprozess zusammen [VAJNA ET AL. 2018, S. 1]. Computer-Aided Design (CAD) umfasst dabei das rechnergestützte Konstruieren [EBD., S. 15]. Die rechnergestützte ästhetische Formgebung wird auch als Computer-Aided Styling (CAS) [HIRZ ET AL. 2013, S. 15] bezeichnet und wird in Kapitel 2.2.5 separat betrachtet.

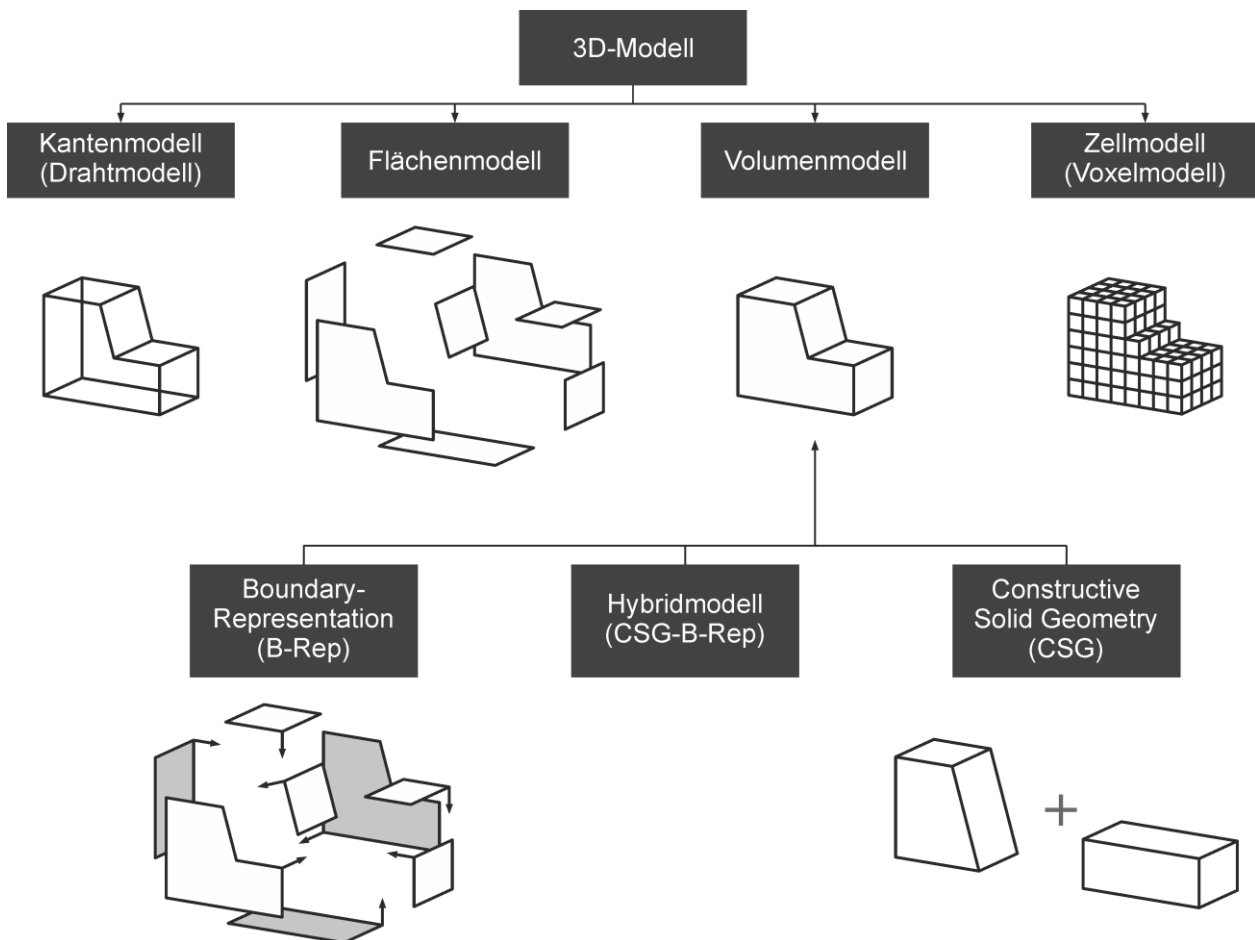
Historisch geht der Begriff CAD auf das Jahr 1956 zurück [VAJNA ET AL. 2018, S. 8f.]. In den 70er-Jahren wurde die Entwicklung der CAD-Systeme auf 2D-Ebene vor allem durch die Luftfahrtindustrie und Automobilbranche vorangetrieben [GRIEB 2010, S. 17]. In den 90er-Jahren wurden zunehmend 3D-CAD-Systeme verbreitet [EBD., S. 19] und 1992 erste Vorentwürfe des STEP-Modelldatensystems (siehe Kapitel 2.2.3.1) vorgestellt [VAJNA ET AL. 2018, S. 12]. Bereits kurz nach der Jahrtausendwende nutzte die Mehrheit der Unternehmen 3D-CAD für die Produktmodellierung [vgl. EBD., S. 206]. Durch aktuelle Trends (z. B. Industrie 4.0) entwickeln sich CAx-Systeme zu Cloud-basierten Anwendungen [EBD., S. 13].

Die wichtigsten Repräsentationsformen für 3D-Modelle stellen Kantenmodelle (Drahtmodelle), Flächenmodelle, Volumenmodelle und Zellmodelle (Voxelmodelle) dar. Dabei basieren Volumenmodelle auf der Boundary-Representation (B-Rep), Constructive Solid Geometry (CSG) oder Hybridmodellen (CSG-B-Rep) (siehe Abbildung 2.13). [VAJNA ET AL. 2018, S. 222ff.], [VDI 2209 2009, S. 22ff.]

Kantenmodelle stellen ein Objekt nur anhand von Kurvenelementen dar. Aufgrund des geringen Datenvolumens benötigt die Darstellung und Bearbeitung wenig Rechnerleistung. Allerdings stellt die teilweise nicht eindeutige bildliche Darstellung z. B. bei der Ansichtsunterscheidung (vorne oder hinten) ein Problem dar. Zudem sind Flächen- oder Volumenoperationen wie Schnittkanten, Kollisionsüberprüfung oder Volumenberechnung nicht möglich. [VAJNA ET AL. 2018, S. 222f.], [VDI 2209 2009, S. 23f.]

Flächenmodelle sind eindeutiger bei der Ansichtsunterscheidung (vorne oder hinten), allerdings fehlt die Information, welche der Seiten einer Fläche die Innen- oder Außenseite darstellt. Erstellt werden Regel- und Freiformflächen z. B. durch Extrusion und Rotation von 2D-Kurven. Weiterhin können Flächen aus 3D-Randkurven aufgespannt werden. Zum Einsatz kommen Flächendarstellungen von Produkten, wenn Volumenmodelle nicht

erforderlich oder sinnvoll sind (z. B. Blechteile). Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Modellierung von hochwertigen Freiformflächen der Außenhaut von Produkten im Industriedesign (vgl. Kapitel 2.2.5.2). Auch bei Flächen mit hoher geometrischer Komplexität (z. B. Schmiede- und Gussteile) oder für die Berücksichtigung fertigungstechnischer Aspekte, wie die Modellierung im Formen- und Werkzeugbau, wird mit Flächenmodellen gearbeitet. [VAJNA ET AL. 2018, S. 223f.], [VDI 2209 2009, S. 24]



**Abbildung 2.13:** Klassifizierung von 3D-Modellen nach [VAJNA ET AL. 2018, S. 222f.]

Bei einem Volumenmodell handelt es sich um einen topologisch geschlossenen Flächenverbund (vgl. Kapitel 2.2.3.1). Ein Volumenmodell kann neben geometrischen Informationen auch physikalische Eigenschaften (z. B. Dichte oder Material) des Produkts enthalten. Volumenmodelle lassen sich in prozedurale, deskriptive und hybride Geometriemodelle unterscheiden. Prozedurale Geometriemodelle (z. B. CSG: Boolesche Verknüpfungen, wie Vereinigung, Subtraktion, Verschneidung, siehe Abbildung 2.13) enthalten den Lösungsweg, während deskriptive Geometriemodelle (z. B. B-Rep: Begrenzende Flächen mit Normalenvektor, siehe Abbildung 2.13) das Lösungsergebnis beschreiben. Hybridmodelle kombinieren Aspekte beider Geometriemodelle. [VAJNA ET AL. 2018, S. 224ff.], [VDI 2209 2009, S. 24ff.]

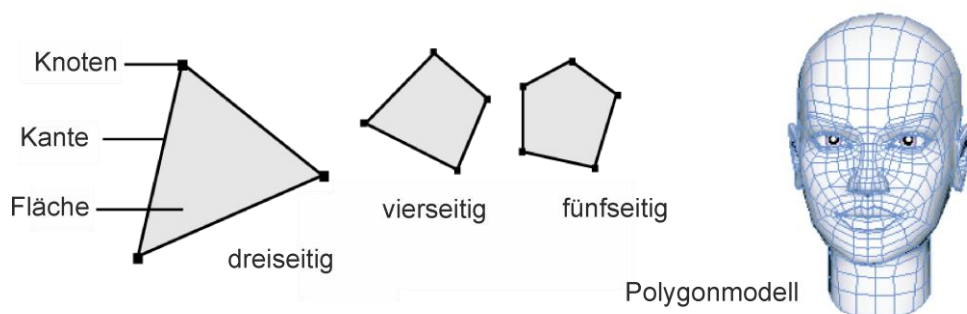
Zellmodelle bestehen aus einer Ansammlung würfelförmiger Elemente (Voxel, siehe Abbildung 2.13). Aus Volumen- oder Flächenmodellen lassen sich Zellmodelle ableiten. Umgekehrt ist eine exakte Flächenrückführung nicht möglich. Diese Modellart kommt bei Digital Mock-Ups zum Einsatz. [VAJNA ET AL. 2018, S. 224], [VDI 2209 2009, S. 24f.]

## 2.2.5 Computer-Aided Styling

Während unter CAD technologie- bzw. funktionsorientiertes Modellieren verstanden wird, behandelt Computer-Aided Styling (CAS) gestaltungsrelevante Exterior- und Interiorgeometrien [HIRZ ET AL. 2013, S. 242]. Dabei werden hohe Anforderungen an die Qualität der Kurven und Flächen gestellt [EBD.]. Zum Einsatz kommen flächenbasierte CAS-Systeme bei Designern und Modelleuren z. B. im Automobilbau und in der Konsumgüterindustrie [SPUR & KRAUSE 1997, S. 448], [KÜDERLI 2007, S. 303]. Neben Computer-Aided Styling (CAS) wird in der Literatur auch der Begriff Computer-Aided Industrial Design (CAID) [VANJA ET AL. 2018, S. 15] genannt. Zunächst werden Modellierungssysteme beschrieben (Kapitel 2.2.5.1) und die Oberflächenklassifizierung erläutert (Kapitel 2.2.5.2). Abschließend wird das Modellierungsvorgehen inkl. Modellierungsoperationen behandelt (Kapitel 2.2.5.3).

### 2.2.5.1 Modellierungssysteme

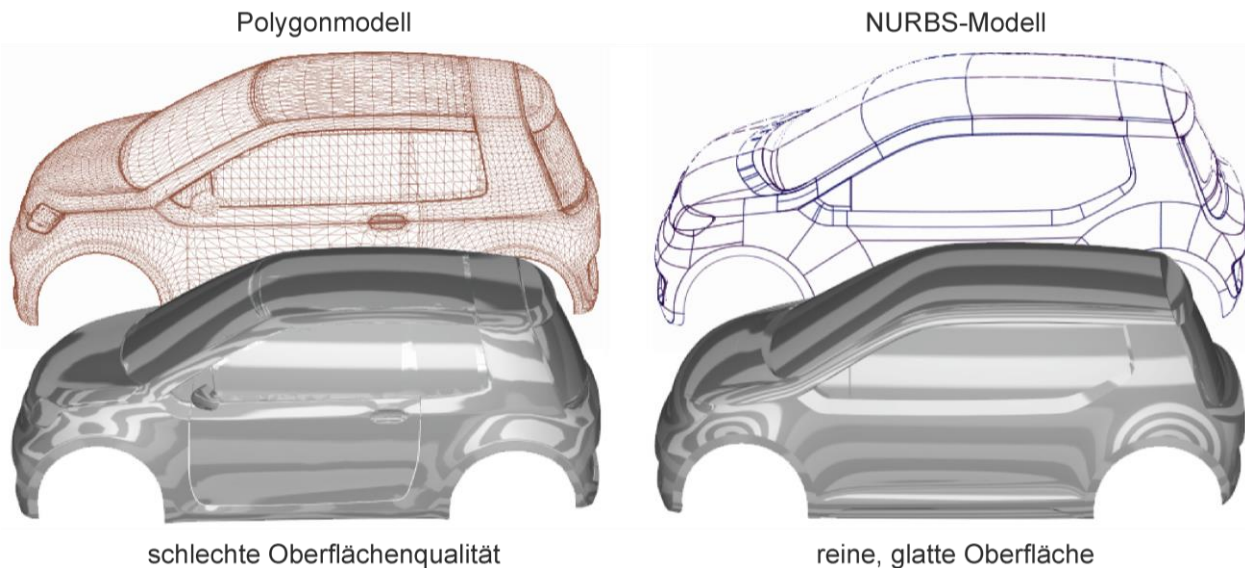
Flächen können parametrisch (vgl. Kapitel 2.2.3.2), interpolierend (durch eine Punktwolke) oder mit Polygonnetzen aufgebaut werden [VUKAŠINOVIĆ & DUHOVNIK 2019, S. 6ff.]. Parametrische und interpolierende Flächen werden in der Regel mit NURBS-Flächen dargestellt, während Polygonnetze aus Knoten, Kanten und die dadurch aufgespannten, ebenen drei- oder vierseitigen (selten auch fünfseitige) Flächen bestehen [EBD.], [BÜHLER 2021, S. 7]. Der Aufbau von Polygonen und ein Beispiel für ein Polygonmodell sind in Abbildung 2.14 dargestellt.



**Abbildung 2.14:** Polygonbeschreibung und Modellbeispiel nach [AUTODESK 2022B]

Zur Anwendung kommen polygonbasierte Systeme vor allem für frühe Entwürfe [GULANOVÁ ET AL. 2017, S. 643]. Weiterhin wird mit Polygonmodellen im Gaming- und

Animationsbereich [vgl. BÜHLER 2021] und beim Reverse Engineering [VDI 5620 2017] gearbeitet. Vorteilhaft sind Polygonmodelle zudem für schnelle Renderingberechnungen [AUTODESK 2022c]. Da Polygonnetze aus vielen ebenen Flächen bestehen, ist die Erstellung von glatten Oberflächen nicht möglich (siehe Abbildung 2.15), wodurch diese nicht für hochwertige Oberflächengüten (vgl. Kapitel 2.2.5.2) geeignet sind [AUTODESK 2022c].



**Abbildung 2.15:** Vergleich zwischen Polygon- und NURBS-Modell nach [AUTODESK 2022c]

Meist verbinden rechnergestützte CAS-Systeme beide Modellierungsarten in einem Programm und der Anwender kann die Vorteile beider Arten nutzen [vgl. GULANOVA ET AL. 2017, S. 643].

### 2.2.5.2 Oberflächenklassifizierung

Wie in Kapitel 2.2.3.2 beschrieben, werden Freiformflächen dadurch definiert, dass deren Geometrie nicht analytisch beschreibbar ist. Ein wichtiger Aspekt bei der Verbindung von zwei Kurven oder Flächen ist die sog. „Stetigkeit“ des Übergangs. Die Stetigkeit ist ein Gradmesser für die Qualität des Übergangs [BONITZ 2009, S. 188]. Generell kann die Stetigkeit anhand von Vektoren und Krümmungswerten (vgl. Kapitel 2.2.3.3) bei Kurven und Flächen beschrieben werden [VUKAŠINOVIĆ & DUHOVNIK 2019, S. 36ff.].

Bei einer parametrischen Kurvenbeschreibung kann die sog. „parametrische Stetigkeit  $C^n$ “ zweier Kurven über deren Verläufe und Ableitungsverläufe beschrieben werden [EBD.]:

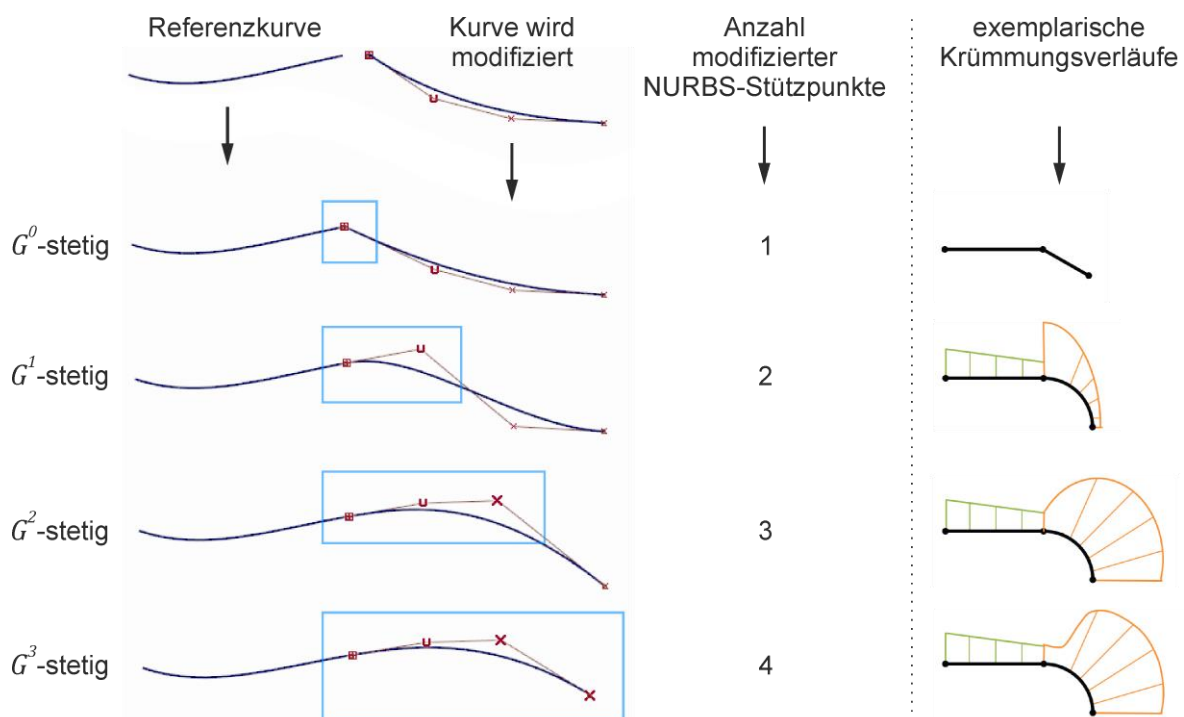
- $C^{-1}$ : Die Kurven sind diskontinuierlich. D. h. die Kurven berühren sich nicht.
- $C^0$ : Die Kurven sind stetig. D. h. die Kurven haben gemeinsame Endpunkte.
- $C^1$ : Die ersten Ableitungen der Kurven sind stetig.
- $C^2$ : Erste und zweite Ableitungen der Kurven sind stetig.

- $C^n$ : Die erste bis  $n$ -te Ableitung der Kurven sind stetig.

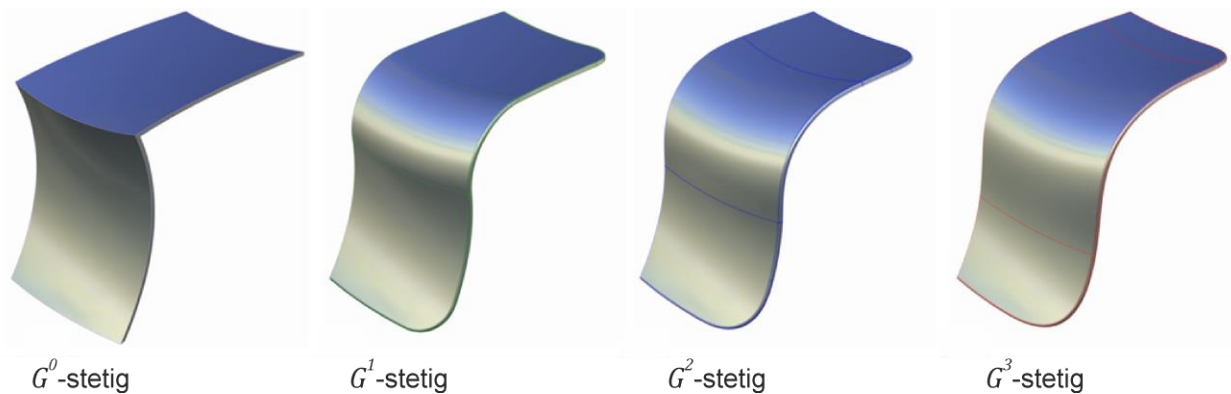
Die parametrische Stetigkeit ist mathematisch einfach zu beschreiben, hat aber Probleme, wenn eine der Kurven nicht beliebig oft differenzierbar ist, wie z. B. eine gerade Kurve / Linie [vgl. EBD., S. 39ff.]. Daher wird der Übergang zweier Kurven (oder Flächen) anhand der sog. „geometrischen Stetigkeit  $G$ “ beschrieben [EBD., S. 42ff.], [VDI 5620, S. 27], [BONITZ 2009, S. 188]:

- $G^0$ : Positionsstetigkeit. Die Kurven berühren sich an den Endpunkten.
- $G^1$ : Tangentenstetigkeit. Die Kurven haben an dem Berührungspunkt die gleiche Richtung des Tangentialvektors.
- $G^2$ : Krümmungsstetigkeit. Die Kurven haben an dem Berührungspunkt die gleiche Richtung des Tangentialvektors und den gleichen Krümmungswert.
- $G^3$ : Krümmungsänderungsstetigkeit / Flusstetigkeit. Die Kurven haben an dem Berührungspunkt die gleiche Richtung des Tangentialvektors, den gleichen Krümmungswert und die gleiche Krümmungsänderungsrate.

Analog zu der schrittweisen Differenzierbarkeit bei der parametrischen Stetigkeit  $C$  muss pro Stufe der geometrischen Stetigkeit  $G$  je ein weiterer Stützpunkt einer NURBS-Kurve angepasst werden [AUTODESK 2022D], [vgl. BONITZ 2009, S. 160f.]. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2.16 mit exemplarischen Krümmungsverläufen bei Kurven dargestellt. Abbildung 2.17 stellt Flächen mit oben genannten geometrischen Stetigkeiten dar.



**Abbildung 2.16:** Geometrische Stetigkeiten von Kurvenverbindungen nach [AUTODESK 2022D], [VDI 5620 2017, S. 27]



**Abbildung 2.17:** Geometrische Stetigkeiten von Flächenverbindungen (Rendering) [AUTODESK 2022D], [BONITZ 2009, S. 249]

Im Automobilbereich werden Oberflächen auch als „Class A, B, C“ klassifiziert [BONITZ 2009, S. 113]. Diese werden wie folgt definiert [HIRZ ET AL. 2013, S. 243], [STADLER & HIRZ 2016, S. 559], [VUKAŠINOVIĆ & DUHOVNIK 2019, S. 47f.]:

- *Class A:* Sichtbare Oberflächen im Exterior und Interior mit hohen ästhetischen Ansprüchen wie z. B. Motorhaube und Scheinwerfer ( $G^2$ -stetig mit kleinen Krümmungsänderungen oder  $G^3$ -stetig).
- *Class B:* Sichtbare Oberflächen mit geringen ästhetischen Ansprüchen wie z. B. Türkanten im Fahrzeug ( $G^1$ -stetig).
- *Class C:* Verdeckte Flächen ohne ästhetische Ansprüche wie z. B. Autositzbefestigung und Reserveradhalterung ( $G^0$ -stetig).

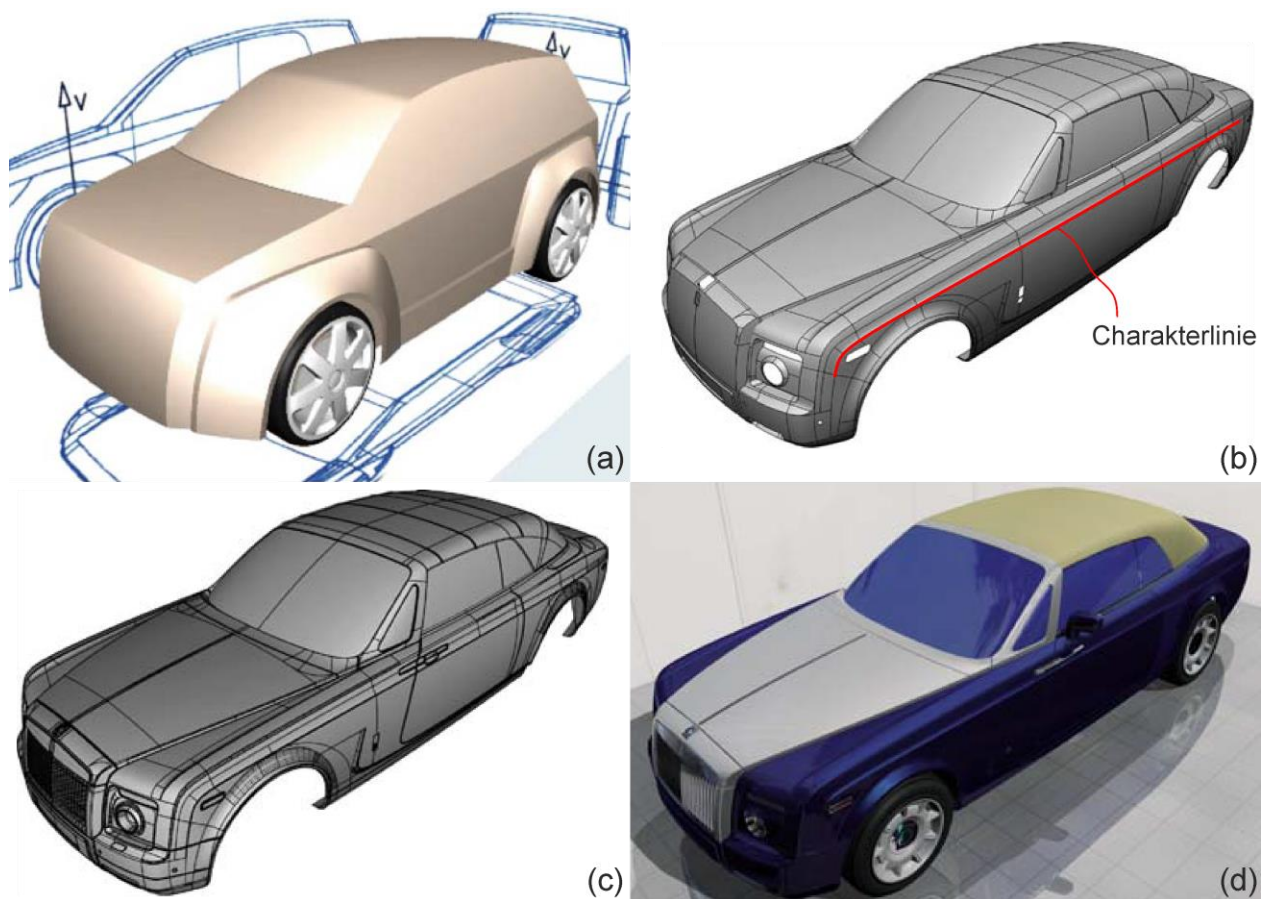
Der Prozess der Erstellung und Modifikation von Class A Flächen wird auch „Straken“ genannt [BONITZ 2009, S. 188].

### 2.2.5.3 Modellierungsvorgehen und -operationen

Aufgrund der hohen Design-Anforderungen im Automobilbereich basiert dieses Kapitel überwiegend auf Literatur aus bzw. zu dieser Branche. Nach Kapitel 2.2.1 findet die Modellierung der Teilgestalt Form vor allem in der Konzept- und Entwurfsphase der technischen Produktentwicklung statt. BONITZ [2009, S. 114] teilt die Flächenmodellierung in die Erzeugungsphase und Modifikationsphase auf, wobei mehr als 80 % der Arbeit in die Modifikationsphase fallen. Diese Verteilung resultiert aus der iterativen Detailoptimierung auf dem Weg zur endgültigen Form [EBD.].

Die ersten Konzeptmodelle können noch aus Class C Flächen bestehen [HIRZ ET AL. 2013, S. 243]. Für weitergehende Gestaltungen wird zunächst ein sog. Designrohling erstellt, der die allgemeine Flächeneinhüllung (auch Gesamtform) abbildet (siehe Abbildung 2.18a) [BONITZ 2009, S. 91], [FONTANA ET AL. 1999]. Bei diesem werden Class A-Regeln noch nicht vollumfänglich berücksichtigt [BONITZ 2009, S. 91]. Der Designrohling

verleiht dem Produkt schon eine globale bzw. allgemeine Wirkung (vgl. Kapitel 2.1) [FONTANA ET AL. 1999]. Enthalten sind dabei auch sog. „Charakterlinien“, welche als markante Linien den Charakter des Produkts beeinflusst (siehe Abbildung 2.18b) [BONITZ 2009, S. 92, 154ff.], [FONTANA ET AL. 1999]. Begonnen wird dabei mit möglichst großen Flächen niedriger Ordnung (vgl. Kapitel 2.2.3.2), welche verschnitten werden und somit scharfe Kanten ( $G^0$ -stetige Flächenschnittkurven) erzeugen [vgl. BONITZ 2009, S. 127]. In der Modifikationsphase werden diese Flächen z. B. in Ausschnitten genutzt, untergliedert und umgeformt und neu kombiniert [EBD.]. Nach dem Einbringen aller Details werden alle verbleibenden scharfen Kanten verrundet und technologische Fugen hinzugefügt (siehe Abbildung 2.18c) [vgl. EBD., S. 127, 177]. Empfehlungen und Regeln für die Erzeugung von Flächen mit hoher Qualität bzw. Class A Flächen beschreiben BONITZ [2009, S. 130f.] und VDA 4955 [2006]. Abbildung 2.18 zeigt Beispiele für die erwähnten Modellierungsschritte inkl. Rendering.

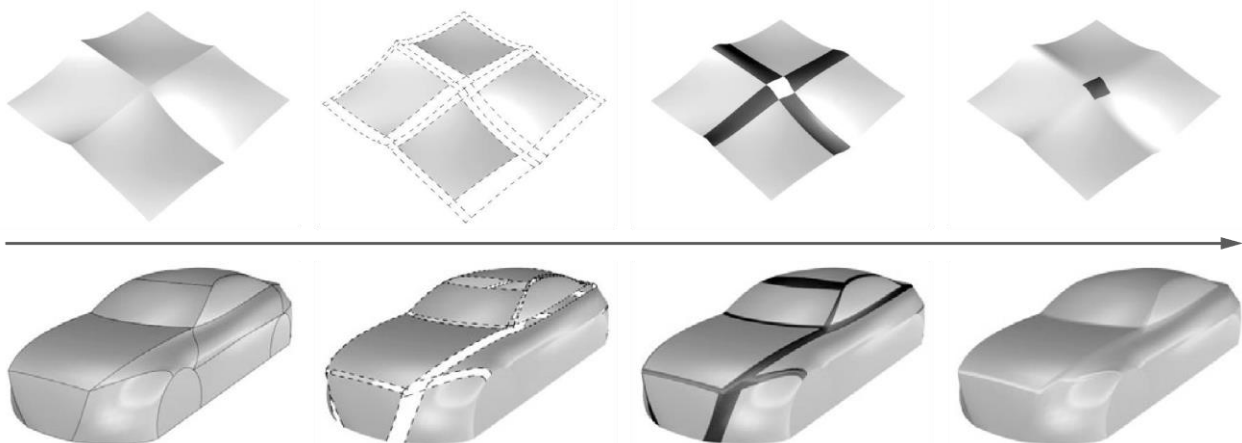


**Abbildung 2.18:** Designrohling (a), Flächenmodell mit scharfen Kanten (b) und mit Kantenverrundungen und Fugen (c), Rendering (d) nach [BONITZ 2009, S. 40, 178ff.]

Bei der Flächengestaltung kann zwischen Modellierungsmethoden und Operationsmethoden unterschieden werden. Zu den Modellierungsmethoden zählen u. a. Extrusion,

Rotation, Sweeping und Punktinterpolationen, welche als Ergebnis eine Fläche erzeugen. Operationsmethoden erlauben die Modifikation erstellter Flächen. Darunter zählen z. B. boolesche Operationen (Schnitte, Trimmung, Vereinigung), Wandlungen (Transformation, Offset, Skalierung, Mustererstellung) und die Erstellung von Kantenverrundungen (auch Fillet genannt) und Blendflächen. [LIAO ET AL. 2017, S. 2], [vgl. HIRZ ET AL. 2013, S. 260ff.]

Kantenverrundungen werden durchgeführt, wenn sich zwei Flächen mit einem  $G^0$ -stetigen Übergang (siehe Kapitel 2.2.5.2) schneiden [vgl. BONITZ 2009, S. 186]. Blendflächen füllen Lücken zwischen zwei Flächen mit geometrisch stetigen Übergängen auf [EBD.]. Die Verrundungsoperation kann auch als das Trimmen von sich schneidenden Flächen entlang der Flächenschnittkurve und anschließendem Einfügen einer Blendfläche betrachtet werden (siehe Abbildung 2.19) [vgl. HOSCHEK & LASSER 1992, S. 537ff.]. Bei der Verrundungsoperation entsteht eine neue Fläche mit mindestens  $G^1$ -stetigem Übergang zu den anliegenden Flächen [EBD.]. Mathematische Grundlagen und Detaillierungen dazu werden von HOSCHEK & LASSER [1992, S. 537ff.] beschrieben.



**Abbildung 2.19:** Prozess der Verrundung scharfer Kanten mittels Flächentrimmung und Einfügen von Blendflächen nach [LIU ET AL. 2020]

## 2.3 Markenspezifische Produktgestalt

Dieses Kapitel zeigt die Relevanz und Herausforderungen der markenspezifischen Produktgestalt auf. Als Basis werden die wesentlichen Inhalte einer Marke (Kapitel 2.3.1) und Markenstrategien (Kapitel 2.3.2) erläutert. Anschließend folgen Aspekte der markenspezifischen Gestaltung (Kapitel 2.3.3) und der Produktbeziehungen im Markenkontext (Kapitel 2.3.4).



### 2.3.1 Marken und deren Kernaspekte

Marken dienen sowohl der Identifikation als auch der Differenzierung von Produkten [ESCH 2012, S. 1]. Der Begriff „Marke“ wird in der Wissenschaft und Praxis je nach Verständnis und Verwendung unterschiedlich definiert [BURMANN ET AL. 2013, S. 5]. KELLER [2013, S. 30] definiert die Marke nach der American Marketing Association als „Name, Begriff, Zeichen, Symbol oder Design oder eine Kombination davon, die dazu bestimmt sind, die Waren und Dienstleistungen eines Verkäufers oder einer Gruppe von Verkäufern zu kennzeichnen und sie von denen der Konkurrenz zu unterscheiden“. Um neben der Erscheinungsform von Produkten und Dienstleistungen auch die symbolische Nutzenkomponente zu erfassen, definieren BURMANN ET AL. [2013, S. 7] die Marke als sog. „Nutzenbündel“ spezifischer Merkmale zur Identifikation und Differenzierung von anderen Nutzenbündeln.

Produkt und Marke beeinflussen sich idealerweise gegenseitig positiv. Durch gute Produkte wird die Marke getragen bzw. positiv bewertet. Im Gegenzug geben starke Marken den Produkten einen Wert und beeinflussen die Meinung über das Produkt. [vgl. KARMAVIN 2012, S. 460], [KREUZBAUER & MALTER 2005, S. 166].

Die Beziehung zwischen einer Marke und dem Nutzer wird durch die Markenidentität (Selbstbild der Marke), Markenpositionierung und Markenimage (Fremdbild der Marke) beschrieben (siehe Abbildung 2.20) [ESCH 2012, S. 90ff.], [BURMANN & MEFFERT 2013, S. 51ff.].



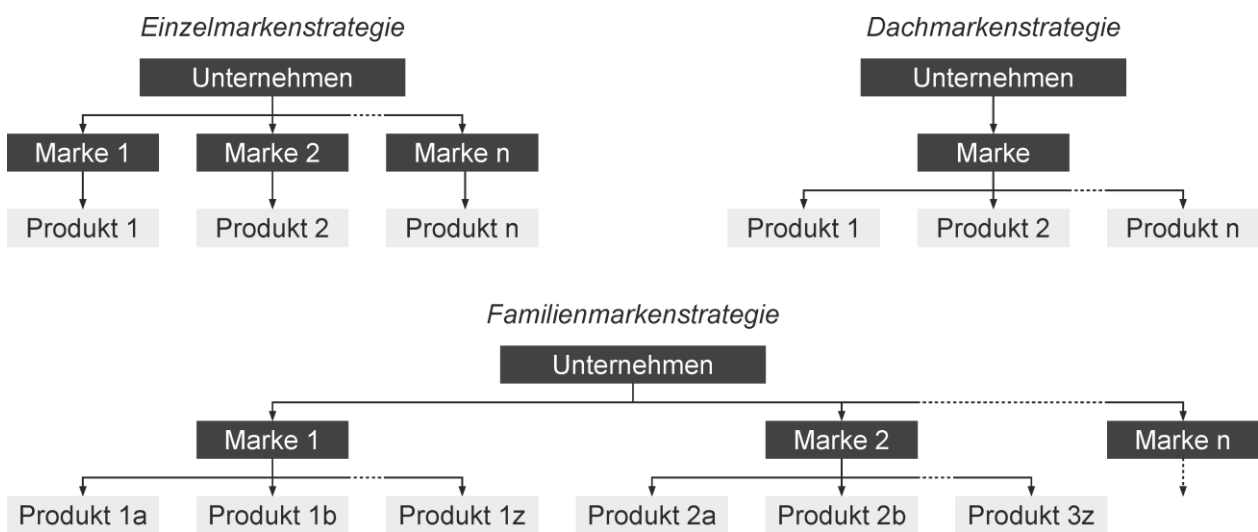
**Abbildung 2.20:** Beziehung zwischen Markenidentität, -positionierung und -image nach [GLOHR 2018, S. 26], [ESCH 2012, S. 91]

Die Markenidentität wird von dem Unternehmen strategisch gestaltet „und bringt zum Ausdruck, wofür die Marke steht“ [ESCH 2012, S. 81]. Die Vermittlung wichtiger Identitätsmerkmale (z. B. Sportlichkeit, Dynamik, Sicherheit) für die Zielgruppe ist Aufgabe der Markenpositionierung (Umsetzung) und dient gleichzeitig zur Abgrenzung der Marke von Wettbewerbsmarken [ESCH & ISENBERG 2013, S. 41]. Zu den sichtbaren Kommunikati-

onsmitteln der Markenpositionierung gehören das Produktdesign und die Mittel der Marketing-Kommunikation [ESCH 2012, S. 90]. Die Produkte stellen dabei „[...] starke Markenbotschafter“ dar [HEUFLER ET AL. 2019, S. 47]. Bei dem Nutzer wird das Ergebnis der Wahrnehmung (bzw. Wirkung) der Marke als Markenimage beschrieben [BURMANN & MEFFERT 2013, S. 51ff.]. Das erzielte Markenimage (Ist-Image) ist regelmäßig mit dem Soll-Image zu vergleichen, um eine hohe Übereinstimmung von Markenidentität und -image ggf. durch eine Optimierung der Markenpositionierung zu erzielen [ESCH 2012, S. 90ff.]. Auf der übergeordneten Unternehmensebene wird der Rahmen für die Markenidentität durch die Corporate Identity bereitgestellt [REINEKE ET AL. 2000, S. 657].

### 2.3.2 Markenstrategien und -architektur

Grundsätzlich stehen drei Markentypen bzw. -strategien zur Auswahl. Bei der Einzelmarke wird für jedes Produkt eine eigene Marke geschaffen, während bei der Dachmarke alle Produkte des Unternehmens unter einer Marke platziert werden. In der Familienmarkenstrategie werden in einem Unternehmen Produktgruppen unter separaten Marken angeboten. Die unterschiedlichen Strategien sind in Abbildung 2.21 visualisiert. [BECKER 2019, S. 257ff.]



**Abbildung 2.21:** Aufbau klassischer Markenstrategien nach [DIM 2022]

Innerhalb eines Unternehmens sind neben einer klassischen Markenstrategie auch Kombinationen mehrerer Strategien möglich [BECKER 2019, S. 264]. Die Anordnung und Positionierung aller Marken eines Unternehmens wird Markenarchitektur genannt [KAPFERER 2012, S. 309ff.].

### 2.3.3 Markenspezifische Produktgestaltung

Das Produktdesign spielt eine bedeutende Rolle für die Wirkung des Produktes beim Nutzer und bei der Übertragung von Emotionen und Gefühlen [ESCH & HANISCH 2013,

S. 99]. Daher ist das Produktdesign für die Marke von hoher Wichtigkeit, da der erste Eindruck durch die visuelle Wahrnehmung erfolgt [vgl. ESCH 2012, S. 250ff.]. Wird eine auf der Corporate Identity basierende Designstrategie im Produktgestaltungsprozess konsequent und langfristig umgesetzt, bildet sich eine Markensprache bzw. Design-DNA im Produktdesign [VDI/VDID 2424 2023, S. 27f.], [PERSON & SNELDERS 2010]. Die Relevanz der markenspezifischen Produktgestaltung für die Markenstrategie und -führung wird in der VDI/VDID 2424 [2023, S. 26ff.] betont.

Der Begriff „Corporate Product Design“ wird als *„Anwendung der durch die Marke und ihre Gestaltungselemente [...] definierten charakteristischen Elemente an Produkten eines Unternehmens oder einer Marke“* VDI/VDID 2424 [2023, S. 6] definiert. Als Gestaltungselemente für die Diskriminationsfähigkeit (Differenzierung zum Wettbewerb) zählt ESCH [2012, S. 255] die Form, Farbe und sonstige hervorgehobene Merkmale auf. In der VDI/VDID 2424 [2023, S. 41] werden ergänzend zu Form und Farbe die Gestaltelemente Material, Haptik, Produktgrafik, Akustik, Olfaktorik und Usabilityprinzipien genannt.

KAPFERER [2012, S. 38f.] und KARJALAINEN [2004, S. 67ff.] differenzieren weiterhin zwischen sichtbaren (expliziten) und nicht unmittelbar sichtbaren (impliziten) Attributen für die Markenzugehörigkeit eines Produktes. Implizite Attribute sind vergleichbar mit dem Wesen bzw. der Wirkung (siehe Kapitel 2.1) des Produktes und entstehen durch unterbewusste Assoziationen [vgl. ANDERSSON ET AL. 2021, S. 348ff.]. Anhand dieser können über die Produktgestalt Markenwerte vermittelt werden [vgl. KARJALAINEN & SNELDERS 2010]. Die vier Teilgestalten (siehe Kapitel 2.1.1) sind direkt visuell wahrnehmbar und dementsprechend sind objektive bzw. geometrisch quantifizierbare Beschreibungen dieser als explizite Merkmale für die Markenzugehörigkeit zu klassifizieren [vgl. ANDERSSON ET AL. 2021, S. 349].

FISCHER ET AL. [2020A] bewerten die Teilgestalten neben dem gestalterischen Freiheitsgrad (siehe Kapitel 2.2.2) auch bzgl. der Nutzung für die Markenzugehörigkeit (Ähnlichkeit aller Produkte einer Marke), Produkteigenständigkeit (Differenzierung zwischen Produkten innerhalb einer Marke) und Kundenindividualisierung (marken- und produktpolitisch nicht nutzbar, z. B. Pkw-Farbe). Generell ist in diesem Zusammenhang die Dominanzverteilung zwischen Marke und Produktindividualität individuell festzulegen [KARMASIN 2012, S. 485ff.].

#### **2.3.4 Modell der Produkt-Beziehungsebenen im Markenkontext**

LOEWY [1953, S. 228] betonte mit dem MAYA-Konzept (Most Advanced, Yet Acceptable) bereits, dass die Balance zwischen Fortschritt und einer annehmbaren Produktgestalt wichtig ist. In Bezug auf die Marke nennt KELLER [2013, S. 83ff.] die Points-of-Difference und Points-of-Parity (Differenzierung und Gleichheit) als Aspekte, die zur Differenzierung

bzw. zur Ähnlichkeit zu anderen Marken in der Produktgestalt strategisch genutzt werden können. Neben der Differenzierung und Ähnlichkeit zwischen Marken können diese Faktoren auch zwischen Produkten innerhalb einer Marke betrachtet werden. Die Beziehungen von Produkten zueinander können anhand mehrerer Beziehungsebenen klassifiziert werden [vgl. MONÖ 1997, S. 145f.]. Welche Beziehungsebenen vorhanden sind, wird durch die Markenstrategie und -architektur bestimmt (vgl. Kapitel 2.3.2). Innerhalb einer Produktgeneration und Marke bestehen folgende Beziehungs- bzw. Markenebenen [vgl. FISCHER ET AL. 2019, S. 4f.]:

- *Produktprogramm-Markenebene (PP)*: Produkte gleicher Zwecksetzung [SEEGER 2005, S. 4f.], die zeitgleich angeboten werden (auch Produktlinie [BARTMANN ET AL. 2000, S. 2508], Produktdifferenzierung [VDI 4520-1 2017, S. 4]).
- *Produktsystem-Markenebene (PS)*: Produkte mit unterschiedlicher Zwecksetzung, die funktionell und / oder räumlich zusammenwirken [SEEGER 2005, S. 5] und zeitgleich angeboten werden (auch Produktfamilie [BARTMANN ET AL. 2000, S. 2491], Produktdiversifikation [VDI 4520-1 2017, S. 4]).
- *Produktportfolio-Markenebene (PO)*: Produkte, die weder räumlich noch funktionell zusammenwirken und zeitgleich angeboten werden [vgl. SCHICKER & STRASSL 2019, S. 4].

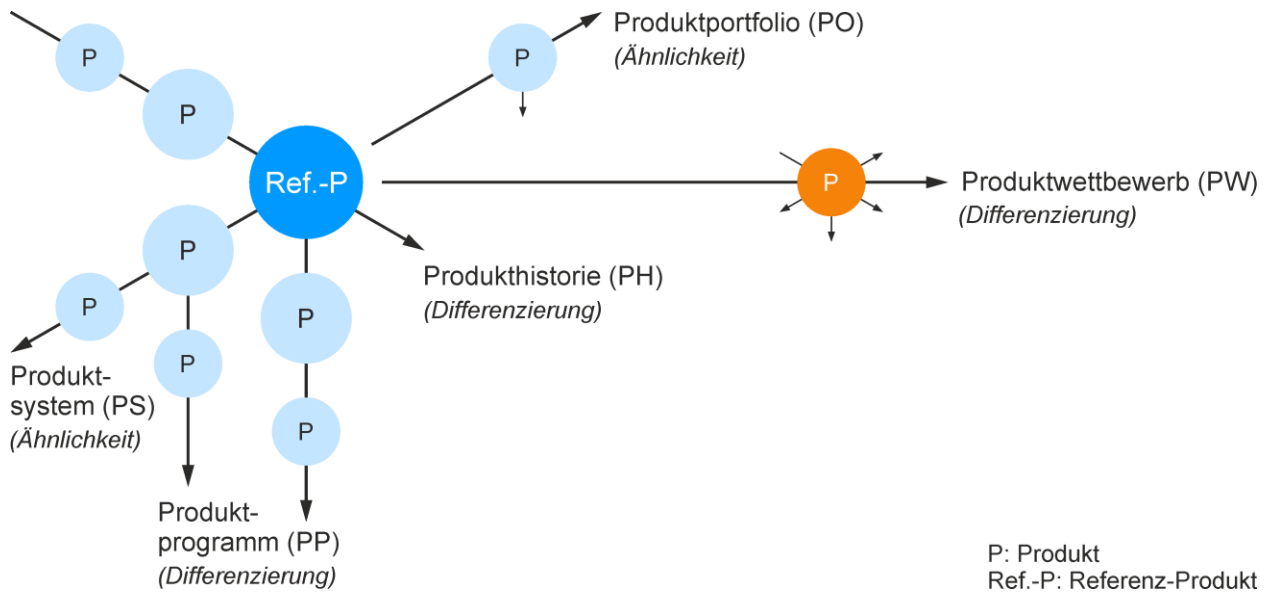
Weiterhin existiert die historische Komponente innerhalb der Marke und die Beziehung zu Wettbewerbsprodukten [vgl. FISCHER ET AL. 2019, S. 4f.]:

- *Produktgeschichte-Markenebene (PH)*: Vorgänger- und Nachfolgeprodukt (auch Produktvariation [VDI 4520-1 2017, S. 4]).
- *Produktwettbewerb-Markenebene (PW)*: Produkte gleicher Zwecksetzung von unterschiedlichen Marken, die zeitgleich angeboten werden [vgl. MONÖ 1997, S. 145f.].

Die beschriebenen Markenebenen sind in Abbildung 2.22 visualisiert. Dabei werden die Beziehungen an einem Referenzprodukt aufgezeigt. Dies kann z. B. das Flaggschiff oder Leitprodukt einer Marke sein [KAPFERER 2012, S. 42ff.].

Generell ist die Ähnlichkeit aller Produkte einer Marke für ein einheitliches Erscheinungsbild der Marke wichtig [HERRMANN ET AL. 2007, S. 1056]. Zudem sollte eine Differenzierung zu Wettbewerbern (PW) stattfinden [PERSON ET AL. 2008]. Allerdings müssen die Produkte innerhalb eines PP einer Marke auch differenzierbar sein, um den Nutzer nicht zu verwirren [ESCH 2012, S. 388ff.]. Bei Erweiterungen bzgl. der Produktkategorie steht hingegen die Produktähnlichkeit im Fokus [ESCH 2012, S. 428ff.]. Bei sog. „nahen“ Erweiterungen (vgl. PS) ist eine hohe Ähnlichkeit wichtiger als bei „weiten“ Erweiterungen (vgl.

PO) [ESCH 2012, S. 429]. Ergänzend muss sich ein Nachfolgeprodukt von dem Vorgängerprodukt (PH) differenzieren lassen [vgl. TALKE ET AL. 2017, S. 410]. Die Gewichtungen von Ähnlichkeit und Differenzierung zwischen aktueller Produktgeneration (PP, PS, PO) und PH- und PW-Ebene ist von zahlreichen Faktoren wie Designstrategie, Branche etc. abhängig [vgl. TALKE ET AL. 2017], [vgl. PERSON ET AL. 2008]. Strategien zur Erweiterung und Erneuerung der Produkte einer Marke werden von ANDERSSON ET AL. [2021] präzisiert.



**Abbildung 2.22:** Darstellung der Produktbeziehungen / Markenebenen. Erweiterte Darstellung nach [MONÖ 1997, S. 146], [ANDERSSON & WARELL 2015, S. 2196], [FISCHER ET AL. 2019, S. 5]

Generell gilt, dass in der PS- und PO-Ebene die Produkte zweckbedingt meist eine unterschiedliche Aufbaugestalt besitzen, während in der PP-, PW- und PH-Ebene die Aufbaugestalten durch die gleiche Zwecksetzung in der Regel identisch ist [vgl. FISCHER ET AL. 2019, S. 4f.].

## 2.4 Grundlagen der menschlichen Wahrnehmung

Dieses Kapitel beinhaltet Grundlagen zum Prozess der menschlichen Wahrnehmung (Kapitel 2.4.1) und der Messung der Wahrnehmung bzw. Psychophysik (Kapitel 2.4.2). Entscheidend für die Bewertung einer Marke und deren Produkte ist nach Kapitel 2.3 vor allem die visuelle Wahrnehmung (Kapitel 2.4.3).

### 2.4.1 Prozess der Wahrnehmung

Der gesamte Wahrnehmungsprozess beschreibt den Weg vom Reiz bis zur Reaktion [GOLDSTEIN 2015, S. 3]. Dabei wird dieser Prozess in die Sinnesempfindung (Empfang

und Darstellung von Reizen durch die Sinnesrezeptoren) und die Wahrnehmung (Organisation und Interpretation der sensorischen Informationen) unterteilt (siehe Abbildung 2.23) [MYERS 2015, S. 234].



**Abbildung 2.23:** Empfindung und Wahrnehmung nach [MYERS 2008, S. 215], [MYERS 2015, S. 234f.], [GOLDSTEIN 2015, S. 3ff.], [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 5ff.]

Die Verarbeitung der Reize zu sensorischen Informationen ist eine aufsteigende, daten-gesteuerte Informationsverarbeitung (Bottom-up-Verarbeitung) und wird auch als Transduktion bezeichnet [MYERS 2015, S. 234f.]. Die Interpretation der sensorischen Daten aufgrund von Erwartungen und Erfahrungen ist hingegen eine absteigende, konzeptgesteuerte und wissensbasierte Informationsverarbeitung [MYERS 2015, S. 235], [GOLDSTEIN 2015, S. 9]. Dabei ist die Erkennung (Identifizierung von Objekten, siehe Kapitel 2.4.3.2) und Selektion relevanter Informationen (Aufmerksamkeit, siehe Kapitel 2.4.3.3) für die nachfolgende Reaktion erforderlich [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 5ff.]. Im letzten Schritt erfolgen die entsprechenden Handlungen sowie Gedanken und Emotionen [MYERS 2008, S. 215]. Der Prozess ist in Abbildung 2.23 dargestellt.

Entsprechend des beschriebenen Prozesses ist die Gestalteigenschaft Wesen (siehe Kapitel 2.1) eine Eigenschaft des Produktes und der ausgesendeten Reize (Sinnesempfindung), während Anmutung, Wirkung und Emotionen erst im Betrachter entstehen (Wahrnehmung). Eine klare Trennung ist allerdings kaum möglich und in Forschungsarbeiten werden diese Begriffe nur selten präzise differenziert. [vgl. DESMET & HEKKERT 2007], [vgl. KIM ET AL. 2016, S. 194]

## 2.4.2 Psychophysik - Messung der Wahrnehmung

Die Psychophysik befasst sich mit der Erforschung der Zusammenhänge zwischen physikalischen Reizen und deren psychisches Erleben [MYERS 2015, S. 856]. Für die Ermittlung von Wahrnehmungsveränderungen stellt die klassische Psychophysik Methoden

(siehe Kapitel 2.4.2.3) bereit [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 42]. Übliche Fragestellungen sind [STEVENS 1958, S. 32]:

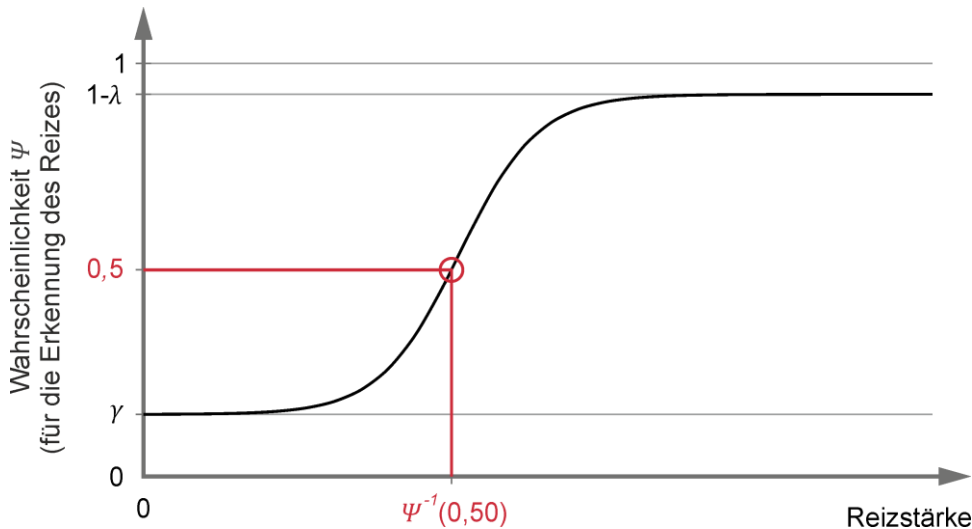
- *Absolutschwelle*: Welches sind die Reizwerte, die den Übergang zwischen Reaktion und Nichtreaktion eines Organismus markieren?
- *Differenzschwelle*: Was ist das Auflösungsvermögen des Organismus, d. h. was ist die kleinste nachweisbare Veränderung eines Reizes?
- *Gleichheit*: Welche Werte von zwei verschiedenen Reizen erzeugen die gleiche Reaktion (z. B. erscheinen gleich auf der Skala eines bestimmten Attributs)?
- *Reihenfolge*: Welche unterschiedlichen Stimuli erzeugen eine Reihe von Reaktionen oder psychologischen Eindrücken, die in eine serielle Reihenfolge gebracht werden können?
- *Gleichheit der Intervalle*: Welche Reize erzeugen eine Reihe von Antworten, die auf der Skala eines bestimmten Merkmals nacheinander im gleichen Abstand stehen?
- *Gleichheit der Verhältnisse*: Welche Reize erzeugen eine Menge von Antworten mit konstantem Verhältnis zueinander auf der Skala eines bestimmten Merkmals?
- *Bewertung von Reizen*: Mit welcher Genauigkeit (Validität) und Präzision (Reliabilität) kann eine Person den physikalischen Wert eines Reizes einschätzen?

#### 2.4.2.1 Wahrnehmungsschwellen und psychometrische Funktion

Das Arbeiten mit sog. „Schwellen“ ist ein zentraler Bestandteil der Psychophysik [vgl. HAGENDORF ET AL. 2011, S. 43]. HAJOS [1972, S. 38ff.] unterscheidet neben einer Absolut- und Differenzschwelle auch zwischen einer Intensitäts- und Qualitätsschwelle. Dabei bezieht sich die Intensität auf die Stärke eines Reizes (z. B. minimale Leuchtdichte, um Helligkeit wahrzunehmen) und die Qualität auf das Erleben (z. B. Farbtonunterscheidungen bei gleicher Leuchtdichte) [vgl. EBD., S. 46ff.]. Zudem differenziert HAJOS [1972, S. 40ff.] zwischen intraindividuellem Schwelle (ein Proband mit mehreren Wiederholungen) und interindividueller Schwelle (mehrere Probanden) bzgl. der Anzahl an Versuchspersonen.

Bei einer Probandenstudie ergibt sich durch viele Beobachtungen ein Zusammenhang zwischen dem physikalischen Reiz und der Wahrnehmung bzw. den Antworten der Personen in Form einer psychometrischen Funktion  $\psi$  [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 44]. Bei einem exemplarischen Absolutschwellenexperiment mit Variation der Reizstärke (x-Achse) wird in Richtung der y-Achse die psychometrische Funktion  $\psi$  als Wahrscheinlichkeit für die Erkennung des Reizes eingetragen [vgl. KÜHNER 2014, S. 39ff.]. Dabei ergibt sich ein S-förmiger Verlauf (siehe Abbildung 2.24) [GESCHEIDER 2016, S. 46f.]. Die Schwelle liegt bei der Wahrscheinlichkeit  $\psi = 0,5$  (50 %) einen Reiz wahrzunehmen

[HAGENDORF ET AL. 2011, S. 44]. Dabei muss die S-Kurve nicht zwangsläufig den Wertebereich 0 bis 1 umfassen [KÜHNER 2014, S. 40]. Die untere Asymptote kann durch die Ratewahrscheinlichkeit  $\gamma$  ggf. nach oben verschoben werden [KINGDOM & PRINS 2016, S. 74ff.]. Die obere Asymptote kann aufgrund der Lapsus-Rate  $\lambda$  (Proband verpasst z. B. durch Niesen die Reizdarstellung) nach unten versetzt werden [EBD.].



**Abbildung 2.24:** Beispiel einer psychometrischen Funktion (S-Kurve) nach [KÜHNER 2014, S. 40]

Für die Beschreibung der S-Basiskurve  $F(x; \alpha, \beta)$  werden die Parameter  $\alpha$  (Lageparameter; Verschiebung der Kurve in x-Richtung) und  $\beta$  (Steigungsparameter) eingesetzt [KINGDOM & PRINS 2016, S. 56]. Damit ergibt sich folgende psychometrische Funktion [EBD., S. 79]:

$$\Psi(x; \alpha, \beta, \gamma, \lambda) = \gamma + (1 - \gamma - \lambda) \cdot F(x; \alpha, \beta) \quad (2.5)$$

Unterschiedliche Funktionen kommen für die S-Basiskurve  $F(x; \alpha, \beta)$  zum Einsatz, wobei die kumulative Normalverteilungsfunktion bei normalverteiltem Antwortverhalten die beste Lösung darstellt. Weiterhin wird die logistische Funktion, Weibull-Funktion, Quick-Funktion und hyperbolische Sekante eingesetzt. [KINGDOM & PRINS 2016, S. 79ff.]

Bei der kumulativen Normalverteilungsfunktion entspricht der Lageparameter  $\alpha$  dem statistischen Erwartungswert und der Steigungsparameter  $\beta$  dem Kehrwert der Standardabweichung [TREUTWEIN 1995, S. 2511]. Die Funktion der kumulativen Normalverteilungskurve ist in folgender Formel dargestellt [KINGDOM & PRINS 2016, S. 79]:

$$F(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{\beta^2(x - \alpha)^2}{2}\right) \quad (2.6)$$



### 2.4.2.2 Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmung

In der klassischen Psychophysik existieren drei grundlegende Gesetze bzw. Funktionen. Das erste Gesetz geht auf Ernst Heinrich Weber im Jahre 1834 zurück [MÜNTE & KRÄMER 2014, S. 942]. Bzgl. der Unterschiedsschwelle stellte Weber fest, dass das Verhältnis der Reizgröße des eben merklichen Unterschiedes  $\Delta S$  zu der Größe eines physikalischen Ausgangsreizes  $S$  konstant ist [MÜSSELER 2017, S. 35]. Die resultierende Konstante  $c_W$  wird auch „Weber´sche Konstante“ genannt [EBD.]. In nachfolgender Gleichung wird das sog. „Weber´sche Gesetz“ beschrieben [GOLDSTEIN 2015, S. 12]:

$$\frac{\Delta S}{S} = c_W \quad (2.7)$$

Fechner entwickelte anhand der Weber´schen Konstante eine Gleichung für die Beziehung zwischen dem physikalischen Reiz und der psychischen Größe. Dabei ist  $E$  die Empfindungsstärke (auch wahrgenommene Reizintensität [GOLDSTEIN 2015, S. 14]) und  $c_F$  eine Konstante, die sich aus der Weber´schen Konstante  $c_W$  berechnen lässt. [MÜSSELER 2017, S. 35]

Formel (2.8) beschreibt das sog. „Fechner´sche Gesetz“ [EBD.]:

$$E = c_F \cdot \log(S) \quad (2.8)$$

Da festgestellt wurde, dass das Fechner´sche Gesetz nur innerhalb gewisser Grenzbereiche Gültigkeit besitzt, wurde der Zusammenhang von Stevens als Potenzfunktion formuliert („Stevens´sche Potenzfunktion“) [EBD., S. 37]:

$$E = c_S \cdot S^n \quad (2.9)$$

Die Konstante  $c_S$  ist von der skalierten Maßeinheit abhängig und kann je nach Zusammenhangsbeschreibung frei gewählt werden [EBD., S. 37]. Der ebenfalls konstante Exponent  $n$  ist je nach Modalität unterschiedlich [MÜNTE & KRÄMER 2014, S. 943]. Für den wahrgenommenen Schmerz eines Elektroschocks gilt  $n = 2,13$ , während bei der Gewichtswahrnehmung der Exponent  $n = 0,79$  ermittelt wurde [EBD.].

### 2.4.2.3 Methoden in der Psychophysik

Für die Adressierung der Fragestellungen und Probleme aus Oberkapitel 2.4.2 existieren zahlreiche Methoden. Eine ausführliche Übersicht stellen STEVENS [1958, S. 43] und KINGDOM & PRINS [2016, S. 38] vor. Drei Methoden werden als klassische Methoden bezeichnet [STEVENS 1958, S. 43], [GOLDSTEIN 2015, S. 12]:

- *Grenzmethode*: Der Versuchsleiter gibt Reize in aufsteigender bzw. absteigender Reihenfolge dar und der Proband antwortet z. B. mit „ja“ oder „nein“, ob er einen

Ton wahrnimmt. Die Prozedur wird durchgeführt, bis das Antwortverhalten wechselt und somit die Schwelle erreicht wurde.

- *Herstellungsmethode*: Der Proband stellt selbst die Schwelle / Reizintensität ein, bis er z. B. einen Ton gerade noch wahrnehmen kann.
- *Konstanzmethode*: Der Versuchsleiter präsentiert fünf bis neun Stimuli in zufälliger Reihenfolge. Bei jedem Stimulus antwortet der Proband, z. B. ob er einen Ton wahrgenommen hat. Dabei soll der niedrigste Reiz nie und der größte Reiz immer wahrgenommen werden können. Aus den Antworten wird die S-Kurve (siehe Abbildung 2.24) aufgestellt.

Die Konstanzmethode ist das genaueste Verfahren, da eine große Anzahl an Stimuli in randomisierter Reihenfolge bewertet werden. Allerdings ist diese Methode sehr zeitaufwendig. Demgegenüber ist die Herstellungsmethode die schnellste, aber auch ungenaueste Methode. [GOLDSTEIN 2015, S. 12]

Für unbekannte Zusammenhänge eignet sich daher zunächst die Herstellungsmethode, während für optimale Messungen anschließend ein genaueres Verfahren eingesetzt werden sollte [vgl. GESCHEIDER 2016, S. 65]. Darüber hinaus existieren moderne adaptive Methoden, die z. B. mit dynamischer Reizintensitätsstufung in der Grenzmethode arbeiten [vgl. GOLDSTEIN 2015, S. 17]. Zudem lassen sich die Methoden klassifizieren bzgl. einer erzwungenen Entscheidung (z. B. Konstanzmethode) und einer nicht erzwungenen Entscheidung (z. B. Herstellungsmethode) [KINGDOM & PRINS 2016, S. 24ff., 38]. Weitere Faktoren für Studiendesigns sind z. B. die Anzahl der dargestellten Stimuli pro Bewertung und deren Darstellungsreihenfolge (simultan oder sukzessiv) [vgl. EBD., S. 11ff.]. Für ausführlichere Darstellungen und Beschreibungen wird auf GESCHEIDER [2016] und KINGDOM & PRINS [2016] verwiesen.

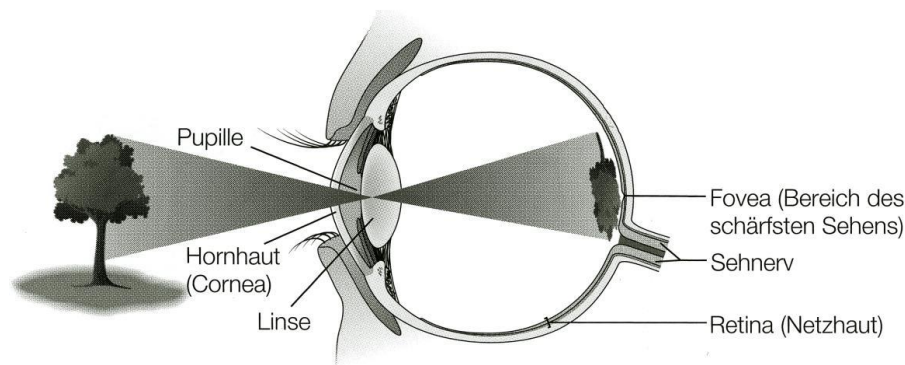
### **2.4.3 Visuelle Wahrnehmung**

Der Informationsfluss zwischen Sinnesorgan und Gehirn ist in der Sinnesmodalität Sehen am höchsten [vgl. KUNSCH & KUNSCH 2007, S. 158]. Für diese Arbeit sind neben der Sinnesempfindung (Kapitel 2.4.3.1) die Objekterkennung (Kapitel 2.4.3.2), visuelle Aufmerksamkeit, Veränderungsblindheit (beides in Kapitel 2.4.3.3) und die spezifische Wahrnehmung der Teilgestalt Form (Kapitel 2.4.3.4) relevant.

#### **2.4.3.1 Prozess des Sehens**

Entsprechend Abbildung 2.23 kann der Prozess der visuellen Wahrnehmung beschrieben werden. Licht wird von Objekten in der Umgebung reflektiert und trifft auf die Hornhaut (siehe Abbildung 2.25). Zusammen mit der dahinterliegenden Linse fokussiert die Hornhaut das Licht, sodass an der Rückseite des Auges auf der Netzhaut ein scharfes

Bild erscheint. Mittels der Rezeptorzellen (Stäbchen und Zapfen) wird das Licht in elektrische Signale umgewandelt (Transduktion). Über den Sehnerv werden diese Signale anschließend an das Gehirn weitergeleitet und dort interpretiert (vgl. Kapitel 2.4.1). [GOLDSTEIN 2015, S. 20ff.].



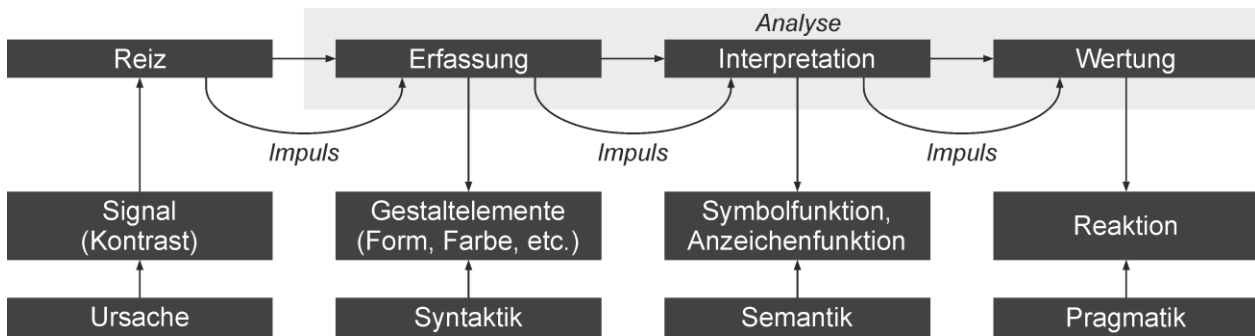
**Abbildung 2.25:** Der Prozess des Sehens im Auge [HOLDER 2016, S. 11], [GOLDSTEIN 2015, S. 22]

Im Bereich der Fovea (siehe Abbildung 2.25) ist die Sehschärfe des Menschen am größten [EYSEL 2006, S. 266f.]. Ausgehend von der Fovea nimmt die Sehschärfe im extrafovealen Bereich (auch peripherer Bereich) ab [EBD.]. Aus Sicht des Menschen wird dies auch als „foveales Sehen“ und „peripheres Sehen“ bezeichnet [vgl. DUCHOWSKI 2017, S. 26].

Bei der Beobachtung einer Szene werden interessante Details für den Menschen mittels Fixationen im fovealen Bereich betrachtet [vgl. GOLDSTEIN 2015, S. 128]. Zwischen den Fixationen erfolgen ruckartige Bewegungen der Augen, sogenannte Sakkaden [EBD.]. Dabei erfolgen ca. 3 - 4 Sakkaden pro Sekunde [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 93f.]. Weiterhin kann zwischen Inspektionssakkaden (Umgebungsexploration) und Zielsakkaden (Sprung zu informationstragenden Details) unterschieden werden [EBD.]. Für die Auswahl interessanter Ziele dient auch das periphere Sehen [DUCHOWSKI 2017, S. 13]. Studien legen nahe, dass ein Gesamtüberblick auch durch das periphere Sehen entsteht [vgl. LEVEN 1991, S. 99].

Für die Wahrnehmung räumlicher Tiefe und Größe von Objekten werden diverse Hinweise wie z. B. Verdeckungen, relative Höhe, relative Größe, vertraute Größe, Texturgradienten, Schatten etc. ausgewertet [GOLDSTEIN 2015, S. 226ff.]. Detaillierte Erläuterungen dazu sind GOLDSTEIN [2015, S. 226ff.] und HAGENDORF ET AL. [2011, S. 97ff.] zu entnehmen.

Die visuelle Informationsverarbeitung kann zudem im Zusammenhang mit den produkt-sprachlichen Funktionen (siehe Kapitel 2.1) beschrieben werden. Dieser Ablauf ist in Abbildung 2.26 dargestellt.



**Abbildung 2.26:** Der Prozess der visuellen Wahrnehmung in Bezug zu den produkt-sprachlichen Funktionen nach [KÖHLER 2017, S. 46]

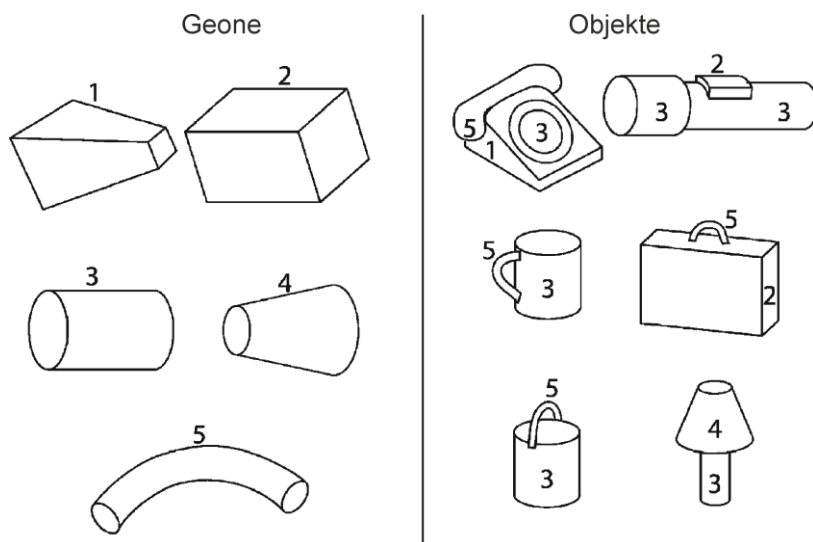
### 2.4.3.2 Objekterkennung

Die Identifikation und Klassifikation von Objekten wird als Erkennung bezeichnet [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 119]. Für die Erkennung von Objekten findet ein Abgleich der neuronalen Signale mit gespeicherten Informationen im Gehirn statt [WENDT 2014, S. 189]. Dabei hat der Mensch eine „*enorme Geschwindigkeit und Effizienz*“, was durch Messungen nachgewiesen wurde [EBD., S. 188].

Bei der Erkennung räumlicher Objekte wird zwischen Theorien zur ansichtsabhängigen und ansichtsunabhängigen / -invarianten Objekterkennung unterschieden [EBD., S.199ff.], [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 117ff.].

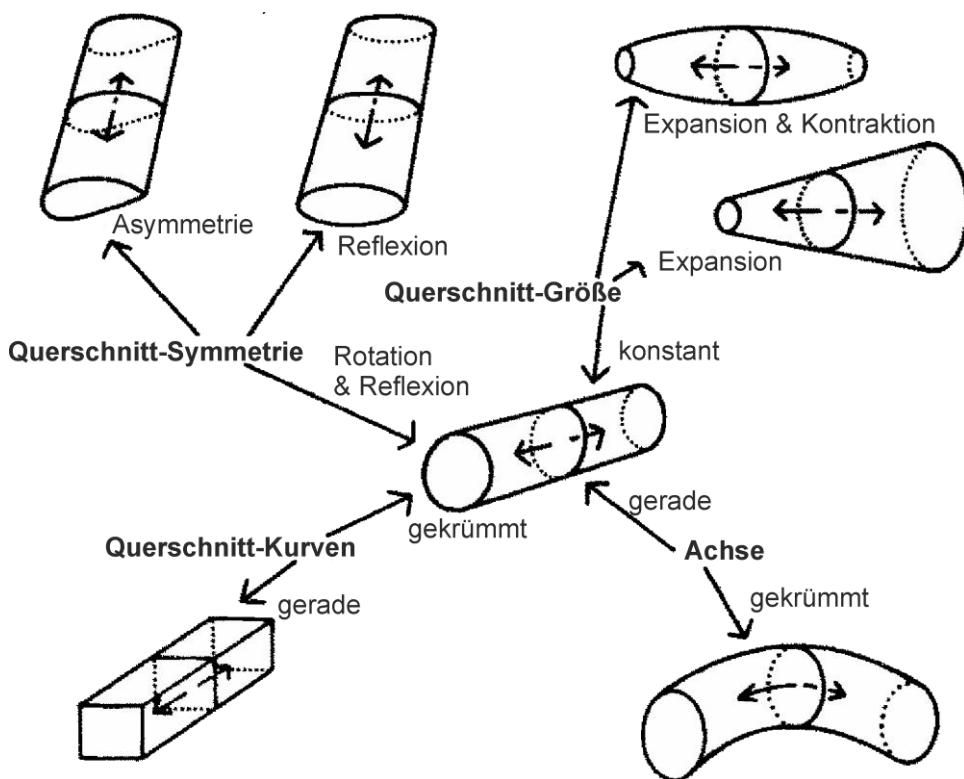
Die Theorien zur ansichtsabhängigen Objekterkennung (z. B. [TARR & BÜLTHOFF 1995]) gehen davon aus, dass unterschiedliche Ansichten eines Objekts bedeutsam sind. Beim Erkennungsprozess werden diese Ansichten mit bereits gespeicherten Ansichten von Objekten verglichen. Ist eine Ansicht nicht bereits im Gehirn gespeichert, muss die Information zu einer bekannten Ansicht mittels eines mentalen Transformationsprozesses gedreht werden. In objekttypischen Ansichten (sog. kanonische Ansichten) werden die jeweiligen Objekte besonders schnell erkannt. [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 117f.]

Ansichtsinvariante Theorien gehen davon aus, dass die Objekterkennung auf Basis von Informationen unabhängig der Ansicht funktioniert [EBD., S. 118]. Ein einflussreicher Ansatz ist die „*Theorie der komponentialen Erkennung*“ [EBD., S. 119], [ANDERSON ET AL. 2007, S. 65]. Dieser wurde von BIEDERMAN [1987] vorgestellt und basiert auf zahlreichen Arbeiten, unter anderem von MARR & NISHIHARA [1978]. Nach dieser Theorie werden Objekte in Teilobjekte (sog. Geone) untergliedert (siehe Abbildung 2.27) [ANDERSON ET AL. 2007, S. 65]. Bedeutend ist, dass die Geone nicht willkürlich gewählt und zusammengesetzt werden [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 119], [WENDT 2014, S. 203].



**Abbildung 2.27:** Geone und daraus zusammengesetzte Objekte [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 119], [BIEDERMAN 1990, S. 49]

Für die Klassifizierung der Teilobjekte schlägt BIEDERMAN [1987] 36 Geone vor [ANDERSON ET AL. 2007, S. 65]. Wie sich über den Querschnitt (Kurven, Symmetrie, Größe) und die Achse die Geone geometrisch ableiten lassen, ist in Abbildung 2.28 dargestellt.



**Abbildung 2.28:** Geometrische Geonerstellung nach [BIEDERMAN 1987, S. 122]

Neben der Art der Geone ist deren Anordnung für die Objekterkennung relevant [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 119]. Bei der Theorie von BIEDERMAN [1987] reicht die Liniendarstellung für die Geondefinition aus [ANDERSON ET AL. 2007, S. 67]. Dass schematische Strichzeichnungen von Objekten für deren Erkennung ausreichen ist, wurde von BIEDERMAN & JU [1988] experimentell bestätigt [ANDERSON ET AL. 2007, S. 68]. Weiterhin haben BIEDERMAN & JU [1988, S. 61] herausgefunden, dass bei Darstellung der gesamten Oberfläche von Objekten die Oberflächengradienten (schattierte Flächendarstellung) nur eine sekundäre Rolle in der Erkennung spielen.

Anzumerken ist, dass der Ansatz der Geone bzgl. der Produktgestalt weitgehend in die Teilgestalt Aufbau fällt (vgl. Kapitel 2.1.2). Welcher Ansatz (ansichtsabhängig und -unabhängig) am besten die Erkennung abbildet, wurde bisher nicht final geklärt [HAGENDORF ET AL. 2011, S. 119].

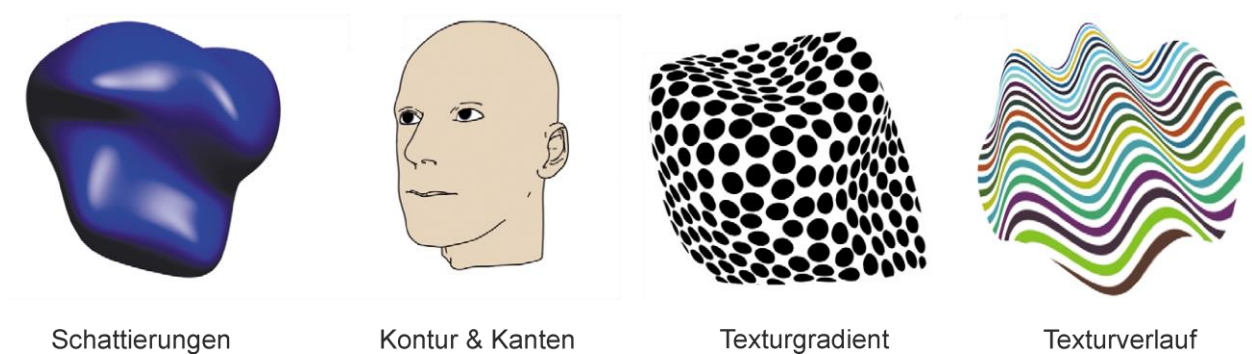
#### **2.4.3.3 Visuelle Aufmerksamkeit und Veränderungsblindheit**

Die Aufmerksamkeit (bzw. „Salienz“) des Menschen kann bewusst durch Absichten und Ziele (z. B. Suche nach Autoschlüssel) oder unfreiwillig durch auffällige Reize gelenkt werden [ANDERSON ET AL. 2011, S. 10367]. Sensorische Merkmale, welche die Aufmerksamkeit bei einem Objekt erregen, werden auch Stimulussalienz genannt [GOLDSTEIN 2015, S. 130]. Saliente Regionen in einer visuellen Szene werden als Analyseergebnis in Salienzkarten eingetragen [PARKHURST ET AL. 2002]. PARKHURST ET AL. [2002] und ITTI & KOCH [2000] berechnen die Salienzkarte auf Basis der Faktoren Farbe, Helligkeit und Orientierung. Für die Messung visueller Salienzen wird in der Regel auf Fixationsdaten menschlicher Augenbewegungen zurückgegriffen [SEO & MILANFAR 2009].

Im Zusammenhang der Aufmerksamkeit bei der Wahrnehmung steht die Entdeckung von Veränderungen bei nacheinander präsentierten Reizen bzw. Szenen [GOLDSTEIN 2015, S. 139f.]. Bei einer zeitlichen Abfolge von Szenen werden nicht alle Änderungen wahrgenommen [EBD.]. Dieser Effekt wird auch „Veränderungsblindheit“ genannt [RENSINK 2002, S. 245].

#### **2.4.3.4 Wahrnehmung der Teilgestalt Form**

Für die Wahrnehmung der dreidimensionalen Teilgestalt Form können verschiedene visuelle Informationen als Quelle fungieren [TODD 2004, S. 115]. Neben der schattierten Darstellung (vgl. Rendering, Kapitel 2.1.3) zählt TODD [2004, S. 115] exemplarisch die Kontur und- Kantendarstellung, Texturgradienten und Texturverläufe paralleler Oberflächenstreifen auf (siehe Abbildung 2.29).



**Abbildung 2.29:** Exemplarische Auswahl von Darstellungsarten für die Wahrnehmung einer dreidimensionalen Form [TODD 2004, S. 115]

Die reale Umgebung nimmt der Mensch entsprechend der schattierten Darstellung aus Abbildung 2.29 wahr. Nach Kapitel 2.4.3.2 reichen allerdings die abstrakteren Strichdarstellungen für die Objekterkennung aus. Von Interesse für diese Arbeit ist demnach die Wahrnehmung schattierter Formen und ebenso, wie sich daraus sinnvolle Kanten- bzw. Liniendarstellungen ableiten lassen.

Nach Kapitel 2.4.3.1 entsteht ein visuelles Bild in der Wahrnehmung, indem von einem Objekt reflektierte Lichtstrahlen auf die Netzhaut treffen. Relevant ist demnach, wie Lichtstrahlen unterschiedlicher Grau- bzw. Farbstufen entstehen. [vgl. MALLOT 2000, S. 18]

An der Oberfläche von Objekten wird ein Teil der eingestrahelten Lichtleistung wieder abgegeben (Reflexion) [EBD., S. 19]. Dies wird vor allem durch Beleuchtungsfaktoren und Oberflächeneigenschaften bestimmt [EBD., S. 19]:

- *„Beleuchtungsfaktoren:*
  - *Lichtquelle (Stärke, spektrale Zusammensetzung, Ausdehnung),*
  - *Beschattung durch andere Objekte,*
  - *Orientierung der Oberfläche zur Lichtquelle (Schattierung).*
- *Reflektivität der Oberfläche:*
  - *Albedo (Anteil des reflektierenden Lichtes) und Farbe (Pigmentierung),*
  - *Glattheit (matt, glänzend, Spiegel),*
  - *Orientierung der Oberfläche zum Beobachter.“*

Variationen des Grauwertes auf Oberflächen werden Schattierungen genannt und entstehen durch graduelle Abwendungen von der Lichtquelle. Schatten entsteht demgegenüber durch Verdeckungen der Lichtquelle und werden auf den Hintergrund geworfen. [EBD., S. 145]

Aus der Bildenden Kunst und Psychophysik (Kapitel 2.4.2) gibt es viele Belege, dass Konturen von Objekten und Kanten mit hoher Krümmung eine wichtige Rolle für die Formwahrnehmung einnehmen. Allerdings sind die Erkennungsmechanismen dafür nicht vollständig erforscht. Konturen und Kanten mit hoher Krümmung zeichnen sich durch

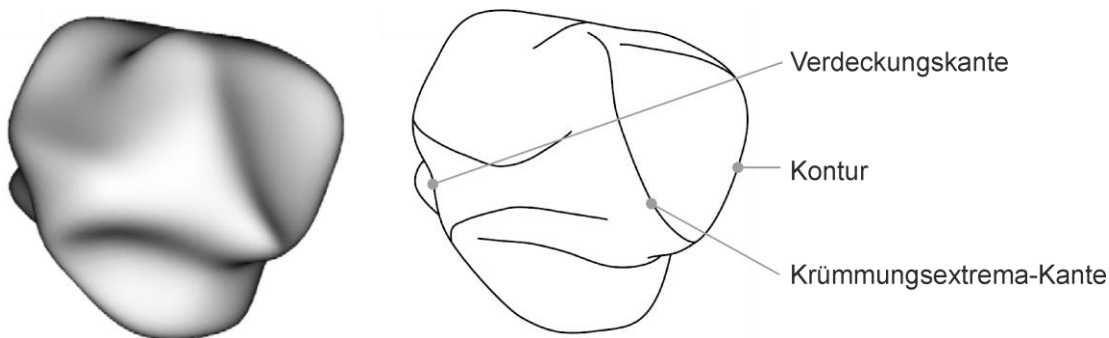
Sprünge in den Grauwerten aus. Diese Sprünge entstehen aber auch bei Schattenwurf, spiegelnden Glanzlichtern oder Änderungen der Oberflächeneigenschaften. [TODD 2004, S. 118]

Kanten, die durch Grauwertsprünge oder starke Grauwertänderungen entstehen, sind:

- *Konturen / Silhouetten* [TODD 2004, S. 118] (auch Verdeckungskante als Umrisslinie [MALLOT 2000, S. 146]) als Objektgrenze,
- *Verdeckungskanten* durch Selbstverdeckung innerhalb eines Objektes [EBD.],
- *Reflektanzkanten* bei Änderungen der Oberflächeneigenschaften [GOLDSTEIN 2015, S. 217f.],
- *Beleuchtungskanten* durch Schattengrenzen [EBD.],
- *Krümmungsextrema-Kanten* durch lokale Krümmungsextrema [TODD 2004, S. 118f.].

In Abbildung 2.30 sind Konturen, Verdeckungskanten und Kanten durch lokale Krümmungsextrema visualisiert.

Nach MALLOT [2000, S. 146f.] wurde aufgrund der lange Zeit herausfordernden Stimuligeneration (realitätsnahe Renderings), vergleichsweise wenig psychophysische Forschung zur Wahrnehmung von Schattierungen betrieben. Ein weiterer Aspekt ist die Vielfalt an Parametern (siehe obige Faktoren der Beleuchtung und Oberfläche) [EBD.].



**Abbildung 2.30:** Darstellung von Konturen, Verdeckungskanten und Krümmungsextrema-Kanten auf Basis des schattierten Objekts nach [TODD 2004, S. 119]

Für diese Arbeit relevante Forschungsergebnisse aus der Psychophysik zur Wahrnehmung der Formgestalt werden nachfolgend aufgezählt [vgl. MALLOT 2000, S. 146f.]:

- Generell ist eine metrische Bewertung einer schattierten Oberfläche schwierig [vgl. TODD 2004, S. 116], [TODD & NORMAN 2003].
- Schattierungen liefern eher qualitative statt quantitative Daten und stellen nur einen relativ schwachen Tiefenhinweis dar [vgl. TODD & MINGOLLA 1983].



- 
- Der Shape Index (siehe Kapitel 2.2.3.3) kann in der Regel sehr gut korrekt bewertet werden, während der Faktor Curvedness metrisch nur schwer bewertet werden kann [vgl. DE VRIES ET AL. 1993], [vgl. NORMAN ET AL. 2006].
  - Schattierungen können zweideutig sein, so dass je nach Annahme bzgl. der Lichtrichtung die Oberfläche konvex oder konkav erscheinen kann (sog. Mondkrater-Illusion) [vgl. METZGER 1975B].
  - Die Lage der Lichtquelle und Informationen über deren Position scheint nicht relevant zu sein [vgl. MINGOLLA & TODD 1986].
  - Glänzende Oberflächen verbessern die Tiefenwahrnehmung im Vergleich zu matten Oberflächen [vgl. TODD & MINGOLLA 1983].
  - Sehr gering gekrümmte Flächen sind kaum von ebenen Flächen unterscheidbar [vgl. CUTTING & MILLARD 1984].

### 3 Stand der Forschung

Ziel des Kapitels ist die Aufarbeitung wissenschaftlicher Arbeiten, die im Zusammenhang mit dieser Arbeit (siehe Kapitel 1) stehen. Als Basis für die Analyse dienen die Grundlagen und der Stand der Technik aus Kapitel 2. Zunächst werden die Kriterien für die Eingrenzung und Klassifizierung erläutert (Kapitel 3.1). Anschließend folgt eine Analyse der relevanten Forschungsarbeiten (Kapitel 3.2). Daraus folgt ein Zwischenfazit und die Präzisierung des Forschungsbedarfs dieser Arbeit (Kapitel 3.3).

#### 3.1 Eingrenzung und Klassifizierungssystem

Entsprechend des Fokus dieser Arbeit müssen folgende Kriterien für die Aufnahme von Forschungsarbeiten für die Analyse und Klassifizierung erfüllt werden:

- Die Forschungsarbeiten behandeln die Teilgestalt Form (vgl. Kapitel 2.1.3 & 2.2).
- Die Forschungsarbeiten behandeln direkt das Thema „Marke“ oder in Ausnahmefällen „Stil / Styling“ und „Ähnlichkeit“ (vgl. Kapitel 2.1 & 2.3).
- Die Forschungsarbeiten behandeln die visuell wahrnehmbare Außengestalt technischer Endprodukte (vgl. Kapitel 2.1 & 2.4).
- Die Forschungsarbeiten haben mindestens eines der folgenden Ziele:
  - Die Untersuchung von Ähnlichkeitsbeziehungen oder Freiheitsgraden der Gestaltung von bestehenden und / oder fiktiven Produkten in den Markenebenen (vgl. Kapitel 2.3.4).
  - Optimierung der Gestaltung und Modellierung neuer Produkte mit idealer Formgestalt im Markenkontext (vgl. Kapitel 2.2).

Angemerkt werden muss, dass zu technischen Produkten im erweiterten Sinne auch Möbel bzw. Inneneinrichtungen gezählt werden können, die nicht dem technischen Produktentwicklungsprozess (vgl. Kapitel 2.2.1) entsprechen. Ein weiterer Aspekt sind industriell hergestellte Produktverpackungen. Bei Inneneinrichtung und Verpackungen werden nur die relevantesten Forschungsarbeiten in die Auflistung aufgenommen. Architektur ist demgegenüber bzgl. der Dimension und Nutzung zu weit von technischen Produkten entfernt und wird ebenso wie Mode (meist forminstabile Produkte) nicht betrachtet.

Für die Klassifizierung und den Aufbau der Übersichtstabellen ist die Beantwortung folgender Fragen relevant:

- Liegt der Schwerpunkt bei der „Marke“ oder anderen „Stil / Styling“-Arten?
- Kommen neben expliziten Eigenschaften auch implizite Attribute (Wesen, Wirkung) zum Einsatz (vgl. Kapitel 2.3.3)?

- Beispielprodukt:
  - Welche Produktgruppen / Produkte dienen als Beispiel?
  - Werden nur Produkte mit identischem Aufbau oder auch Produkte mit unterschiedlichem Aufbau betrachtet (vgl. Kapitel 2.1.2)?
  - Welche Markenebenen werden untersucht (vgl. Kapitel 2.3.4)?
- Formgestalt:
  - Werden nur analytisch beschreibbare Geometrien oder auch Freiformgeometrien eingesetzt (vgl. Kapitel 2.2.3.2)?
  - Findet eine Betrachtung der Primär- und / oder Sekundärform(en) statt (vgl. Kapitel 2.1.3)?
- Theoretische Arbeit / Arbeitsanteile:
  - Werden Linien- und / oder Flächendarstellungen der Produkte betrachtet (vgl. Kapitel 2.2.3.3)?
  - In welcher Dimension (2D, 3D) wird gearbeitet?
  - Wie hoch ist die Anzahl der Ansichten bzw. wird ansichtsunabhängig gearbeitet?
- Experimentelle Arbeit / Arbeitsanteile:
  - Werden Produkte in Linien- und / oder Flächendarstellung präsentiert (vgl. Kapitel 2.1.3)?
  - In welcher Dimension (2D, 3D) werden Produkte dargestellt?
  - Werden die Produkte in Flächendarstellung mit bunten oder unbunten Farben abgebildet?
  - Wie hoch ist die Anzahl der Ansichten, bzw. kann der Proband die Ansicht frei wählen (ansichtsunabhängig)?

Weiterhin werden die Forschungsarbeiten wie folgt gruppiert:

- *Mit / ohne experimentelle(n) Studienanteile(n)*: Bei einer experimentellen Studie bewerten Probanden das Ergebnis eines Gestaltungsprozesses oder liefern z. B. Bewertungsinput für die Gewichtung von Ähnlichkeitsbeziehungen.
- *Geometrisch-qualitativ / -quantitative Betrachtung der Formgestalt*: Geometrisch-quantitative Forschungsarbeiten nutzen geometrische Eigenschaften von Kurven und Fläche nach Kapitel 2.2.3.3 für die Generierung von Ähnlichkeitswerten oder die Beschreibung von Freiheitsgraden der Gestaltung.

Bei allen Forschungsarbeiten ist die Formgestalt prinzipiell geometrisch-quantitativ analysierbar. Allerdings werden diese Informationen nicht immer genutzt. Teilweise wird auch erwähnt, dass mit geometrischen Daten gearbeitet wird, ohne diese quantitative Spezifizierung zu beschreiben. Die Einteilung in geometrisch-qualitativ / -quantitativ ist daher

nicht immer eindeutig, bietet aber trotzdem eine Orientierung bei der Menge an Forschungsarbeiten.

### 3.2 Analyse der Forschungsarbeiten

Tabelle 3.1 enthält nach Kapitel 3.1 klassifizierte relevante Forschungsarbeiten mit experimentellen Studienanteilen und Tabelle 3.2 beinhaltet die relevanten Forschungsarbeiten ohne experimentelle Studie. Weiterhin sind die Tabellen nach geometrisch-qualitativen / quantitativen Forschungsarbeiten und dem Jahr der Veröffentlichung sortiert. In Tabelle 3.1 und Tabelle 3.2 sind die für diese Arbeit relevanten Faktoren des unterschiedlichen Aufbaus und der PS-Markenebene farblich (blau) gekennzeichnet (vgl. Kapitel 1). Da die PO-Ebene eine Erweiterung der PS-Markenebene darstellt und Produkte dieser Ebene in der Regel auch einen unterschiedlichen Aufbau aufweisen (vgl. Kapitel 2.3.4), ist diese auch farblich (blau) markiert. Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2 enthalten Beispiele aus den analysierten Forschungsarbeiten, um die methodische Vielfalt zu visualisieren.

Durch Shape Grammar / Parametric Shape Grammar (Formgrammatik) werden Formen auf der Basis von Regeln erstellt ([STINY 1980]: Fachbereich Architektur, nicht in Tabelle 3.1 und Tabelle 3.2 enthalten). Ursprünglich stammt das Verfahren aus dem Bereich Architektur und wurde erstmals von AGARWAL & CAGAN [1998] im Industriedesign für die Markenzugehörigkeit eingesetzt [MCCORMACK ET AL. 2004, S. 4]. Forschungsarbeiten mit 2D-Shape Grammar (Liniendarstellung) behandeln Motorräder [PUGLIESE & CAGAN 2002], Pkw-Fronten (Buick [MCCORMACK ET AL. 2004] (siehe Abbildung 3.1), Mini [ANG ET AL. 2011], Porsche [AQEEL 2015]) und Flaschen [ANG ET AL. 2006]. Im 3D-Shape Grammar-Bereich analysieren AGARWAL & CAGAN [1998] Kaffeemaschinen, CHAU [2002] Seifenverpackungen und CHEN ET AL. [2004] betrachten einfache Kosmetikverpackungen. Aufgrund des Vergleichs von Formgestaltungsregeln werden diese Arbeiten als geometrisch-qualitativ eingestuft. CULBERTSON & SIMPSON [2014] bezeichnen ihre Arbeit mit Ultraschallwandlern auch als Shape Grammar-basiert, allerdings nennen sie konkrete Gestaltungsradien und werden daher als geometrisch-quantitativ klassifiziert. HEß [1999, S. 107ff.] formuliert vergleichbar zu Shape Grammar sog. Gestaltungsrichtlinien, welche für die Ähnlichkeitsbewertungen von Holzbearbeitungsmaschinen eingesetzt werden.

ANG ET AL. [2006] setzen bei der Generierung neuer Flaschendesigns evolutionäre Algorithmen ein. Ebenso verwenden XU ET AL. [2016] und HSIAO ET AL. [2018] evolutionäre Algorithmen für die Gestaltung neuer Pkws. Methoden aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz setzen LI ET AL. [2018], WANG & CHEN [2020] und MA ET AL. [2022] an Pkw-Bildern ein.

Forschungsarbeiten & [QUELLE] / Jahr	Schwerpunkt Marke(M) / Stil(S)	implizite Attribute (j / n)	Beispielprodukt			Form		Theoretische Arbeitsanteile			Experimentelle Arbeitsanteile			
			Produktgruppe	Aufbau (U, I)	Markenebene	Geometrie (FG, AG)	Betrachtung (P, S)	Abstraktionsgrad (L, F)	Dimension (2D, 3D)	Anzahl Ansichten (1-∞)	Abstraktionsgrad (L, F)	Einfärbung (G, B)	Dimension (2D, 3D)	Anzahl Ansichten (1-∞)
geometrisch-qualitativ														
[HEß 1999]	M	n	Holzbearbeitungsmaschinen	U	PS	AG	P S	L	3D	1	F	B	3D	1
[PUGLIESE & CAGAN 2002]	M	n	Motorrad	I	PP	AG	P S	L	2D	1	L	-	2D	1
[RANAWAT ET AL. 2012, S. 200ff.]	M	n	Akkuschrauber	I	PP	FG	P S	F	2D	1	F	B	2D	1
[FISCHER ET AL. 2020B]	M	j	Pkw	I	PP PW	FG	P S	F	2D	1	F	G	2D	1
geometrisch-quantitativ														
[CULBERTSON & SIMPSON 2014]	M	n	Ultraschallwandler	I	PP	FG	P	F	3D	∞	F	G	3D	∞
[HYUN ET AL. 2015]	M	n	Pkw	I	PW PH	FG	P S	L	2D	3	L	-	2D	3
[LUN ET AL. 2015]	S	n	Möbel, Lampen, Besteck, Geschirr	I (U)	PS	FG	P S	L F	3D	∞	F	G	3D	1
[LIU ET AL. 2015]	S	n	Möbel, Lampen	I (U)	PS	FG	P S	L F	3D	∞	F	G	3D	1
[BURNAP ET AL. 2016]	M	j	Pkw	I	PW PH	FG	S	F	2D 3D	1 ∞	F	G	2D 3D	1 ∞
[SCHREINER ET AL. 2017]	M	n	Pkw	I	PW PP PH	FG	P S	L	2D	3	F	G	2D	3

M = Marke, S = Stil, j = ja, n = nein, U = unterschiedlicher Aufbau, I = identischer Aufbau, PP = Produktprogramm, PS = Produktsystem, PO = Produktportfolio, PH = Produktgeschichte, PW = Produktwettbewerb, FG = Freiformgeometrie, AG = analytisch beschreibbare Geometrie, P = Primärform, S = Sekundärform, L = Liniendarstellung, F = Flächendarstellung, ∞ = unendlich (ansichtsunabhängig), G = Graustufen, B = Bunt

**Tabelle 3.1:** Übersicht und Klassifizierung relevanter Forschungsarbeiten mit experimentellen Studienanteilen

Dabei werden Linien aus den 2D-Bildern extrahiert, welche MA ET AL. [2022] auch geometrisch-quantitativ weiter analysieren (siehe Abbildung 3.1). Aufgrund der guten Verfügbarkeit von 3D-Daten von Möbeln, Lampen, Geschirr und Besteck setzen LUN ET AL. [2015] und LIU ET AL. [2015] Algorithmen aus der künstlichen Intelligenz bei 3D-Daten mit

unterschiedlichem Aufbau zur Ermittlung der Stilähnlichkeit ein (geometrisch-quantitativ). Allerdings werden die 3D-Modelle in vergleichbare Aufbauelemente (z. B. Tischbein und Stuhlbein) gruppiert und nur Elemente einer Gruppe direkt miteinander in die Berechnung eingebunden (siehe Abbildung 3.1).

Forschungsarbeiten & [QUELLE] / Jahr	Schwerpunkt Marke(M) / Stil(S)	implizite Attribute (j / n)	Beispielprodukt			Form		Theoretische Arbeit		
			Produktgruppe	Aufbau (U, I)	Markenebene	Geometrie (FG, AG)	Betrachtung (P, S)	Abstraktionsgrad (L, F)	Dimension (2D, 3D)	Anzahl Ansichten (1-∞)
geometrisch-qualitativ										
[AGARWAL & CAGAN 1998]	M	n	Kaffeemaschine	I	PW	AG	P	L	2D	3
[WARELL 2001, S. 104ff.]	M	j	Heimelektronik	U	PS PO	FG	P	F	3D	1
[CHAU 2002]	M	n	Seife (Verpackung)	U	PS PW	FG	P	F	3D	∞
[CHEN ET AL. 2004]	M	n	Kosmetikverpackung	I	PP PW	FG	P	F	3D	∞
[McCORMACK ET AL. 2004]	M	n	Pkw	I	PH	FG	P S	L	2D	1
[ANG ET AL. 2006]	M	n	Flasche	I	PH	FG	P	L	2D	1
[KARJALAINEN 2007]	M	j	Pkw, Brille, Armbanduhr, Mixer, Trinkbehälter, MP3-Player, Rasierer	U	PO	FG	P S	F	3D	∞
[ANG ET AL. 2011]	M	n	Pkw	I	PH	FG	P	L	2D	1
[RANAWAT ET AL. 2012, S. 194-197]	M	j	Elektrohandwerkzeuge	U	PS PW	FG	P S	F	3D	1
[AQEEL 2015]	M	n	Pkw	I	PP PH	FG	P S	L	2D	1
[LI ET AL. 2018]	M	n	Pkw	I	PW PH PP	FG	S	L (F)	2D	1
[WANG & CHEN 2020]	M	n	Pkw	I	PW PH	FG	P S	F	3D	1
[DUTTA ROY & MISHRA 2021]	M	j	Armbanduhr	I	PP PW	FG	P S	F	3D	1

M = Marke, S = Stil, j = ja, n = nein, U = unterschiedlicher Aufbau, I = identischer Aufbau, PP = Produktprogramm, PS = Produktsystem, PO = Produktportfolio, PH = Produkthistorie, PW = Produktwettbewerb, FG = Freiformgeometrie, AG = analytisch beschreibbare Geometrie, P = Primärform, S = Sekundärform, L = Liniendarstellung, F = Flächendarstellung, ∞ = unendlich (ansichtsunabhängig)

**Tabelle 3.2:** Übersicht und Klassifizierung relevanter Forschungsarbeiten ohne experimentellen Studienanteil (Teil 1/2)

Forschungsarbeiten & [QUELLE] / Jahr	Schwerpunkt Marke(M) / Stil(S)	implizite Attribute (j / n)	Beispielprodukt			Form		Theoretische Arbeit		
			Produktgruppe	Aufbau (U, I)	Markenebene	Geometrie (FG, AG)	Betrachtung (P, S)	Abstraktionsgrad (L, F)	Dimension (2D, 3D)	Anzahl Ansichten (1-∞)
geometrisch-quantitativ										
[SMYTH & WALLACE 2000]	M	j	Pkw	I	PH	FG	P	F	3D	∞
[GIANNINI ET AL. 2006]	S	j	Brotbox, Toaster	I	PS	FG	PS	LF	3D	∞
[CATALANO ET AL. 2007]	M	j	Pkw	I	PP	FG	PS	L	2D	3
[RANSCOMBE ET AL. 2012B]	M	n	Pkw, Smartphone (separat)	I	PW PH	FG	PS	L	2D	1
[RANSCOMBE ET AL. 2012C]	M	n	Pkw	I	PW PP	FG	S	L	2D	1
[RANSCOMBE & BLIJLEVENS 2014]	M	n	Flasche	I	PH	FG	P	F	3D	∞
[RANSCOMBE ET AL. 2015]	M	n	Flasche	I	PW	FG	P	L	2D	1
[XU ET AL. 2016]	M	n	Pkw	I	PH	FG	S	L	2D	1
[ONDRA ET AL. 2017]	M	n	Bohrmaschine	I	PH	FG	PS	L	2D	1
[RANSCOMBE ET AL. 2017]	M	n	Pkw	I	PW PH	FG	PS	F	3D	∞
[HSIAO ET AL. 2018]	M	n	Pkw	I	PH	FG	PS	L	2D	3
[OSTROSI ET AL. 2019]	M	n	Pkw	I	PW PP	FG	PS	L	2D	3
[LIU ET AL. 2020]	M	n	Pkw	I	PW PH	FG	P	F	3D	∞
[MA ET AL. 2022]	S	n	Pkw	I	PW PH PP	FG	PS	L (F)	2D	1

M = Marke, S = Stil, j = ja, n = nein, U = unterschiedlicher Aufbau, I = identischer Aufbau, PP = Produktprogramm, PS = Produktsystem, PO = Produktportfolio, PH = Produkthistorie, PW = Produktwettbewerb, FG = Freiformgeometrie, AG = analytisch beschreibbare Geometrie, P = Primärform, S = Sekundärform, L = Liniendarstellung, F = Flächendarstellung, ∞ = unendlich (ansichtsunabhängig)

**Tabelle 3.2:** Übersicht und Klassifizierung relevanter Forschungsarbeiten ohne experimentellen Studienanteil (Teil 2/2)

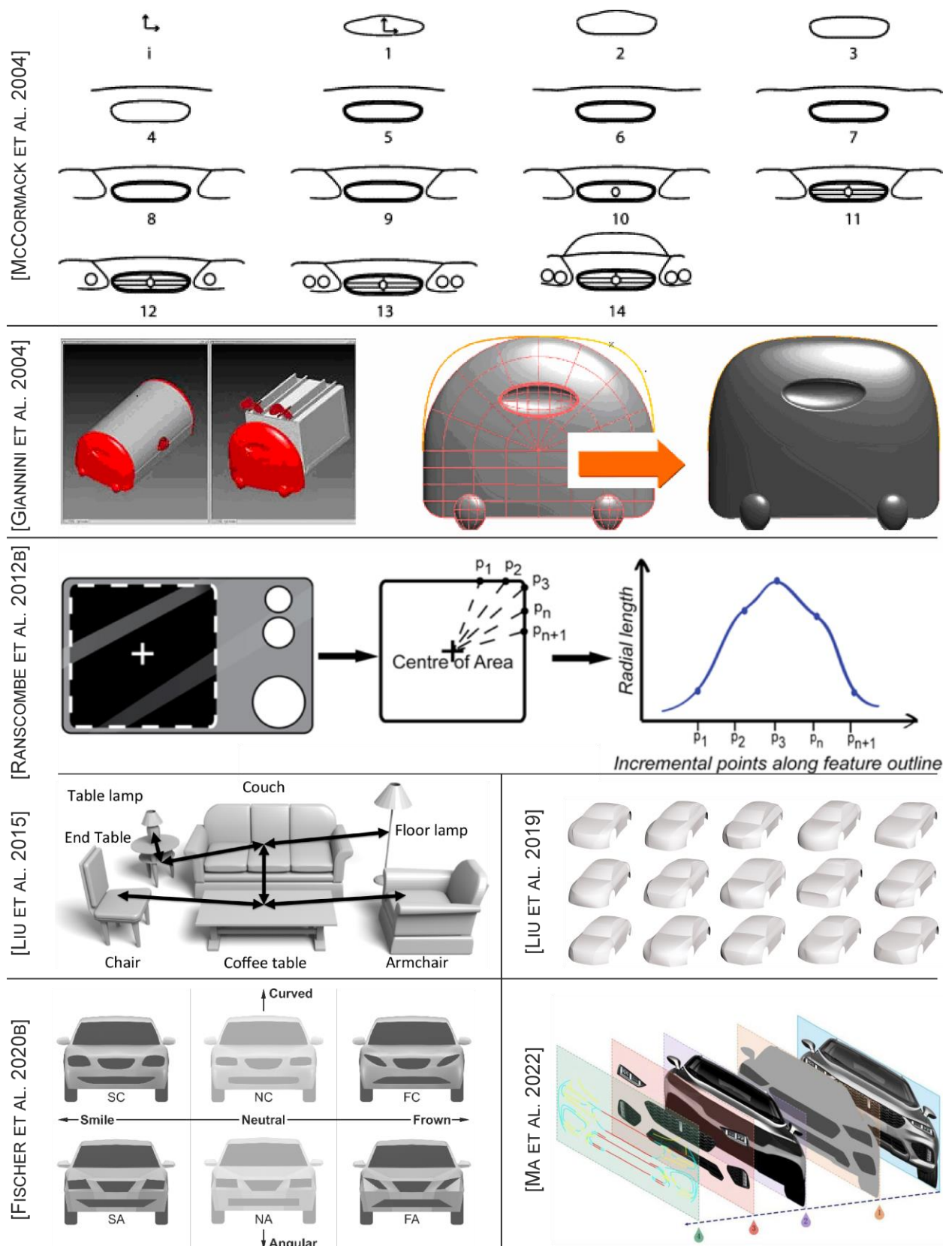
Weitere geometrisch-quantitative Forschungsarbeiten beziehen sich fast ausschließlich auf Pkws. Dabei kommen z. B. Fourierfaktor-Analysen geschlossener Konturzüge [RANSCOMBE ET AL. 2012C], [HYUN ET AL. 2015], diverse Distanzen zwischen ausgewählten Punkten [RANSCOMBE & BLIJLEVENS 2014], [RANSCOMBE ET AL. 2015], [RANSCOMBE

ET AL. 2017], [OSTROSI ET AL. 2019] und Winkelvergleiche [SCHREINER ET AL. 2017] zum Einsatz.

RANSCOMBE ET AL. [2012B] wenden eine Kombination von Proportion, Orientierung und Distanzmaßen von einzelnen Elementen zur Analyse von Pkw-Fronten und Smartphones an (siehe Abbildung 3.1). Diese Verfahren setzen ONDRA ET AL. [2017] zusammen mit Shape Grammar-Methoden am Beispiel der Bohrmaschine ein. SMYTH & WALLACE [2000] schlagen eine Methode für den Gestaltungsprozess vor, bei welcher die Flächeneinhüllung über ein Grundskelett anhand eines Marken-Form-Vektors (Marken-DNA) evolutionär zur bestehenden Marke gebildet wird. Eine Umsetzung dieses Konzepts ist nicht bekannt. Ästhetische Styling-Eigenschaften wie z. B. Kantenradius und Konvexität / Konkavität zum Vergleich der Formähnlichkeit von Toaster und Brotaufbewahrungsbox (siehe Abbildung 3.1, [GIANNINI ET AL. 2004] additiv zu Tabelle 3.2) werden von GIANNINI ET AL. [2006] beschrieben. Die identischen Faktoren werden von CATALANO ET AL. [2007] am Beispiel von Pkws angewendet. Der Ansatz von LIU ET AL. [2020] unterscheidet sich von den anderen Methoden stark, da sie spezielle Bezier-Oberflächen bei der Gestaltung einsetzen. Der Nachbau von PKW-Modellen unterschiedlicher Marken beruht auf der identischen Flächenaufteilung. Lediglich die Knoteneigenschaften (vgl. Kapitel 2.2.3.2) der Stützkurven variieren, welche direkt für die Ähnlichkeitsbeziehung verwendet werden (siehe Abbildung 3.1, [LIU ET AL. 2019] additiv zu Tabelle 3.2).

WARELL [2001, S. 104ff.] entwickelte eine Methode (Design-Format-Analyse) zur geometrisch-qualitativen Bewertung der Formgestalt von Produktsystemen und -portfolios. Dabei werden die Produkte frei analysiert und Formelemente oder -eigenschaften bzgl. der Häufigkeit des Auftretens bei den Produkten bewertet (siehe Abbildung 3.2). Daraus lassen sich entsprechend wichtige Formelemente oder -eigenschaften für die Marke ableiten. KARJALAINEN [2007] setzt diese Verfahren für explizite Formelemente zusammen mit dem semantischen Differential [vgl. OSGOOD ET AL. 1957] für implizite Attribute bei der Portfolioerweiterung von Pkw-Marken ein. Eine ähnliche Methodik beschreiben RANAWAT ET AL. [2012, S. 194-197] als 4D-Methode. Die 4-Dimensionen unterscheiden sich in den genutzten Teilgestalten dieser Arbeit (vgl. Kapitel 2.1.1), allerdings kommen dabei auch Aspekte der Formgestaltung vor (siehe Abbildung 3.2). Als Erweiterung zur Design-Format-Analyse wird bei der Bewertung, ob ein Formelement vorkommt, unterschieden, inwiefern das Formelement für die Produktkategorieerkennung oder die Markenidentität eingesetzt wird (vgl. Kapitel 2.3.3). RANAWAT ET AL. [2012, S. 194-197] setzen die Methode für die separate Analyse von Elektrohandwerkzeug-Produktsystemen ein. DUTTA ROY & MISHRA [2021] wenden die Methode auch übergreifend für den Vergleich mehrerer Armbanduhrenmarken an.

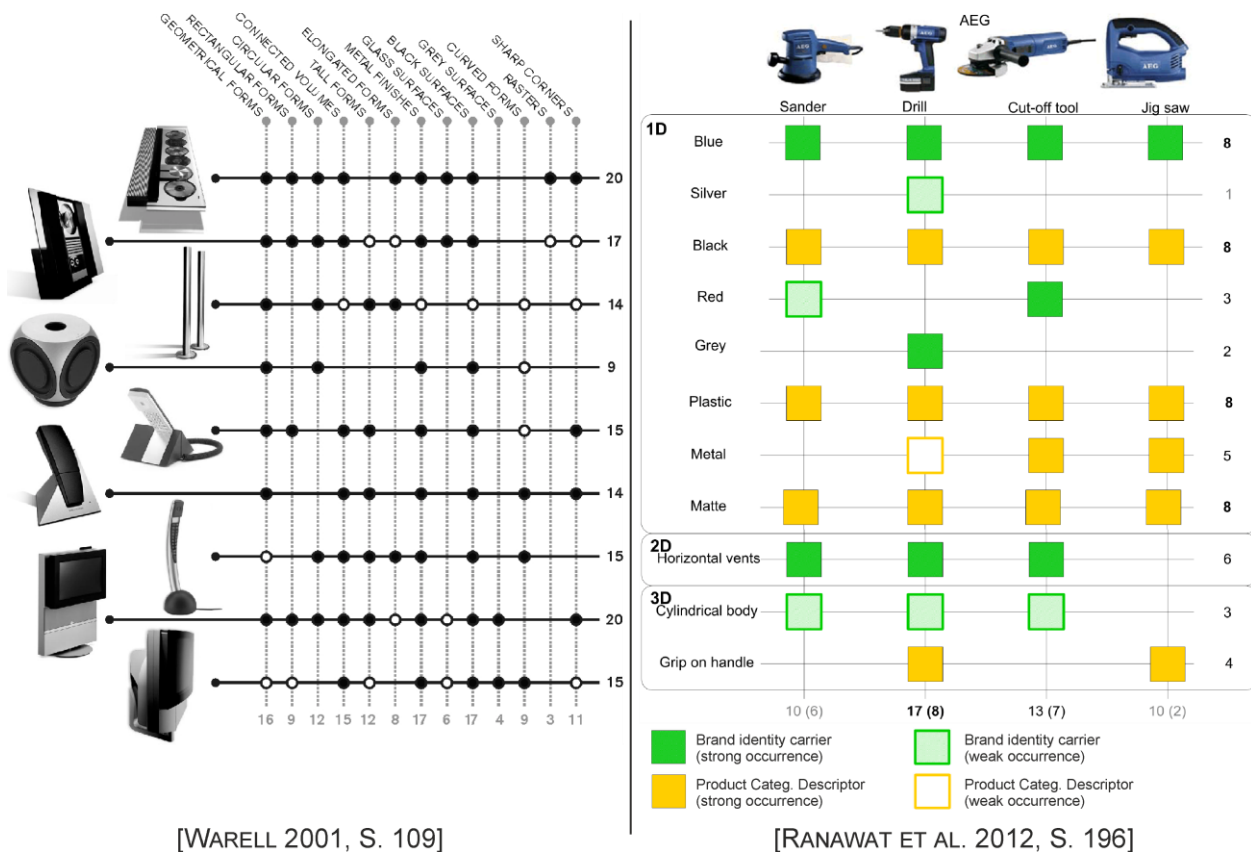




**Abbildung 3.1:** Darstellung von Produktuntersuchungen zur Formgebung

Weitere experimentelle Studien untersuchen, wie Formgestaltvariationen bei Produkt-paarvergleichen mit Akkuschaubern [RANAWAT ET AL. 2012, S. 200ff.] und Pkw-Fronten [FISCHER ET AL. 2020B] (siehe Abbildung 3.1) von Probanden bzgl. der Ähnlichkeit bzw.

Markenzugehörigkeit bewertet werden. BURNAP ET AL. [2016] untersucht zu bestehenden Pkw-Marken, wie groß der Freiheitsgrad der Gestaltung von Formelementen für die Markenidentifizierung ist. Bei der Untersuchung von u. a. Scheinwerfer- und Kühlergrillform spielt die Produktwirkung (implizite Attribute) eine entscheidende Rolle.



**Abbildung 3.2:** Methoden zur markeninternen Gestaltanalyse

Neben den genannten Forschungsarbeiten (Tabelle 3.1 und Tabelle 3.2) existieren weitere Forschungsarbeiten, welche die Formgestalt im Kontext der Marke betrachten und nicht als Ziel haben, Formen zu analysieren oder neue Produkte mit der idealen Form zu gestalten. Dazu gehören z. B. die Studien von RANSCOMBE ET AL. [2012A] und ORBAY ET AL. [2015], die den erforderlichen Abstraktionsgrad von 2D-Liniendarstellungen bzw. von 3D-Flächendarstellung zur erfolgreichen Pkw-Markenerkennung untersuchen. BOA ET AL. [2015] und FISCHER ET AL. [2021C] analysieren Aspekte des Studiendesigns, inwiefern sich die Frage nach der Ähnlichkeit und Unterschiedlichkeit unterscheiden bzw., inwiefern die simultane oder sukzessive Produktdarstellung Auswirkung auf die Ähnlichkeitsbewertung hat. Einflüsse der kulturellen Markenherkunft auf die markenspezifische Produktgestaltung von Pkws wird von BLUNTZER & OSTROSI [2019] betrachtet. Im Bereich der Möbelgestaltung existieren zudem Forschungsarbeiten zur automatischen Erkennung stilrelevanter Elemente in 3D-Objekten [HU ET AL. 2017] und zum Transfer von stilrelevanten Formelementen zwischen 3D-Objekten [LUN ET AL. 2016], [SEGU ET AL. 2021].

### 3.3 Zwischenfazit und Forschungsbedarf

Aus den analysierten und kategorisierten Forschungsarbeiten aus Kapitel 3.2 ist erkennbar, dass nur ca. 1/4 der ermittelten Arbeiten Bewertungen von Probanden einsetzen. Bei den meisten Arbeiten werden die Ergebnisse von Formanalysen und neuen Produktgestaltungen dementsprechend nicht validiert und verifiziert. Fast alle Forschungsarbeiten befinden sich direkt im Markenkontext und nur wenige in anderen Stilrichtungen wie z. B. Epochenstil. Lediglich ein geringer Anteil der Forschungsarbeiten (ca. 1/4) geht ergänzend zu den expliziten Formeigenschaften auch auf deren implizite Attribute (Wesen, Wirkung) ein, obwohl diese nach Kapitel 2.3 für die Markenidentität relevant sind. Dies könnte mit der hohen Anzahl an Pkws als Produktbeispiele zusammenhängen. Hier werden vor allem als bedeutend eingestufte Sekundärformen (z. B. Scheinwerfer- und Grillkonturen) und die Silhouette (Primärform) betrachtet. Da der Aufbau bei Pkws als identisch eingestuft wird und die Zwecksetzung gleichartig ist, behandeln diese Forschungsarbeiten ausschließlich die PP-, PH- und PW-Markenebene.

Insgesamt arbeiten nur acht der 37 untersuchten Forschungsarbeiten in der PS- und PO-Markenebene. Analog zu Kapitel 2.3.4 ist bei sieben dieser acht Forschungsarbeiten der Aufbau der Produkte unterschiedlich. Im Detail vergleichen LUN ET AL. [2015] und LIU ET AL. [2015] allerdings lediglich Produktelemente mit identischer Aufbaugestalt. Auffällig ist zudem, dass die Hälfte dieser acht Arbeiten auch implizite Attribute erwähnen, was einen deutlich höheren Anteil als bei den weiteren 29 Forschungsarbeiten darstellt. Weiterhin kann aufgeführt werden, dass diese acht Arbeiten alle die Primärform behandeln und stets mit 3D-Darstellungen arbeiten.

Generell fällt auf, dass bei qualitativen Forschungsarbeiten vermehrt 3D-Flächendarstellungen und bei quantitativen Forschungsarbeiten vor allem 2D-Liniendarstellungen eingesetzt werden. Nur drei der 37 Arbeiten setzen keine Freiformgeometrien ein. In der Regel wird eine typische Produktansicht ausgewählt. In sechs Fällen kommen drei Ansichten zum Einsatz. Bei neun Forschungsarbeiten werden zudem die gesamten 3D-Informationen genutzt bzw. der Proband kann die Ansicht in der Studie frei einstellen. Bei experimentellen Studien werden fast ausschließlich Flächendarstellungen in unbunten Farben eingesetzt.

Erwähnenswert ist, dass nur die Forschungsarbeit von BURNAP ET AL. [2016] einen sog. „Freiheitsgrad der Gestaltung“ direkt erwähnt und als Ziel hat. Gegenüber den anderen Arbeiten liegt dabei auch ein Schwerpunkt auf der Produktwirkung, da argumentiert wird, dass die Beurteilung der Produktwirkung eher der menschlichen Wahrnehmung entspricht, als geometrische Variablen zu quantifizieren [BURNAP ET AL. 2016]. Allerdings werden nur Sekundärformen von Pkws in der PW- und PH-Ebene analysiert.

Zusammengefasst besteht Forschungsbedarf bei der Bestimmung eines geometrisch-quantitativen Freiheitsgrades der Formgestalt im Markenkontext bei Produkten mit unterschiedlichem Aufbau in der PS-Ebene (vgl. Kapitel 1). Zudem wurden bisher nicht die PP- und PS-Ebene zusammen bzw. auf Unterschiede untersucht. Nach Kapitel 2.3.4 sind bzgl. Ähnlichkeit und Differenzierung hier Unterschiede zu erwarten. Nach den Entwicklungen im Stand der Forschung sollte mit 3D-Freifformgeometrien gearbeitet werden. Für die Darstellung von Produkten in experimentellen Studien sollten Flächendarstellungen mit unbunten Farben zum Einsatz kommen. Zudem sind implizite Attribute (Wesen, Wirkung) der Produktform vor allem in der PS- und PO-Markenebene wichtig.

Da keine Forschungsarbeiten für unterschiedliche Aufbaugestalten die Geometrie quantitativ untersuchen, bleibt offen, welche Formelemente und Formelementeigenschaften technischer Produkte für diese Zielsetzung vorhanden und geeignet sind. GIANNINI ET AL. [2006] nennen zehn geometrische Eigenschaften am Beispiel von 2D-Kurven. Allerdings liegt keine Information über deren Einflussgröße auf die Wahrnehmung der Formgestalt vor. Die geometrisch-qualitativen Ansätze von WARELL [2001, S. 104ff.], KARJALAINEN [2007] und RANAWAT ET AL. [2012, S. 194-197] umfassen nicht ausschließlich die Teilgestalt Form und enthalten keine beschriebene Systematik bei der Formanalyse. Daher besteht der Bedarf, die Formgestalt technischer Produkte systematisch zu beschreiben, um daraus methodisch die relevantesten Formelemente und Formelementeigenschaften für das vorliegende Forschungsziel zu ermitteln (siehe Kapitel 4).

## 4 Formbeschreibungsmo­dell und Formelementauswahl

Der Stand der Forschung zeigt den Bedarf an einer systematischen Beschreibung der Formgestalt technischer Produkte für die zielgerichtete Ermittlung von Formelementen und deren Eigenschaften für die Erreichung des Forschungszieles auf (siehe Kapitel 3.3). Dafür wird ein interdisziplinäres Formbeschreibungsmo­dell erstellt (Kapitel 4.1). Anschließend werden auf Basis aufgestellter Anforderungen geeignete geometrische Formelemente und deren relevante Eigenschaften ermittelt (Kapitel 4.2).

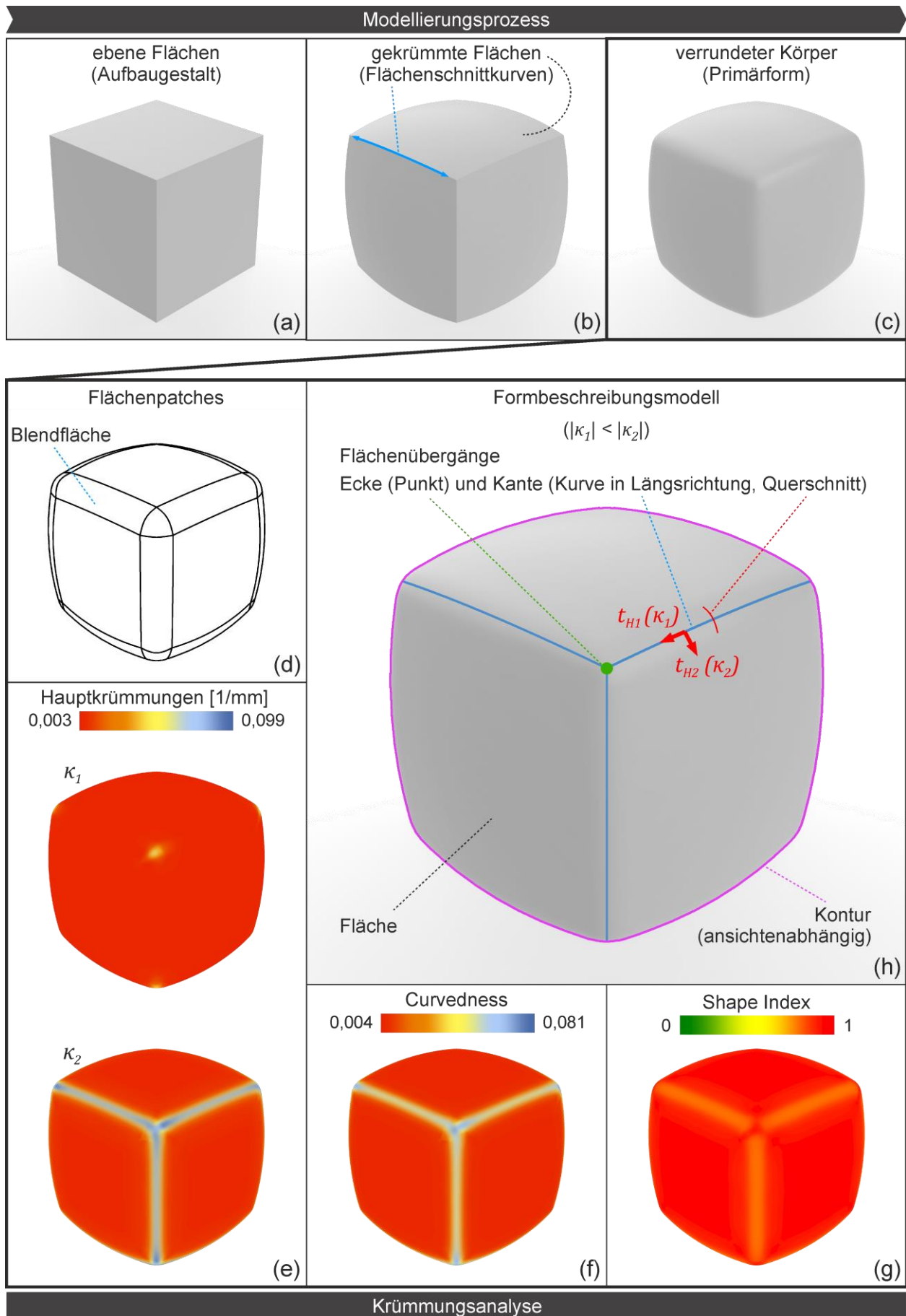
### 4.1 Formbeschreibungsmo­dell

Ziel des Formbeschreibungsmo­dells ist es, eine einheitliche und systematische Beschreibung der Formgestalt als Basis für weitere Untersuchungen zu schaffen. Von besonderer Relevanz ist dabei die Verbindung von geometrischen Grundlagen und dem Modellierungsprozess mit der menschlichen Wahrnehmung der Formgestalt bei technischen Produkten. Aufgeteilt ist dieses Formbeschreibungsmo­dell in eine allgemeingültige Definition von Formelementen (Kapitel 4.1.1), deren herkunftsbezogene Klassifizierung (Kapitel 4.1.2) sowie deren geometrische Eigenschaftsbeschreibungen (Kapitel 4.1.3). Generell orientiert sich das Formbeschreibungsmo­dell an der aufbaueinhüllenden Exteriorgestalt technischer Produkte mit Freiformflächen. Es kann allerdings auch auf die Interiorgestalt, auf nicht-technische Produkte und auf analytisch beschreibbare Oberflächen übertragen werden.

#### 4.1.1 Definition Fläche und Flächenübergang

Nach Kapitel 2.2.3.1 existieren in der Geometrie Punkte, Kurven, Flächen / Oberflächen und Körper. Für die Modellierung in CAS-Systemen sind dabei vor allem die Kurven und Flächen relevant (vgl. Kapitel 2.2.5). Bei der visuellen Wahrnehmung der Teilgestalt Form spielen die Kanten und Oberflächen eine zentrale Rolle (vgl. Kapitel 2.4.3.4). Die Definition von Fläche und Flächenübergang orientiert sich daher an dem Modellierungsprozess und der visuellen Wahrnehmung des 3D-Modells.

Für die Definition von Fläche und Flächenübergang wird eine würfelförmige Aufbaugestalt als Beispiel gewählt. Das Modellierungsvorgehen orientiert sich an Kapitel 2.2.5.3 und das Ergebnis ist daher mit einem Designrohling inkl. Kantenverrundungen bzw. der Primärform (vgl. Kapitel 2.1.3) vergleichbar. Zunächst werden statt der ebenen Würfel­flächen (Aufbaugestalt, siehe Abbildung 4.1a) gekrümmte Flächen erstellt und diese miteinander zu einem geschlossenen Körper verschnitten.



**Abbildung 4.1:** Visualisierung der Aufteilung in Fläche und Flächenübergang

Dabei entstehen  $G^0$ -stetige Flächenschnittkurven (siehe Abbildung 4.1b). Diese Kurven sind von dem Krümmungsverlauf und der Anordnung der Flächen zueinander abhängig. Im nächsten Schritt werden diese scharfen Kanten entlang der Flächenschnittkurven mit einem stetigen Übergang  $G > 0$  (hier  $G^2$ ) verrundet (siehe Abbildung 4.1c). Die neu eingefügten Blendflächen (auch Verrundungsfläche / Flächenpatch, siehe Abbildung 4.1d) lassen sich für die menschliche Betrachtung anhand der geometrischen Begrenzungskurven von den anliegenden Flächen nicht präzise visuell abgrenzen. Zum einen ist die Ausdehnung dieser Blendflächen abhängig von der Verteilung der NURBS-Stützpunkte (siehe Kapitel 2.2.3.2), welche von dem CAS-System und dem Modelleur individuell gesteuert werden können. Zum anderen wird durch die NURBS-Stützpunkte der Blendfläche auch der visuell relevante Krümmungsverlauf der lokalen Krümmungsextrema (vgl. Kapitel 2.4.3.4) auf der Oberfläche beeinflusst. Dies bedeutet, dass bei einem verrundeten Flächenübergang nicht die Begrenzungskurven des Flächenpatches für die visuelle Abgrenzung einzelner Flächen voneinander genutzt werden können.

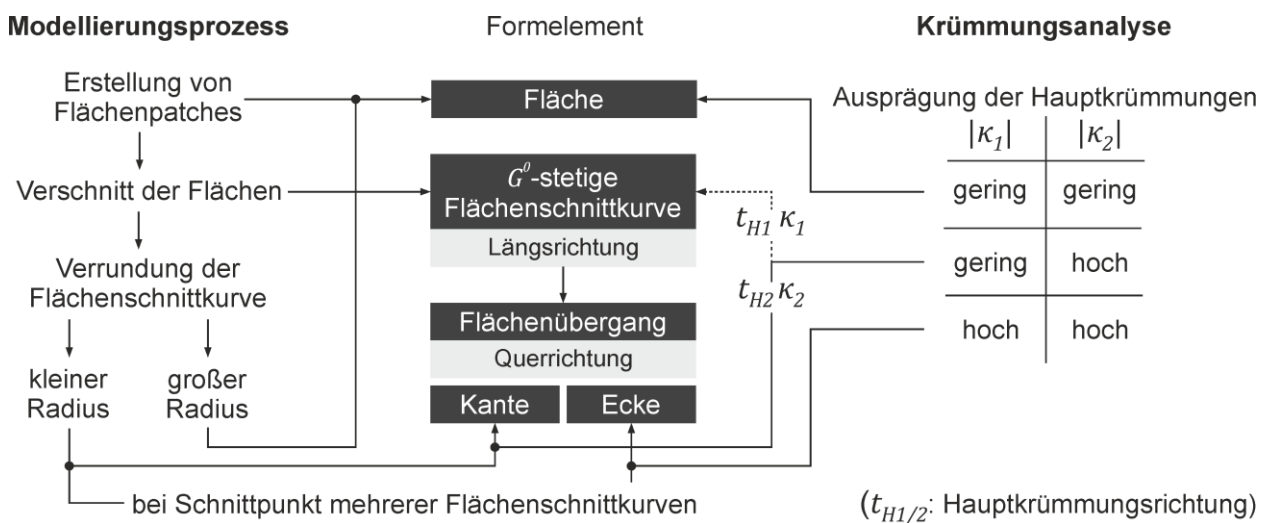
Als Fläche wird daher ein Bereich mit weitgehend gleichförmigen Hauptkrümmungen  $\kappa_1$  und  $\kappa_2$  betrachtet [vgl. GIANNINI ET AL. 2004, S. 322]. Visuell wahrnehmbare Kanten entstehen nach TODD [2004, S. 118f.] durch lokale Krümmungsextrema (vgl. Kapitel 2.4.3.4). Auch CATALANO ET AL. [2007, S. 87] empfehlen als wichtigen Analyseschritt die Identifizierung dieser Krümmungsextrema-Kanten. Generell zeichnet sich die Oberfläche im Bereich eines Flächenübergangs durch mindestens eine betragsmäßig höhere Hauptkrümmung (vgl. Kapitel 2.2.3.3) im Vergleich zu den anliegenden Flächen aus (siehe Abbildung 4.1e). Daher können Flächenübergänge anhand der Krümmungskennzahl Curvedness ermittelt werden (siehe Abbildung 4.1f). Der Flächenübergang lässt sich zudem in Kante und Ecke untergliedern. Die Kante zeichnet sich durch eine große Differenz der Hauptkrümmungen auf der Oberfläche des Körpers aus. Demnach eignet sich die Krümmungskennzahl Shape Index für die Kantenermittlung (siehe Abbildung 4.1g). Dabei liegt die Richtung der betragsmäßig niedrigen Hauptkrümmung annähernd in Richtung der unverrundeten  $G^0$ -stetigen Flächenschnittkurve und die Richtung der betragsmäßig hohen Hauptkrümmung liegt im Querschnitt der Blendfläche (siehe Abbildung 4.1h). Wenn beide Hauptkrümmungen betragsmäßig hoch sind, handelt es sich um eine Ecke, welche wiederum bei der Verrundungsoperation an Schnittpunkten mehrerer  $G^0$ -Flächenschnittkurven entsteht (siehe Abbildung 4.1h).

Die Fläche ist demnach ein flächiges Element, welches vor allem durch die Hauptkrümmungen  $\kappa_1$  und  $\kappa_2$  und den Flächeninhalt  $A$  beschrieben werden kann. Bei der Kante kann die Kurve (Längsrichtung) und der Querschnitt (Querrichtung) durch Kurvenparameter

beschrieben werden (siehe Abbildung 4.1h). Die Ecke ist ein Punkt mit den Querschnittseigenschaften der einlaufenden Kanten.

Forschungsarbeiten zur Schwelle, ab wie viel Krümmungsdifferenz eine Kante im Flächenübergang visuell wahrnehmbar ist, sind nicht bekannt bzw. stehen noch aus. An dieser Stelle ist auch auf die vielfältigen Licht- und Oberflächenparameter aus Kapitel 2.4.3.4 hinzuweisen. Eine exakte Abgrenzung, ab wann ein Teil der Oberfläche zu einem Flächenübergang oder zu einer großen Fläche gehört, ist im Grenzbereich nicht bekannt. Durch die Berechnung von Shape Index und Curvedness (siehe Kapitel 2.2.3.3) lassen sich die Bereiche der Flächenübergänge identifizieren (siehe Abbildung 4.1f und Abbildung 4.1g) und eine visuell wahrnehmbare Kante im Bereich der betragsmäßig maximalen Krümmungswerte als geometrische Kurve einzeichnen. Bei sehr großen Verrundungsradien ist ggf. keine Abgrenzung zwischen einzelnen Flächen möglich und es entsteht eine große gemeinsame Fläche.

In Abbildung 4.1 sind der geometrische Modellierungsprozess und die visuelle Analyse am Beispiel eines Würfels dargestellt. Abbildung 4.2 zeigt als Blockschaltbild den Ablauf bei der Modellierung und Analyse für die Definition von Flächen und Flächenübergängen (Kante, Ecke).



**Abbildung 4.2:** Definition von Fläche und Flächenübergang mittels Modellierungsprozess und Krümmungsanalyse

In Abbildung 4.1h wird zur Vollständigkeit auch die Kontur (siehe Kapitel 2.4.3.4) vor dem Hintergrund als ansichtsabhängige, visuell wahrnehmbare Kurve dargestellt. Bei dieser Kurve kann, ebenso wie bei visuellen Verdeckungskanten, nur die Kurvenlängsrichtung ansichtsabhängig geometrisch beschrieben werden. Diese Kantenarten entstehen indirekt über das Zusammenspiel der Primärform mit der Ansichtsrichtung. Ein Ansatz, diese ansichtsabhängigen Kanten quasi-ansichtsunabhängig quantifizierbar zu machen, ist



zahlreiche kugelförmig angeordnete Kameras um das Objekt zu platzieren und aus allen Konturen z. B. eine durchschnittliche Kontur zu berechnen. Kugelförmig um das Produkt angeordnete Kameras werden u. a. bei dem „Light Field Descriptor“-Verfahren zur 3D-Objekterkennung eingesetzt [vgl. LAGA ET AL. 2019].

#### **4.1.2 Herkunftsclassifizierung von Flächen und Flächenübergängen**

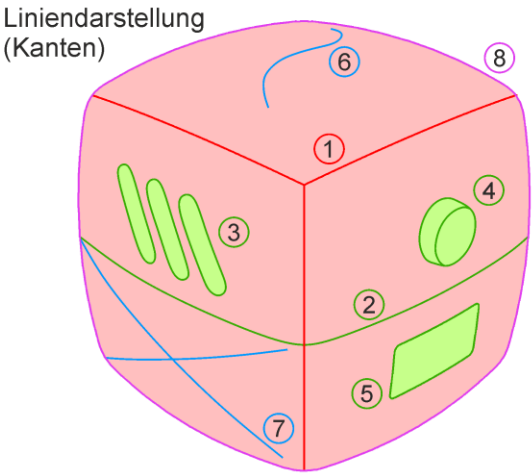
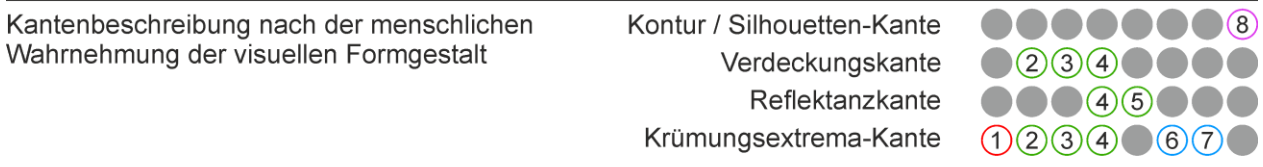
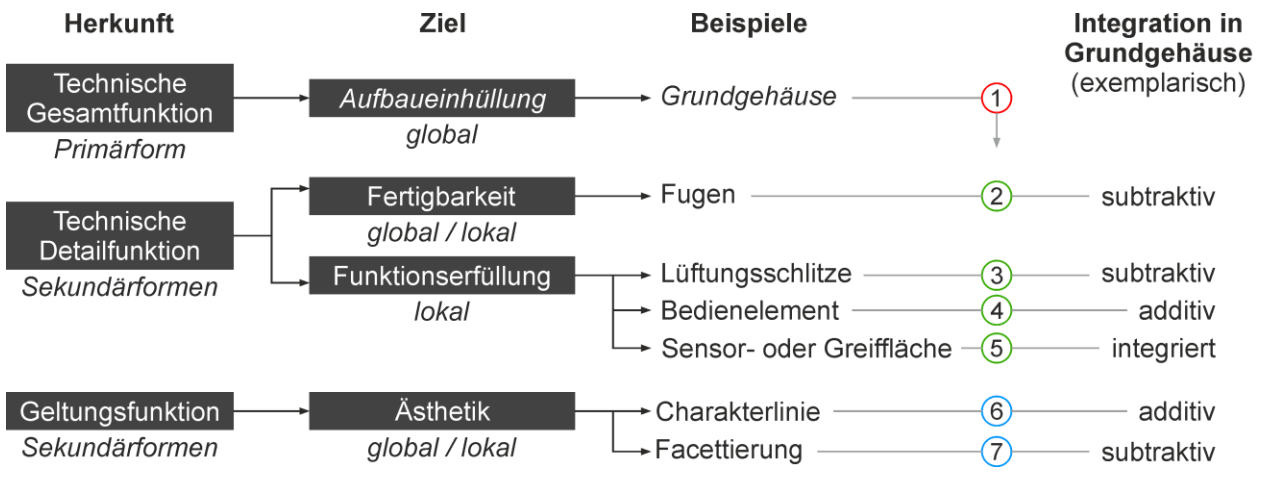
Für die herkunftsbezogene Flächen- und Flächenübergangsbeschreibung wird der exemplarische Würfel (Primärform entsprechend Kapitel 2.1.3) aus Kapitel 4.1.1 mit Details in der Formgestalt (Sekundärformen) versehen. Vergleichbar ist das Ergebnis mit dem finalen Modell der Produktgestaltung (vgl. Kapitel 2.2.5.3). Die Herkunftsclassifizierung bezieht sich auf die Ursache / Motivation für die Integration von Sekundärformen in die Primärform.

Als Basis für die Klassifizierung von Formdetails dient die Beschreibung des Freiheitsgrads der Gestaltung (siehe Kapitel 2.2.2). Speziell wird die Gestaltbestimmung durch technische Funktionen und Geltungsfunktionen eines Produktes nach EHRENSPIEL & MEERKAMM [2017, S. 513f.] eingesetzt. Weiterhin ist das Konzept von funktionalen Flächen bzw. sog. „Wirkflächen“, die eine Funktion bei Produktbenutzung besitzen nach TJALVE [1979, S. 48ff.] elementar. Die herkunftsbezogene Klassifizierung wird anhand der Charakterlinien (vgl. Kapitel 2.2.5) im Automobilbereich bereits auf Linienebene eingesetzt.

Die technische Funktion als Ursache für Gestaltelemente wird zusätzlich in die „technische Gesamtfunktion“ und „technische Detailfunktion“ untergliedert. Unter der technischen Gesamtfunktion wird der resultierende Aufbau für die Funktionserfüllung verstanden, nicht aber einzelne Funktionselemente. Darin enthalten sind die Anordnung und der Verschnitt von Freiformflächen für die Aufbaueinhüllung als globale Primärform bzw. Grundgehäuse des Produktes (siehe Abbildung 4.3). Außerdem resultiert aus dem Aufbau der grobe Verlauf der Flächenübergänge und es zeigt sich, ob ein konvexer oder konkaver Querschnitt einer Kante erforderlich ist. Während die Anordnung von Kanten und deren Kurvenverlauf (Längsrichtung) durch den Aufbau vorgegeben ist, ist deren Verrundungsradius in Querrichtung frei gestaltbar.

Zur technischen Detailfunktion werden Formdetails, die für eine ideale Fertigung (und Montage) und die Funktionserfüllung erforderlich sind, zugeordnet. Dazu zählen z. B. fertigungsbedingte Fugen und funktionsbedingte Lüftungsschlitze, Bedienelemente, Sensorfelder und Greifflächen (siehe Abbildung 4.3). Deren Anordnung und Ausprägung wird durch die technische Funktion vorgegeben und deren Freiheitsgrad der Gestaltung ist begrenzt. Im Bezug zu dem Grundgehäuse (Primärform) können die Formdetails (Sekundärformen) subtraktiv, additiv oder in die Oberfläche integriert ausgeführt werden. Die Art

der Integration wird von der Funktionserfüllung beeinflusst. Dabei sind funktionsbedingte Formdetails in der Regel lokal auf der Oberfläche begrenzt. Fertigungsbedingte Formdetails, wie Fugen, können als globales Element (z. B. umlaufende Gehäuseteilung) oder lokales Element (z. B. partiell sichtbare Fuge) ausgeprägt sein.



**Abbildung 4.3:** Klassifizierung und Visualisierung der Herkunftsbeschreibung von Flächen und Flächenübergängen

Zur Geltungsfunktion zählen Flächen und Flächenübergänge, die nicht der Hauptfunktionserfüllung des Produktes dienen. Diese Elemente erfüllen nach GROS [1983] (vgl. Kapitel 2.1) die ästhetische Funktion (siehe Abbildung 4.3). Folglich müssen diese Formelemente nicht vorhanden sein. Ggf. werden trotzdem Festigkeits- oder Aerodynamikvorteile durch diese erzielt. Ein Beispiel für Formelemente mit Geltungsfunktion sind lokale Charakterlinien auf der Oberfläche. Im Unterschied zu einer aufbauinduzierten Kante ist die Charakterlinien-Kante in Längs- und Querrichtung frei gestaltbar. Die Integration in das

Grundgehäuse kann additiv oder subtraktiv erfolgen. Wird eine Vielzahl an Kanten auf der Oberfläche hinzugefügt, kann dies auch als Facettierung bezeichnet werden. Anstatt einer bzw. weniger lokaler Charakterlinien können Facettierungen global angewendet werden.

Ein Sonderfall zwischen der Geltungsfunktion und technischen Detailfunktion sind ange deutete funktionale Elemente. Dazu gehören z. B. geschlossene Lüftungsschlitze oder -rippen, die aufgrund von Symmetrie oder dem Implizieren einer hohen Produktleistung in der Formgestalt enthalten sind. Generell können Elemente nicht immer eindeutig einer Kategorie zugeordnet werden. Beispielsweise kann eine aufbauinduzierte Kante als markante Charakterlinie eingesetzt werden. Eine anteilige Bewertung einzelner Elemente bzgl. deren Herkunft ist möglich. Einen Sonderfall stellen transparente Oberflächen dar [vgl. CHENG ET AL. 2018], welche aufgrund mangelnder Relevanz für diese Arbeit nicht in das Formbeschreibungmodell integriert werden.

In Abbildung 4.3 ist anhand eines Würfels mit Formdetails die Herkunftsklassifizierung der Formelemente dargestellt. Weil visuell wahrnehmbare Kanten in der Formgestalt nach Kapitel 2.4.3 einen großen Wahrnehmungseinfluss haben, ist ergänzend auch deren Entstehungsart (Kontur, Verdeckungskante, Reflektanzkante, Krümmungsextrema-Kante) in Abbildung 4.3 integriert. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei additiver und subtraktiver Einbindung die Verrundung scharfer Kanten in entstehenden Fugen erforderlich sind, während diese bei integrativer Einbindung nicht unbedingt benötigt werden. Beleuchtungskanten werden nicht weiter berücksichtigt, da von einer idealen Beleuchtung für die Wahrnehmung der Formgestalt ausgegangen wird. Zu beachten ist, dass bei drei der vier technischen Detailfunktionen mehrere Kantenbeschreibungen der visuellen Wahrnehmung zutreffen.

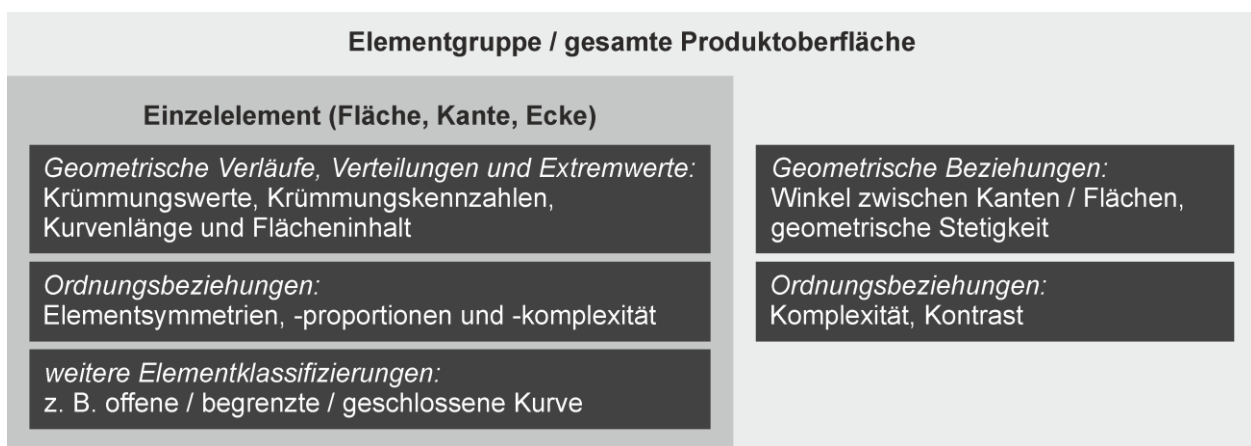
### **4.1.3 Eigenschaften von Formelementen und Ordnungsbeziehungen**

Aufbauend auf Kapitel 4.1.1 beschreibt dieses Kapitel die Eigenschaften der Formelemente (Fläche, Flächenübergänge) und Ordnungsbeziehungen (vgl. Kapitel 2.1.3) unabhängig von deren Herkunftsklassifizierung (Kapitel 4.1.2).

Die Krümmungen der Oberfläche und die daraus berechneten Krümmungskennzahlen werden in Kapitel 4.1.1 bereits zur Identifizierung von Fläche und Flächenübergang genutzt. Entsprechend kann die Fläche mittels der Krümmungseigenschaften und des Flächeninhalts charakterisiert werden (siehe Kapitel 2.2.3.3). Für die Kanten können ergänzend auch die Krümmungswerte der Kurvenverläufe in Längs- und Querrichtung beschrieben werden. An Ecken stehen nur die Punkteigenschaften zur Verfügung. Folgende Beschreibungen mit absteigendem Informationsgehalt sind möglich:

- Verlauf entlang einer Kurve (berücksichtigt die Position auf der Kurve),
- Verteilung auf der Kurve / Fläche (bezieht sich auf die Kurvenlänge bzw. den Flächeninhalt),
- Einzelwert an Punkt oder auf Kurve / Fläche (z. B. minimaler / maximaler Absolutwert als Extremwert).

Ergänzend zu diesen krümmungsbasierten Eigenschaften können Ordnungsbeziehungen eines einzelnen Elements wie Symmetrie, Proportion (z. B. Flächenausdehnung) und Komplexität (z. B. Anzahl an Kanten pro Fläche) genutzt werden (siehe Abbildung 4.4). Weiterhin können Kurven auch als offene (geht in eine Fläche über), begrenzte (zwischen zwei Eckpunkten) und geschlossene Kurve (z. B. kreisförmiges Lüftungsloch) klassifiziert werden.



**Abbildung 4.4:** Formeigenschaften von Elementen und gesamter Produktoberfläche

Betrachtet werden können, neben Eigenschaftsbeschreibungen einzelner Elemente, auch Elementgruppen oder die gesamte Produktoberfläche. Generell stellen zusammengefasste Einzelbeschreibungen aller Produktelemente auch eine Beschreibung über die gesamte Produktoberfläche dar. Die Krümmungsverteilungen auf der Oberfläche werden bereits zur Beschreibung der gesamten Produktformgestalt eingesetzt [vgl. LAGA ET AL. 2019, S. 71f.]. Die Beschreibung der Einzelelementeigenschaften ist somit auch eine Teilmenge der Gesamtoberflächeneigenschaften (siehe Abbildung 4.4).

Aus den topologischen Beziehungen der einzelnen Elemente kann z. B. der Winkel zwischen Kurven und Flächen (siehe Kapitel 2.2.3.3) oder die Stetigkeit des Übergangs (siehe Kapitel 2.2.5.2) bestimmt werden. Ordnungsbeziehungen wie Proportion, Symmetrie und Zentrierung (vgl. Kapitel 2.1.3) werden bei der Betrachtung der gesamten Produktoberfläche der Teilgestalt Aufbau zugeordnet. Die Ordnungsbeziehung Komplexität und Kontrast sind auf Elementgruppen bzw. das gesamte Produkt anwendbar. Dabei be-

zieht sich die Komplexität z. B. auf die Anzahl an eingesetzten Elementen (vgl. Facettierung in Kapitel 4.1.2) und Kontrast auf die Einheitlichkeit bzw. Unterschiedlichkeit der eingesetzten Elemente (reine Formgebung nach [SEEGER 2005, S. 225]).

Weiterhin existieren zahlreiche qualitative Bezeichnungen für Aspekte der Formgestalt wie z. B. gespannt, bauchig, Wulst, Rippe, Sicke, auf die in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen wird [KROHN ET AL. 2010].

## **4.2 Auswahl relevanter Formelemente und deren geometrische Eigenschaften**

Entsprechend Kapitel 4.1 lassen sich die Anforderungen an die Formelemente und deren Eigenschaften (Kapitel 4.2.1) für die Forschungsfrage in zwei Gruppen gliedern bzw. der anschließende Bewertungsprozess in zwei Stufen aufteilen. Der erste Bewertungsschritt dient der Auswahl geeigneter Formelemente entsprechend deren Herkunftsklassifizierung (Kapitel 4.2.2). Im zweiten Schritt werden die relevantesten Eigenschaften dieser ausgewählten Formelemente für die Markenzugehörigkeit in dieser Arbeit bestimmt (Kapitel 4.2.3).

### **4.2.1 Anforderungen an die Formelemente und deren Eigenschaften**

Die Anforderungen (An) für die herkunftsbezogene Auswahl der Formelemente entsprechen dem Forschungsbedarf nach Kapitel 3.3. Diese Gruppe an Anforderungen betrifft das Vorhandensein von Formelementen in verschiedenen Markenebenen und bei unterschiedlicher Aufbaugestalt. Weiterhin sind die ansichtsunabhängige Sichtbarkeit und der Gestaltungszeitpunkt relevant. Idealerweise kann frühzeitig markenspezifisch modelliert werden und Ähnlichkeiten und Differenzierungen sollten nicht erst in späten Iterationsschritten gestaltbar sein. Folgende Anforderungen werden formuliert:

- Die Formelemente sind bei Produkten in der Produktprogramm- (PP) und Produktsystem-Markenebene (PS) vorhanden (*An1*).
- Die Formelemente sind bei Produkten mit unterschiedlichem Aufbau vorhanden (*An2*).
- Die Formelemente haben Auswirkungen auf die gesamtheitliche Produktwahrnehmung und sind ansichtsunabhängig erkennbar (*An3*).
- Die Formelemente sind bereits in frühen Phasen der Produktmodellierung gestaltbar (*An4*).

Für die anhand der obigen Anforderungen ausgewählten Formelemente aus Kapitel 4.1.2 steht im zweiten Schritt die Bestimmung der relevantesten geometrischen Elementeigen-

schaften bzw. der Ordnungsbeziehungen aus Kapitel 4.1.3 an. Dabei kann auf die impliziten Attribute (vgl. Kapitel 2.3.3) der Formgestalt zurückgegriffen werden [vgl. FISCHER ET AL. 2021A]. Eigenschaften und Ordnungsbeziehungen von Formelementen mit großem Einfluss auf die Produktwirkung haben Einfluss auf das Markenimage (siehe Kapitel 2.3) und sind daher für die Markenzugehörigkeit bedeutsam. Gestützt wird dieser Ansatz durch die Analyse der Forschungsarbeiten (Kapitel 3.3), nach welcher vor allem bei Arbeiten in der PS- und PO-Ebene häufig implizite Attribute betrachtet werden. Die einzige bekannte Forschungsarbeit mit Fokussierung auf den Freiheitsgrad der Gestaltung im Markenkontext ([BURNAP ET AL. 2016]) nutzt intensiv die Produktwirkung. Daraus ergibt sich folgende Anforderung an die Eigenschaften und Ordnungsbeziehungen der Formelemente:

Die Formelemente und deren Eigenschaften und Ordnungsbeziehungen haben Einfluss auf das Wesen und die Wirkung des Produktes (An5).

#### 4.2.2 Herkunftsbezogene Formelementauswahl

Dieses Unterkapitel beinhaltet die Bewertung der herkunftsklassifizierten Formelemente (Kapitel 4.1.2) anhand der Anforderungen An1 bis An4 (Kapitel 4.2.1).

Zunächst erfolgt eine Eingrenzung der Kantenarten der visuellen Wahrnehmung (siehe Kapitel 2.4.3.4) bzgl. deren Eignung auf Basis der Anforderungen: Reflektanzkanten treten durch Änderung der Oberflächeneigenschaften auf, welche daher auch der Teilgestalt Farbe zugeordnet werden können. Konturen und Verdeckungskanten sind von der Blickrichtung auf das Produkt abhängig. Konturen basieren zudem auch stark auf der Aufbau-gestalt. Kanten durch Krümmungsextrema sind als einzige Kantenart ansichtsunabhängig geometrisch quantifizierbar. Im Folgenden werden daher ausschließlich visuell wahrnehmbare Kanten durch Krümmungsextrema behandelt.

Die Bewertung der herkunftsklassifizierten Formelemente anhand der Anforderungen wird vom Autor dieser Arbeit auf Basis der Inhalte von Kapitel 2 durchgeführt. In Tabelle 4.1 wird qualitativ bewertet, inwiefern die Anforderungen ganz, bedingt oder nicht erfüllt werden.

Wie in Tabelle 4.1 ersichtlich ist, eignen sich die lokalen technischen Detailfunktionen nicht für den Einsatz in der PP- und PS-Ebene. Auch die Nutzung globaler fertigungsbedingter technischer Detailfunktionen ist nicht ideal. Hier haben auch die ggf. unterschiedlichen Materialeinsätze und Fertigungsprozesse in der PP- und PS-Ebene einen negativen Einfluss. Auch lokale Charakterlinien (Geltungsfunktion) sind nur bedingt geeignet. Die beste Eignung besitzt die globale Aufbaueinhüllung, welche alle Anforderungen erfüllt. Globale Änderungen, wie z. B. Facettierungen an dieser Oberfläche, sind ebenfalls

gut in diesem Kontext geeignet und werden ebenso weiter betrachtet. Bei diesen beiden Formelementen sind zudem ausschließlich visuelle Kanten durch Krümmungsextrema relevant (siehe Abbildung 4.3).

Anforderungen	Herkunft	Techn. Gesamtfunktion	Technische Detailfunktion			Geltungsfunktion	
	Ziel	Aufbaueinhüllung	Fertigbarkeit		Funktionserfüllung	Ästhetik	
	global / lokal	global	global	lokal	lokal	global	lokal
PP- und PS-Markenebene (An1)		✓	(✓)	X	X	✓	(✓)
Unterschiedlicher Aufbau (An2)		✓	(✓)	(✓)	(✓)	✓	(✓)
Gesamtheitliche P.-Wahrnehmung (An3)		✓	(✓)	(✓)	(✓)	✓	(✓)
Phasen Produktmodellierung (An3)		✓	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
Erfüllt Anforderung:		✓ ganz	(✓) bedingt		X nicht		

**Tabelle 4.1:** Bewertung der herkunftsklassifizierten Formelemente anhand der Anforderungen

### 4.2.3 Bewertung und Auswahl der Formelementeigenschaften

Nach Kapitel 4.2.2 verbleiben als Formelemente die aufbaueinhüllende Primärform und globale ästhetische Formen mit Geltungsfunktion (Sekundärform) wie z. B. Facettierungen für die Bewertung der Elementeigenschaften. Die Bewertung und Auswahl erfolgt auf Basis von Forschungsarbeiten zur ästhetischen Gestaltung der Primärform von technischen Produkten, welche die Formelemente im Kontext der Produktwirkung behandeln (vgl. Anforderung An5 in Kapitel 4.2.1). Generell wurde festgestellt, dass Kombinationen aus ebenen Flächen, geraden Linien und kleinen Flächenübergangsradien (sog. „geometrisches Design“) eher aggressiv und maskulin wirken [FISCHER ET AL. 2020B]. Im Gegensatz dazu wirkt die Kombination aus gekrümmten Flächen, gekrümmten Kurven und großen Flächenübergangsradien (sog. „organisches Design“) eher freundlich und feminin [FISCHER ET AL. 2020B]. Nennenswerte Ergebnisse dazu haben VAN BREEMEN & SUDIJONO [1999], HSU ET AL. [2000], KOPPELMANN [2001, S. 444], BLIJLEVENS ET AL. [2013] und VAN TILBURG ET AL. [2015] vorgestellt.

In Tabelle 4.2 sind relevante Forschungsarbeiten aufgelistet, die zwischen einzelnen Formelementen unterscheiden bzw. Eigenschaften dieser separat untersuchen. Dabei wird unterschieden zwischen der Beschreibung von Eigenschaften der Flächen, Längs-

richtung der Kanten und Querrichtung der Kanten inkl. Ecken (Flächenübergangsquerschnitt). Aufgezählt werden nur relevante Formeigenschaften entsprechend Kapitel 4.1.3. Zur Übersicht sind die jeweiligen Produktbeispiele und die Art der Forschungsarbeit in Tabelle 4.2 angegeben.

[QUELLE]	Formeigenschaft und Ordnungsbeziehungen			Produktbeispiel	Art
	Fläche	Längsrichtung der Kante	Querrichtung der Kante (inkl. Ecke)		
[CHEN & OWEN 1998]	Variation der Radien	-	Art der Kante (Radius, Fase, etc.) Variation der Radien	Würfel, Möbel	Methodenvorschlag
[PHAM 1999]	Konvexität der Fläche	Linie oder Kurve	Variation der Radien	-	Literaturrecherche
	Art (nicht, einfach oder mehrfach gekrümmt)	Krümmungsänderungen			
	Anzahl der Elemente				
[CHUANG & MA 2001]	Konvexität der Fläche	-	Kleiner oder großer Radius	Heimelektronik	Probandenstudie
[HSIAO & TSAI 2005]	Variation der Radien	Variation der Radien	Variation der Radien	Türgriffe	Methodenvorschlag
[HSIAO & CHEN 2006]	Flach oder gekrümmt oder beides	Gerade oder gekrümmt oder beides	Scharf oder kleiner Radius oder großer Radius	Kaffeekanne, Pkw, Sofa	Expertenbefragung
	Anzahl der Elemente (wenig oder angemessen oder viel)				
[PEREZ MATA ET AL. 2017]	-	Linie oder Kurve (gerade oder gekrümmt)	Scharf oder rund	Vasen	Probandenstudie
	Anzahl der Elemente				
	Spitze oder stumpfe Winkel				
[KAPKIN & JOINES 2018]	-	-	Variation der Radien	Externe Festplatte, Seifenspender	Probandenstudie

**Tabelle 4.2:** Übersicht über Formeigenschaften mit impliziten Attributen

Aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungsumfänge und Abstraktionsgrade der Beschreibungen der Formgestalt in den Forschungsarbeiten, ist eine quantitative, fundierte Ermittlung der wichtigsten Formeigenschaften und Ordnungsbeziehungen nicht möglich. Daher wird eine qualitative Analyse von Tabelle 4.2 durchgeführt. Im Hinblick auf die Eigenschaften von Flächen wird aus Tabelle 4.2 deutlich, dass vor allem der Unterschied zwischen ebener und gekrümmter Oberfläche relevant ist. Die Variation der Flächenkrümmung wird zudem im Zusammenhang mit der Konvexität genannt. Interessant ist zudem, dass eine Unterscheidung zwischen konvexer und konkaver Oberfläche nicht bei den Forschungsarbeiten enthalten ist und dadurch ggf. nur eine geringe Relevanz für



die Produktwirkung besitzt. Die Kantenlängsrichtung erhält in Tabelle 4.2 die geringste Anzahl an Nennungen. Hier ist vor allem die Unterscheidung zwischen einer geraden Linie und einer gekrümmten Kurve relevant. Die Querrichtung der Kanten wird bei allen Forschungsarbeiten erwähnt. KAPKIN & JOINES [2018] untersuchen ausschließlich die Variation der Flächenübergangsradien. Anzumerken ist zudem, dass KAPKIN & JOINES [2018] die Radien relativ zur anliegenden Fläche definieren. Hier sei zusätzlich auch die Art der Kante bzw. der Querschnittsverlauf erwähnt (Radius, Fase, etc., [vgl. WALLACE & JAKIELA 1993, S. 71]). Ansonsten liegt hier der Fokus vor allem auf dem Extremwert (Radius) in Querrichtung der Kante und nicht auf Details der Querschnittskurve, wie z. B. dem Krümmungsverlauf, welcher nach Kapitel 4.1.3 mehr Informationsgehalt besitzt. Zudem wird die geometrische Stetigkeit des Übergangs nicht erwähnt. Bzgl. der Ordnungsbeziehungen wird der Winkel zwischen Flächen bzw. der Kantenlängsrichtungen in einer Forschungsarbeit genannt. Häufig wird die Anzahl an Elementen erwähnt. Dementsprechend muss die Komplexität der Formgestalt eine Relevanz besitzen. Demgegenüber wird der Formkontrast in den Forschungsarbeiten nicht behandelt.

Die Kurve der Kantenlängsrichtung entsteht nach Kapitel 4.1.1 aus dem Verschnitt von Flächen. Daher ist die Krümmung dieser Kurve von den anliegenden Flächen abhängig. Zusammenfassend kann daher gesagt werden, dass die „Flächenrundheit“ (Krümmung der Flächen inkl. der resultierenden Kurvenkrümmungen in Kantenlängsrichtung) ein relevanter Faktor ist. Dabei kann die Krümmungsvielfalt auf konvexe Flächen eingegrenzt werden. Ein Faktor, mit vermutlich größeren Einfluss, ist die „Kantenrundheit“ (Krümmung im Kantenquerschnitt) mit Fokus auf dem Extremwert der Krümmung. Während sich diese beiden Faktoren auf die Primärform beziehen, ist bzgl. der Sekundärform die „Anzahl der Elemente“ relevant (z. B. Facettierung).

Mit Einbeziehung der geometrisch-quantitativen Arbeiten der PS-Ebene aus dem Stand der Forschung (Kapitel 3.2) ergibt sich folgender Fokus: Die Flächen- und Kantenrundheit wird von LIU ET AL. [2015] und LUN ET AL. [2015] in Form von Krümmungshistogrammen mitberücksichtigt. Auch GIANNINI ET AL. [2006] erwähnen die Krümmungen der Flächen und Flächenübergänge. Die Anzahl an Elementen wird weder von diesen drei Forschungsarbeiten als auch von den anderen Forschungsarbeiten aus Kapitel 3.2 explizit genannt. Da vor der Untersuchung der Anzahl an Elementen (Sekundärform) zunächst die Freiheitsgrade der Primärform vorliegen sollten, liegt der Fokus dieser Arbeit auf der „Flächen- und Kantenrundheit“. Extremfälle der Flächenrundheit sind ebene Flächen und maximal gekrümmte Flächen. Bei der Kantenrundheit existieren als Extremfälle die

scharfe, unverrundete Kante und eine maximal verrundete Kante. Die maximalen Flächenkrümmungen und Kantenverrundungen sind von dem maximal verfügbaren Freiheitsgrad der Gestaltung des jeweiligen Produktaufbaus abhängig.

Mit dem Formbeschreibungmodell als systematische Beschreibung der Formgestalt und der Auswahl relevanter Formelemente und deren Eigenschaften bestehen die Grundlagen für zielgerichtete CAS-Modellierungen und Untersuchungen mit Probanden (siehe Kapitel 5).

## 5 Parametrisierung von Flächen- und Kantenrundheit

Nach dem Formbeschreibungsmo­dell, der Auswahl relevanter Formelemente und Formelementeigenschaften (Kapitel 4), behandelt dieses Kapitel die Beschreibung und Parametrisierung der Flächen- und Kantenrundheit. Benötigt wird diese Parametrisierung, um Produkte als Reizmuster für die Untersuchung der Freiheitsgrade der Gestaltung im Markenkontext modellieren zu können. Der Bedarf entsteht, da nur Flächen- und Kantenrundheit untersucht werden sollen und u. a. der Formkontrast nicht variiert werden darf. Dies erfordert eine reine Formgebung pro Produkt, trotz unterschiedlicher Aufbauelemente und verschiedenen Flächenproportionen und -winkeln. Weiterhin muss die Formgestalt von zwei oder mehr Produkten mit unterschiedlichen Aufbauelementen und verschiedenen Flächenproportionen und -winkeln quantitativ vergleichbar sein. Für die Modellierung von Reizmustern stellen sich daher folgende Fragen:

- Wie können Produkte mit unterschiedlichen Flächenproportionen und -winkeln mit einheitlicher Flächen- und Kantenrundheit gestaltet werden?
- Wie kann Flächen- und Kantenrundheit von Produkten mit unterschiedlichen Flächenproportionen und -winkeln verglichen werden? Bzw. wie können Produkte unterschiedlichen Aufbaus mit der identischen Flächen- und Kantenrundheit modelliert werden?

Für die Beantwortung dieser Fragen werden zunächst relevante Produktkategorien identifiziert und anhand dieser die wichtigen Grundkörper des Aufbaus abstrahiert (Kapitel 5.1). Auf Basis dieser Grundkörper wird ein geometrischer Modellierungsansatz generiert (Kapitel 5.2). Nachfolgend wird die Reizmusterdarstellung von Renderings in Studien präzisiert (Kapitel 5.3). Da entsprechend Kapitel 2.4.3.4 eine metrische Bewertung der Formgestalt durch Menschen schwer ist, wird eine Vorstudie entwickelt, durchgeführt und ausgewertet (Kapitel 5.4). Deren Ziel ist es, den Zusammenhang zwischen der geometrischen Modellierung von Flächen- und Kantenrundheit mit der menschlichen Wahrnehmung zu ermitteln. Mit diesen Studienergebnissen wird abschließend das Modellierungsvorgehen für technische Produkte beschrieben (Kapitel 5.5), welche für die Untersuchung der Freiheitsgrade der Formgestaltung im Markenkontext benötigt werden.

### 5.1 Produktspezifizierung und Reizmusterabstraktion

Ziel dieses Kapitels ist es, den Anwendungsrahmen für die Parametrisierung von Flächen- und Kantenrundheit zu fokussieren und einzugrenzen. Eine weitere Absicht ist, mit

dieser Basis grundlegende Aufbaukörper für die Modellierung von Reizmustern zu definieren. Dafür werden zunächst Anforderungen an die Produkte und Vorgaben an die Reizmuster der Studien aufgestellt (Kapitel 5.1.1). Anhand dieser werden anschließend geeignete Produktgruppen beschrieben und eine Aufbauabstraktion vorgestellt (Kapitel 5.1.2).

### **5.1.1 Anforderungen an die Produkte und Vorgaben für die Reizmustererstellung**

Die Produktmodelle und deren Abstraktion als Reizmuster sind zentrale Elemente der nachfolgenden Studien zum Erkenntnisgewinn bzgl. der Formgestalt im Markenkontext. Die Anforderungen an die Produkte und Produktsysteme leiten sich vor allem aus dem Fazit des Stands der Forschung (Kapitel 3.3) und dem Formbeschreibungmodell mit den resultierenden Parametern ab (Kapitel 4). Ein weiterer Aspekt ist die Eingrenzung auf Produkte, die (auch) als Konsumgüter vertrieben werden. Bei diesen spielen die Produktgestalt und Aspekte, wie Image und Marke, eine größere Rolle als bei Investitionsgütern [vgl. HERRMANN & MOELLER 2009, S. 10]. Für Studien ist zudem die Eindeutigkeit und Konstanz bei Reizmustern relevant, was dazu führt, dass Faktoren wie geschlechterspezifische Produkte und auch die Mischung von stationären mit mobilen Produkten innerhalb eines PS von Nachteil sind. Für die Vermeidung von Störfaktoren ist es von Vorteil, wenn trotz unterschiedlichen Aufbaus vergleichbare Aufbauelemente bei den Produkten eines Produktsystems vorhanden sind, und die Produktabmessungen nicht stark voneinander abweichen. Es ergeben sich daher folgende Anforderungen:

- Die Produkte haben gestalterische Freiheitsgrade in der Formgestalt.
- Die gestaltbare Primärform macht einen großen Anteil der Produktoberfläche aus und technische Detailfunktionen beeinflussen nur einen geringen Anteil der Produktoberfläche.
- Die Produkte werden (auch) als Konsumgüter vertrieben.
- Die Produkte sind in der Regel Teil eines Produktprogramms (PP) und Produktsystems (PS)
- Im Produktsystem existieren mehrere Produkte mit einer unterschiedlichen Aufbaugestalt.
- Im Produktsystem sind Gruppen stationärer oder mobiler Produkte vorhanden.
- Die Produkte des Produktsystems haben vergleichbare Produktabmessungen und Aufbauelemente, sowie eine vergleichbare Anzahl an Aufbauelementen.
- Die Produkte haben keinen geschlechtsspezifischen Einsatzfokus.
- Die Produkte haben nur eine Exteriorgestalt (keine Interiorgestalt) und keine erforderlichen transparenten Oberflächenelemente.

Die Reizmuster sind aufgrund der Betrachtung der Primärform bereits eine Abstraktion von finalen Produktgestalten. Bei der Formfindung eignen sich nach KURZ [2008, S. 126ff.] Renderings von CAS-Modellen für die Abbildungen. Der Fokus liegt daher auf der Darstellung von 3D-Modellen auf Bildschirmen. Da generell mit Freiformflächen gearbeitet wird, ist zudem ein  $G^2$ -stetiger Flächenübergang anzustreben. Da der Formenkontrast kein Untersuchungsfaktor ist (vgl. Kapitel 4.2.3) ist ein einheitlicher Einsatz der Flächen- und Kantenrundheit erforderlich. Weiterhin wird in Kapitel 4.2.3 spezifiziert, dass vorwiegend konvexe Flächen eingesetzt werden. Bei volumeneinhüllenden Oberflächen ist ohnehin der Einsatz konvexer Flächenelemente erforderlich [vgl. HÜCKLER 2000, S. 564]. Es resultieren daher folgende Vorgaben für die Reizmustererstellung:

- Der Abstraktionsgrad in der Primärform muss die eindeutige Produktidentifikation zwingend ermöglichen. Detaillierungen durch Sekundärformen dürfen nur diesem Ziel entsprechen.
- Produktoberflächen müssen als konvexe Freiformflächen gestaltet sein.
- Flächenübergänge müssen mindestens  $G^2$ -stetig sein.
- Die Anzahl der Elemente muss bei den Produkten vergleichbar sein.
- Formkontrast darf nicht als Faktor eingesetzt werden. Eine reine Formgebung ist erforderlich.
- Bei Änderungen der Flächen- und Kantenrundheit müssen die topologischen Beziehungen identisch bleiben. Der Aufbau ist bzgl. des Freiheitsgrads eine invariable Teilgestalt.
- Die Teilgestalt Farbe muss neutral und konstant bei Renderings in der Flächendarstellung sein.
- Die Teilgestalt Grafik darf nicht auftreten.
- Eine Assoziation der Produkte zu etablierten Marken darf nicht geweckt werden.

Ob die Aufbaugestalt additiv, integrativ oder integral gestaltet sein soll (siehe Kapitel 2.1.2) kann nicht weiter spezifiziert werden. Bei konstanten topologischen Beziehungen entsteht bei geringen Flächenübergangsradien eine additive Aufbaugestalt, während diese sich mit steigendem Flächenübergangsradius zunehmend zu einer integrativen Aufbaugestalt verändert.

### 5.1.2 Produktfokus und Aufbauabstraktion

Entsprechend der Anforderung der hohen gestalterischen Freiheit bei der Primärform, eignen sich vor allem Produkte mit Gehäusen aus (Kunststoff-)Druckguss. Der Fokus liegt dabei auf technischen Produkten, welche eine vorwiegend elektrische Energieumwandlung zur Aufgabenerfüllung durchführen. Eine Ausnahme stellen handbetriebene

Bürogeräte dar. Folgende Produktkategorien erfüllen grundsätzlich die Anforderungen aus Kapitel 5.1.1:

- Elektrowerkzeuge: Akkuschauber, Winkelschleifer, Exzentrerschleifer, etc.
- Gartenwerkzeuge: Heckenschere, Blasgerät, Rasenmäher, etc.
- Küchengeräte (für Lebensmittelverarbeitung): Toaster, Kaffeemaschine, Mixer, etc.
- Körperpflegegeräte: Föhn, Rasierer, elektrische Zahnbürste etc.
- Haushaltsgeräte (für Reinigung / Aufbereitung): Bodenstaubsauger, Bügeleisen, Fenstersauger, etc.
- Multimediageräte (für Unterhaltungszwecke): Lautsprecher, Spielekonsole, Digitalkamera, etc.
- EDV-Geräte: Drucker, Desktop-Computer, externe Festplatte, etc.
- Bürogeräte: Tacker, Locher, Spitzer, etc.

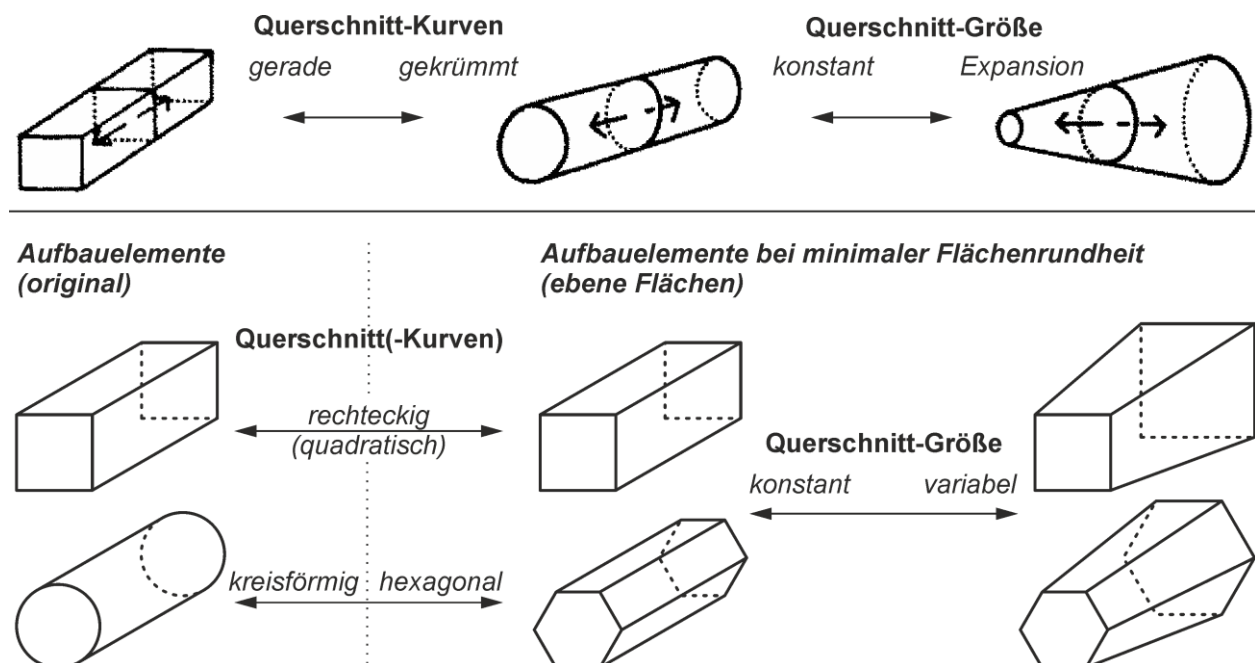
Auf eine quantitative Bewertung der Eignung der Produktkategorien wird verzichtet, da diese von der konkreten Produktauswahl abhängig ist. Stattdessen werden wichtige Aspekte der Auflistung an Produktkategorien qualitativ beschrieben.

Obwohl in Kapitel 3.2 Pkws als dominante Produktbeispiele aufgetreten sind, erfüllen diese die Anforderungen nicht. Aufgrund der vergleichbaren Zwecksetzungen sind Pkws nicht in der PS-Ebene einzuordnen und deren Aufbauvariationen gering. Geräte mit großer Bildschirmfläche wie z. B. Smartphones erfüllen die Anforderung des hohen gestalterischen Freiheitsgrades in der Formgestalt nicht. Bei den aufgezählten Produktgruppen gibt es Unterschiede, wie gut die Anforderungen erfüllt werden. Beispielsweise ist die Aufbauvariation bei EDV- und Multimediageräten gering. Bei den Körperpflegegeräten gibt es zudem einige geschlechtsspezifische Produkte, was die Vielfalt an Produkten für den Studieneinsatz einschränkt. Insgesamt erfüllen die Elektrowerkzeuge die Anforderungen am besten. Zum einen liegt es daran, dass neben der PS-Ebene auch stets die PP-Ebene vorhanden ist (z. B. Akkuschauber und Winkelschleifer unterschiedlicher Leistungsklassen). Zum anderen kommt eine hohe Aufbauvielfalt trotz vergleichbaren Aufbau-elementen und Elementanzahl vor. Dies liegt vor allem daran, dass ein Elektromotor (zylindrische Aufbaugestalt) und mindestens ein weiteres quaderförmiges Aufbau-element zur Energiewandlung (z. B. Getriebegehäuse) oder Energiebereitstellung (z. B. Akku) vorhanden ist.

Der Einsatz von zylindrischen und quaderförmigen Aufbauelementen entspricht weiterhin den Geonen von BIEDERMAN [1987] für die Objekterkennung (vgl. Kapitel 2.4.3.2). „Querschnitt-Kurven“ (gerade, gekrümmt) definieren dabei, ob ein zylindrischer oder quaderförmiger Körper entsteht (siehe Abbildung 2.28). Die „Querschnitt-Größe“ ist zudem für

die Erstellung von Kegelstümpfen erforderlich. Da die Symmetrie kein Untersuchungsparameter ist, sollte die „Querschnitt-Symmetrie“ nicht variiert werden. Der Faktor „Achse“ (gerade oder gekrümmt) muss für den Einsatz ebener Flächen auf gerade Achsen eingeschränkt werden.

Weiterhin besteht die Herausforderung, aus der Zylindermantelfläche ebene Flächenstücke zu gestalten (Extremfall der ebenen Flächen nach Kapitel 4.2.3). Dafür eignen sich statt dem Kreisquerschnitt regelmäßige Polygonquerschnitte. Je mehr Ecken das regelmäßige Polygon aufweist, desto näher am Kreis und realistischer ist die Erscheinung. Allerdings wird dabei auch der Modifikationsbereich zwischen ebener Fläche und der Zylindermantelfläche kleiner. Wenn wenige Ecken eingesetzt werden, wirkt der Körper als Ersatz für einen Zylinder klobiger und unrealistischer. Im Gegenzug ist der Modifikationsbereich zwischen den Extremfällen groß. Für diese Arbeit wird daher ein regelmäßiges Hexagon (Sechseck) verwendet. Ein Fünfeck ist aus Symmetriegründen nur mit geringerer Flexibilität einsetzbar. Eine höhere Anzahl an Ecken (z. B. Siebeneck, Achteck, etc.) hat den Nachteil, dass die Modifikationen der Kurven zwischen Kreisquerschnitt und regelmäßigem Polygon sehr gering sind. In Abbildung 5.1 sind die Querschnitte und Operationen zur Grundkörperbildung dargestellt. Über die Zusammensetzung der Grundkörper und boolesche Operationen (Subtraktion / Addition, Verschnitt / Vereinigung) kann die unverrundete Primärform für den Extremfall der geringsten Flächenrundheit (ebene Flächen) erstellt werden.



**Abbildung 5.1:** Geonoperationen nach BIEDERMAN [1987, S. 122] (oben) und Ersatzquerschnitte für den Modellierungsansatz von Aufbauelementen dieser Arbeit (unten)

## 5.2 Modellierungsansatz

Für eine reine Formgebung bei Flächen unterschiedlicher Proportion und mit verschiedenen Zwischenwinkeln kann nicht mit identischen absoluten Radien gearbeitet werden. Die Anwendung identischer absoluter Radien ist vor allem bei Flächen unterschiedlicher Abmessungen und großen Flächenübergangsradien nicht möglich. Bei kleinen Flächen ist der absolute, maximale Flächenübergangsradius gering. Für eine reine Formgebung ist daher ein skalierungsunabhängiger, relativer Ansatz für die Beschreibung von Flächen- und Kantenrundheit erforderlich. Damit kann innerhalb eines Produktes eine einheitliche Formgebung erzielt werden. Da nach den Anforderungen aus Kapitel 5.1.1 die Produkte eines Produktsystems vergleichbare Abmessungen und Anzahl an Aufbauelementen besitzen sollen, besitzen diese Produkte trotz Modellierung nach relativer Flächen- und Kantenrundheit im Durchschnitt vergleichbare absolute Radien.

Für eine skalierungsunabhängige, relative Parametrisierung der Flächen- und Kantenrundheiten im Zusammenhang mit der Wahrnehmung des Menschen, wird zunächst eine Analyse bestehender Parametrisierungen durchgeführt (Kapitel 5.2.1). Darauf aufbauend wird ein Modellierungsansatz vorgestellt (Kapitel 5.2.2).

### 5.2.1 Analyse bestehender Parametrisierungsansätze

In dem europäischen Forschungsprojekt FIORES-II [2022] wurden im sog. Bereich des „Computer-Aided Aesthetic Design“ (CAAD) ästhetische Eigenschaften im Produktdesign untersucht und erstmals definiert. Ziel war dabei, Formmerkmale mit Relevanz für die Produktwirkung messbar zu machen. Die dabei veröffentlichten Inhalte stellen u. a. Definitionen für die *Softness* (Weichheit) und *Sharpness* (Schärfe) von Kurvenabschnitten dar. *Hardness* (Härte) wird als Kombination der Flächenübergangsschärfe und Weichheit der anliegenden Fläche beschrieben. Alle Beschreibungen beziehen sich auf 2D-Kurven, sind aber auf die Anwendung von 3D-Oberflächen ausgelegt. Zudem werden explizit  $G^2$ -stetige Flächenübergänge eingesetzt. Allgemein wird beschrieben, dass ein kleiner Radius scharf und ein großer Radius weich wirkt. Mit zunehmender Schärfe wird eine Kante sichtbar, während diese mit steigender Weichheit visuell verschwindet (siehe auch Kapitel 4.1.1). [PODEHL 2002], [GIANNINI ET AL. 2004]

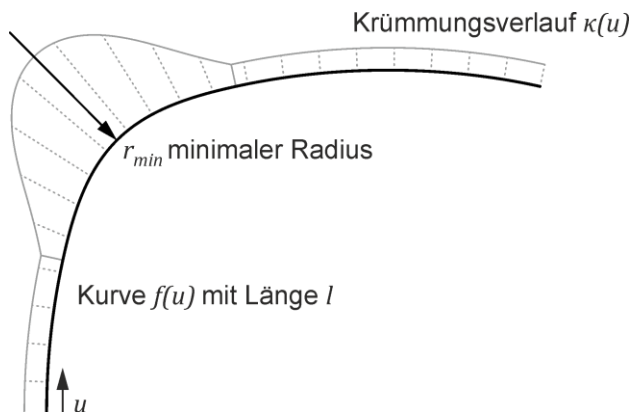
PODEHL [2002], GIANNINI ET AL. [2004] und PETROV [2016, S. 53] definieren *Softness* (Weichheit) als Kehrwert der *Sharpness* (Schärfe):

$$Softness = \frac{1}{Sharpness} \quad (5.1)$$

PODEHL [2002], GIANNINI ET AL. [2004] und PETROV [2016, S. 53] geben allerdings jeweils unterschiedliche Formeln für *Softness* an. Zudem wurde keine der geometrischen Formeln



im Rahmen einer psychophysikalischen Studie bzgl. der menschlichen Wahrnehmung evaluiert. Die geometrischen Faktoren der Formeln sind in Abbildung 5.2 dargestellt.



**Abbildung 5.2:** Darstellung minimaler Radius und Krümmungsverlauf einer Kurve

PODEHL [2002] (Formel (5.2)), GIANNINI ET AL. [2004] (FORMEL (5.3)) und PETROV [2016, S. 53] Formel (5.4)) beschreiben folgende Zusammenhänge:

$$Softness = r_{min} \quad (5.2)$$

$$Softness = \frac{r}{l} = \frac{\left(\frac{1}{l} \cdot \int_0^l \kappa(u) du\right)^{-1}}{l} = \left(\int_0^l \kappa(u) du\right)^{-1} \quad (5.3)$$

$$Softness = \frac{r_{min}}{l} \quad (5.4)$$

PODEHL [2002] beschreibt ebenso wie GIANNINI ET AL. [2004] und PETROV [2016, S. 53], dass die Länge der anliegenden Kurve bzw. der Betrachtungsabstand relevant sind. In der Formel (5.2) wird aber lediglich der minimale Radius genannt. Die Kennzahl *Softness* erhält somit eine Einheit (mm) und ist nicht dimensionslos und skalierungsunabhängig. GIANNINI ET AL. [2004] und PETROV [2016, S. 53] setzen den Radius in Relation zur Länge der Kurve, was einer relativen, skalierungsunabhängigen Beschreibung entspricht. Welcher Bereich einer Kurve für die Berechnung relevant ist, wird allerdings nicht weiter spezifiziert. Während PETROV [2016, S. 53] den minimalen Radius aufgreift (vgl. Krümmungsextrema-Kante in Kapitel 2.4.3.4), verwenden GIANNINI ET AL. [2004] den durchschnittlichen Radius über die Länge der Kurve. Dieser wird anhand des Kehrwerts des Krümmungsintegrals ermittelt. Anzumerken ist, dass das Integral der Krümmungswerte entlang einer Kurve dem Winkel (im Bogenmaß) zwischen den Tangentialvektoren von Start- und Endpunkt der Kurve entspricht und auch Totalkrümmung genannt wird [WEITZ 2019, S. 83f.].

PODEHL [2002], GIANNINI ET AL. [2004] beschreiben weiterhin die *Hardness* (Härte) wie folgt:

$$\textit{Hardness} = \textit{Sharpness} (\textit{Blendkurve}) \cdot \textit{Softness} (\textit{Basiskurve}) \quad (5.5)$$

Inwiefern sich eine Kurve in Blendkurve (bzw. Flächenübergangskurve) und Basiskurve (Kurve auf anliegender Fläche) aufteilt, bleibt unbeantwortet. Die Definitionen von *Softness* und *Sharpness* werden neben der Beschreibung von Querschnittskurven der Flächenübergänge auch für die Charakterisierung von Flächen eingesetzt.

Insgesamt stellen GIANNINI ET AL. [2004] und PETROV [2016] dimensionslose und skalierungsunabhängige Ansätze vor. Relevant dabei sind neben dem minimalen Radius, auch der Winkel der anliegenden Flächen am Flächenübergang und die Längen von Blendkurve und Basiskurven der anliegenden Flächen. Ein Bezug der geometrischen Angaben zu der wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheit bleibt offen. Erwähnenswert ist, dass PETROV [2016, S. 149ff.] bei seinen Untersuchungen zur Wahrnehmung der sog. „Flachheit“ von Oberflächen und Objekten diverse Oberflächen- und Objektmessungen sowie Krümmungseigenschaften als relevante geometrische Faktoren ermittelt hat.

Wie in Kapitel 2.4.3.4 beschrieben, ist die metrische Bewertung von Oberflächen generell schwierig [vgl. TODD & NORMAN 2003]. Forschungsarbeiten in der Psychophysik betrachten beispielsweise nur die Krümmung an abstrakten 3D-Körpern [vgl. TODD & MINGOLLA 1983], Bewertungen von Normalenvektoren auf der Oberfläche [vgl. TODD 2004, S. 117] oder arbeiten mit einzelnen 2D-Kurvenabschnitten [vgl. DRESP ET AL. 2007]. Eine Unterscheidung zwischen Fläche und Flächenübergang ist dabei nicht vorhanden. Die direkte Übertragung der Ergebnisse auf eine wahrgenommene Flächen- und Kantenrundheit ist nicht möglich.

### 5.2.2 Geometrischer Modellierungsansatz

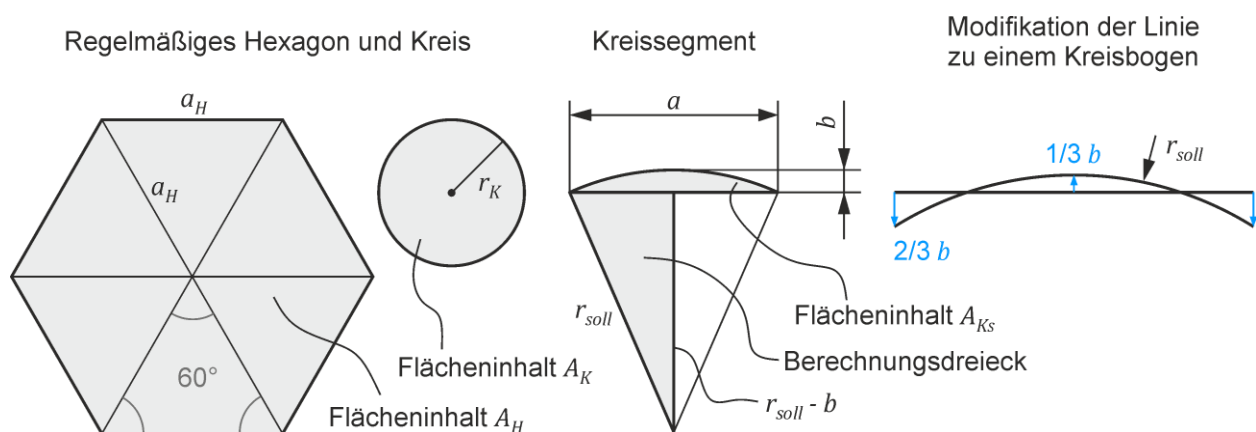
Die Beschreibung des Modellierungsansatzes bezieht sich auf die rechteckigen bzw. quadratischen und hexagonalen Querschnitte aus Kapitel 5.1.2. Nach Oberkapitel 5.2 ist es das Ziel, eine möglichst skalierungsunabhängige, relative Parametrisierung für die geometrische Flächen- und Kantenrundheit zu entwickeln. Analog zu Kapitel 5.2.1 wird der Modellierungsansatz vor allem an 2D-Kurven beschrieben und anschließend auf 3D-Körper übertragen.

Gestaltet wird nach Kapitel 2.2.5 mit Flächenmodellen in einem 3D-CAD / CAS-System. Als CAD / CAS-System wird Rhinoceros (Version: Rhino 7) und das beinhaltete Plugin Grasshopper (Version: 1.0.0007) eingesetzt. Rhinoceros zeichnet sich neben der Offenheit für zahlreiche Plugins durch umfangreiche NURBS- und Polygongestaltungsoperationen für Freiformflächen aus [RHEE & KIM 2019, S. 8ff.]. Das Plugin Grasshopper ist ein

algorithmusbasiertes Modellierungswerkzeug, welches wiederum offen für zahlreiche Plugins ist [RHEE & KIM 2020, S. 8ff.]. Neben dem Modellieren mittels Algorithmen können u. a. erstellte Kurven und Flächen direkt geometrisch analysiert werden und das Ergebnis als Eingabeparameter in nachfolgenden Modellierungsschritten weiterverarbeitet werden. In den letzten Jahren wurden bei der Erzeugung von Formvarianten im Produktdesign häufig Rhinoceros und Grasshopper eingesetzt [MANAVIS ET AL. 2023]. Exemplarisch für die Nutzung von Grasshopper können die Arbeiten von ALCAIDE-MARZAL ET AL. [2020] und MANAVIS & KYRATIS [2021] genannt werden. Die Definitionen für *Softness* und *Sharpness* von GIANNINI ET AL. [2004] (siehe Kapitel 5.2.1) werden weiterhin von CUPAR ET AL. [2014] in Grasshopper zur Flächenanalyse angewendet.

Entsprechend der Vorgaben an die Reizmuster (Kapitel 5.1.1) ist eine reine Formgebung ohne Formkontrast erforderlich. Zentral ist zudem, dass Volumenänderungen bei Anpassung der Parameter weitgehend vermieden werden. Dies bedingt eine einheitliche Modellierung, unabhängig von einem rechteckigen oder hexagonalen Querschnitt. Analog zu Kapitel 4.1.1 werden erst die Flächen modelliert und anschließend die Flächenübergänge für die Kantenrundheit hinzugefügt.

Für den ersten Schritt (Modellierungsansatz für Flächenrundheit) ist der hexagonale Querschnitt die Basis. Bei diesem existieren die Extremzustände des regelmäßigen Hexagons und eines Kreises. Relevant ist daher, bei schrittweiser Umwandlung des Querschnitts den Flächeninhalt weitgehend konstant zu halten. Die nachfolgend eingesetzten Formelzeichen werden durch Abbildung 5.3 illustriert.



**Abbildung 5.3:** Visualisierung von Formelzeichen der Flächenrundheit

Für den Flächeninhalt eines regelmäßigen Hexagons  $A_H$  und des Kreises  $A_K$  gilt [HARRIS & STOCKER 1998, S. 88ff.]:

$$A_H = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2} \cdot a_H^2 \tag{5.6}$$

$$A_K = \pi \cdot r_K^2 \quad (5.7)$$

Durch die Gleichsetzung dieser Flächeninhalte und anschließende Auflösung nach dem Kreisradius  $r_K$  ergibt sich folgender minimaler Kreisradius:

$$r_K = \sqrt{\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2\pi}} \cdot a_H \approx 0,9094 \cdot a_H \quad (5.8)$$

Die Modifikation einer geraden Querschnittskurve  $a$  zu einem Kreisbogen mit dem Sollradius  $r_{soll}$  kann anhand des Faktors  $F_{mod}$  berechnet werden:

$$r_{soll} = \sqrt{\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2\pi}} \cdot a \cdot F_{mod} \quad (5.9)$$

Dabei entspricht  $F_{mod} = 0$  einer geraden Linie und  $F_{mod} = 1$  dem minimal möglichen Kurvenradius, bei dem ein Kreisquerschnitt entsteht. Für die spätere Verrundungsoperation des Flächenübergangs sind allerdings Ecken im Querschnitt bzw. scharfe Kanten im Flächenverschnitt erforderlich. Daher wird für  $F_{mod}$  der Wertebereich auf  $0 \leq F_{mod} \leq 0,8$  limitiert (siehe Abbildung 5.4).

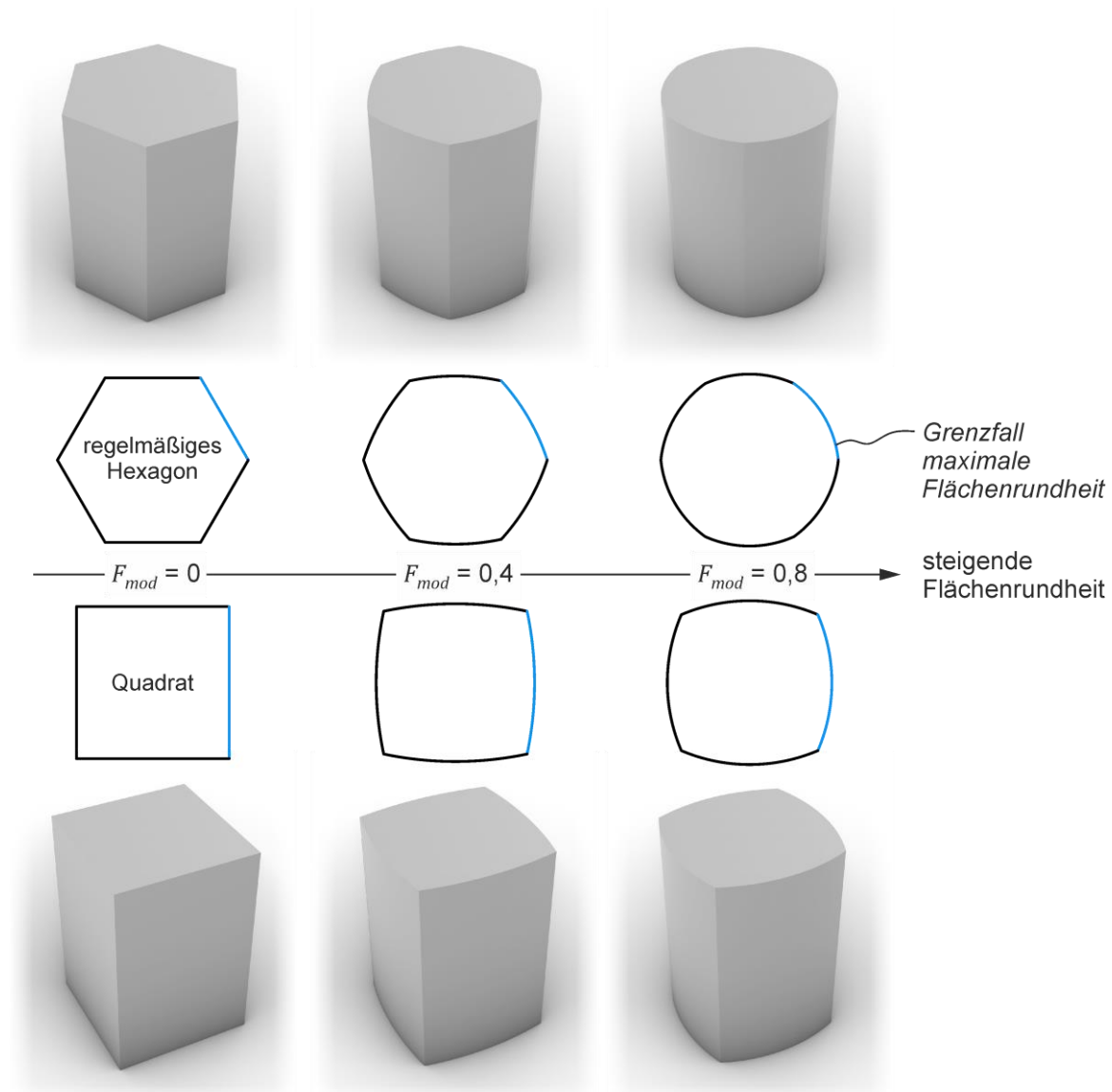
Damit eine gerade Querschnittskurve  $a$  anhand des Mittelpunkts und der Endpunkte zu einem Kreisbogen modifiziert werden kann, ist die Betrachtung des Kreissegments (siehe Abbildung 5.3) und dessen Flächeninhalt erforderlich [HARRIS & STOCKER 1998, S. 92f.]:

$$A_{KS} \approx \frac{2}{3} \cdot a \cdot b \quad (5.10)$$

Dementsprechend müssen für eine weitgehende Beibehaltung des Flächeninhalts die Endpunkte der geraden Linie um  $2/3 b$  orthogonal nach innen und der Mittenpunkt um  $1/3 b$  orthogonal nach außen bewegt werden. Mittels des Satz des Pythagoras kann aus dem Berechnungsdreieck am Kreissegment (siehe Abbildung 5.3) die Verschiebung um die Kreissegmenthöhe  $b$  in Abhängigkeit zu  $r_{soll}$  berechnet werden. Aufgelöst nach der Kreissegmenthöhe  $b$  ergibt sich:

$$b = r_{soll} - \sqrt{r_{soll}^2 - \frac{a^2}{4}} \quad (5.11)$$

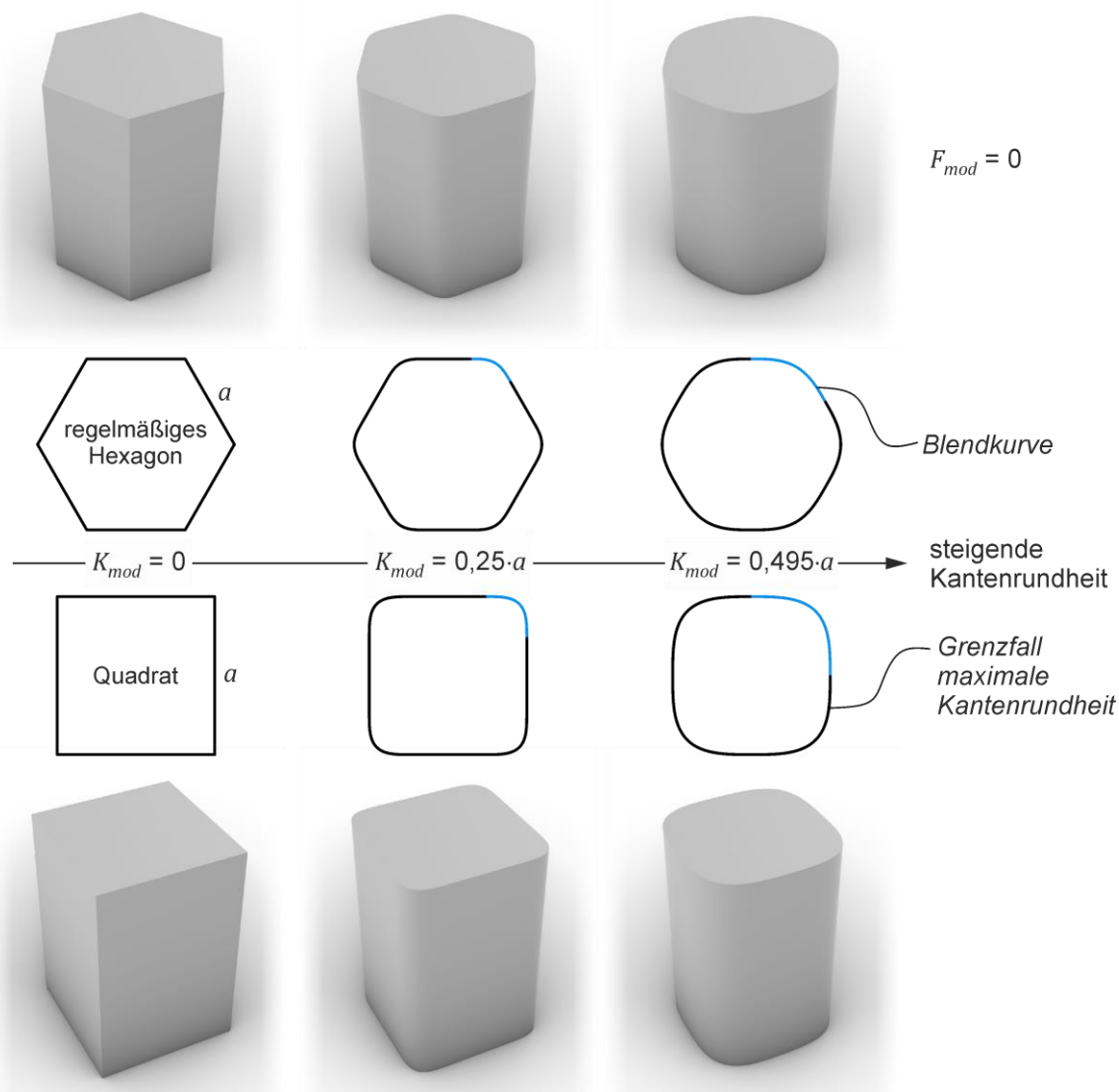
Mittels der Formeln (5.9) und (5.11) kann daher eine beliebige Querschnittskurve  $a$  durch die Modifikation  $F_{mod}$  in einen Kreisbogen gewandelt werden. Nach dem Verschnitt der Kreisbögen entsteht ein neuer Querschnitt bzw. durch Extrusion ein Körper (siehe Abbildung 5.4)



**Abbildung 5.4:** Querschnittsanpassung und Extrusionskörper - Flächenrundheit

Der zweite Schritt (Modellierungsansatz für Kantenrundheit) enthält die Verrundung der Ecken des Querschnitts und wird prinzipiell erst an einem 3D-Flächenverschnitt bzw. 3D-Körper durchgeführt. Exemplarisch wird eine Extrusion eines Querschnitts getätigt. An der scharfen Kante zwischen den Flächen (Flächenschnittkurve) wird mittels der Rhinoceros / Grasshopper-Operation „Fillet Edge“ eine  $G^2$ -stetige Blendfläche eingefügt (Vorgehen analog zu Kapitel 2.2.5.3). Dabei wird immer der identische Algorithmus genutzt und keine ergänzende Anpassung der NURBS-Stützpunkte durchgeführt, sodass alle Blendflächen auch bei unterschiedlichen Skalierungen vergleichbar sind (vgl. Kapitel 2.2.3.2). Dieser Prozess ist in Abbildung 5.5 zusammen mit dem daraus resultierendem 2D-Querschnitt dargestellt. Die Kantenverrundung wird über den Eingabeparameter „Abstand Flächenpatchberandung zu Flächenschnittkurve“ in Rhinoceros / Grasshopper als Modifizierungsfaktor der Kante  $K_{mod}$  gesteuert.

Als Grenzfall limitiert die Länge der geraden Querschnittskurve  $a$  bei quadratischem Querschnitt (ebene Flächen) den Faktor  $K_{mod}$ . Bei diesem Querschnitt liegen spitzere Winkel zwischen den geraden Querschnittskurven als bei Kurven des hexagonalen Querschnitts vor. Da gemäß Kapitel 5.2.1 der Winkel relevant ist, ist davon auszugehen, dass bei den stumpferen Winkeln des hexagonalen Querschnitts ein geringerer Modifizierungsfaktor  $K_{mod}$  als bei quadratischem Querschnitt erforderlich ist. Damit 1 % der Fläche bei symmetrischer Verrundungsoperation verbleiben und nicht weggeschnitten werden (vgl. Kapitel 2.2.5.3), beträgt der maximale Modifizierungsfaktor  $K_{mod}$  49,5 % der Kantenlänge der geraden Querschnittskurve  $a$  (siehe Abbildung 5.5).



**Abbildung 5.5:** Querschnittsanpassung und Extrusionskörper - Kantenrundheit

Im Querschnitt wird das neue Kurvensegment als Blendkurve bezeichnet (siehe Abbildung 5.5). Der Flächeninhalt des Querschnitts bzw. Volumen des Extrusionskörpers wird

mit zunehmender Kantenverrundung verringert. Dies wird akzeptiert, da eine gleichzeitige Skalierung des gesamten Körpers als größerer Störfaktor bei der Betrachtung und Bewertung von Reizmustern angesehen wird.

Das Verfahren zur Umwandlung des Hexagonquerschnitts in einen Kreis werden in ähnlicher Form von RAJAPAKSE ET AL. [2009] angewendet. Die kontinuierliche Verrundung von Ecken im Querschnitt bzw. von Flächenschnittkurven bei Körpern wird in vergleichbarer Art von HUI & LI [1997] und GOPSILL ET AL. [2021] mit  $G^1$ -stetigen Übergängen durchgeführt.

Die Faktoren  $F_{mod}$  und  $K_{mod}$  beschreiben geometrische Modifikationen. Inwiefern diese Modifikationen Auswirkungen auf die Wahrnehmung von Flächen- und Kantenrundheit haben, ist nicht bekannt. Für eine einheitliche Modifikation (reine Formgebung) bei unterschiedlichen Flächenproportionen und -winkeln ist der Bezug einer geometrischen Rundheit zu einer wahrgenommenen Rundheit erforderlich (vgl. Kapitel 5.2.1).

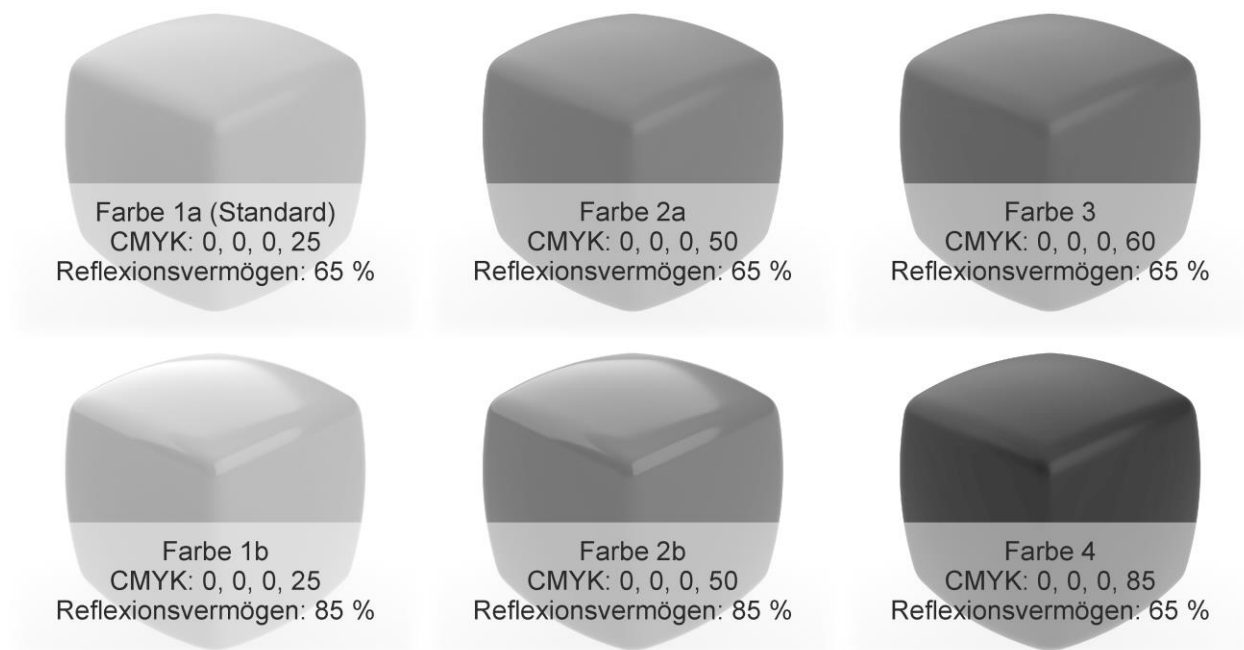
### 5.3 Reizmusterdarstellung

Für die Reizmusterabbildung wird die Zentralprojektion eingesetzt, da diese der menschlichen visuellen Wahrnehmung entspricht [BONITZ 2009, S. 43]. Bzgl. der Rendering-Qualität beschreibt WARE [2021, S. 285f.] eine Art Richtlinie für eindeutige und klare Oberflächendarstellung:

Demnach ist eine einfache Lichtquelle, die unendlich weit über dem Betrachtungsobjekt angeordnet ist, besser als eine komplexe Anordnung mehrerer Lichtquellen. Dabei soll Licht an der Oberfläche absorbiert, gestreut und reflektiert werden (lambertsche und spiegelnde Schattierung). Zudem ist ein einfacher Schattenwurf mit unscharfen Rändern zur Unterscheidung zwischen Oberflächenpigment und Schatten von Vorteil. [WARE 2021, S. 285f.]

Der Anzeigemodus „Gerendert“ in Rhinoceros erfüllt diese Angaben und wird daher für die Reizmusterdarstellung genutzt. Für die optimale Darstellung werden die NURBS-Modelle für das Rendering in Polygonmodelle umgewandelt (vgl. Kapitel 2.2.5.1). Damit die Teilgestalt Farbe keinen Einfluss auf Probanden hat, werden neutrale Grautöne ohne Texturdetails genutzt. Da die gestaltbaren Oberflächen der fokussierten Produktgruppen (siehe Kapitel 5.1.2) vorwiegend aus Kunststoff bestehen, wird das Rhinoceros-Material „Plastik“ eingesetzt. Bei diesem können neben Farbton (CMYK) und Reflexionsvermögen auch Transparenzwerte eingestellt werden [RHINO 2022]. Transparenz wird für die Darstellung der Formgestalt nicht genutzt (vgl. Kapitel 4.1.2). Als Standardfarbe (Farbe 1a in Abbildung 5.6) kommt ein helles Grau für sichtbaren dunklen Schattenwurf zum Einsatz. Dabei ist das Reflexionsvermögen gering, um die Aufmerksamkeit der Probanden nicht

auf hellstrahlende Highlights zu lenken. Die Standardfarbe ist neben weiteren unbunten Farben für den Einsatz in dieser Arbeit in Abbildung 5.6 dargestellt. Farbe 1b, 2a und 2b sind Variationen der Standardfarbe 1a und Farbe 3 und 4 dienen der Differenzierung von Produktelementen. Weiterhin wird ein neutraler, weißer Hintergrund bzw. Boden für den Schattenwurf verwendet. Die Lichtquelle befindet sich nahezu unendlich über dem Reizmuster.



**Abbildung 5.6:** Farbdarstellung an exemplarischen Grundkörpern (Rendering) inkl. Beschreibung der Farbparameter

## 5.4 Vorstudie zu geometrischen und wahrgenommenen Rundheiten

Entsprechend des Bedarfs der Verknüpfung von geometrischer und wahrgenommener Flächen- und Kantenrundheit (vgl. Kapitel 5.2) beschreibt dieses Kapitel eine explorative Vorstudie.

### 5.4.1 Studienplanung und -design

Die Studie erforscht quantitativ neue Sachverhalte zu vielen Variablen (u. a. Krümmungen, Längen, Winkel; vgl. Kapitel 5.2.1) und ist daher eine explorative Untersuchung [DÖRING & BORTZ 2016, S. 621ff.]. Im ersten Schritt wird die Forschungsfrage formuliert (Kapitel 5.4.1.1). Anschließend werden Ablauf und Untersuchungsmodelle beschrieben (Kapitel 5.4.1.2). Zuletzt erfolgt die Erläuterung des Versuchsaufbaus (Kapitel 5.4.1.3).

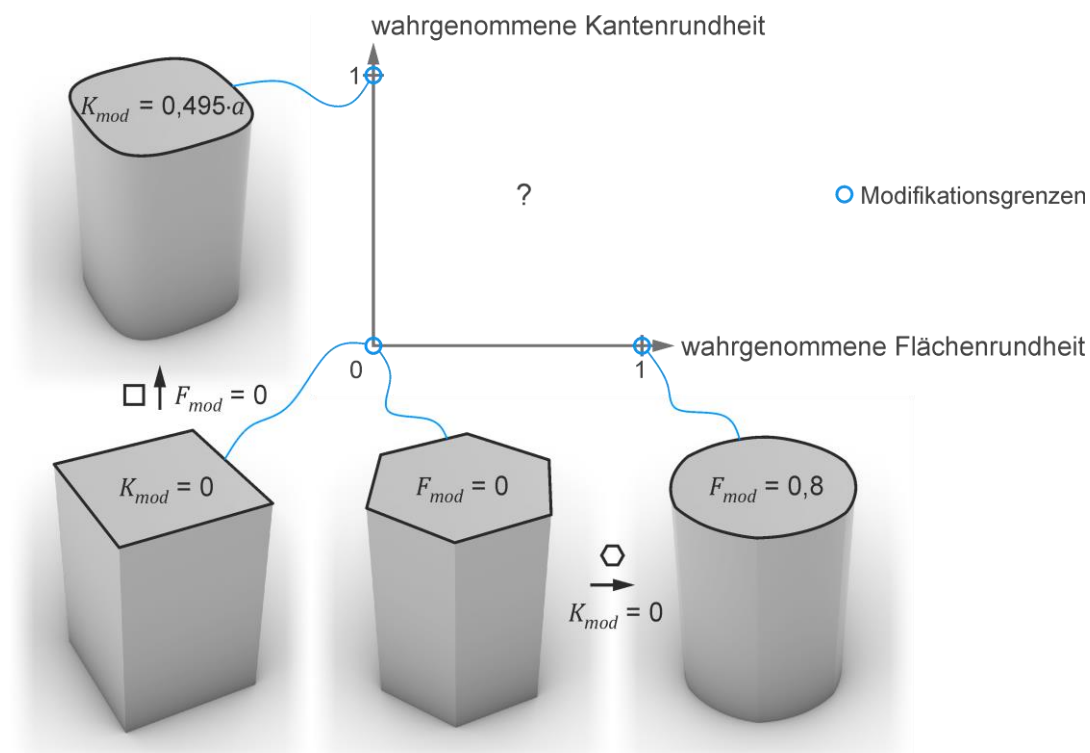


### 5.4.1.1 Forschungsfrage

Nach Kapitel 5.2.2 bestehen für extrudierte Körper vier Grenzquerschnitte, die sich aus dem Aufbau und den geometrischen Modifikationsgrenzen ergeben:

- Quadratischer Querschnitt mit  $F_{mod} = 0$  &  $K_{mod} = 0$ : Grenzfall minimale Flächen- und Kantenrundheit.
- Regelmäßiger hexagonaler Querschnitt mit  $F_{mod} = 0$  &  $K_{mod} = 0$ : Grenzfall minimale Flächen- und Kantenrundheit.
- Hexagonaler Querschnitt mit  $F_{mod} = 0,8$  &  $K_{mod} = 0$ : Grenzfall maximale Flächenrundheit bei minimaler Kantenrundheit.
- Quadratischer Querschnitt mit  $F_{mod} = 0$  &  $K_{mod} = 0,495 \cdot a$ : Grenzfall minimale Flächenrundheit bei maximaler Kantenrundheit.

Diese Grenzquerschnitte bzw. -körper spannen ein Koordinatensystem für die wahrgenommene Flächen- und Kantenrundheit auf (siehe Abbildung 5.7). Auf der x-Achse ist die wahrgenommene Flächenrundheit eingetragen und entlang der y-Achse befindet sich die wahrgenommene Kantenrundheit. Die wahrgenommene Flächen- und Kantenrundheit wird anhand der beschriebenen Grenzquerschnitte auf Zahlenwerte zwischen 0 und 1 skaliert. Alle weiteren Querschnitte bzw. deren geometrischen Eigenschaften in dem Koordinatensystem sind unbekannt.



**Abbildung 5.7:** Koordinatensystem wahrgenommener Flächen- und Kantenrundheit inkl. Grenzfälle

Es wird davon ausgegangen, dass das Erleben der wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheit anhand der Stevens'schen Potenzfunktion (Formel (2.9)) mit den physikalischen Reizen der geometrischen Flächen- und Kantenrundheit zusammenhängt (vgl. Kapitel 5.2). Für die geometrische Flächenrundheit ( $gFR$ ) und wahrgenommene Flächenrundheit ( $wFR$ ) bzw. geometrische Kantenrundheit ( $gKR$ ) und wahrgenommene Kantenrundheit ( $wKR$ ) gilt:

$$wFR = c_{S-FR} \cdot gFR^{n_{FR}} \quad (5.12)$$

$$wKR = c_{S-KR} \cdot gKR^{n_{KR}} \quad (5.13)$$

Dabei stellen  $c_{S-FR}$  und  $c_{S-KR}$  je eine Konstante für die Skalierung der Geometrie auf den beschriebenen Wahrnehmungsbereich  $0 \leq wFR \leq 1$  und  $0 \leq wKR \leq 1$  dar. Unbekannt sind die geometrische Flächen- und Kantenrundheit ( $gFR$  &  $gKR$ ) und deren Exponenten ( $n_{FR}$  &  $n_{KR}$ ).

Die Forschungsfrage lautet: Wie lässt sich der Zusammenhang der geometrischen und wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheit anhand der Formeln (5.12) und (5.13) quantifizieren?

#### 5.4.1.2 Versuchsablauf und Untersuchungsmodelle

Bei der vorliegenden Fragestellung sind sowohl die Faktorzusammensetzung der geometrischen Reize ( $gFR$  &  $gKR$ ) als auch die Exponenten der Potenzfunktionen ( $n_{FR}$  &  $n_{KR}$ ) unbekannt. Nach Kapitel 2.4.2 betrifft diese psychophysikalische Fragestellung vor allem die „Gleichheit der Intervalle“ bzw. „Gleichheit der Verhältnisse“, da die Eckpunkte der Matrix bereits bekannt sind, nicht aber die dazwischenliegende Geometrien. Als simpelste psychologische Operation für die „Gleichheit der Intervalle“ und „Gleichheit der Verhältnisse“ beschreibt STEVENS [1958, S. 39ff.] die Halbierungs-Operation, welche im Gegensatz zur gleichzeitigen Modifikation mehrerer Stimuli für Probanden deutlich einfacher ist. Ein weiterer Aspekt ist die „Gleichheit“ (vgl. Kapitel 2.4.2), um z. B. identische wahrgenommene Kantenrundheiten bei unterschiedlichen Flächenrundheiten oder Grundquerschnitten zu untersuchen.

Nach Kapitel 2.4.2.3 eignet sich die Herstellungsmethode für unbekannte Zusammenhänge am besten. Zudem beschreibt STEVENS [1958, S. 43] die Herstellungsmethode als geeignet für Aufgaben der „Gleichheit der Intervalle“, „Gleichheit der Verhältnisse“ und „Gleichheit“. Daher wird bei der Vorstudie die Herstellungsmethode eingesetzt.

Im Nachfolgenden werden „Gleichheit der Intervalle“ und „Gleichheit der Verhältnisse“ in dem Begriff „Skalierung“ zusammengefasst, da bei einer Halbierungsoperation zwischen

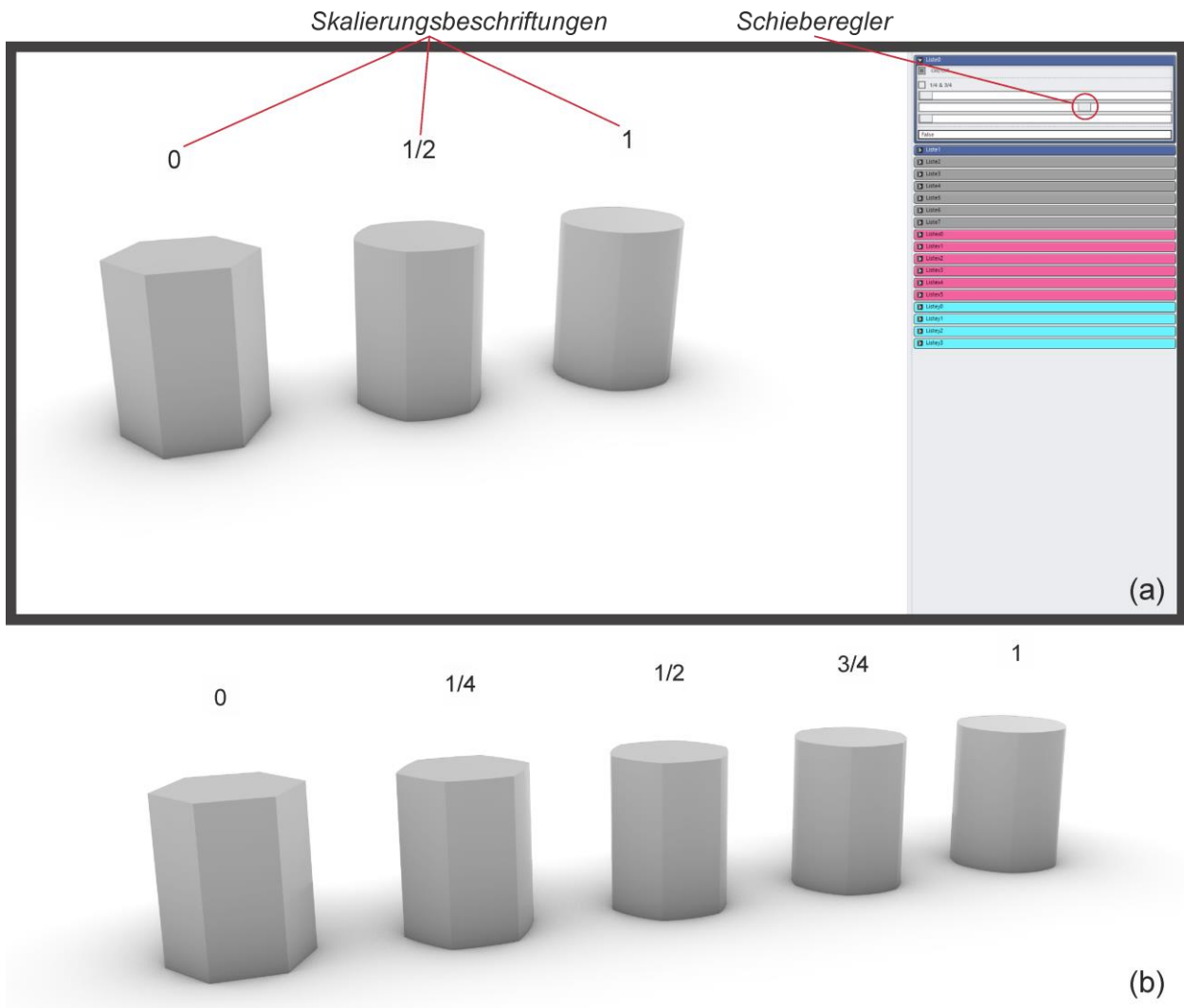
0 und 1 beides beinhaltet ist [vgl. GRONDIN 2016, S. 13f.]. „Gleichheit“ beschreibt weiterhin identische wahrgenommene Flächen- oder Kantenrundheiten.

Nach dem Modellierungsvorgehen (vgl. Kapitel 5.2.2) wird die Flächenrundheit lediglich mit nicht verrundeten Flächenübergängen betrachtet. Dabei ist die Untersuchung der Gleichheit nicht erforderlich, da bereits drei Grenzquerschnitte bekannt sind. Zudem wird der Unterschied zwischen Querschnitten (Körperrundheit) nicht untersucht, sondern nur die Rundheit der Flächen eines Körpers. Dementsprechend müsste der Modifizierungsfaktor  $F_{mod}$  bei quadratischem und hexagonalem Grundquerschnitt bei gleicher wahrgenommener Flächenrundheit  $wFR$  identisch sein. Ein Nachweis dieses Zusammenhangs soll in dieser Vorstudie erfolgen. Eine Betrachtung der Kantenrundheit ist allerdings nicht ohne anliegende Flächen mit einer spezifischen Flächenrundheit möglich. Dementsprechend fällt der Versuchsteil für die Kantenrundheit umfangreicher als der Anteil für die Flächenrundheit aus.

Nach Abbildung 5.7 ist lediglich für zwei Querschnitte der Wert  $wFR = 1$  bzw.  $wKR = 1$  bekannt. Für Skalierungsuntersuchungen werden daher nach eigener Abschätzung Querschnitte mit dem Wert 1 für die Rundheit beschriftet. Bei diesen angenommenen Skalierungsbeschriftungen ist bei der Auswertung eine Korrektur auf den resultierenden wahrgenommenen Rundheitswert erforderlich. Alle weiteren Referenzpunkte innerhalb des Koordinatensystems entsprechen ebenso eigenen Abschätzungen.

Die Vorstudie und die Darstellung der Reizmuster finden entsprechend Kapitel 5.2.2 in Rhinoceros und Grasshopper statt. Dabei kann der Proband im CAD-Programm die Kameraposition zu den Untersuchungsmodellen anhand der Eingabegeräte (Maus und Tastatur) selbstständig variieren. Dies ermöglicht ansichtsunabhängige Betrachtungen und Bewertungen. Für die Flächenrundheit wird ein Grundkörper mit hexagonalem Querschnitt ( $a = 62,5$  mm, Höhe = 150 mm) mit ebenen Flächen und der maximalen geometrischen Modifikation ( $F_{mod} = 0,8$ ) als Referenzkörper präsentiert und mit den Skalierungswerten 0 und 1 beschriftet (siehe Abbildung 5.8a). In der Mitte zwischen diesen Körpern wird ein Modifikationskörper dargestellt, welcher mit  $1/2$  beschriftet ist und anhand eines Schiebereglers bzgl. der Flächenrundheit modifiziert werden kann. Die Aufgabe für die Probanden lautet: „*Stellen Sie die Flächenrundheit entsprechend der Skalierungsbeschriftung ein.*“ Um mehr Bewertungsdaten generieren zu können, werden anschließend die Abstände der Körper vergrößert und zwei weitere Modifikationskörper mit den Skalierungsbeschriftungen  $1/4$  und  $3/4$  eingefügt (siehe Abbildung 5.8b). Zwischen allen Körpern besteht immer der identische Abstand. Der Proband modifiziert nun an diesen die Flächenrundheit und kann ggf. auch nochmals den mittleren Modifikationskörper (Skalie-

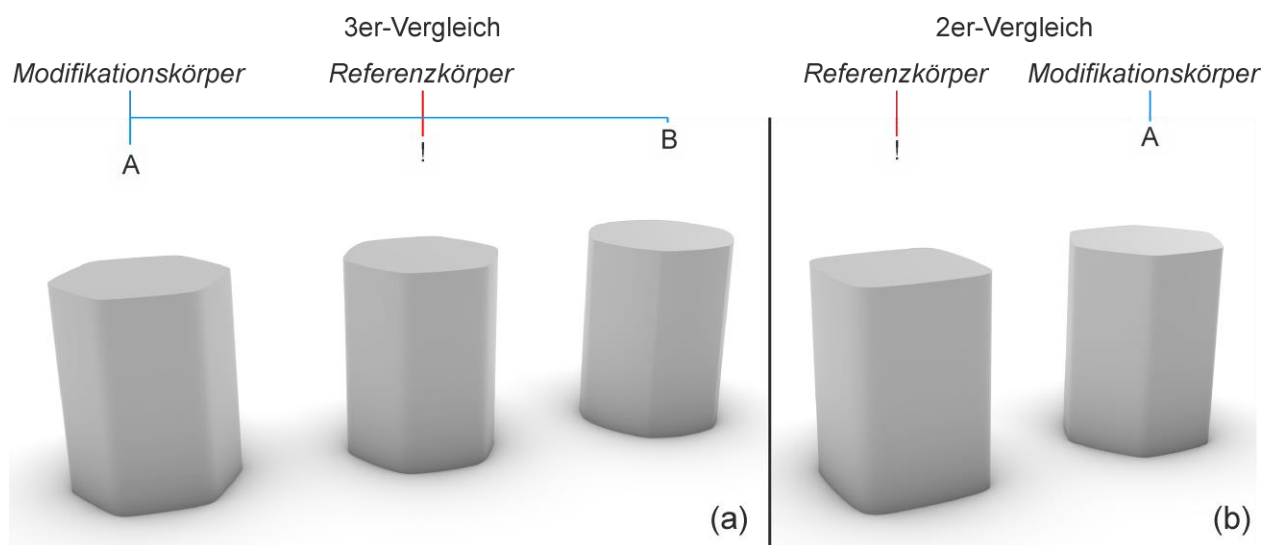
rungsbeschriftung 1/2) anpassen. Das identische Vorgehen wird mit Körpern mit quadratischem Querschnitt (ebener Grundkörper;  $a = 100$  mm, Höhe = 150 mm für vergleichbare Produktabmessungen entsprechend Kapitel 5.1.1) durchgeführt. Dabei wird der Referenzkörper mit dem Skalierungswert 1 nach eigener Abschätzung festgelegt. Abbildung 5.10 enthält die Versuchsdarstellung im Koordinatensystem der wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheit. Blau dargestellt sind die Skalierungsreihen der Flächenrundheit.



**Abbildung 5.8:** Bildschirmdarstellung (a) der Vorstudie und Beispiel für Skalierungsmodifikationen einer Reihe (b), dargestellt bzgl. der Flächenrundheit

Für die Kantenrundheit wird das identische Vorgehen der Flächenrundheit angewendet. Allerdings kommen dafür drei Flächenrundheiten mit geringer, mittlerer und hoher Flächenrundheit als Basis zum Einsatz. Pro Grundquerschnitt sind daher drei Skalierungsreihen enthalten Um den Extremfall des nahezu kreisförmigen hexagonalen Grundquerschnitts (siehe Abbildung 5.7) zu vermeiden, wird für die hohe Flächenrundheit ein Wert

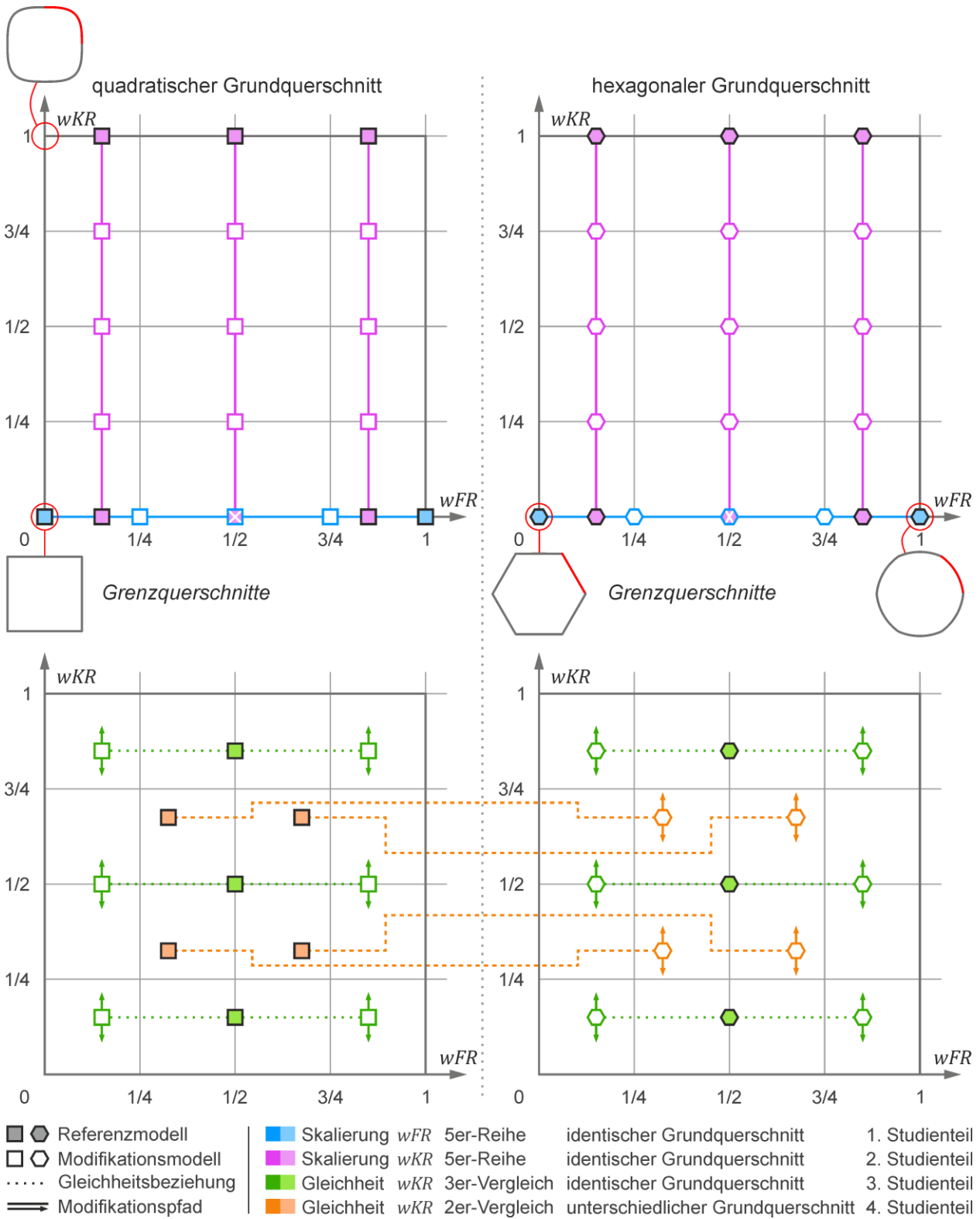
von ca.  $wFR = 0,85$  angenommen (siehe Abbildung 5.10, lila). Bei dieser Flächenrundheit können verschiedene Kantenverrundungen besser visuell differenziert werden als bei  $wFR = 1$ . Symmetrisch dazu entspricht die niedrige Basisflächenrundheit ca.  $wFR = 0,15$ . Die Skalierungsbeschriftung 0 beschreibt einen unverrundeten Grundkörper, während die Skalierungsbeschriftung 1 nach eigener Abschätzung festgelegt wird. Je Skalierungsreihe sind dabei die Flächenrundheit und der Grundquerschnitt jedes Körpers identisch. Ergänzend ist bei der Kantenrundheit die Gleichheit zwischen Kantenverrundungen bei Grundkörpern mit unterschiedlicher Flächenrundheit relevant. Dafür wird ein Grundkörper mit mittlerer Flächenrundheit als Referenzkörper gewählt und je ein Modifikationskörper mit geringer und hoher Flächenrundheit ausgewählt. Die Modifikationskörper werden für die Probanden mit identischen Abständen neben dem Referenzkörper platziert und bzgl. der Kantenrundheit mit einem Schieberegler modifiziert (siehe Abbildung 5.9a). Die Aufgabe für die Probanden lautet: „*Stellen Sie die identische Kantenrundheit der Körper ein.*“ Für eine große Abdeckung des relevanten Bereichs des Koordinatensystems wird die Gleichheit jeweils bei niedriger, mittlerer und hoher angenommener Kantenrundheit durchgeführt (siehe Abbildung 5.10, grün). Dabei haben die Körper pro Einzelaufgabe denselben Grundquerschnitt.



**Abbildung 5.9:** Beispieldarstellung der Vergleichsaufgaben (Gleichheit) bzgl. der Kantenrundheit

Da in Kapitel 5.2.1 der Winkel zwischen den Flächen und die Größe der anliegenden Flächen als relevant identifiziert wurde, muss zuletzt auch bei unterschiedlichem Grundquerschnitt die Gleichheit der Kantenrundheit ermittelt werden. Dafür werden vier gleichmäßig in der Matrix verteilte Referenzflächen- und Referenzkantenrundheiten mit quadratischem Grundquerschnitt ausgewählt (siehe Abbildung 5.10, orange). Jeweils ein Modifikationskörper mit hexagonalem Grundquerschnitt und angenommener identischer

Flächenrundheit soll von den Probanden mittels eines Schiebereglers auf die gleiche Kantenrundheit eingestellt werden (siehe Abbildung 5.9b).



**Abbildung 5.10:** Darstellung der Aufgaben der Vorstudie im Koordinatensystem ( $wFR$  &  $wKR$ ) Skalierung oben / Gleichheit unten, inkl. Darstellung der Grenzquerschnitte aus Abbildung 5.7

In Abbildung 5.10 sind alle Aufgaben der Probanden qualitativ in je einem Koordinatensystem pro Grundquerschnitt dargestellt. Bei den oberen Koordinatensystemen sind zur Veranschaulichung der Geometrien die Grenzquerschnitte visualisiert. Die Reihenfolge der Hauptaufgaben entspricht dem Modellierungsvorgehen und obiger Erläuterungen (1. Skalierung Flächenrundheit, 2. Skalierung Kantenrundheit, 3. Gleichheit bei identischem Grundquerschnitt, 4. Gleichheit bei unterschiedlichem Grundquerschnitt). Innerhalb jeder der vier Versuchsgruppen erfolgt die Reihenfolge der Aufgaben randomisiert. Es kann nicht zu bereits bearbeiteten Aufgaben zurückgekehrt werden, um nachträglich Bewertungen zu überarbeiten.

Alle Untersuchungsmodelle entsprechen dem Modellierungsansatz nach Kapitel 5.2.2 und der Standardfarbe 1a nach Kapitel 5.3. Dabei sind pro vertikaler bzw. horizontaler Spur in Abbildung 5.10 je 250 Modelle mit gleichmäßigen  $F_{mod}$ - bzw.  $K_{mod}$ -Abständen vorhanden. Die Probanden werden angehalten, die Ansichten im CAD zu variieren und die Körper von mehreren Richtungen zu betrachten (ganzheitliche Betrachtung). Die Grundkörper besitzen einen Deckel bzw. Boden. Es wird betont, dass die Mantelfläche der Grundkörper und nicht der Deckel bzw. Boden in der Studie relevant ist. Weiterhin werden die Probanden ausdrücklich darauf hingewiesen, dass für die Bewertung nicht die Position des Schiebereglers, sondern die Darstellungen der Körper ausschlaggebend sind. Nach einer Einweisung in den Versuch erfolgt die Bearbeitung selbstständig durch die Probanden. Die Vorstudie hat eine Dauer von ca. 30 Minuten.

#### 5.4.1.3 Versuchsaufbau

Der Versuch findet in den Räumlichkeiten des Instituts (IKTD) statt. Es handelt sich demnach um eine Laborstudie mit neutraler Umgebung [vgl. DÖRING & BORTZ 2016, S. 205ff.]. Daher sind alle Möbel und Materialien unbunt. Der Proband bearbeitet die Aufgaben an einem höhenverstellbaren Tisch und kann zwischen stehender und sitzender Bearbeitung eigenständig wechseln. Auf dem Tisch befindet sich ein Monitor (BenQ PD2700U, 27 Zoll, 3480x2160) und die Eingabegeräte (Tastatur, Maus) für die Aufgabenbearbeitung (siehe Abbildung 5.11).

Ergänzend sind die Aufgabenbeschreibung und Interaktionsbefehle für CAD-Ansichtswechsel in Papierform vorhanden, da die gesamte Bildfläche des Monitors für die Rhinoceros-Darstellung der Untersuchungsmodelle genutzt wird. Als technisches System für die Echtzeitrenderings wird ein Desktop-PC (Intel Core i9-11900KF CPU, 64 GB Arbeitsspeicher, NVIDIA Geforce RTX 3090 Grafikkarte, Windows 10) eingesetzt. Zudem wird das Monitorbild des Probanden auf einen weiteren Bildschirm zur Überwachung durch den Versuchsleiter dupliziert.



**Abbildung 5.11:** Versuchsaufbau der Studie

## 5.4.2 Studienergebnisse

Dieses Kapitel beschreibt das Auswertevorgehen (Kapitel 5.4.2.1), statistische Verfahren (Kapitel 5.4.2.2), Probandenkollektiv (Kapitel 5.4.2.3) und die Ergebnisse (Kapitel 5.4.2.4 & 5.4.2.5) der Vorstudie.

### 5.4.2.1 Vorgehen der Auswertung

DÖRING & BORTZ [2016, S. 621ff.] beschreiben für die quantitative Analyse bei explorativen Studien drei Auswertungsarten: Deskriptive (bzw. beschreibende) Statistik, inferentielle Statistik und Data-Mining. Angewendet werden bei der Auswertung Verfahren aus allen drei Bereichen. Details zu angewendeten Verfahren der deskriptiven und inferentiellen Statistik werden in Kapitel 5.4.2.2 beschrieben.

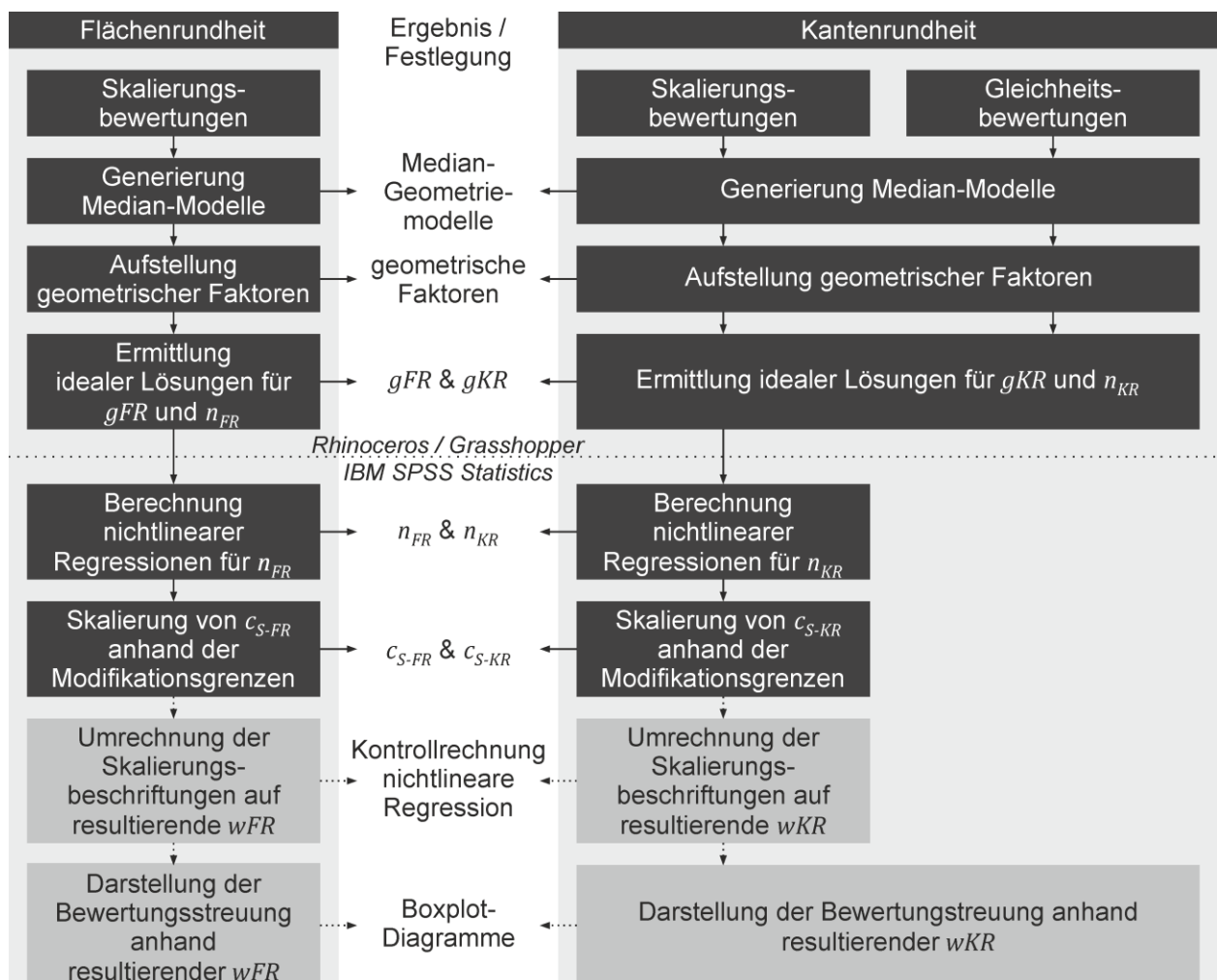
Das Vorgehen der Auswertung ist in Abbildung 5.12 visualisiert. Für die Auswertung ist zunächst das Skalenniveau der vorliegenden Daten relevant [ALBERT & MARX 2010, S. 105]. Die über den Schieberegler eingestellten CAD-Modelle haben metrische Eigenschaften. Da die Abstände zwischen den je 250 erstellten Modellen bzgl. der Wahrnehmung nicht gleichmäßig verteilt sind, muss die Bewertung der Probanden als ordinalskaliert angenommen werden. Dementsprechend wird jeweils das Median-Modell (CAD-Modell entsprechend des Medians der Bewertungen) in Rhinoceros / Grasshopper für die Analyse der geometrischen Eigenschaften herangezogen. Ein Vorteil ist zudem, dass der Median im Gegensatz zum Mittelwert nicht anfällig für Ausreißer ist [ALBERT & MARX 2010, S. 113].

Für Flächen- und Kantenrundheit werden jeweils skalierungsunabhängige Geometriefaktoren für die Querschnittskurven aufgestellt. Durch die Symmetrie der Querschnitte kann mit einzelnen Kurven statt des gesamten Querschnitts gerechnet werden. Für die unbekannte Gewichtung der Geometriefaktoren bekommen diese eine Variable als Exponent. Die Geometriewerte für die Geometriefaktoren werden in Rhinoceros / Grasshopper aus



den Median-Modellen ermittelt. Damit werden anhand evolutionärer Algorithmen in Grasshopper die idealen Gesamtfaktoren (inkl. Exponenten) für die geometrische Flächen- und Kantenrundheit ( $gFR$  &  $gKR$ ) zusammen mit den Exponenten der Stevens'schen Potenzfunktion ( $n_{FR}$  &  $n_{KR}$ ) ermittelt (vgl. Data-Mining-Vorgehen). Bis zu diesem Schritt werden sowohl die Skalierungsbewertungen als auch die Gleichheitsbewertungen einbezogen. Am Ende des Schrittes werden die geometrische Flächen- und Kantenrundheit ( $gFR$  &  $gKR$ ) festgelegt.

Nachfolgend werden die Daten von Rhinoceros / Grasshopper in IBM SPSS Statistics übertragen. Mit den Skalierungsbewertungen erfolgt die Berechnung nichtlinearer Regressionen zum Nachweis der Zusammenhänge (inferentielle Statistik) und zur präziseren Bestimmung der Exponenten und Konstanten der Stevens'schen Potenzfunktion. Die finalen Exponenten ( $n_{FR}$  &  $n_{KR}$ ) werden aus dem arithmetischen Mittel der Exponenten der nichtlinearen Regressionen gebildet. Die Konstanten  $c_{S-FR}$  und  $c_{S-KR}$  werden anhand der geometrischen Grenzfälle (siehe Kapitel 5.2.2) festgelegt.



**Abbildung 5.12:** Vorgehen der Auswertung der Vorstudie

Abschließend erfolgen Kontrollrechnungen (inferentielle Statistik) und grafische Ergebnisdarstellungen (deskriptive Statistik). Bei den Skalierungs-Datenreihen erfolgt eine Umrechnung der Skalierungsbeschriftungen (1/4, 1/2, 3/4, 1) auf die resultierende wahrgenommene Flächen- und Kantenrundheit.

Als „resultierende“ wahrgenommene Flächen- und Kantenrundheit wird die Interpretation des Median-Modells bzw. der Modelle der Schieberegler-Bewertungen der Probanden anhand der finalen Potenzfunktion bezeichnet. Die Bewertungen der Probanden werden demnach mit dem Ergebnis der explorativen Analyse beschrieben.

Für das Median-Modell mit der Skalierungsbeschriftung 1 wird die resultierende wahrgenommene Flächenrundheit bestimmt (z. B.  $wFR = 0,95$ ), da diese Werte bei der Studiererstellung teilweise nach eigener Abschätzung festgelegt wurden (siehe Kapitel 5.4.1.2). Anschließend werden die weiteren Skalierungsbeschriftungen der Datenreihe in resultierende wahrgenommene Flächenrundheiten umgerechnet (z. B.:  $wFR = 0,95/4$ ,  $0,95/2$ , etc.). Anhand dieser resultierenden wahrgenommenen Rundheitswerte und der geometrischen Werte der Median-Modelle wird eine nichtlineare Regression als Kontrollrechnung aller relevanten Skalierungsreihen durchgeführt. Zudem werden diese Werte in einem Streupunktdiagramm mit Regressionskurve visualisiert. Abschließend erfolgt die Darstellung der Bewertungsstreuungen anhand der intervallskalierten resultierenden wahrgenommenen Werte der Flächen- und Kantenrundheit ( $wFR$  &  $wKR$ ) in Boxplots für alle Skalierungs- und Gleichheitsbewertungen.

#### 5.4.2.2 Auswahl statistischer Verfahren und Ergebnisdarstellung

Bei der statistischen Auswertung kann zwischen deskriptiver und inferentieller Statistik unterschieden werden. Die deskriptive Statistik beschreibt die Ergebnisse und gibt einen Überblick über die Daten. Dabei werden häufig Grafiken und Tabellen eingesetzt. Die Inferenzstatistik prüft, ob Zusammenhänge und Unterschiede Zufallsprodukte sind oder ob aus der verhältnismäßig geringen Anzahl an Probanden auf eine allgemeingültige Aussage bzgl. der Grundgesamtheit geschlossen werden kann. Dabei werden Hypothesen aufgestellt und überprüft. [ALBERT & MARX 2010, S. 111], [STEINER & BENESCH 2021, S. 11ff.]

Als Teil der deskriptiven Auswertung werden vor allem absolute und relative Häufigkeiten, Mittelwerte (arithmetisches Mittel), Standardabweichung und Medianwerte angegeben. [vgl. ALBERT & MARX 2010, S. 111ff.], [vgl. STEINER & BENESCH 2021, S. 11ff.]. Neben Histogrammen bei Häufigkeitsverteilungen und Streupunktdiagrammen bei Zusammenhängen werden vor allem Boxplots für grafische Darstellungen eingesetzt. Im Boxplot werden Median, Mittelwert, Quartile und Ausreißer abgebildet [vgl. HEDDERICH & SACHS 2020, S. 82ff.]. Entsprechend LEWANDOWSKI & BOLT [2010] haben die Whisker die 1,5-fache

Länge des Interquartilsabstands. Ausreißer liegen ober bzw. unter diesen Grenzen und werden als extreme Ausreißer ab dem 3-fachen des Interquartilsabstands bezeichnet [EBD.]. Da Ausreißer in den Studien dieser Arbeit nach SCHENDERA [2007, S. 196ff.] nicht auf interne und externe Fehlerquellen zurückzuführen sind, verbleiben diese ohne Korrekturen im Datensatz für inferenzstatistische Auswertungen.

Bei der Durchführung inferenzstatistischer Verfahren wird generell die Statistiksoftware IBM SPSS Statistics (Version 28) eingesetzt. Nicht vorhandene Testverfahren werden eigenständig in Microsoft Excel berechnet. Dabei wird das gängige Signifikanzniveau (5 %) mit folgenden Stufen für den Signifikanzwert  $p$  eingesetzt und entsprechend mit Sternen markiert [DÖRING & BORTZ 2016, S. 665f.], [ALBERT & MARX 2010, S. 128]:

- Signifikant ( $p \leq 0,05$  \*),
- hoch signifikant ( $p \leq 0,01$  \*\*),
- höchst signifikant ( $p \leq 0,001$  \*\*\*).

Anhand der Regressionsanalyse können Zusammenhänge zwischen Variablen analysiert werden [BACKHAUS ET AL. 2021, S. 62]. Die klassische lineare Regression ist bei psychometrischen Funktionen (siehe Kapitel 2.4.2.1) nicht anwendbar. Daher kommt die nichtlineare Regression zum Einsatz, welche den Anwendungsbereich von Regressionsanalysen erweitert, aber Nachteile bei inferenzstatistischen Tests besitzt [BACKHAUS ET AL. 2015, S. 12]. Ein Kennwert bei der statistischen Prüfung der nichtlinearen Regression ist das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  [EBD., S. 40f.].  $R^2$  ( $0 \leq R^2 \leq 1$ ) beschreibt die Beziehung zwischen beobachteten und geschätzten Werten (je höher, desto besser) [BACKHAUS ET AL. 2021, S. 86f.]. Allerdings ist der Wert stark von der Anzahl an Beobachtungen und aufgenommenen Regressionsparametern bzw. Freiheitsgraden abhängig (wenige Beobachtungen und viele Parameter führen tendenziell zu höheren  $R^2$ -Werten) [vgl. EBD.]. Um dies zu berücksichtigen kann analog zu der linearen Regression eine  $F$ -Statistik berechnet werden [BACKHAUS ET AL. 2015, S. 41], [GREENE 2012, S. 229f.]. Obwohl die  $F$ -Verteilung im nichtlinearen Fall nur einer Annäherung entspricht, wird die  $F$ -Statistik in der Literatur vorgeschlagen und nach der Beschreibung von GREENE [2012, S. 229f.] berechnet.

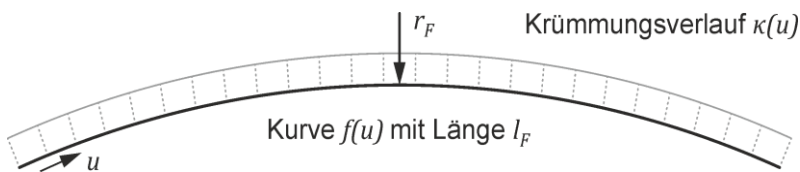
#### 5.4.2.3 Probandenkollektiv

Nach DÖRING & BORTZ [2016, S. 621] werden für quantitative Analysen bei explorativen Studien meist leicht zugängliche und nicht-probabilistische Stichproben eingesetzt. Die Stichprobe kann daher als Selbstselektions-Stichprobe [EBD., S. 297ff.] bezeichnet werden, da für die Vorstudie zwölf Experten ausgewählt wurden. Diese arbeiten im Bereich der Produktentwicklung und -forschung und haben Erfahrung mit CAD-Systemen und im

Bereich der Produktgestaltung. Das Alter der Probanden (Nationalität: deutsch) liegt zwischen 25 und 37 Jahren (Mittelwert: 29,25; Std.-Abweichung: 3,33). Die Stichprobe setzt sich aus zwei weiblichen und zehn männlichen Personen zusammen.

#### 5.4.2.4 Ergebnisse Flächenrundheit

Das Vorgehen der Auswertung erfolgt nach der Beschreibung aus Kapitel 5.4.2.1. Die Geometriemodelle der Auswertung entstehen aus dem Median der Probandenbewertung. Da der Querschnitt der Modelle aus kreisförmigen Kurven besteht (siehe Kapitel 5.2.2), ist für eine Kurve im 2D-Querschnitt lediglich ein Radiuswert (bzw. Krümmungswert) zu ermitteln. Weiterhin kann die Länge dieser Kurve bestimmt werden. Prinzipiell kann auch der Winkel zwischen zwei Kurven an deren Schnittpunkt ermittelt werden. Da aber die Flächenparametrisierung unabhängig vom Querschnitt (quadratisch oder hexagonal) erfolgen soll, wird dieser Winkel nur bei der Kantenrundheit berücksichtigt (siehe Kapitel 5.4.2.5). Als einziger skalierungsunabhängiger Geometriefaktor resultiert folglich lediglich das Verhältnis von Radius  $r_F$  und Länge  $l_F$  einer Kurve (siehe Abbildung 5.13).



**Abbildung 5.13:** Visualisierung der Faktoren der geometrischen Flächenrundheit

Aus der Ermittlung des geometrischen Gesamtfaktors anhand evolutionärer Algorithmen in Rhinoceros / Grasshopper folgt:

$$gFR = \frac{l_F}{r_F} \quad (5.14)$$

Mit der Verringerung des Radius  $r_F$  erhöht sich die geometrische Flächenrundheit. Formel (5.14) entspricht weiterhin dem Faktor für *Sharpness* in Kapitel 5.2.1.

Die nachfolgenden nichtlinearen Regressionen für beide Grundquerschnitte liefern ein hoch signifikantes und ein höchst signifikantes Ergebnis (siehe Tabelle A.1). Als arithmetisches Mittel aus den Regressionsergebnissen folgt der Exponent:

$$n_{FR} = 1,15 \quad (5.15)$$

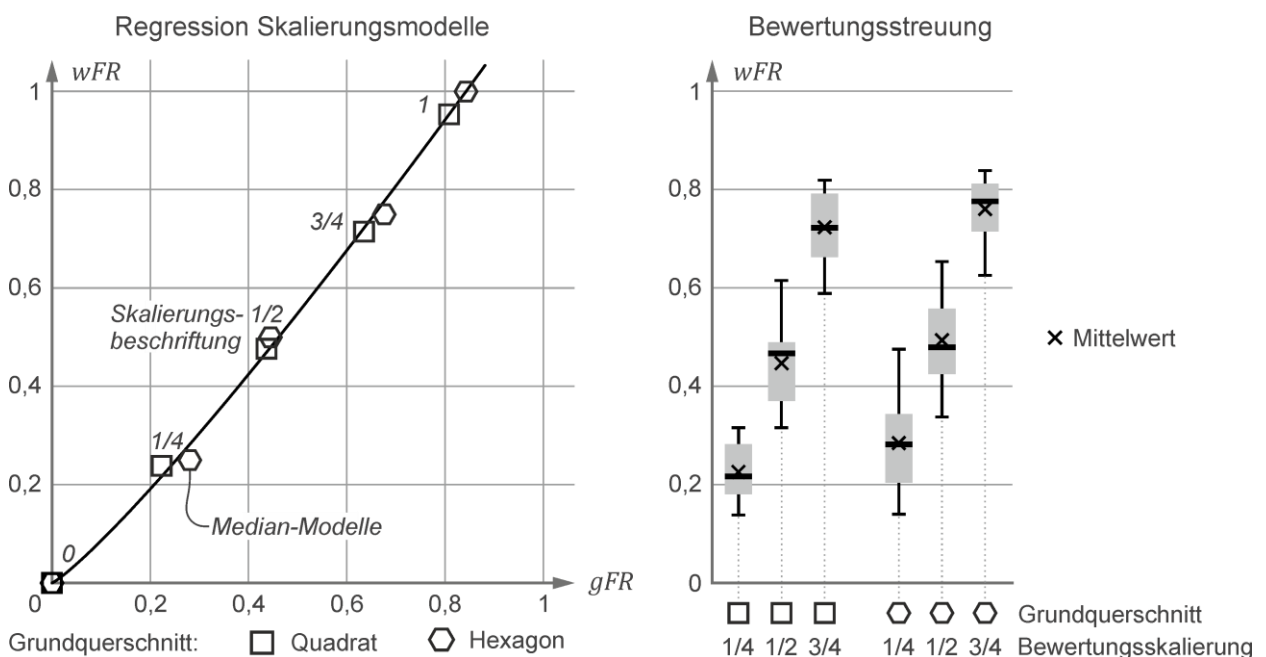
Anhand des Maximalwerts für  $F_{mod}$  bei hexagonalem Grundquerschnitt (siehe Kapitel 5.2.2) erfolgt die Skalierung von  $0 \leq wFR \leq 1$  durch Anpassung von  $c_{S-FR}$ . Es resultiert:

$$c_{S-FR} = 1,217 \quad (5.16)$$

Formel (5.17) gibt als Potenzfunktion den Zusammenhang zwischen der Geometrie und der wahrgenommenen Flächenrundheit an:

$$wFR = 1,217 \cdot \left(\frac{l_F}{r_F}\right)^{1,15} \quad (5.17)$$

Nach der Umrechnung der Skalierungsbeschriftungen auf die resultierende wahrgenommene Flächenrundheit (Vorgehen siehe Kapitel 5.4.2.1), erfolgt eine nichtlineare Regression als Kontrollrechnung mit den Daten beider Grundquerschnitte. Diese liefert ein höchst signifikantes Ergebnis ( $R^2 = 0,995$ ;  $F(2, 6) = 653,996$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*). Formel (5.17) wird somit als Ergebnis akzeptiert. Diese Daten sind zusammen mit der Regressionskurve aus Formel (5.17) in Abbildung 5.14 als Streupunktplot dargestellt. Zudem befindet sich für jedes Modifikationsmodell die Bewertungsstreuung der Probanden in Form von Boxplots der resultierenden wahrgenommenen Flächenrundheit in Abbildung 5.14.



**Abbildung 5.14:** Streupunktplot und Regressionskurve der Skalierungsmodelle und Bewertungsstreuung der Flächenrundheit

Die Regressionskurve in Abbildung 5.14 stellt ein gutes Ergebnis dar, da nur geringe Abweichungen zu den Datenpunkten der beiden Grundquerschnitte vorhanden sind. Entsprechend des Exponenten  $n_{FR} = 1,15$  sieht der Zusammenhang nahezu linear aus. Zudem kann angemerkt werden, dass sich bei den Boxplots der Bewertungsstreuung die drei Interquartilsabstände pro Querschnitt nicht überschneiden. Die fünf Referenz- und Modifikationsmodelle pro Querschnitt lassen sich demnach gut voneinander abgrenzen.

### 5.4.2.5 Ergebnisse Kantenrundheit

Das Vorgehen und die Ergebnisbeschreibung erfolgen analog zu Kapitel 5.4.2.1 & 5.4.2.4. Für alle Bewertungen werden die Geometriemodelle für die Auswertung aus dem Median der Bewertungen der Probanden generiert. An diesen erfolgt die Betrachtung der Kurven im 2D-Querschnitt. Eine 3D-Kante steht immer in Relation zu den zwei anliegenden Flächen. Betrachtet wird die Kantenrundheit daher immer ausgehend von der Mitte der Kante / Blendkurve zu je einer anliegenden Fläche / 2D-Querschnittskurve. Die Mitte der Blendkurve entspricht dem Radiusminimum entsprechend der Krümmungsextrema bei Kanten der visuellen Wahrnehmung (vgl. Kapitel 2.4.3.4). Bei den symmetrischen Körpern der Vorstudie ist die Kantenrundheit dementsprechend zu beiden anliegenden Flächen identisch. Für die Suche nach Zusammenhängen werden skalierungsunabhängige Geometriefaktoren gebildet. Diese sind z. B. Quotienten aus Radiuswerten und Kurvenlängen. Ein weiteres Beispiel sind Winkel zwischen Tangentialvektoren, welche nach Kapitel 2.2.3.3 skalierungsunabhängig sind. Die Punkte, an denen Radiuswerte bestimmt werden und die Punkte, zwischen denen Kurvenlängen, Krümmungsmittelwerte und Winkel auf Basis der Tangentialvektoren gebildet werden, werden variiert. Beispielsweise wird der Punkt des minimalen Radius, der höchsten Änderung im Krümmungsverlauf ( $\kappa''(u) = 0$ ) oder der Endpunkt einer Blendkurve eingesetzt. Zudem kommen auch die Faktoren der anliegenden unverrundeten Flächen (siehe Kapitel 5.4.2.4) zum Einsatz. Für die unterschiedliche Gewichtung werden die Geometriefaktoren mit Variablen als Exponent versehen.

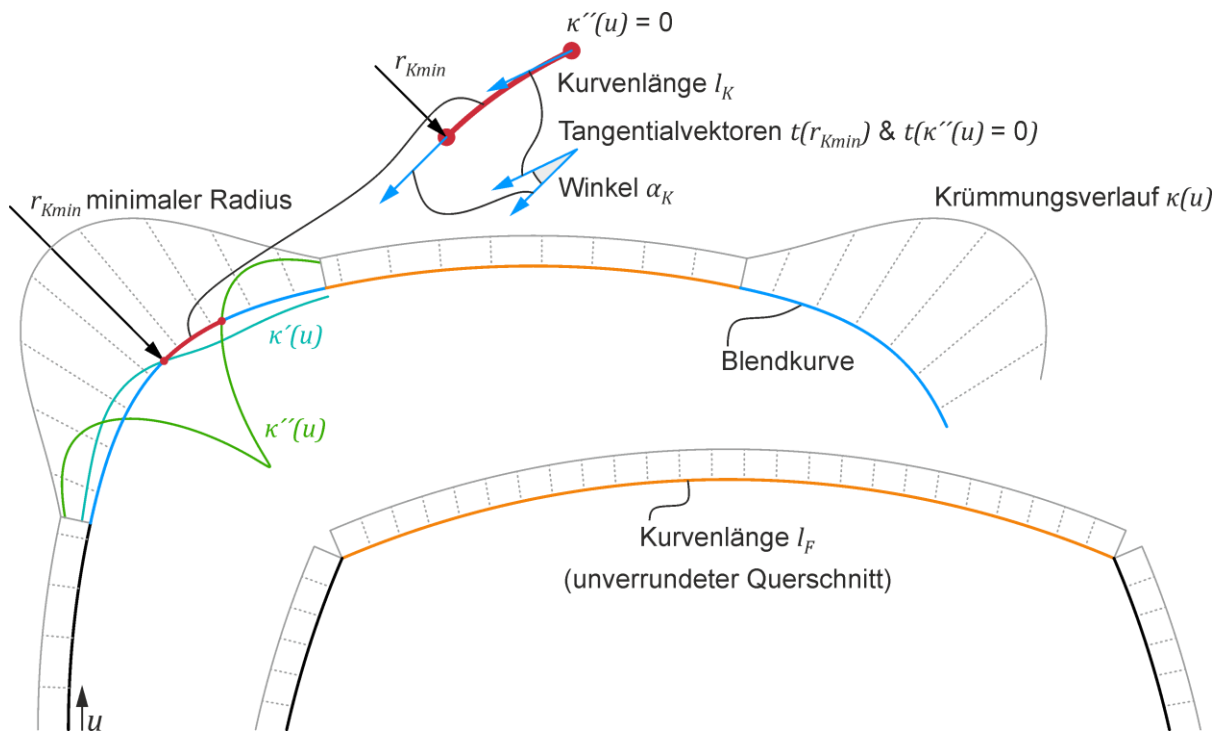
Aus der Ermittlung des geometrischen Gesamtfaktors anhand evolutionärer Algorithmen in Rhinoceros / Grasshopper folgt:

$$gKR = \frac{\alpha_K^{2,7} \cdot r_{Kmin}^3}{l_F^{0,5} \cdot l_K^{2,5}} \quad (5.18)$$

Für Formel (5.18) orientieren sich die Kennwerte der Kante (Index:  $K$ ) an der zweiten Ableitung des Krümmungsverlaufes (siehe Abbildung 5.15). Anzumerken ist, dass alle in Kapitel 5.2.1 ermittelten Faktoren aus der Literatur in Formel (5.18) auftreten. Gegenüber der geometrischen Flächenrundheit  $gFR$  steht bei der geometrischen Kantenrundheit  $gKR$  der Radius  $r_{Kmin}$  im Zähler und die Kurvenlänge  $l_K$  im Nenner. Eine Erhöhung des Radius  $r_{Kmin}$  führt demnach zu einer Vergrößerung der geometrischen Kantenrundheit.

Die nachfolgenden nichtlinearen Regressionen für beide Grundquerschnitte liefern signifikante, hoch signifikante oder höchst signifikante Ergebnisse für alle sechs Skalierungsreihen (siehe Tabelle A.2). Als arithmetisches Mittel aus den Regressionsergebnissen erfolgt der Exponent:

$$n_{KR} = 1,83 \quad (5.19)$$



**Abbildung 5.15:** Visualisierung der Faktoren der geometrischen Kantenrundheit

Aus dem Maximalwert für  $K_{mod}$  bei quadratischem Grundquerschnitt (siehe Kapitel 5.2.2) erfolgt die Skalierung von  $0 \leq wKR \leq 1$  anhand der Anpassung von  $c_{S-KR}$ . Es resultiert:

$$c_{S-KR} = 8,891 \quad (5.20)$$

Formel (5.21) gibt als Potenzfunktion den Zusammenhang zwischen der Geometrie und der wahrgenommenen Kantenrundheit an:

$$wKR = 8,891 \cdot \left( \frac{\alpha_K^{2,7} \cdot r_{Kmin}^3}{l_F^{0,5} \cdot l_K^{2,5}} \right)^{1,83} \quad (5.21)$$

Nach der Umrechnung der Skalierungsbeschriftungen auf die resultierende wahrgenommene Kantenrundheit (Vorgehen siehe Kapitel 5.4.2.1) erfolgt eine nichtlineare Regression als Kontrollrechnung mit den Daten aller sechs Skalierungsreihen. Diese liefert ein höchst signifikantes Ergebnis ( $R^2 = 0,975$ ;  $F(2, 22) = 427,497$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*). Formel (5.21) wird somit als Ergebnis für die Kantenrundheit akzeptiert. Diese Daten sind zusammen mit der Regressionskurve aus Formel (5.21) in Abbildung 5.16 dargestellt. Zudem befindet sich für jedes Modifikationsmodell aller Skalierungsreihen die Bewertungsstreuung der Probanden in Form von Boxplots der resultierenden wahrgenommenen Kantenrundheit in Abbildung 5.17.

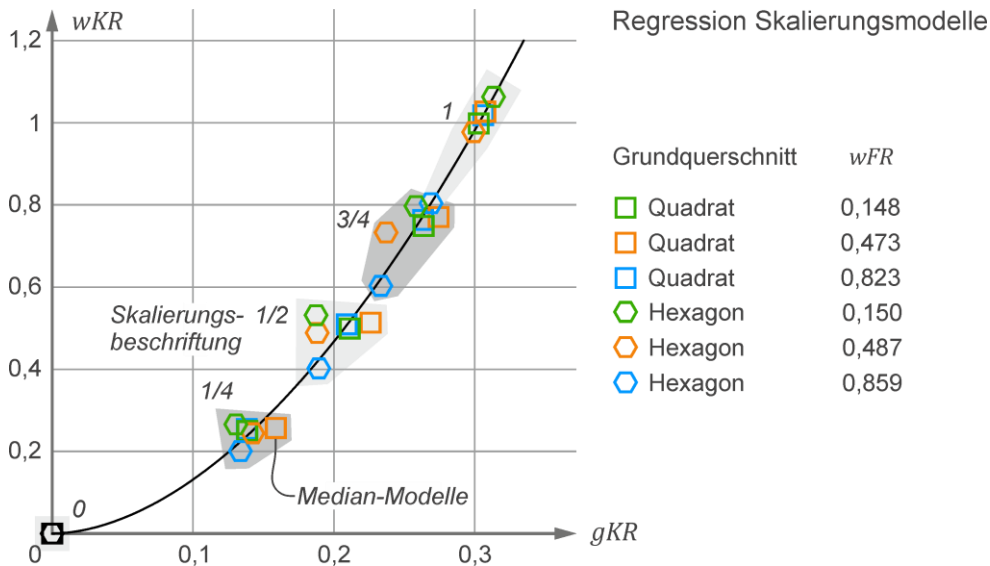


Abbildung 5.16: Streupunktendiagramm und Regressionskurve der Skalierungsmodelle der Kantenrundheit

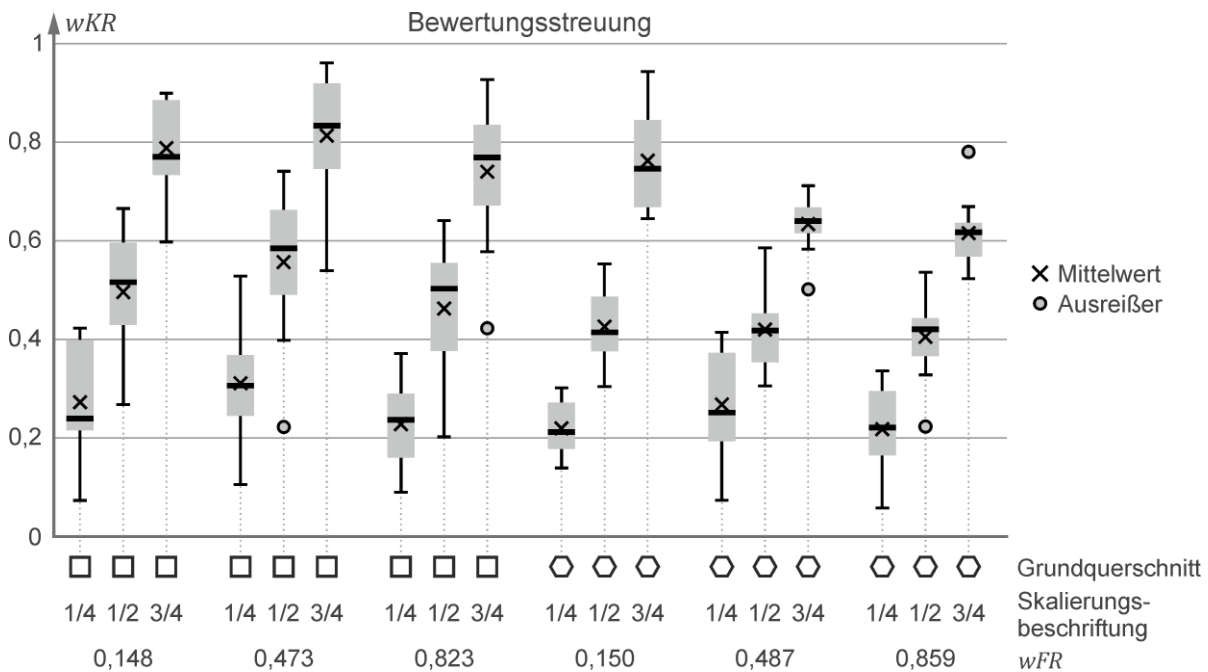
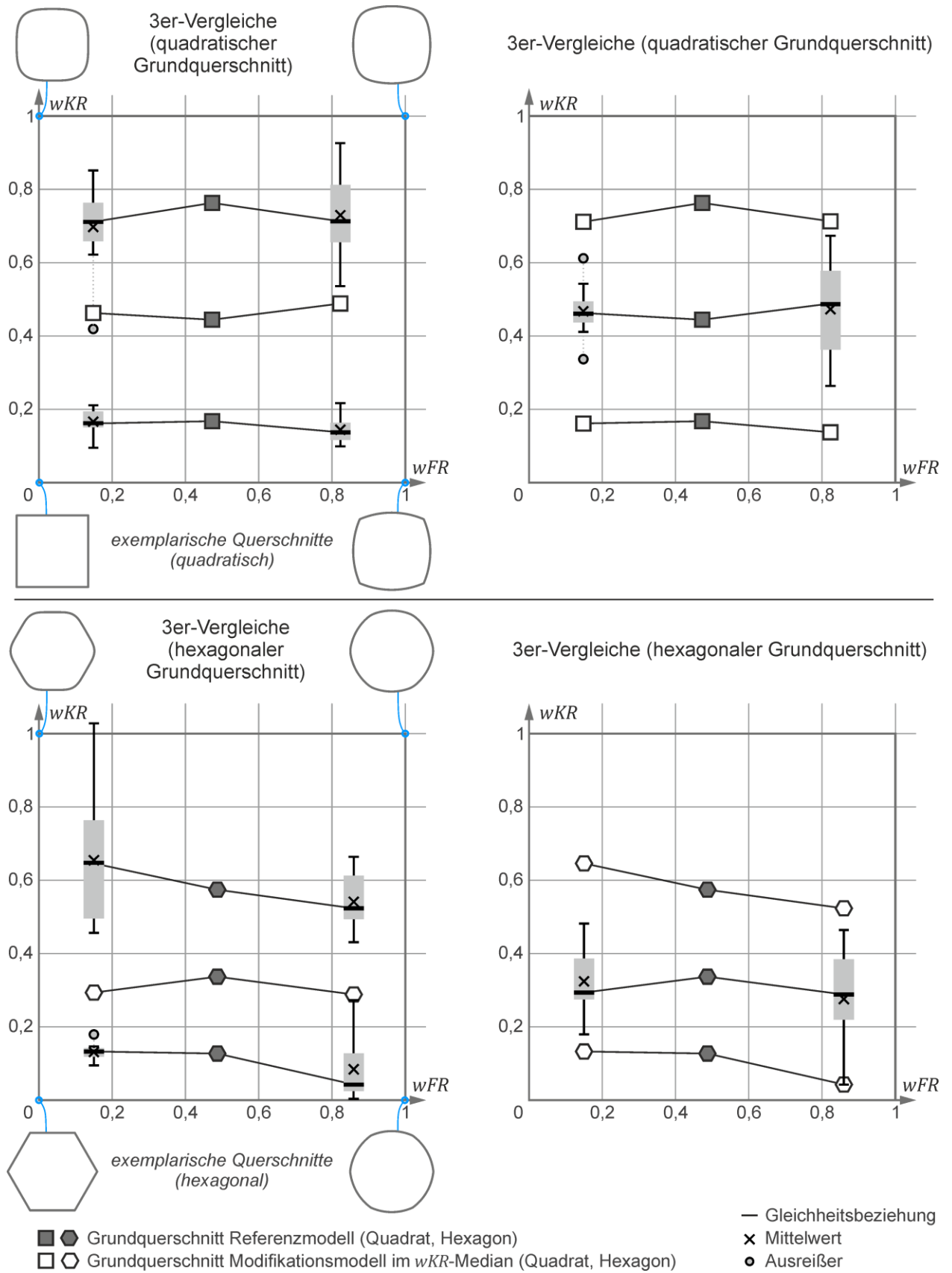


Abbildung 5.17: Bewertungstreuung der Skalierungsreihen der Kantenrundheit

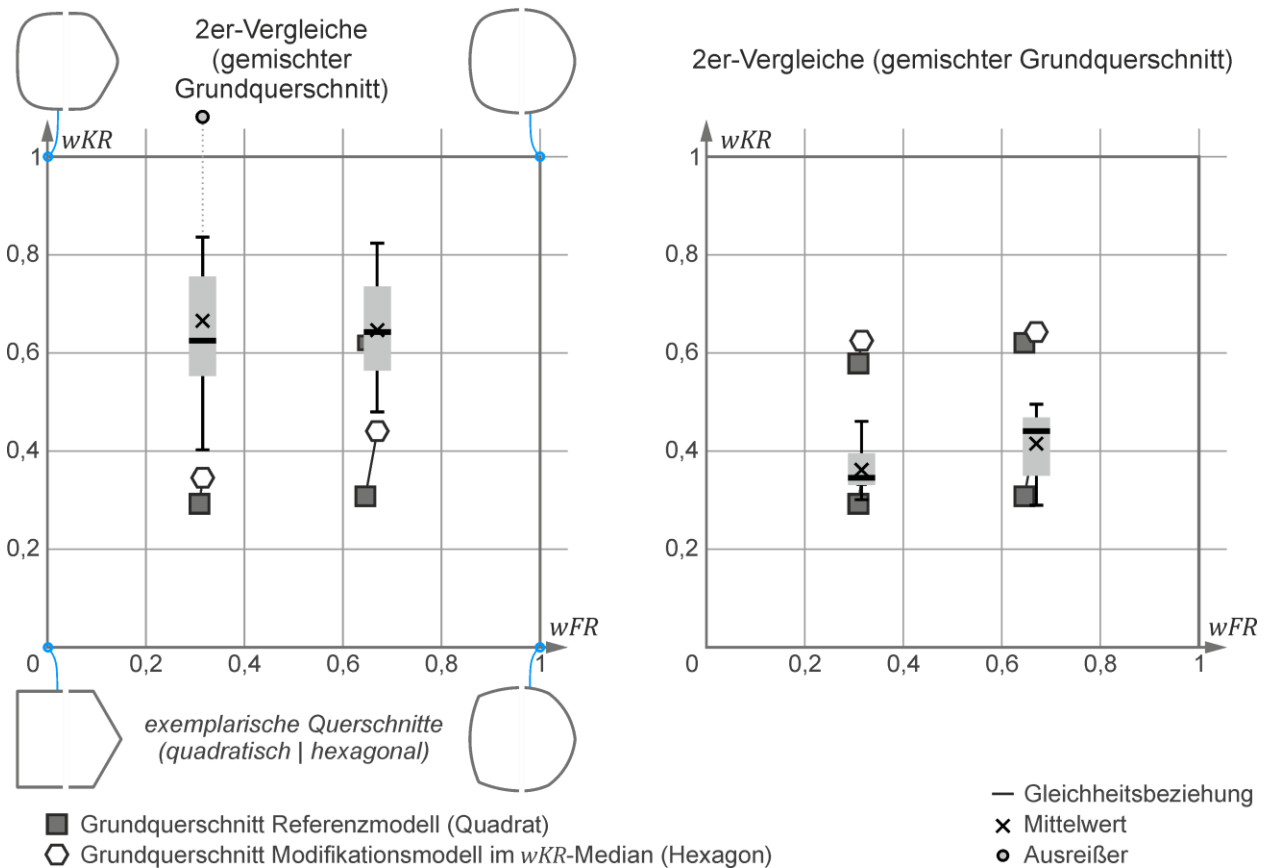
Für die 3er- und 2er-Vergleiche sind die Bewertungstreuungen in Abbildung 5.18 und Abbildung 5.19 dargestellt. Dabei befinden sich die Boxplots in dem Koordinatensystem für die wahrgenommene Flächen- und Kantenrundheit. Weiterhin sind exemplarische Querschnitte zu Punkten im Koordinatensystem abgebildet. Die Verbindungslinien zwischen den Punktmarkierungen stellen Gleichheitsbeziehungen bzgl. der wahrgenommenen Kantenrundheit dar. Zur Übersichtlichkeit sind die Punktmarkierungen (Median der Bewertung) der 3er- und 2er-Vergleiche jeweils in den linken und rechten Koordinatensystemen eingezeichnet.





**Abbildung 5.18:** Bewertungsstreuung der Gleichheitsbewertungen der Kantenrundheit (3er-Vergleiche) und exemplarische Querschnitte im Koordinatensystem ( $wFR$  &  $wKR$ )

In den linken Koordinatensystemen (Abbildung 5.18 ) sind für die niedrige und hohe Kantenrundheit statt der Punktmarkierungen der Modifikationsmodelle deren Bewertungsboxplots dargestellt. In den rechten Koordinatensystemen befinden sich die Boxplots der Modifikationsmodelle mittlerer Kantenrundheit, um eine Überschneidung der Whisker zu vermeiden. Aus demselben Grund sind in Abbildung 5.19 im linken Koordinatensystem die Bewertungsboxplots bei hoher Kantenrundheit dargestellt. Das rechte Koordinatensystem enthält die Boxplots bei niedriger Kantenrundheit.



**Abbildung 5.19:** Bewertungsstreuung der Gleichheitsbewertungen der Kantenrundheit (2er-Vergleiche) und exemplarische Querschnitte im Koordinatensystem ( $wFR$  &  $wKR$ )

Die Regressionskurve in Abbildung 5.16 stellt ein gutes Ergebnis dar. Die Abweichungen der Datenpunkte zur Regressionskurve sind gering. In Abbildung 5.17 überschneiden sich nur bei einer Skalierungsreihe (hexagonaler Querschnitt mit  $wFR = 0,487$ ) die Interquartilsabstände der Boxplots. Die fünf Referenz- und Modifikationsmodelle pro Skalierungsreihe lassen sich demnach gut voneinander abgrenzen. Bei den Gleichheitsbewertungen sind größere Variationen der Größe der Interquartilsabstände zu beobachten (siehe Abbildung 5.18 und Abbildung 5.19). Vor allem bei niedriger Kantenrundheit des Referenzmodells sind die Streuungen gering, während bei hoher Kantenrundheit größere

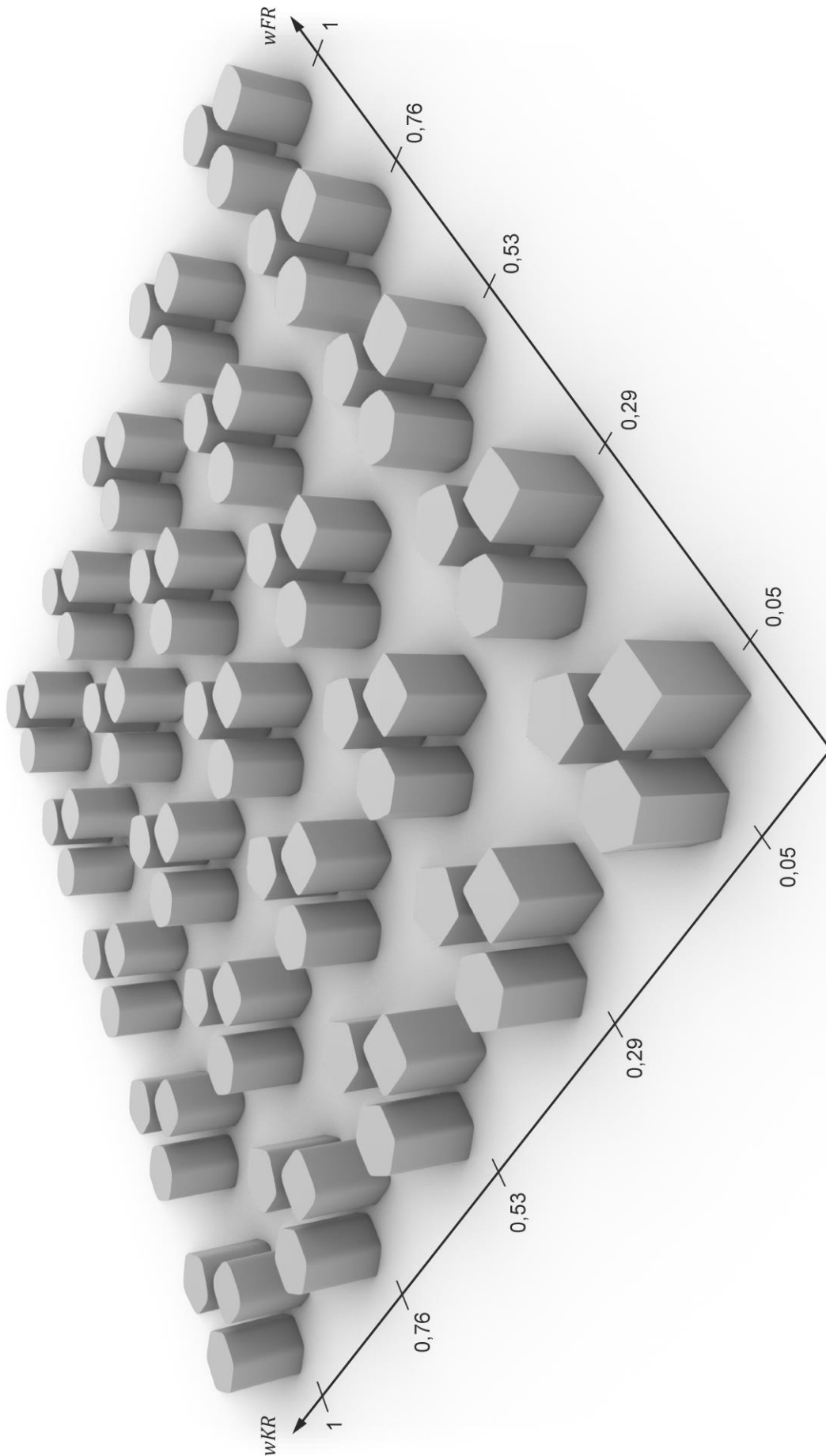
Streuungen auftreten. Bei einer perfekten Bewertung und Formelerstellung müssten in Abbildung 5.18 und Abbildung 5.19 alle Verbindungslinien zwischen den Referenz- und Modifikationsmodellen horizontal sein. Bei diesen Verbindungslinien sind Abweichungen unterschiedlicher Größe zu beobachten. Zudem wurde die angestrebte Platzierung der Referenzmodelle (vgl. Abbildung 5.10) bei hexagonalen Querschnitten nicht erreicht. Hier fallen die wahrgenommenen Referenzkantenrundheiten niedriger als angenommen aus. Die ist in den unteren Koordinatensystemen von Abbildung 5.18 zu erkennen.

### 5.4.3 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

In der explorativen Vorstudie mit quantitativer Datenanalyse wurde der Zusammenhang zwischen geometrischer und wahrgenommener Flächen- und Kantenrundheit untersucht. Die Potenzfunktionen Formel (5.17) und (5.21) stellen ein inferenzstatistisch nachgewiesenes Ergebnis dar. Zudem enthalten die geometrischen Flächen- und Kantenrundheiten ( $gFR$  &  $gKR$ ) alle ermittelten geometrischen Parameter aus der Literatur (vgl. Kapitel 5.2.1). Das Ergebnis ist außerdem skalierungs- und ansichtsunabhängig. Angemerkt werden muss, dass die Abweichungen bei den Bewertungen vereinzelt stark streuen. Auch wurde bei den gerenderten Modellen nur eine Farbe angewendet. Mit anderen Farb- und Rendereinstellungen könnten Abweichungen zu den ermittelten Ergebnissen auftreten. Abbildung 5.20 stellt das Ergebnis anhand von drei Grundquerschnitten (Quadrat, Pentagon, Hexagon) bzw. Grundkörpern mit vergleichbarem Volumen dar. Alle Körper einer Gruppe von drei Grundkörpern besitzen dabei die Werte der wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheit entsprechend der Achsenbeschriftungen. Im Unterschied zu Kapitel 5.4.1 & 5.4.2 werden hier gleichmäßige Abstände zwischen den Werten 0,05 und 1 für  $wFR$  und  $wKR$  verwendet.

Da der Zusammenhang zwischen geometrischer und wahrgenommener Flächenrundheit nicht von der Querschnittgeometrie abhängig ist, besteht ein direkter Zusammenhang zu dem Modifizierungsfaktor  $F_{mod}$ . Das Modellierungsverfahren und die Berechnung der wahrgenommenen Flächenrundheit kann daher auf jede Stützkurve einer Fläche angewendet werden.

Das Ergebnis bietet eine Grundlage für die Gestaltung von Produkten mit vorgegebener Flächen- und Kantenrundheit bei unterschiedlichem Aufbau und verschiedenen Flächenproportionen und -winkeln. Allerdings sind die Ergebnisse vor allem für Produkte mit vergleichbaren Abmessungen geeignet, da die Größe der Grundkörper in der Vorstudie nicht variiert wurde.



**Abbildung 5.20:** Grundkörper mit wahrgenommener Flächen- und Kantenrundheit

Bei der Analyse der Grundkörper aus Abbildung 5.20 fällt auf, dass bei identischer wahrgenommener Flächenrundheit  $wFR$  die minimalen Kantenradien  $r_{Kmin}$  der Grundquerschnitte nahezu identisch sind. Zudem stehen die minimalen Kantenradien  $r_{Kmin}$  und die wahrgenommene Kantenrundheit  $wKR$  in einer nahezu linearen Beziehung bei identischer wahrgenommener Flächenrundheit  $wFR$ . Allerdings treten Änderungen der minimalen Kantenradien  $r_{Kmin}$  bei unterschiedlicher wahrgenommener Flächenrundheit  $wFR$  auf. Dies deutet auf eine Relevanz der absoluten minimalen Kantenradien  $r_{Kmin}$  hin. Größere Unterschiede bei den Produktabmessungen könnten daher ggf. zu Problemen führen, da Abweichungen der absoluten Radien zwangsweise auftreten. Im Unterschied zur wahrgenommenen Kantenrundheit  $wKR$  steht die wahrgenommene Flächenrundheit  $wFR$  in einer nahezu linearen Beziehung zum Kehrwert des Radius der Fläche  $r_F$  bzw. zur Flächenkrümmung (siehe auch Formel (5.17)). Dies ist auch an der geringen Abweichung des Exponenten  $n_{FR}$  zum Zahlenwert 1 erkennbar.

## 5.5 Modellierungsvorgehen technischer Produkte

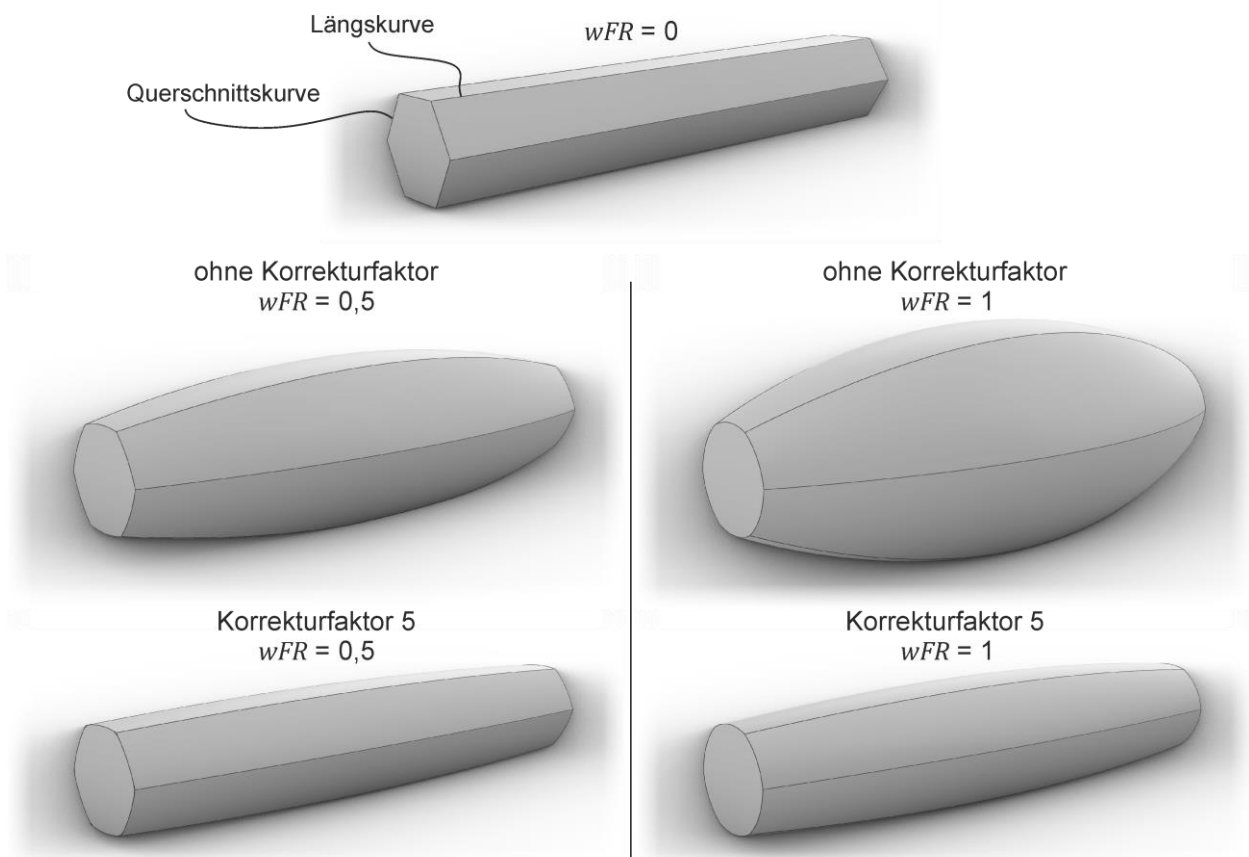
Die Modellierung technischer Produkte erfolgt konform zu den Vorgaben an die Reizmuster aus Kapitel 5.1.1. Zielwerte der Modellierung sind die wahrgenommene Flächen- und Kantenrundheit ( $wFR$  &  $wKR$ ), welche durch iterative Modellierung erreicht werden.

Nach Kapitel 5.2.2 werden im ersten Schritt Grundkörper mit der gewählten Flächenrundheit modelliert. Ausgangspunkt ist ein Produktmodell mit ausschließlich ebenen Flächen und unverrundeten Kanten. Analog zu BONITZ [2009, S. 127] werden möglichst große Flächen mit niedriger Ordnung generiert. Dies dient auch der Berücksichtigung des Faktors der „Anzahl der Elemente“ (siehe Kapitel 4.2.3), welcher nicht variiert werden soll. Dabei wird zwischen zwei Arten von Kurven für die Flächenaufspannung unterschieden: Es gibt Kurven, die im Querschnitt des Körpers liegen (Querschnittskurve, siehe Abbildung 5.21). Diese werden nach dem Vorgehen aus Kapitel 5.2.2 mit dem Zielwert der wahrgenommenen Flächenrundheit  $wFR$  gestaltet. In Längsrichtung eines Körpers werden die geraden Linien nach dem identischen Vorgehen zu konvexen Kreisbögen umgewandelt (Längskurve). Allerdings wird dabei der Zielwert der wahrgenommenen Flächenrundheit  $wFR$  um den Korrekturfaktor 5 verringert (siehe Abbildung 5.21).

Hintergrund dieser Korrektur ist, dass Krümmungen in beide Richtungen auf der Oberfläche vorhanden sein sollen, aber gleichzeitig der längliche Charakter eines Körpers nicht eliminiert werden soll. Ohne Korrektur in Längsrichtung würde ein länglicher Charakter bei hoher Flächenrundheit verschwinden (siehe Abbildung 5.21). Die Festlegung des

Korrekturfaktors auf den Wert 5 ist ein Kompromiss, da bei zu niedrigen Werten der längliche Charakter verloren geht und bei zu hohen Werten die Flächenrundheit in Längsrichtung zu gering wird.

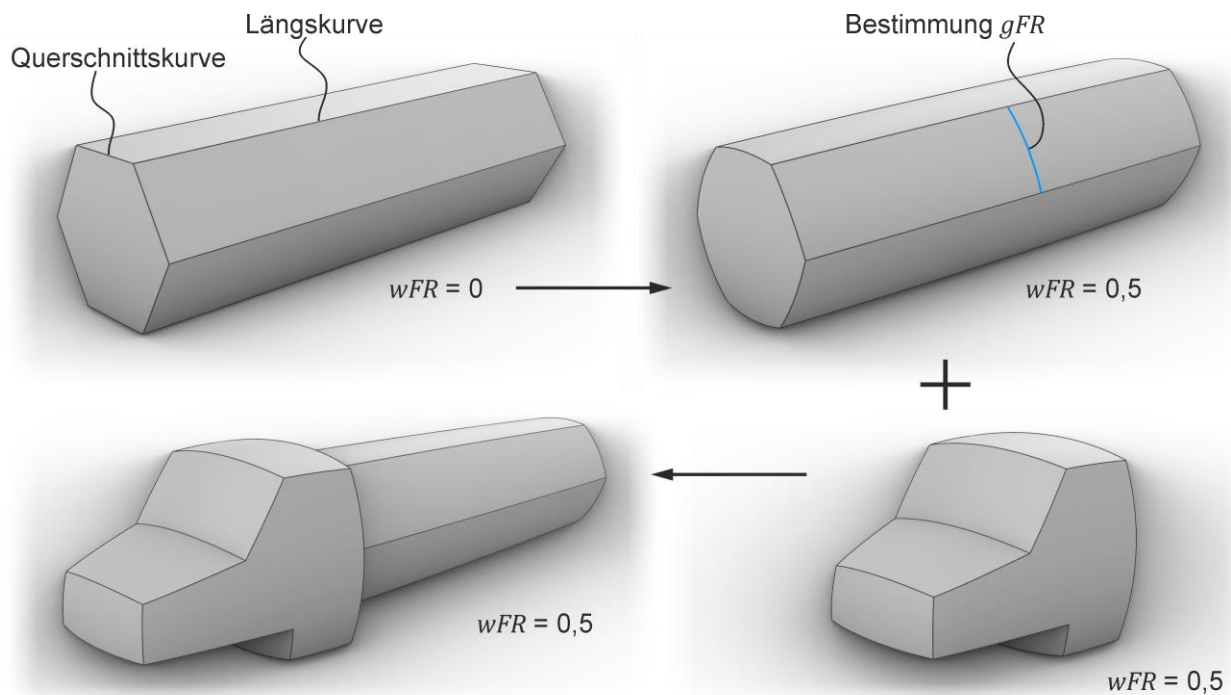
Boden- und Deckelfläche eines Körpers werden bei hexagonalem Querschnitt mit dem Zielwert der wahrgenommenen Flächenrundheit  $wFR$  gestaltet. Bei Boden- und Deckelflächen mit länglichem Charakter erfolgt wiederum die Korrektur der längeren Kurven ebenso mit dem Korrekturfaktor 5. Von vier Stützkurven eines Flächenpatches sind demnach immer mindestens zwei Kurven mit dem Zielwert der wahrgenommenen Flächenrundheit  $wFR$  gestaltet.



**Abbildung 5.21:** Visualisierung des Korrekturfaktors für  $wFR$  bei Längskurven

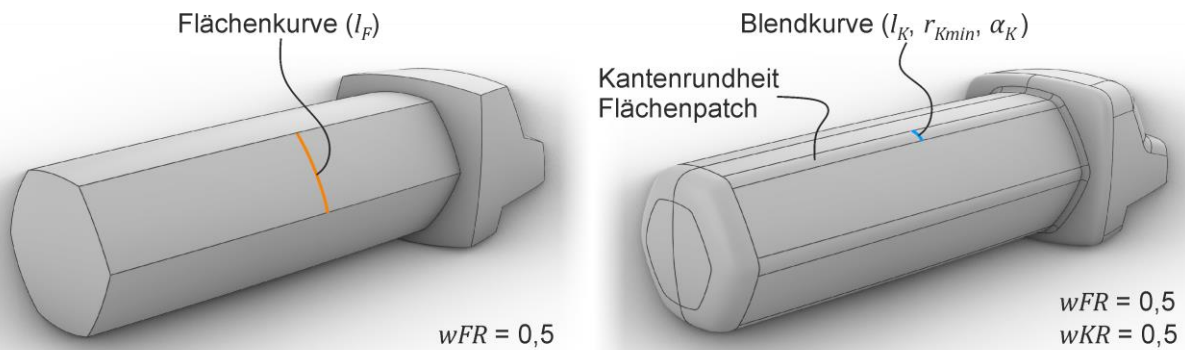
Bei dem iterativen Verfahren wird anhand des Modifikationsfaktors  $F_{mod}$  modifiziert und in der Mitte der Fläche der Wert der wahrgenommenen Flächenrundheit  $wFR$  anhand der geometrischen Flächenrundheit  $gFR$  ermittelt, bis der Zielwert erreicht ist. Abschließend werden alle Grundkörper zu einem Gesamtkörper zusammengefügt. Je nach Produkt werden dabei unveränderliche Teilkörper wie z. B. Griffe in den Gesamtkörper integriert. Dieses Vorgehen ist in Abbildung 5.22 dargestellt.

Im zweiten Schritt werden die Flächenübergänge der scharfen Kanten erstellt. Das Vorgehen erfolgt entsprechend Kapitel 5.2.2. Iterativ wird mittels des Modifikationsfaktors  $K_{mod}$  modifiziert bis der Zielwert der wahrgenommenen Kantenrundheit  $wKR$  erreicht ist. Die Ermittlung der Faktoren für die geometrische Kantenrundheit  $gKR$  findet in der Mitte einer Kante in Querrichtung anhand der Blendkurve und Flächenkurve statt (siehe Abbildung 5.23).



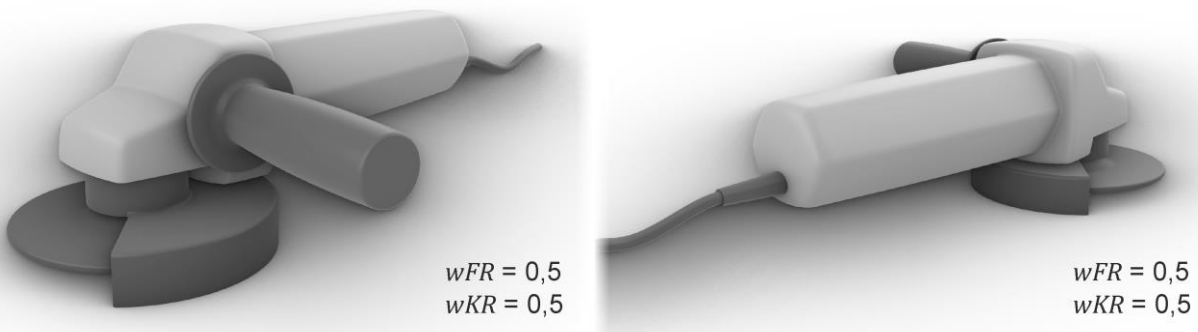
**Abbildung 5.22:** Modellierungsvorgehen der Flächenrundheit am Beispiel des Winkelschleifers

Wenn die anliegenden Flächen in Querrichtung eine unterschiedliche Länge bzw. Proportion aufweisen, ergeben sich zwei unterschiedliche Werte für die wahrgenommene Kantenrundheit  $wKR$ . Es existiert demnach an jeder Kante eine links- und rechtseitige Kantenrundheit. Als Referenz für die Modellierung wird die Seite mit dem höheren  $wKR$ -Wert bzw. die Fläche mit der geringeren Länge der Flächenkurve  $l_F$  genommen. Diese Seite begrenzt mit  $K_{mod} = 0,495$  die maximale Modifikation und die wahrgenommene Kantenrundheit  $wKR = 1$  ist modellierbar. Die andere Seite hat demnach stets eine geringere wahrgenommene Kantenrundheit, welche durch die Referenzseite begrenzt wird.



**Abbildung 5.23:** Parameterbestimmung bei Modellierung der Kantenrundheit am Beispiel des Winkelschleifers

Im letzten Schritt werden unveränderliche Elemente, die für die Erkennung des Produktes relevant sind, hinzugefügt (z. B. Schutzhaube und Zusatzhandgriff bei Winkelschleifer). Zur Unterscheidung von dem veränderlichen Gesamtkörper sind die unveränderlichen Elemente in einer abweichenden Farbe dargestellt. Alle Modellierungsoperationen erfolgen in Rhinoceros / Grasshopper. Abbildung 5.24 zeigt ein resultierendes Endprodukt in Rhinoceros (gerenderte Darstellung).



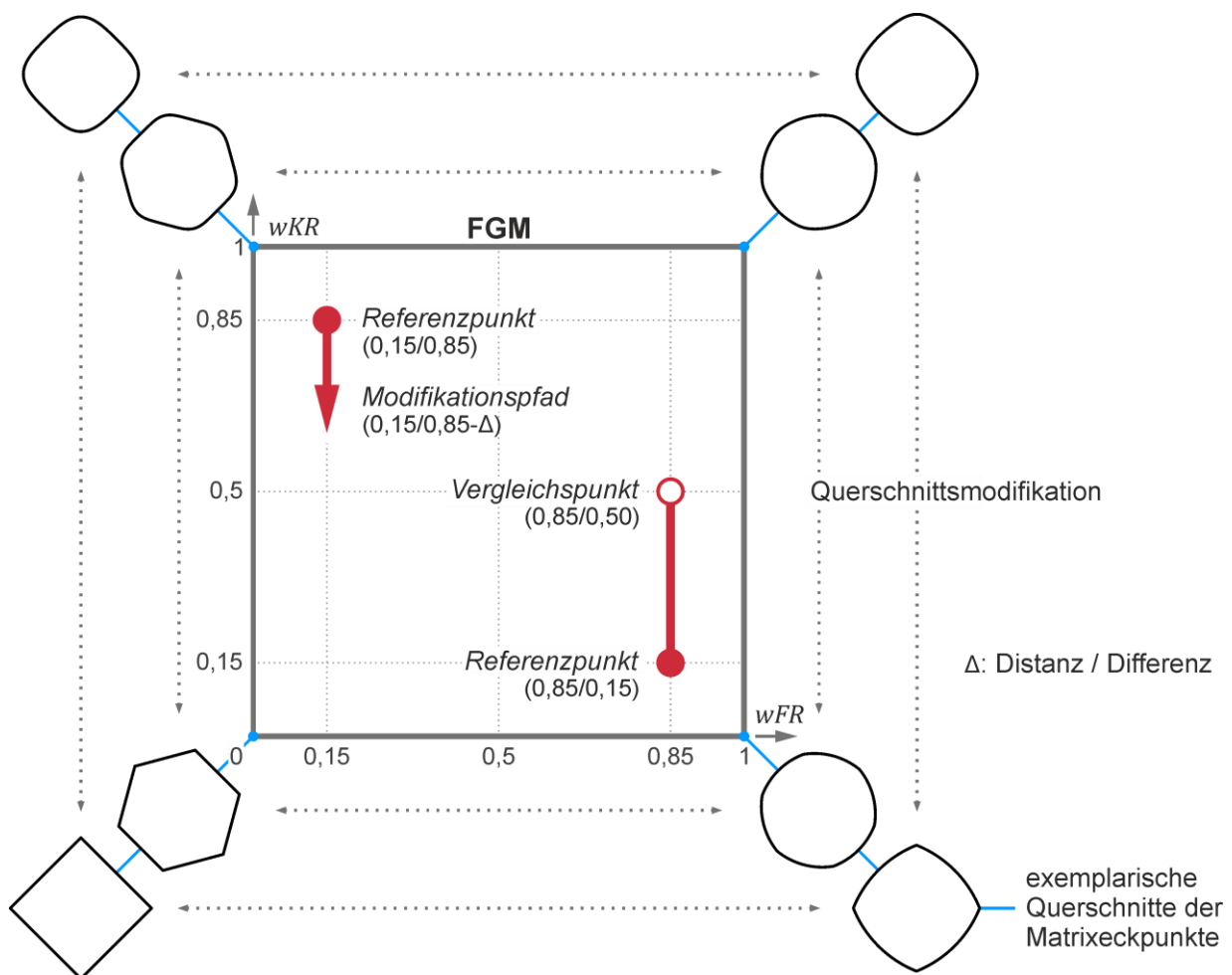
**Abbildung 5.24:** Ergebnis des Modellierungsprozesses am Beispiel des Winkelschleifers

Mit dem Modellierungsvorgehen können Produkte mit einer reinen Formgebung trotz unterschiedlicher Flächenaufteilungen und -proportionen erstellt werden. Weiterhin können auch zwei oder mehr Produkte mit identischer Flächen- und Kantenrundheit modelliert werden. Dies stellt die Grundlage für die Modellierung von Reizmustern für Studien zur Formgestalt im Markenkontext (Kapitel 6) dar.



## 6 Studien zur Formgestalt im Markenkontext

In diesem Kapitel werden Studien zur Formgestalt im Markenkontext beschrieben. Bei der Erläuterung der Studiendurchführungen und Ergebnisse wird das Koordinatensystem der wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheit aus Kapitel 5 aufgegriffen und im Folgenden als „Formgestaltmatrix“ (FGM) bezeichnet. Damit wird zudem deutlich, dass die annehmbaren Werte der wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheit begrenzt sind ( $0 \leq wFR \leq 1$  &  $0 \leq wKR \leq 1$ ). In der FGM werden für Paarvergleiche das Referenzprodukt und der Modifikationspfad bzw. einzelne Vergleichsprodukte dargestellt (siehe Abbildung 6.1). Bezeichnet wird die wahrgenommene Flächen- und Kantenrundheit eines Produktes entsprechend der Koordinaten in der FGM.



**Abbildung 6.1:** Definition der Formgestaltmatrix (FGM) mit Punkt- und Pfadbeispielen inkl. exemplarischen Querschnitten der Matrixeckpunkte

Studie 1 hat den Fokus auf dem Erkenntnisgewinn, inwiefern sich die Freiheitsgrade der Gestaltung bzgl. der Markenzugehörigkeit innerhalb der FGM verhalten (Kapitel 6.1). Er-

gänzend werden Aspekte der Markenebenen (Produktprogramm- (PP) und Produktsystem-Ebene (PS)) und Farbeigenschaften (Grauton und Reflexionsvermögen) untersucht. Studie 2 befasst sich darauf aufbauend mit den Freiheitsgraden der Gestaltung bzgl. der Markenzugehörigkeit bei unterschiedlichen Produktkategorien (Kapitel 6.2). Vervollständigt wird die zweite Studie zu vertiefenden Untersuchungen von Kantenrundheitsdetails und Markenebenen sowie der Analyse des Betrachtungsverhaltens der Probanden.

## **6.1 Studie 1: Formgestaltmatrix**

In der ersten Studie steht die Formgestaltmatrix (FGM) im Fokus. Differenzierte Untersuchungen der Flächen- und Kantenrundheit im Kontext der Markenzugehörigkeit anhand von 3D-Modellen in der PS-Markenebene wurden bisher nicht durchgeführt (vgl. Kapitel 3). Die Studie ermittelt daher grundlegende Zusammenhänge in der FGM und hat entsprechend sowohl explorativen als auch explanativen Charakter [vgl. DÖRING & BORTZ 2016, S. 149].

### **6.1.1 Studienplanung und -design**




Im Folgenden werden Ziele und Hypothesen der ersten Studie hergeleitet (Kapitel 6.1.1.1). Darauf aufbauend folgt die Beschreibung der Aufgabe und Fragestellung an die Probanden (Kapitel 6.1.1.2). Im Anschluss erfolgt die Beschreibung der Untersuchungsmodelle und des Versuchsaufbaus (Kapitel 6.1.1.3) sowie des Versuchsablaufs (Kapitel 6.1.1.4).

#### **6.1.1.1 Ziele und Hypothesen**

Bei der grundlegenden Ermittlung von Freiheitsgraden der Gestaltung ist die Schwelle relevant, an der zwei Produkte zu einer gleichen Marke bzw. zu unterschiedlichen Marken zugeordnet werden. Die 50 %-Schwelle entspricht dem Freiheitsgrad der Gestaltung, bei dem sowohl 50 % der Probanden zwei Produkte zu einer als auch zu unterschiedlichen Marken zuordnen. Das Arbeiten mit Wahrnehmungsschwellen ist ein zentraler Teil der Psychophysik (siehe Kapitel 2.4.2). Allerdings steht in dieser Studie nicht die grundlegende Erkennung eines Reizes, sondern die Bewertung eines Reizes bzgl. der Markenzugehörigkeit im Fokus. Das Ergebnis der Bewertung ist ein Urteil darüber, ob zwei Produkte zu einer oder zu unterschiedlichen Marken gehören. Die zu ermittelnden Schwellen werden daher „Urteilsschwelle“ genannt. Ziel ist demnach die Ermittlung von Urteilschwellen bei unterschiedlichen Referenzflächenrundheiten und -kantenrundheiten in der FGM bei Flächen- und / oder Kantenrundheitsänderungen.

Für die Deutung der explorativen Urteilsschwellen werden zur explanativen Analyse Alternativhypothesen  $H_x$  (mit korrespondierenden Nullhypothesen  $H_{0x}$ ) formuliert. Diese

beinhalten, dass die Bewertung der Markenzugehörigkeit abhängig von der Referenzflächenrundheit und -kantenrundheit sowie dem Modifikationspfad (Flächen- und / oder Kantenrundheitsänderung) ist. Die daraus resultierenden Hypothesen  $H_{1.1}$  -  $H_{1.5}$  sind in Tabelle 6.1 aufgelistet. Ergänzend sind in Tabelle 6.1 auch die Hypothesen für die Markenebene ( $H_{1.6}$ ) und Farbeigenschaften der Oberfläche ( $H_{1.7}$  &  $H_{1.8}$ ) enthalten. Bei der Markenebene steht der Unterschied zwischen PP- und PS-Markenebene im Fokus. Nach Kapitel 2.3.4 ist in der PP-Ebene die Differenzierung relevant, während in der PS-Ebene die Ähnlichkeit der Produkte wichtig ist. Nach Kapitel 2.4.3.4 haben die Farbeigenschaften Einfluss auf die Wahrnehmung von Oberflächen der Teilgestalt Form. Betrachtet wird der Fall, dass alle Produkte einer Marke dieselbe Farbe besitzen. Allerdings kann diese einheitlich eingesetzte Farbe im Grauton oder Reflexionsvermögen pro Marke variiert werden. Inwiefern diese Aspekte Einfluss haben, wird mit Hypothese  $H_{1.7}$  &  $H_{1.8}$  behandelt.

$H_x$	FGM-Beispiel	Beschreibung $H_x$
$H_{1.1}$		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit unterscheidet sich innerhalb eines Modifikationspfads, bei unterschiedlichen Referenzpunkten.
$H_{1.2}$		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit bei identischer Referenzflächenrundheit und unterschiedlicher Referenzkantenrundheit, unterscheidet sich bei Flächenrundheitsänderungen.
$H_{1.3}$		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit bei identischer Referenzkantenrundheit und unterschiedlicher Referenzflächenrundheit, unterscheidet sich bei Kantenrundheitsänderungen.
$H_{1.4}$		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit bei identischer Referenzflächenrundheit und -kantenrundheit, unterscheidet sich zwischen gleichzeitiger Flächen- und Kantenrundheitsänderung und ausschließlicher Flächen- und Kantenrundheitsänderung.
$H_{1.5}$		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit bei identischer Referenzflächenrundheit und -kantenrundheit, unterscheidet sich zwischen ausschließlicher Flächen- und Kantenrundheitsänderung.
$H_{1.6}$		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit unterscheidet sich zwischen PP- und PS-Markenebene.
$H_{1.7}$		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit unterscheidet sich zwischen unterschiedlichen Graustufen der Oberfläche.
$H_{1.8}$		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit unterscheidet sich zwischen unterschiedlichem Reflexionsvermögen der Oberfläche.

**Tabelle 6.1:** Übersicht der Hypothesen der ersten Studie

Eine Bewertung der Markenzugehörigkeit ist ggf. von der subjektiven Vorprägung der Probanden abhängig. Daher sind mögliche Zusammenhänge dieser Bewertung mit Produktinteresse, Produktnutzung, Einkaufsverhalten und der allgemeinen Bedeutsamkeit der äußeren Produktgestalt bei Probanden relevant.

### **6.1.1.2 Aufgabe und Fragestellung**

Die Markenzugehörigkeit lässt sich auf eine Ähnlichkeitsbeziehung zwischen Produkten abstrahieren (vgl. Kapitel 2.3). VOGT [1972, S. 57ff.] unterscheidet zwischen direkten und indirekten Verfahren zur Bewertung der Ähnlichkeit durch Probanden. Das direkte Verfahren stellt einen Paarvergleich dar, während bei indirekten Verfahren mehrere Objekte gleichzeitig bewertet werden (Tetradenmethode, Triadenmethode und Methode der multiplen Rangordnungen) [EBD.]. Anhand eines Paarvergleichs lassen sich direkt intervallskalierte Daten erheben, während bei den indirekten Verfahren nur nominal- und ordinalskalierte Daten für Ergebnisauswertungen zur Verfügung stehen. Entsprechend werden Paarvergleiche in dieser Studie angewendet.

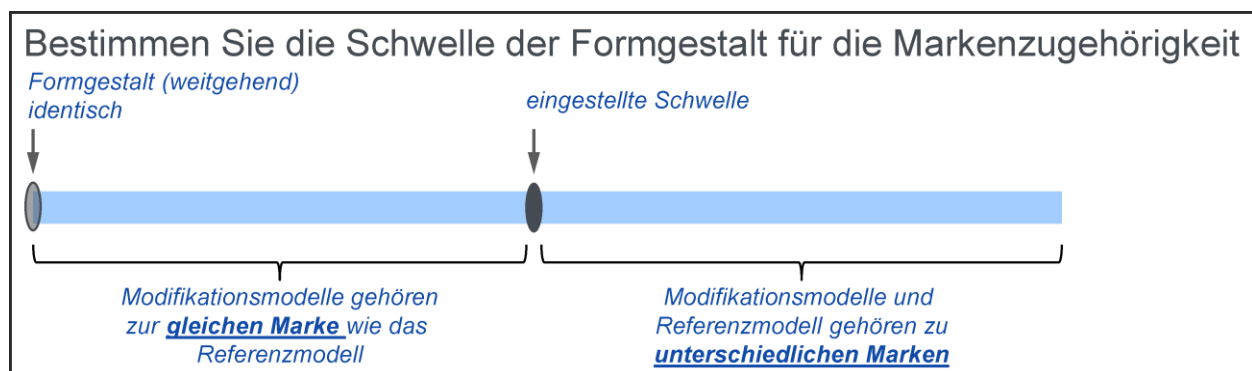
Produktpaare können simultan (zeitgleiche Darstellung) oder sukzessiv (zeitlich getrennte Darstellung) präsentiert werden. In einer vorgelagerten Studie des Verfassers wurde ermittelt, dass bei sukzessiver Betrachtungsabfolge zwei Produkte ähnlicher wirken als bei simultaner Betrachtung [FISCHER ET AL. 2021C]. Dieser Aspekt ist bei der Interpretation von Studienergebnissen zu beachten. Bei sukzessiver Betrachtung ist der Proband kognitiv mehr gefordert und daher anfälliger für Erinnerungsfehler (vgl. Kapitel 2.4.3.3). Dementsprechend werden die Produkte eines Paarvergleichs simultan dem Probanden präsentiert.

Nach Kapitel 6.1.1.1 steht die Urteilsschwelle im Fokus der Untersuchung. Analog zur Vorstudie (Kapitel 5.4) ist wenig über den Zusammenhang der FGM mit der Markenzugehörigkeit bekannt. Von den Methoden der Psychophysik (siehe Kapitel 2.4.2.3) eignet sich daher das Herstellungsverfahren für diese Studie. Vorteil des Verfahrens ist, dass sowohl individuelle und interindividuelle Schwellen (siehe Kapitel 2.4.2.1) für die Auswertung vorliegen. Weiterhin ist der Bewertungsumfang geringer als bei anderen Verfahren und der Proband bleibt durchgängig aktiv, wodurch Monotonie bei längerer Versuchsdauer vermieden wird. Von Nachteil ist entsprechend Kapitel 2.4.2.3 die Ungenauigkeit des Verfahrens. Da es sich aber um eine Urteilsschwelle (im Gegensatz zur Reizschwelle) handelt, wird dieser Effekt als gering eingeschätzt. Ein probandenabhängiger Nachteil kann die Entscheidungsfreudigkeit beim Einstellen der Urteilsschwelle darstellen, welcher in langen Studiendauern resultieren kann.

Ein Referenzprodukt und ein Modifikationsprodukt (bzw. Vergleichsprodukt) werden nebeneinander dargestellt. Das Modifikationsprodukt kann anhand eines Schiebereglers

bzgl. der Flächen- und / oder Kantenrundheit auf die individuelle Urteilsschwelle eingestellt werden. Befindet sich der Schieberegler ganz links, haben beide Produkte die identische wahrgenommene Flächen- und Kantenrundheit.

Die Forschungsarbeiten von HEß [1999], RANAWAT ET AL. [2012] und CULBERTSON & SIMPSON [2014] befassen sich mit der Formgestalt im Markenkontext (siehe Kapitel 3.2). In diesen Studien wird der Proband allerdings nach einer Bewertung der abstrakteren „Ähnlichkeit“ gefragt. Nach FISCHER ET AL. [2021B] können jedoch Unterschiede bei Bewertungsaufgaben bzgl. der „Ähnlichkeit“ und der „Marke“ entstehen. Für die Studie wird daher die präzisere Fragestellung bzgl. der Marke eingesetzt. Die Aufgabe für die Probanden lautet: „Bestimmen Sie die Schwelle der Formgestalt für die Markenzugehörigkeit“. Die Position des Schiebereglers sagt demnach aus, dass alle Modifikationsprodukte links der Position zur gleichen Marke wie das Referenzprodukt gehören. Im Gegenzug gehören alle Modifikationsprodukte rechts der Position und das Referenzprodukt zu unterschiedlichen Marken (siehe Abbildung 6.2). Der Proband bewertet aus Kundensicht und nicht aus der Perspektive eines Gestalters.

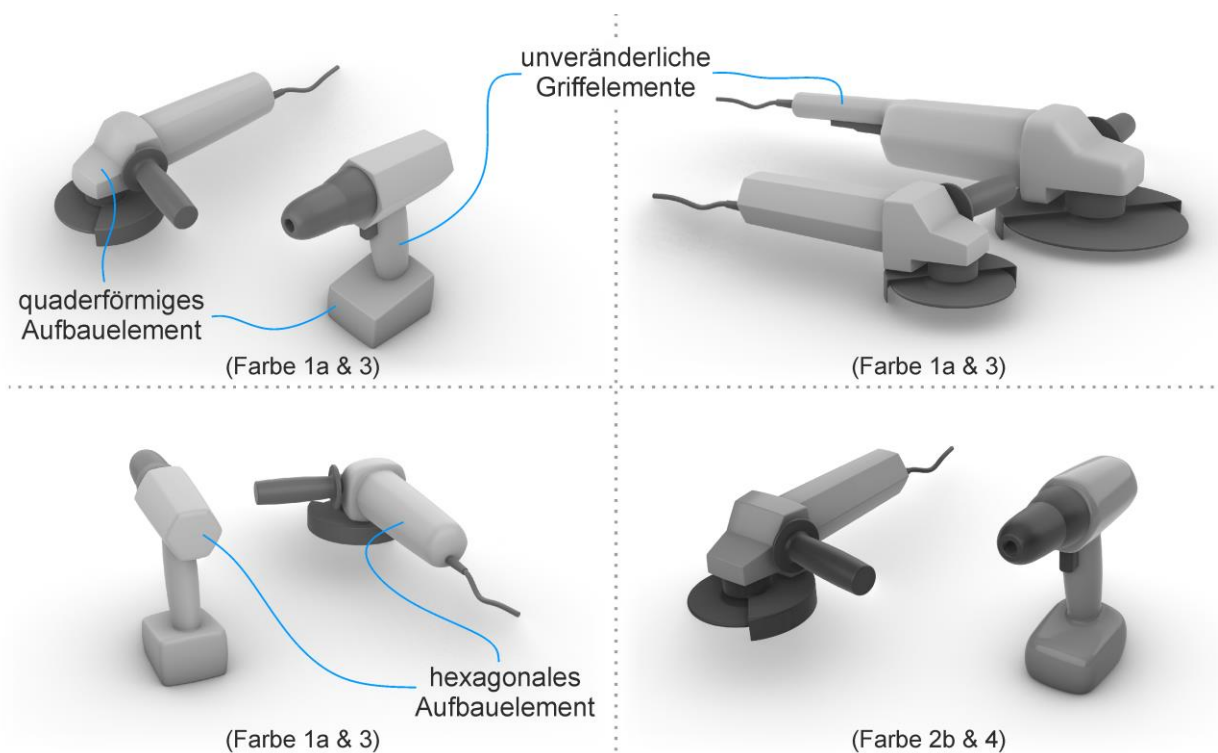


**Abbildung 6.2:** Aufgabenpräsentation der ersten Studie

Für die ergänzenden Fragen zum Interesse am Produkt und der Bedeutsamkeit der äußeren Produktgestalt werden siebenstufige Ratingskalen [vgl. DÖRING & BORTZ 2016, S. 245ff.] mit gleichmäßigen Abständen und Endpunktbeschriftung („sehr gering / sehr groß“ und „sehr unwichtig / sehr wichtig“) eingesetzt. Die Produktnutzung wird anhand kalendarischer Skalierung („1x pro Woche (mindestens), 1x pro Monat, 1x pro 1/4 Jahr, 1x pro 1/2 Jahr, 1x pro Jahr“) abgefragt. Für die Erfassung des Einkaufsverhaltens sortieren die Probanden fünf Kriterien („Marke, ästhetische Produktgestalt, Leistung, Ergonomie, Preis“) nach ihrer Beachtungsreihenfolge beim Einkauf. Die ergänzenden Fragen sind in Abbildung A.1 dargestellt.

### 6.1.1.3 Untersuchungsmodelle und Versuchsaufbau

Die Untersuchungsmodelle werden nach dem Modellierungsvorgehen aus Kapitel 5.5 erstellt. Aufgrund der guten Eignung für das Forschungsthema werden Elektrohandwerkzeuge als Produktbeispiel eingesetzt (siehe Kapitel 5.1.2). Dabei stellt das Referenzprodukt immer ein kleiner Winkelschleifer (WSk) mit einem Trennscheibendurchmesser von 125 mm dar. Als Produkt für die PP-Markenebene kommt ein großer Winkelschleifer (WSg) mit einem Trennscheibendurchmesser von 230 mm zum Einsatz. Ein Akkuschauber (AS) der 18V-Klasse wird für die PS-Markenebene genutzt. Alle Produkte besitzen Abmessungen und Proportionen realer Produkte. Diese Elektrohandwerkzeuge beinhalten sowohl hexagonale als auch quaderförmige Aufbauelemente (siehe Abbildung 6.3) und sollten jedem Heimwerker bekannt sein. Bei den Modifikationsprodukten (WSg & AS) sind jeweils unveränderliche Griffelemente in dem Gesamtkörper integriert. Diese gelten als ergonomische Funktionsflächen (vgl. Kapitel 4.1.2) und sind daher im Freiheitsgrad der Gestaltung begrenzt.

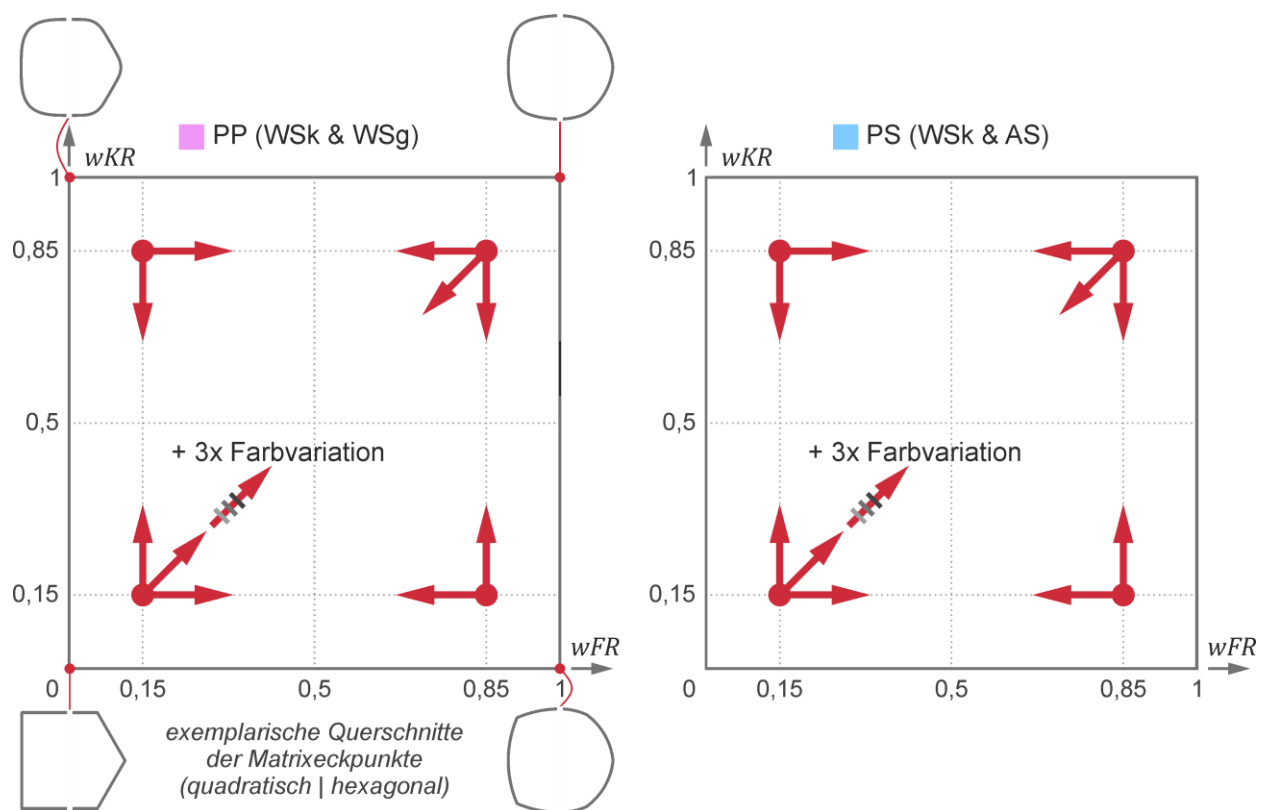


**Abbildung 6.3:** Beispiele unterschiedlicher Ansichten der Produktpaare und Kennzeichnung der Aufbauelemente

Der WSk stellt entsprechend Kapitel 2.3.4 das Leitprodukt der Marke dar. Elemente, die für die Erkennung der Produkte wichtig sind (z. B. Bohrfutter, Trennscheibe, Gashebel, Handgriffe) werden nicht mit dem Schieberegler modifiziert. Die Studie findet analog zur

Vorstudie (siehe Kapitel 5.4) in Rhinoceros / Grasshopper mit Farbe 1a (siehe Abbildung 5.6) für das Grundgehäuse statt. Alle weiteren Elemente werden mit dunklerer Farbe (Farbe 3 in Abbildung 5.6) gestaltet, um die Erregung von Aufmerksamkeit zu vermeiden. Die Probanden können und sollen anhand der Eingabegeräte (Maus und Tastatur) die relative Kameraposition zu dem Produktpaar variieren und daher eine ansichts-unabhängige Bewertung abgeben.

Die Referenzprodukte sollen realistisch wirken und nicht Extremfälle sehr geringer Kantenrundheit oder ebener Flächen abbilden. Zudem müssen Modifikationspfade mit ausreichender Länge vorhanden sein, damit die einzustellende Schwelle nicht außerhalb des begrenzten Modifikationsbereichs liegt. Daher wird die wahrgenommene Rundheit für Referenzprodukte mit geringer Rundheit auf den Wert  $wFR = wKR = 0,15$  festgelegt und die Referenzpunkte symmetrisch in der Matrix verteilt. Als Referenzpunkte in der FGM resultieren die Punkte  $(0,15/0,15)$ ,  $(0,15/0,85)$ ,  $(0,85/0,15)$  und  $(0,85/0,85)$  (siehe Abbildung 6.4). Ausgehend von jedem der Referenzpunkte werden jeweils Modifikationsmodelle bzgl. der Flächen- oder Kantenrundheit verändert. Jeder horizontale und vertikale Modifikationspfad besitzt eine verfügbare Distanz  $\Delta = 0,85$  zwischen Referenzpunkt und Matrixgrenze für die Modifikationsaufgabe (siehe Abbildung 6.4).



**Abbildung 6.4:** Darstellung des Aufgabenumfangs in der Formgestaltmatrix, Studie 1

Ergänzend wird die Hauptdiagonale aus dem Koordinatenursprung (gleichzeitige Erhöhung bzw. gleichzeitige Verringerung der Flächen- und Kantenrundheit) betrachtet. Nach Kapitel 4.2.3 haben beide Modifikationen die gleiche Effektrichtung bei der Produktwirkung (z. B. maskulin / feminin). Die andere Diagonale (z. B. Verringerung der Kantenrundheit und gleichzeitige Erhöhung der Flächenrundheit) ist nicht Teil der Studie, da die Produktwirkung anhand Flächen- und Kantenrundheit mit entgegen gerichteten Effekten verändert wird. Die Modifikationsmodelle sind in der FGM mit den Koordinatenabständen 0,01 für die Darstellung vorberechnet und als Polygonmodelle auf den Schieberegler hinterlegt. In der Wahrnehmung erfolgt eine quasi-stufenlose Modifikation der Produkte. Modelle mit  $wFR = 0$  und  $wKR = 0$  werden nicht angezeigt, da ebene Flächen und scharfe Kanten ohne Flächenübergänge Extremfälle darstellen, welche das Antwortverhalten der Probanden nicht beeinflussen sollen.

Für die Betrachtung der Farbeigenschaften (Graustufe und Reflexionsvermögen) wird die Modifikation auf der Hauptdiagonale mit gleichzeitiger Erhöhung der Flächen- und Kantenrundheit genutzt ( $(0,15/0,15)$  &  $(0,15+\Delta/0,15+\Delta)$ ). Die Farbeigenschaften entsprechen Abbildung 5.6 (Farbe 1a & 2a bzw. 1b & 2b für Grautonvariation mit Farbe 3 bzw. 4 für ergänzende Elemente; Farbe 1a & 1b bzw. 2a & 2b für Reflexionsvermögensänderungen). Die simultan dargestellten Produkte haben immer die identischen Farbeigenschaften.

Da alle Modifikationsaufgaben in der PP- und PS-Markenebene durchgeführt werden, ergeben sich 20 Modifikationen in der FGM mit den Produkten der Standardfarbe und sechs weitere Modifikationen mit Farbvariationen (siehe Abbildung 6.4). Darstellungen der Reizmuster in der FGM befinden sich im Anhang (Abbildung A.2 bis Abbildung A.5). Die Produkte in diesen Abbildungen sind identisch skaliert dargestellt und daher auch zwischen den Abbildungen direkt miteinander vergleichbar.

Der Modifikationsumfang der Produkte wird durch die Matrix begrenzt. Theoretisch kann der vorhandene Modifikationsumfang nicht für die Einstellung der Urteilsschwelle ausreichen. In diesem Fall würden alle angebotenen Modifikationsprodukte und das Referenzprodukt zu einer Marke gehören. Der Proband wird bei der Versuchseinführung über diesen Umstand in Kenntnis gesetzt und gebeten, im Auftreten dieses Falles den Schieberegler im maximalen Ausschlag zu platzieren. Weiterhin wird der Proband aufgefordert, bei jedem Paarvergleich zu Beginn den vollen Ausschlag des Schiebereglers zu betätigen, um den gesamten Modifikationsbereich zu inspizieren.

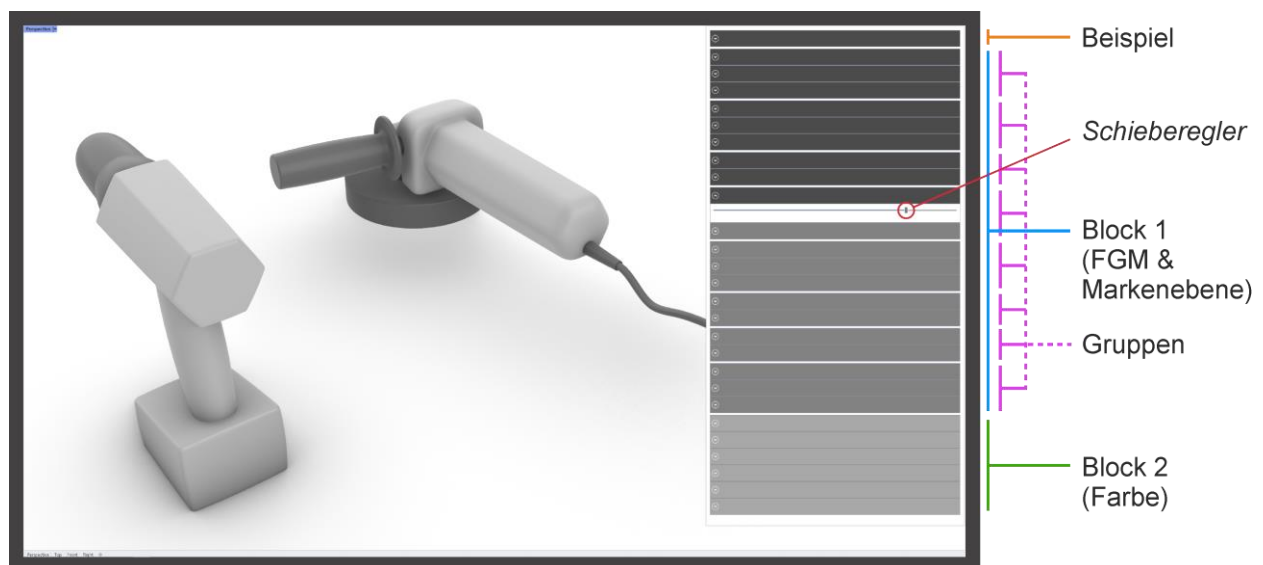
Der Versuch wird in den Laborräumen des IKTD durchgeführt. Der Versuchsaufbau entspricht Kapitel 5.4.1.3.



#### 6.1.1.4 Versuchsablauf

Der Proband unterzeichnet vor Durchführung des Versuchs eine Einverständniserklärung. Anschließend erfolgt eine Einstufung des visuell-räumlichen Vorstellungsvermögens. Dazu wird der Test „Räumliches Vorstellungsvermögen“ (3D/S1) mit Zeitbegrenzung [BRATFISCH ET AL. 2018] des Wiener Testsystems (WTS) durchgeführt [SCHUHFRIED 2022]. Anhand der Ergebnisse können die Probanden mit einer validierten Normstichprobe verglichen werden. Die Einweisung und Durchführung des Tests finden standardisiert und computergestützt statt. Der Proband bearbeitet den Test eigenständig an einem Computer.

Anschließend bekommt der Proband eine kurze Einführung zur Studie und eine Erklärung der Aufgabe. Es folgt die Einstellung der Urteilsschwelle an einem Übungsbeispiel (AS-(0,15/0,15) & WSk-(0,15+ $\Delta$ /0,15+ $\Delta$ )), welches in dieser Kombination nicht Teil der Studie ist. Alle Probanden bekommen das gleiche Übungsbeispiel, um unterschiedliche Priming-Effekte [vgl. MYERS 2015, S. 345f.] zu vermeiden. Im ersten Block der Studie werden 20 Modifikationsaufgaben mit der Standardfarbe (Farbe 1a & 3 in Abbildung 5.6) durchgeführt (siehe Abbildung 6.5).



**Abbildung 6.5:** Bildschirmdarstellung der ersten Studie aus Sicht eines Probanden

Damit der Proband nicht bei jeder Aufgabe das Referenzprodukt neu analysieren muss, werden die Modifikationsaufgaben pro Referenzpunkt gruppiert. Je nach Referenzpunkt, sind in einer Gruppe zwei oder drei Produktpaare vorhanden. Innerhalb dieser Gruppen werden die Aufgaben in randomisierter Reihenfolge, pro Proband, abgearbeitet. Auch die Gruppen werden innerhalb des ersten Blocks in randomisierter Reihenfolge angezeigt. Im zweiten Block folgen die sechs Aufgaben mit Variation der Farbeigenschaften ebenso

in randomisierter Reihenfolge. Die Aufgabenstellung (Abbildung 6.2) befindet sich in ausgedruckter Form auf dem Tisch und kann jederzeit vom Probanden gelesen werden. Nach dem Übungsbeispiel bearbeitet der Proband eigenständig alle weiteren Modifikationsaufgaben. Es kann nicht zu bereits bearbeiteten Aufgaben zurückgekehrt werden, um Bewertungen nachträglich zu korrigieren.

Anschließend beantwortet der Proband die Ergänzungsfragen verbal in einer Nachbefragung. Da jeder Proband jede Bewertung ausführt, handelt es sich um eine Studie mit Messwiederholung (within-subjects-design) [vgl. DÖRING & BORTZ 2016, S. 209]. Zum Abschluss erhalten die Probanden 10 € Aufwandsentschädigung. Die Dauer der Studie beträgt ca. eine Stunde und ist von der Entscheidungsfreudigkeit des Probanden bei dem Herstellen der Urteilsschwellen abhängig.

### **6.1.2 Studienergebnisse**

Dieses Kapitel beschreibt das Auswertevorgehen (Kapitel 6.1.2.1), statistische Verfahren (Kapitel 6.1.2.2), Probandenkollektiv (Kapitel 6.1.2.3) und die Ergebnisse (Kapitel 6.1.2.4 - 6.1.2.6) der ersten Studie. Eine Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse folgen anschließend in Kapitel 6.1.3.

#### **6.1.2.1 Vorgehen der Auswertung**

Die Bewertungen der Urteilsschwelle in der FGM sind intervallskaliert. Entsprechend Kapitel 2.4.2.1 stellt der Median aller individuellen 50 %-Urteilsschwellen die interindividuelle Urteilsschwelle bzgl. der Markenzugehörigkeit dar. Diese 50 %-Urteilsschwelle stellt den Freiheitsgrad der Gestaltung dar, bis zu dem modifiziert werden kann und 50 % der Probanden die beiden Produkte noch zu einer gemeinsamen Marke zuordnen. Da die Bewertungen immer im Bezug zum Referenzprodukt stehen, ist die Distanz bzw. Differenz  $\Delta$  zum Referenzpunkt in der Formgestaltmatrix relevant. Diese Differenz stellt die Basis für alle inferenzstatistischen Analysen der Unterschiede und Zusammenhänge mit den ergänzenden Fragen dar. Sofern möglich, werden Varianzanalysen (Anova, siehe Kapitel 6.1.2.2) durchgeführt. Wenn dies nicht möglich ist, kommen direkt multiple Paarvergleiche zum Einsatz. Dies ist insbesondere erforderlich, wenn der angebotene Modifikationsbereich bei einem Probanden nicht für das Festlegen einer Schwelle ausreichend war und daher einseitig gestutzte Daten vorliegen.

Nach DÖRING & BORTZ [2016, S. 251] ist die Interpretation von Ratingskalen mit mindestens fünf Stufen und gleichabständigen Punkten bzw. Beschriftung als intervallskaliert zulässig. Die Ratingskalen der ergänzenden Fragen werden daher als intervallskaliert interpretiert.

### 6.1.2.2 Auswahl statistischer Verfahren und Ergebnisdarstellung

Eine detaillierte Beschreibung über deskriptive Auswertungen und inferenzstatistische Grundlagen (u. a. Signifikanzniveau) sind in Kapitel 5.4.2.2 zu finden.

Diagramme (deskriptive Ergebnisdarstellung) greifen auf die FGM zurück (siehe Abbildung 6.1). Die Ergebnisse werden entweder direkt in der FGM dargestellt oder die FGM wird in miniaturisierter Form zur Visualisierung von Referenzprodukt und Modifikationspfad eingesetzt.

Weil das Signifikanzniveau lediglich eine Irrtumswahrscheinlichkeit darstellt, wird bei inferenzstatistischen Tests ergänzend die Effektstärke angegeben. Nach COHEN [1988, S. 25f., 79ff., 368] werden die Effektstärken wie folgt definiert (partielles Eta-quadrat  $\eta_p^2$ , Cohen's  $d$ , Korrelationskoeffizient  $r$ ):

- Klein  $\eta_p^2 \geq 0,01$ ;  $d \geq 0,20$ ;  $r \geq 0,10$ ,
- mittel  $\eta_p^2 \geq 0,06$ ;  $d \geq 0,50$ ;  $r \geq 0,30$ ,
- groß  $\eta_p^2 \geq 0,14$ ;  $d \geq 0,80$ ;  $r \geq 0,50$ .

Aufgrund des within-subject-designs (siehe Kapitel 6.1.1.4) kommen bei der Identifikation von Unterschieden entsprechende inferenzstatistische Verfahren für abhängige Gruppen bzw. Messwiederholungen zur Anwendung [vgl. ALBERT & MARX 2010, S. 140]. Entsprechend des zentralen Grenzwerttheorems kann bei einer Stichprobe  $n \geq 30$  von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden [vgl. DÖRING & BORTZ 2016, S. 640f.]. Zudem sind die hier relevanten Testverfahren (Anova mit Messwiederholung, gepaarter  $t$ -Test für abhängige Stichproben) relativ robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung [PAGANO 2010, S. 373 & 413], [STONE 2010, S. 1563], [WILCOX 2012, S. 8ff.]. Die Normalverteilung für diese Tests wird demnach angenommen und nicht separat nachgewiesen.

Unter der Annahme der Normalverteilung werden ein- und mehrfaktorielle Anova's (Analysis of Variance) mit Messwiederholung bei intervallskalierten Daten durchgeführt. Wenn die Voraussetzung der Sphärizität nicht mit dem Mauchly-Test nachgewiesen werden kann, wird entsprechend VERMA [2015, S. 84] eine Greenhouse-Geisser- bzw. Huynh-Feldt-Korrektur durchgeführt. Als Post-Hoc-Tests werden gepaarte  $t$ -Tests für abhängige Stichproben angewandt [vgl. BÜHNER & ZIEGLER 2009, S. 242ff.].

Als nicht-parametrische Analyseverfahren bei ordinalskalierten Daten wird der Friedman-Test mit dem Dunn-Test [DUNN 1964] als Post-Hoc-Test eingesetzt [vgl. BÜHNER & ZIEGLER 2009, S. 470ff.].

Als nicht-parametrische Alternative zum gepaarten  $t$ -Test bei abhängigen Stichproben, wird bei intervallskalierten Daten der Wilcoxon-Test (bzw. Vorzeichenrang-Test) angewendet [vgl. EBD., S. 271ff.]. Hintergrund sind gestutzte Messungen der Studie, welche

die Anwendung des  $t$ -Tests nicht ermöglichen. Für den Wilcoxon-Test existiert eine modifizierte Form (Gehan-Korrektur [GEHAN 1965]) für gestutzte Messungen [BORTZ ET AL. 2008, S. 266]. Der Wilcoxon-Gehan-Test wird entsprechend der Vorgehensbeschreibung von LIENERT [1973, S. 338ff.] bei Paarvergleichen mit gestutzten Daten durchgeführt.

Bei allen Paarvergleichen ( $t$ -Test, Dunn-Test, Wilcoxon-Test) wird die zweiseitige Signifikanz angegeben. Für eine Anpassung des Signifikanzniveaus bei multiplen Paarvergleichen wird stets die Bonferroni-Holm-Korrektur (korrigierter Signifikanzwert  $p_{Korr}$ ) durchgeführt [vgl. BÜHNER & ZIEGLER 2009, S. 554f.].

Für die Prüfung von Zusammenhängen werden Korrelationstests angewendet. Bei ordinalskalierten Daten wird die Spearman-Rangkorrelation eingesetzt und bei intervallskalierten Daten die Korrelation nach Pearson gerechnet. [ALBERT & MARX 2010, S. 121ff.]

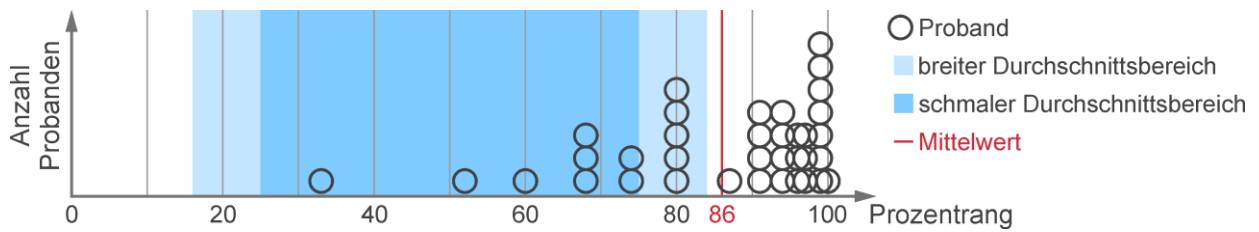
Gruppierungen von Objekten bzw. Probanden werden mit hierarchischen Clusteranalysen durchgeführt. Nach BACKHAUS ET AL. [2021, S. 520] wird das Single-Linkage-Verfahren zur Identifizierung und Entfernung von Ausreißern verwendet. Die aussagekräftige Clusteranalyse erfolgt danach anhand des Ward-Verfahrens [EBD., S. 521]. Bei beiden Verfahren wird die quadrierte euklidische Distanz als Distanzmaß eingesetzt. Die optimale Anzahl an Clustern wird nach dem Elbow-Kriterium festgelegt [EBD., S. 528ff.].

### 6.1.2.3 Probandenkollektiv

Als Anforderung bei der Probandensuche wurde „Interesse an Elektrohandwerkzeugen“ für die Bewertung der Urteilsschwelle dieser Produktkategorie vorausgesetzt. Aufgrund dieser Produktkategorie wurde die Geschlechterparität nicht beachtet. Die Probanden wurden vor allem im universitären Umfeld angeworben, was nach DÖRING & BORTZ [2016, S. 305ff.] einer Gelegenheitsstichprobe entspricht.

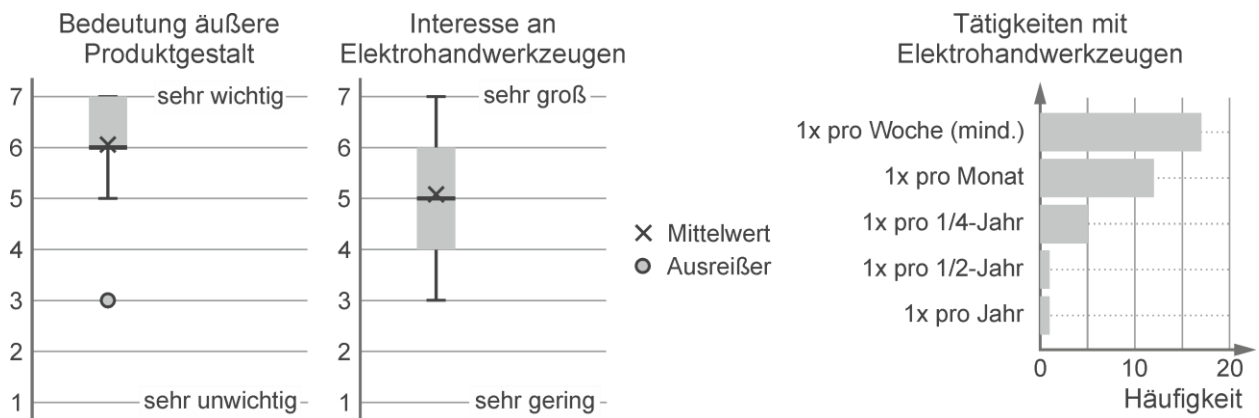
Das Alter der 36 Probanden liegt zwischen 18 und 56 Jahren (Mittelwert: 30,97; Std.-Abweichung: 7,58). Die Stichprobe setzt sich aus drei weiblichen und 33 männlichen Personen zusammen (34 deutsch, zwei aus weiteren EU-Ländern). 31 der Probanden sind berufstätig und von diesen arbeiten 26 in Ingenieurberufen. Keiner der Probanden arbeitet hauptberuflich mit den Produkten der Studie.

Die Ergebnisse des Tests „Räumliches Vorstellungsvermögen“ (3D/S1) (siehe Kapitel 6.1.1.4) sind als Prozentrang in Abbildung 6.6 dargestellt. Alle Probanden befinden sich mindestens im Durchschnittsbereich der Normstichprobe. Im Mittelwert ist die Stichprobe sogar als überdurchschnittlich einzuordnen. Dies ist vermutlich auf den hohen Anteil an Ingenieuren zurückzuführen.



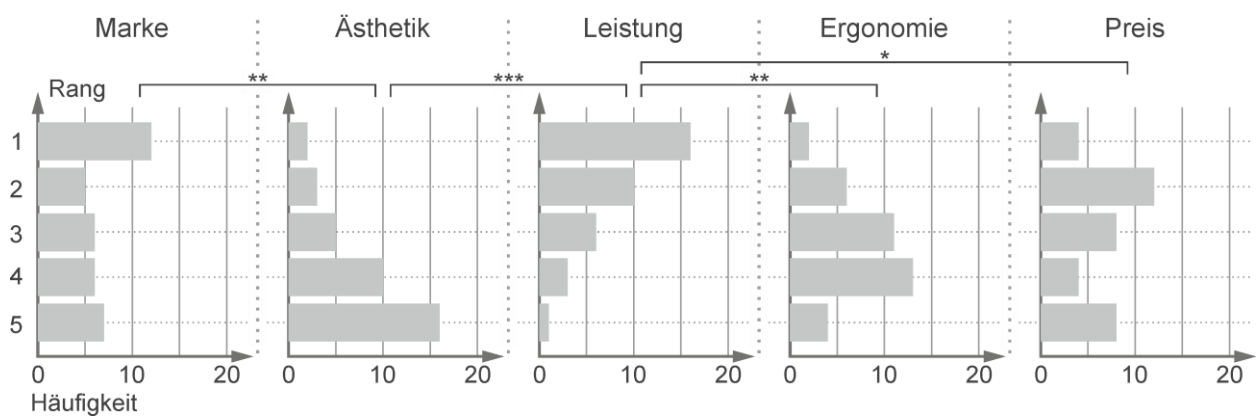
**Abbildung 6.6:** Einstufung der Probanden im WTS bzgl. 3D/S1, Studie 1

Insgesamt ist den Probanden die äußere Produktgestalt wichtig und das Interesse an Elektrohandwerkzeugen tendenziell groß (siehe Abbildung 6.7). 80,5 % der Probanden arbeiten mindestens einmal pro Monat mit Elektrohandwerkzeugen.



**Abbildung 6.7:** Bedeutung der äußeren Produktgestalt, Produktinteresse und Produktnutzung, Studie 1

Bei dem Einkaufsverhalten besteht ein höchst signifikanter Unterschied (Friedman-Test:  $\chi^2(4) = 31,067; p < 0,001$  \*\*\*) der fünf Kriterien. Die Post-Hoc-Tests befinden sich in Tabelle A.3. In Abbildung 6.8 sind die Häufigkeiten der Ränge und die signifikanten, hoch signifikanten und höchst signifikanten Unterschiede des Post-Hoc-Tests dargestellt.



**Abbildung 6.8:** Häufigkeit der Ränge der Einkaufskriterien und signifikante, hoch signifikante und höchst signifikante Unterschiede, Studie 1

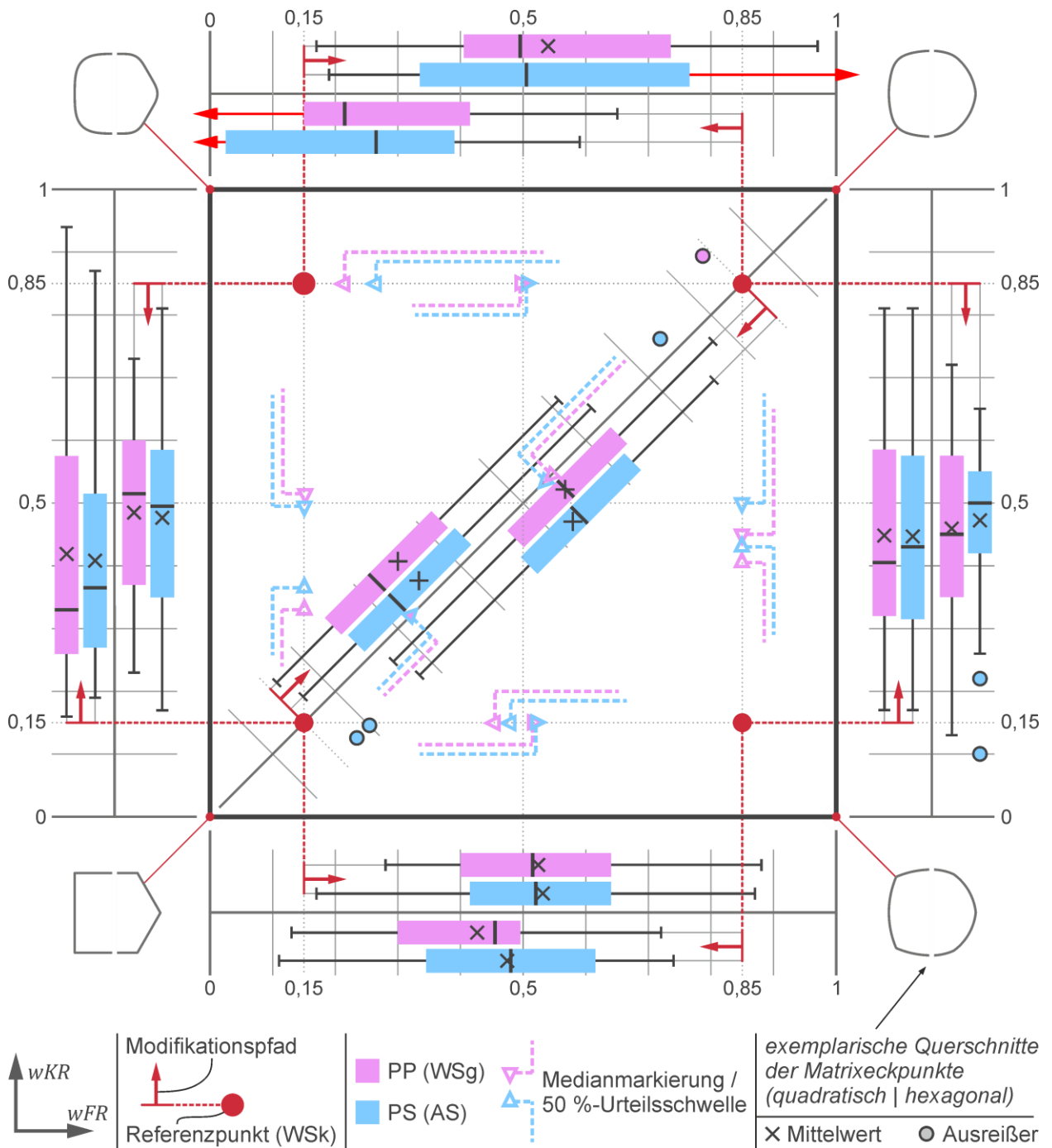
Die Häufigkeiten der Ränge sagen aus, wie oft die Probanden z. B. die Marke beim Einkaufsverhalten auf den ersten Platz (Rang 1) der Reihenfolge gesetzt haben. Demnach ist die Leistung das wichtigste Kriterium beim Einkauf von Elektrowerkzeugen. Weiterhin ist die Marke hoch signifikant wichtiger als die Ästhetik ( $z = -1,222$ ;  $p_{Korr} = 0,008$  \*\*;  $r = 0,204$ ).

Die Häufigkeit der Nutzung korreliert hoch signifikant mit dem Interesse an Elektrowerkzeugen ( $r_s = -0,466$ ;  $p = 0,004$  \*\*). Zudem besteht eine signifikante Korrelation zwischen dem Rang der Marke bei den Einkaufskriterien und der Häufigkeit der Nutzung ( $r_s = 0,406$ ;  $p = 0,014$  \*). Die weiteren nicht signifikanten Korrelationen sind in Tabelle A.4 zu finden.

#### 6.1.2.4 Ergebnisse Formgestaltmatrix

Die Ergebnisse der ersten Studie bzgl. der Formgestaltmatrix (FGM) werden in diesem Kapitel dargestellt und analysiert. Dafür erfolgt eine deskriptive und inferenzstatistische Analyse der Daten.

Bei drei Produktpaaren (WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85- $\Delta$ /0,85), WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,85), WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,85)) war einzelnen Probanden das Herstellen der Urteilsschwelle in dem angebotenen Modifikationsbereich nicht möglich. Diese haben bewertet, dass alle Modifikationsprodukte zu der gleichen Marken wie das Referenzprodukt gehören. Bei diesen Produktpaaren liegen demnach einseitig gestutzte Daten vor. Eine Angabe des Mittelwertes ist daher nicht möglich. Da der Anteil der gestutzten Daten jeweils unter 25 % liegt, können Median und Interquartilsabstand berechnet und in Form eines Boxplots eingezeichnet werden. Lediglich die Whisker auf den gestutzten Seiten sind in ihrer Länge nicht bekannt. Diese Whisker werden in Abbildung 6.9 bis Abbildung 6.11 mit einem roten Pfeil gekennzeichnet. In Abbildung 6.9 sind die Boxplots der 20 Bewertungen mit den Produkten der Standardfarbe in der FGM dargestellt. Mittig in Abbildung 6.9 ist die FGM mit roten Punktmarkierungen der Referenzpunkte zu erkennen. Für die Eckpunkte der FGM sind exemplarische Querschnitte abgebildet. Die Darstellungen der Modifikationspfade befinden sich mit Ausnahme der Matrixdiagonalen aus Übersichtsgründen jeweils außerhalb der FGM. In Richtung der roten Modifikationspfeile sind die Bewertungen durch den Schieberegler der Probanden als Boxplots dargestellt. Pro Modifikationspfeil ist je eine Bewertung der PP- und PS-Markenebene (PP: WSk & WSg, lila; PS: WSK & AS, blau) vorhanden. Da der Median der Bewertungen die 50 %-Urteilsschwelle darstellt, sind Medianmarkierungen in Dreiecksform auf dem eigentlichen Modifikationspfad innerhalb der FGM eingezeichnet.



**Abbildung 6.9:** Boxplots der Bewertungen und resultierende Urteilsschwellen in der FGM

Aus Abbildung 6.9 ist ersichtlich, dass Distanzen zu den 50 %-Urteilsschwellen bei geringen Referenzrundheiten (Flächen- und Kantenrundheit) kleiner als bei großen Referenzrundheiten sind. Insgesamt sind die Distanzen bei Referenzpunkt (0,15/0,15) am geringsten und bei Referenzpunkt (0,85/0,85) am größten. Bei hoher Kantenrundheit sind die Distanzen der Flächenrundheitsmodifikationen zu Urteilsschwellen sehr groß. In diesen Bereich fallen die drei gestutzten Datensätze. Tendenziell sind die Distanzen bei Modifikationen der Kantenrundheit geringer als bei Modifikationen der Flächenrundheit.

Auffällig anhand der Whisker ist, dass die Bewertungen bei fast allen Schwellen über einen großen Anteil des angebotenen Modifikationsbereichs streuen. Im Vergleich dazu sind die Interquartilsabstände gering, was wiederum auf eine geringe Streuung bei jeweils 50 % der Probanden hindeutet. Weiterhin ist bei WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15/0,15+ $\Delta$ ) eine größere Abweichung zwischen Mittelwert und Median vorhanden (siehe 1. Boxplot von links in Abbildung 6.9). Bei den PP- und PS-Bewertungen bei (0,85/0,15) & (0,85-  $\Delta$  /0,15) ist ein Unterschied bei den Grenzen der Interquartilsabstände zu erkennen (siehe 1. und 2. Boxplot von unten in Abbildung 6.9). Die weiteren nicht gestutzten Bewertungen unterscheiden sich tendenziell nicht zwischen den Markenebenen (PP & PS).

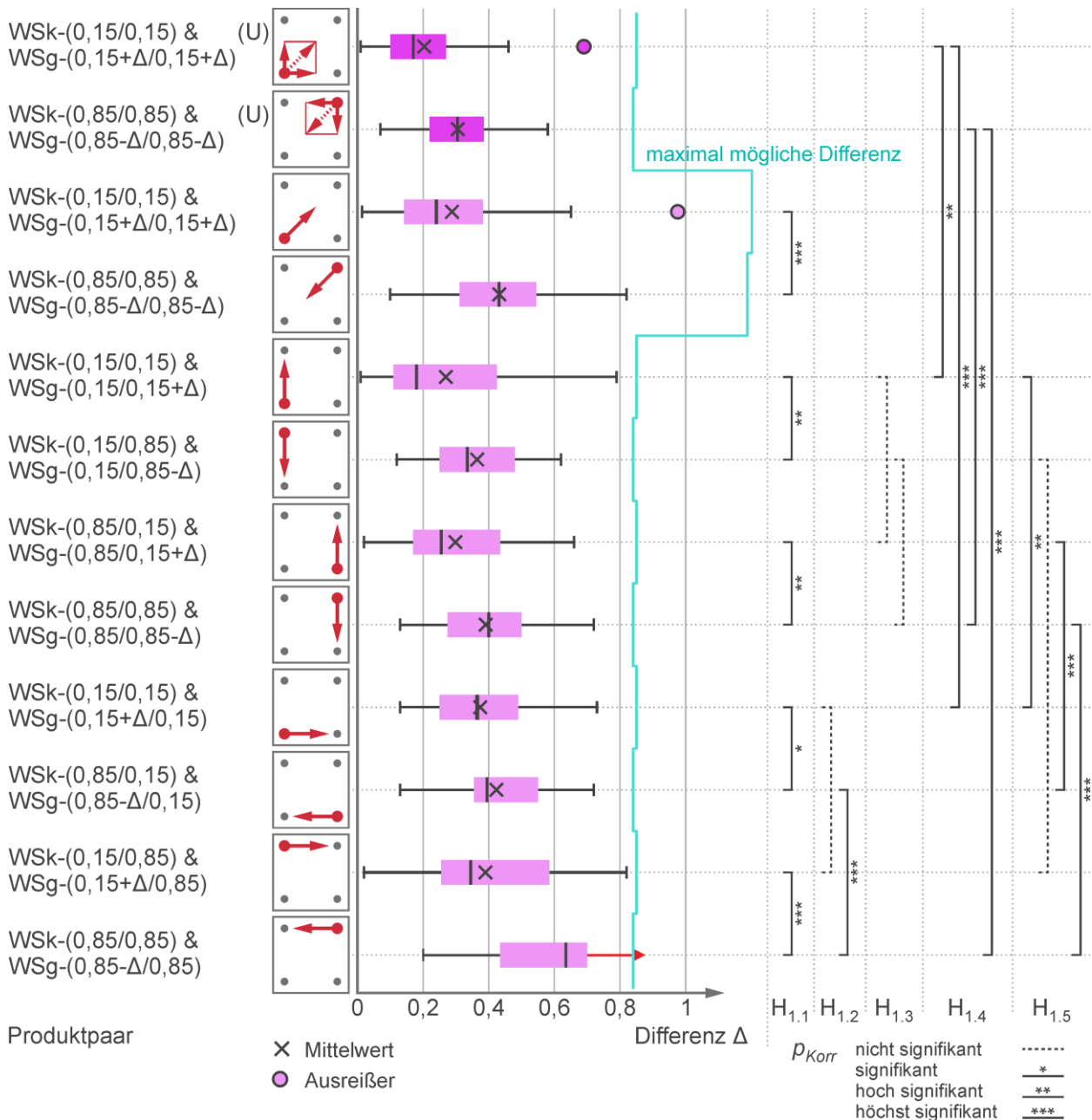
Für die Hypothesentests  $H_{1.1}$  -  $H_{1.5}$  kann aufgrund der gestutzten Daten lediglich bei  $H_{1.3}$  eine mehrfaktorielle Anova mit Messwiederholung (inkl.  $t$ -Tests als Post-Hoc-Tests) durchgeführt werden. Bei den anderen Hypothesentests ist jeweils mindestens ein gestutzter Datensatz vorhanden. Bei diesen Hypothesentests werden entsprechend Kapitel 6.1.2.2 multiple Wilcoxon-Tests gerechnet und bei gestutzten Datensätzen die Gehan-Korrektur angewendet. Als metrische Daten für die Tests dienen die Differenzen  $\Delta$  zwischen Referenzprodukt und eingestelltem Modifikationsprodukt in der FGM (siehe Abbildung 6.10 und Abbildung 6.11). Zur Übersichtlichkeit sind die pro Hypothese relevanten Paarvergleiche in Abbildung 6.10 und Abbildung 6.11 dargestellt. Nicht signifikante Paare sind mit gestrichelten Linien gekennzeichnet, während signifikante, hoch signifikante und höchst signifikante Unterschiede mit durchgezogenen Linien und dem Signifikanzniveau markiert sind. Die statistischen Test-Daten für die Bestimmung des Signifikanzniveaus befinden sich in Tabellen im Anhang (Tabelle A.5 bis Tabelle A.10).

Die Bewertungen innerhalb eines Modifikationspfades ( $H_{1.1}$ ) unterscheiden sich bei neun der zehn Paarvergleiche signifikant, hoch signifikant oder höchst signifikant (siehe Tabelle A.5). Dies weist darauf hin, dass auf den Modifikationspfaden keine gleichmäßigen Abstände für Schwellen existieren und dass die Schwelle von dem Referenzpunkt abhängig ist. Bei der einzigen nicht signifikanten Paarung könnten die ausgewählten Referenzpunkte auch zufällig zu vergleichbaren Ergebnissen geführt haben. Bei der Betrachtung der Vorzeichen der Teststatistik  $z$  fällt zudem auf, dass bei geringeren Referenzrundheiten kleinere Differenzen auftreten als bei den höheren Referenzrundheiten.

Die vier Paarvergleiche für  $H_{1.2}$  befinden sich in Tabelle A.6. Dabei unterscheiden sich die Bewertungen der Flächenrundheitsänderungen bei hoher Referenzflächenrundheit



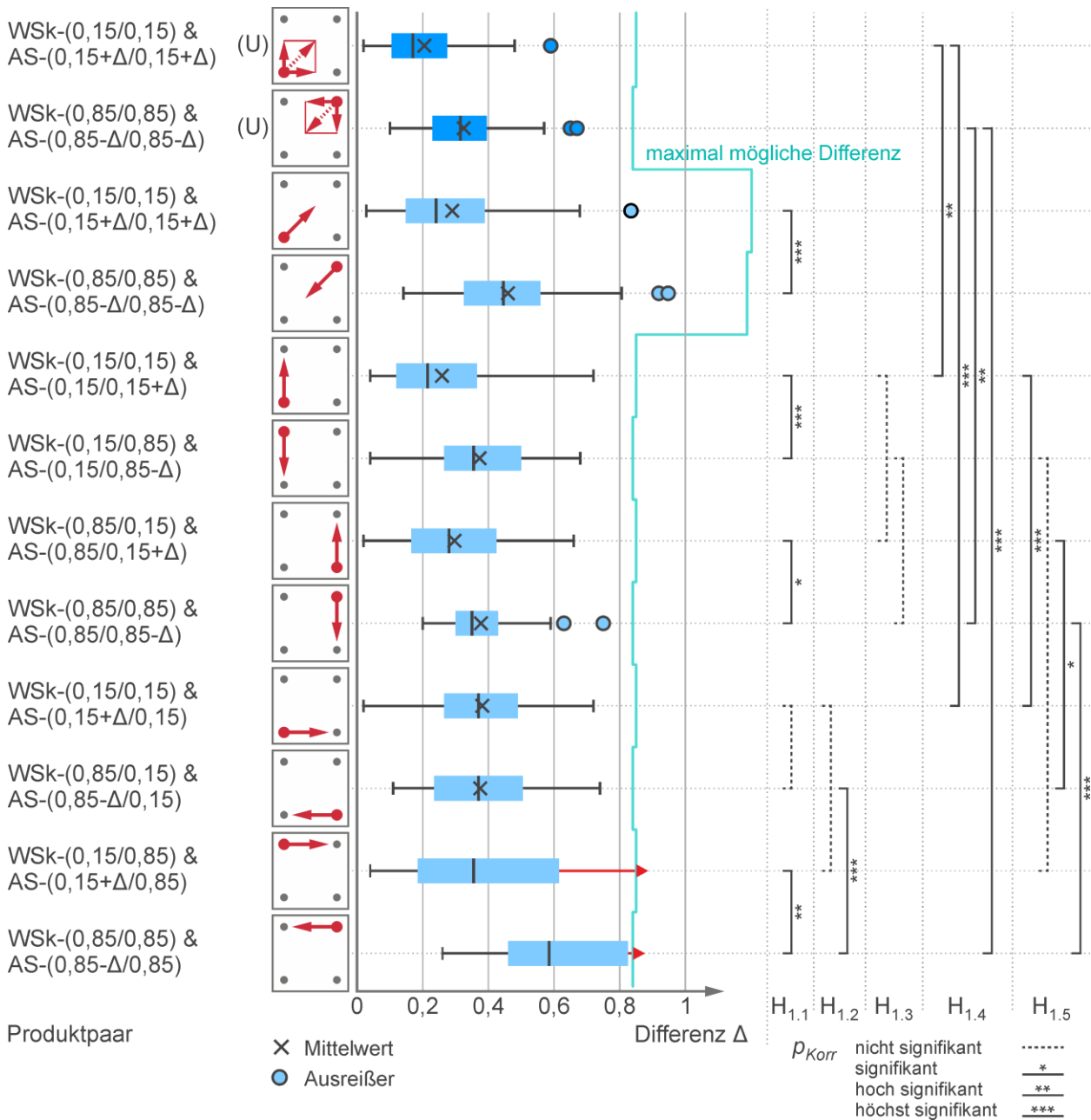
höchst signifikant, während bei geringer Referenzflächenrundheit keine signifikanten Unterschiede vorliegen (siehe Abbildung 6.10 und Abbildung 6.11). Dies deutet auf Verzerrungen der FGM im Kontext der Markenzugehörigkeit bei hohen Flächenrundheiten hin.



**Abbildung 6.10:** Differenzen der PP-Schwellenbewertung und signifikante, hoch signifikante und höchst signifikante Unterschiede (H<sub>1.1</sub> - H<sub>1.5</sub>)

Bei unterschiedlicher Referenzflächenrundheit unterscheiden sich die Kantenrundheitsbewertungen (H<sub>1.3</sub>) nicht signifikant voneinander ( $F(1, 35) = 2,850$ ;  $p = 0,100$ ;  $\eta_p^2 = 0,075$ ). Die weiteren Haupteffekte der mehrfaktoriellen Anova mit Messwiederholung unterstützen die Ergebnisse für den Modifikationspfad (H<sub>1.1</sub>) und die Markenebene (H<sub>1.6</sub>) (siehe Tabelle A.7). Zudem sind alle Interaktionseffekte und Post-Hoc-Paarvergleiche

(Tabelle A.8) nicht signifikant. Demnach hat eine Änderung der Referenzflächenrundheit keinen nachweislichen Einfluss auf die Urteilsschwellen bzgl. der Kantenrundheit.



**Abbildung 6.11:** Differenzen der PS-Schwellenbewertung und signifikante, hoch signifikante und höchst signifikante Unterschiede ( $H_{1.1}$  -  $H_{1.5}$ )

Für  $H_{1.4}$  werden die Differenzwerte der Bewertungen bei gleichzeitiger Flächen- und Kantenrundheitsmodifikation auf deren Anteile an reiner Flächen- und Kantenrundheitsmodifikation umgerechnet (U) (siehe Abbildung 6.10 und Abbildung 6.11). Alle relevanten Paarvergleiche unterscheiden sich hoch signifikant oder höchst signifikant (siehe Ta-

belle A.9). Demnach sind bei zweidimensionalen Rundheitsänderungen geringere Modifikationen pro Rundheit erforderlich als bei eindimensionalen Rundheitsänderungen, um die Urteilsschwelle zu erreichen.

Für  $H_{1.5}$  werden pro Referenzpunkt reine Flächenrundheitsmodifikationen und reine Kantenrundheitsmodifikationen auf Unterschiedlichkeit überprüft. Tabelle A.10 zeigt, dass bei sechs der acht Paarvergleiche ein signifikanter, hoch signifikanter oder höchst signifikanter Unterschied besteht. An Referenzpunkt (0,15/0,85) besteht in der PP- und PS-Ebene kein signifikanter Unterschied zwischen den Modifikationsrichtungen (siehe Abbildung 6.10 und Abbildung 6.11). An den Vorzeichen der Teststatistik  $z$  ist zudem ersichtlich, dass bei Kantenrundheitsänderungen die Differenz zu der Urteilsschwelle immer niedriger ist als bei Flächenrundheitsänderungen.

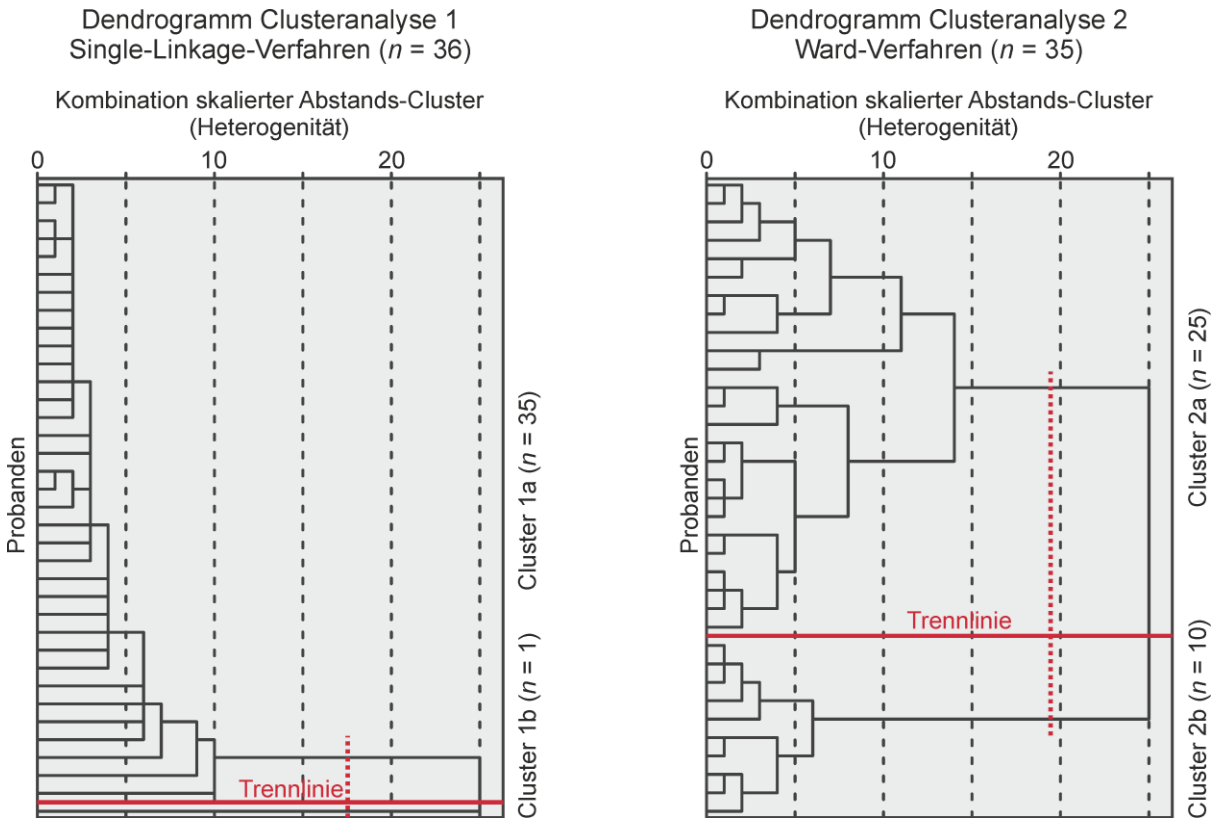
Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen der Schwellenbewertungen mit den ergänzenden Fragen (Produktinteresse, Bedeutung der äußeren Produktgestalt, Häufigkeit der Produktnutzung und Rang der Marke beim Einkauf) befinden sich in Tabelle A.11. Von den 80 Korrelationsergebnissen zeigen lediglich drei einen signifikanten oder hoch signifikanten Zusammenhang auf. Von einem allgemeinen Zusammenhang der Schwellenbewertungen mit der abgefragten subjektiven Vorprägung kann daher nicht ausgegangen werden.

#### 6.1.2.5 Ergebnisse Markenebene

Auffällig in Abbildung 6.9 sind die geringen Unterschiede zwischen PP- und PS-Markenebene. Die multiplen Paarvergleiche für  $H_{1.6}$  sind in Tabelle A.12 dargestellt. Bei keinem der zehn Paarvergleiche kann ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Sogar das Anpassen des Signifikanzniveaus auf  $p \leq 0,1$  [vgl. ELLIS 2010, S. 85] und der Verzicht auf eine Bonferroni-Holm-Korrektur führen nicht zu signifikanten Unterschieden.

Bei der Studie wurde von einigen Probanden rückgemeldet, dass sie in der PS-Ebene engere Urteilsschwellen eingestellt haben, weil aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus die Ähnlichkeit über die Formgestalt kompensiert werden muss. Andere Probanden äußerten, dass in der PP-Ebene engere Urteilsschwellen erforderlich sind, weil durch den identischen Aufbau auch eine höhere Ähnlichkeit in der Formgestalt erwartet wird. Aufgrund der widersprüchlichen Rückmeldungen wird nach Gruppierungen in dem Probandenkollektiv bzgl. des Antwortverhaltens explorativ gesucht. Die Bewertungen der Flächenrundheitsmodifikationen bei  $wKR = 0,85$  werden aufgrund der gestutzten Daten bei der explorativen Analyse ausgeschlossen. Anhand des Single-Linkage-Verfahrens mit den 16 verbleibenden Bewertungen wird ein Proband für die weitere Betrachtung ausgeschlossen (siehe linkes Dendrogramm in Abbildung 6.12). Bei der Clusteranalyse mit dem Ward-Verfahren resultieren als Ergebnis zwei Cluster bzw. Gruppen (siehe rechtes

Dendrogramm in Abbildung 6.12). Für beide Cluster befinden sich die je acht Paarvergleiche zwischen PP- und PS-Markenebene in Tabelle A.13 und Tabelle A.14. Pro Cluster weist je einer der Paarvergleiche einen signifikanten oder hoch signifikanten Unterschied auf. Aufgrund der geringen Anzahl an signifikanten Unterschieden nach der Probandengruppierung kann die Nullhypothese  $H_{01.6}$  daher nicht verworfen werden.

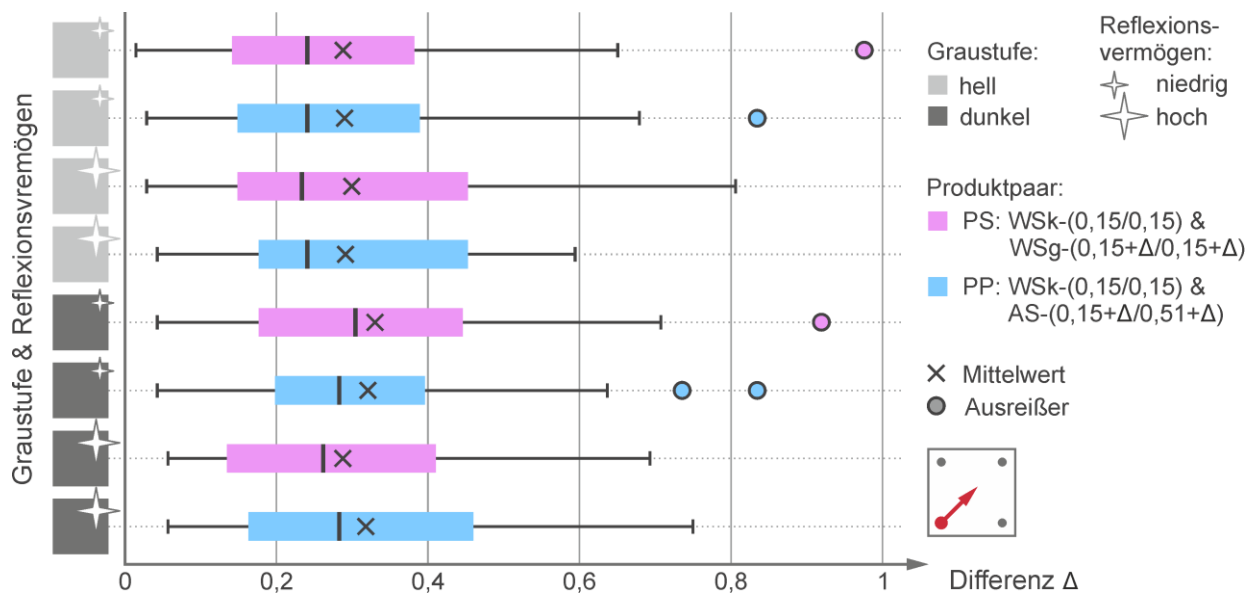


**Abbildung 6.12:** Dendrogramme der Clusteranalysen

### 6.1.2.6 Ergebnisse Farbeigenschaften

Die Ergebnisse der Differenzen der Urteilsschwellen bei unterschiedlichen Farbeigenschaften sind in Abbildung 6.13 dargestellt. Dabei sind nur geringe Mittelwertunterschiede bei den Bewertungen zu erkennen.

Die mehrfaktorielle Anova mit Messwiederholung ergibt einen signifikanten Haupteffekt bei den Graustufen ( $F(1, 35) = 5,852$ ;  $p = 0,021$  \*;  $\eta_p^2 = 0,143$ ). Bei dem Reflexionsvermögen besteht kein signifikanter Unterschied ( $F(1, 35) = 0,589$ ;  $p = 0,448$ ;  $\eta_p^2 = 0,017$ ). Der Haupteffekt der Markenebene und die Interaktionseffekte sind nicht signifikant (siehe Tabelle A.15).



**Abbildung 6.13:** Differenzen der Schwellenbewertung bei Farbvariationen

### 6.1.3 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Tabelle 6.2 fasst die Ergebnisse der Hypothesenprüfungen der ersten Studie zusammen. Dabei ist gekennzeichnet, ob die korrespondierende Nullhypothese verworfen werden muss („ja / nein“) und ggf. die Alternativhypothese angenommen werden kann. Wenn bei multiplen Paarvergleichen nicht alle Paarvergleiche signifikant, hoch signifikant oder höchst signifikant unterschiedlich sind, wird dies mit „ja, teilweise“ gekennzeichnet.

In Tabelle 6.2 wird ersichtlich, dass bei allen mit „ja, teilweise“ gekennzeichneten Hypothesen ( $H_{1.1}$ ,  $H_{1.2}$  &  $H_{1.5}$ ) Modifikationen der Flächenrundheit beinhaltet sind. Daraus folgen Verzerrungen der Flächenrundheit in der FGM bzgl. der Markenzugehörigkeit. Diese treten vor allem bei höheren Rundheiten auf. Dies ist dem Aufbau der FGM bzw. dem Modellierungsvorgehen geschuldet. Die wahrgenommene Flächenrundheit wird ohne modellierte Flächenübergänge betrachtet. Mit zunehmender Kantenverrundung (Erhöhung der Kantenrundheit) wird allerdings der Anteil der Flächen an der Oberfläche immer geringer. Diese Überlagerung der Flächenrundheit durch Kantenrundheit führt vermutlich zu diesen Verzerrungen. Abhilfe könnte ein zusammengefasstes Rundheitsmaß schaffen.

Trotz dieser Überlagerungen in der FGM kann zusammengefasst werden, dass bei Kantenrundheitsänderungen die Differenzen zu Urteilsschwellen geringer bzw. mindestens gleich groß sind als bei Flächenrundheitsmodifikationen. Eindeutig wird dies durch die Referenzpunkte mit niedriger Kantenrundheit bei Hypothese  $H_{1.5}$  ((0,15/0,15), (0,85/0,15)). Dies entspricht zudem der Analyse in Kapitel 4.2.3 zur Produktwirkung, bei welcher die Kantenrundheit die meisten Erwähnungen bekommt.

H <sub>x</sub>	FGM-Beispiel	Beschreibung H <sub>x</sub>	H <sub>0x</sub> verworfen
H <sub>1.1</sub>		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit unterscheidet sich innerhalb eines Modifikationspfads, bei unterschiedlichen Referenzpunkten.	(✓)
H <sub>1.2</sub>		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit bei identischer Referenzflächenrundheit und unterschiedlicher Referenzkantenrundheit, unterscheidet sich bei Flächenrundheitsänderungen.	(✓)
H <sub>1.3</sub>		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit bei identischer Referenzkantenrundheit und unterschiedlicher Referenzflächenrundheit, unterscheidet sich bei Kantenrundheitsänderungen.	X
H <sub>1.4</sub>		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit bei identischer Referenzflächenrundheit und -kantenrundheit, unterscheidet sich zwischen gleichzeitiger Flächen- und Kantenrundheitsänderung und ausschließlicher Flächen- und Kantenrundheitsänderung.	✓
H <sub>1.5</sub>		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit bei identischer Referenzflächenrundheit und -kantenrundheit, unterscheidet sich zwischen ausschließlicher Flächen- und Kantenrundheitsänderung.	(✓)
H <sub>1.6</sub>		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit unterscheidet sich zwischen PP- und PS-Markenebene.	X
H <sub>1.7</sub>		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit unterscheidet sich zwischen unterschiedlichen Graustufen der Oberfläche.	✓
H <sub>1.8</sub>		Die Bewertung der Markenzugehörigkeit unterscheidet sich zwischen unterschiedlichem Reflexionsvermögen der Oberfläche.	X
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>✓ Ja</span> <span>(✓) Ja, teilweise</span> <span>X Nein</span> </div>			

**Tabelle 6.2:** Ergebnisse der Hypothesenprüfung, Studie 1

Verzerrungen bzgl. der Kantenrundheit konnten bei Änderungen der Referenzflächenrundheit nicht ermittelt werden (H<sub>1.3</sub>). Wenn die Medianwerte bzw. 50 %-Urteilsschwellen in Abbildung 6.9 betrachtet werden, fallen Unterschiede auf. Allerdings sind die Unterschiede der Mittelwerte tendenziell gering. Dass keine signifikanten Paarvergleiche nachgewiesen wurden, kann daher auch an der Auswahl des statistischen Tests liegen.

Es treten Unterschiede innerhalb eines Modifikationspfades auf (H<sub>1.1</sub>). Hier ist stets bei geringen Referenzrundheiten die Differenz zur Schwelle kleiner als bei hohen Rundheiten. H<sub>1.4</sub> bestätigt weiterhin, dass die Zunahme einer zweiten Rundheitsart zu geringeren Differenzen zur Urteilsschwelle in der ursprünglichen Rundheitsart führt.

Die Nullhypothese  $H_{01.6}$ , welche besagt, dass zwischen Urteilsschwellen in der PP- und PS-Markenebene kein Unterschied existiert, bleibt bestehen. Anhand Unterschiedsprüfungen kann generell keine Nullhypothese bestätigt werden. Durch die hohen Signifikanzwerte ( $p > 0,1$ ), noch vor der Bonferroni-Holm-Korrektur, wird dennoch davon ausgegangen, dass zwischen der PP- und PS-Markenebene kein Unterschied bzgl. der Urteilsschwellen besteht. Auch eine Gruppierung der Probanden nach deren Antwortverhalten führt nicht zu allgemeingültigen Unterschieden zwischen den Markenebenen. Dies widerspricht zudem Kapitel 2.3.4, nach welchem in der PP-Ebene die Differenzierung und in der PS-Ebene die Ähnlichkeit der Produkte wichtig ist.

Ein Aspekt bei dem Vergleich der PP- und PS-Markenebene ist, dass die eingesetzten Produkte geringfügig verschiedene Abmessungen sowie geringe Unterschiede bei Flächenproportionen und -winkeln besitzen. Unterschiede bei absoluten Radien der Flächen und Kanten sind vor allem bei den Größenunterschieden der beiden Winkelschleifer (WSk & WSg) unvermeidbar. Demgegenüber ist der Unterschied der absoluten Radien zwischen WSk & AS geringer als bei WSk & WSg, wobei der WSk stets die geringsten absoluten Radien besitzt. Prinzipiell stellt sich die Frage, ob die nicht signifikanten Unterschiede der Markenebenen auf die Differenzen der absoluten Radien bei den Produkten zurückzuführen sind. Diese Frage kann mit folgender Begründung verneint werden: Generell ist es naheliegend, dass bei geringen Referenzrundheiten keine Unterschiede zwischen den Markenebenen erkennbar sind, da die Differenzen der absoluten Radien bei geringen Rundheiten ebenso gering sind. Die Differenzen der absoluten Radien sind bei hohen Referenzrundheiten allerdings deutlich größer. Wenn die Differenzen zwischen absoluten Radien einen relevanten Effekt haben sollten, müssten in Abbildung 6.9 Unterschiede bei den Urteilsschwellen hoher Referenzrundheiten vorhanden sein. Da diese Unterschiede in Abbildung 6.9 nicht erkennbar sind, kann davon ausgegangen werden, dass bei geringfügig verschiedenen Produktabmessungen und gering unterschiedlichen Flächenproportionen und -winkeln, die skalierungsunabhängige wahrgenommene Flächen- und Kantenrundheit relevant für die Markenzugehörigkeit ist.

Bei der Farbvariation wurde nur ein signifikanter Unterschied bei dem Einsatz unterschiedlicher Graustufen ermittelt. Die nach Kapitel 2.4.3.4 relevanten Glanzeigenschaften für die Wahrnehmung der Teilgestalt Form führen in Form des Reflexionsvermögens nicht zu signifikant unterschiedlichen Ergebnissen. Es ist anzumerken, dass die Farbvarianten nur entlang eines Modifikationspfades in der FGM untersucht wurden und die Ergebnisse daher eine Grundlage für weitere Untersuchungen darstellen. Ein Einfluss durch die Farbe besteht, auch wenn dieser bei einheitlicher Farbgebung innerhalb der

Marke gering ist. Nicht untersucht wurde, wie sich der Freiheitsgrad der Gestaltung bei zwei Produkten mit unterschiedlicher Farbgebung verhält.

Die beschriebenen Ergebnisse beziehen sich aufgrund der Aufgabenstellung dieser Studie vor allem auf die 50 %-Urteilsschwelle. Anhand der Interquartilsabstände der Boxplots in Abbildung 6.9 kann weiterhin auch die 25 %- und 75 %-Urteilsschwelle abgelesen und interpretiert werden.

Für die Güte der beschriebenen Ergebnisse ist zudem relevant, dass kein allgemeiner signifikanter Zusammenhang zu den ergänzenden Fragen (produktspezifische subjektive Vorprägung) besteht.

Zuletzt kann das Studiendesign diskutiert werden. Ob große Streuungen der Bewertungen und teilweise große Abweichungen zwischen Mittelwert und Median auf die Herstellungsmethode zurückzuführen sind, kann nicht geklärt werden. Es bleibt offen, ob die ermittelten Urteilsschwellen zwischen zwei Produkten bidirektional gelten. Hintergrund ist die Aufgabe der Modifikation des Produktes bis zu einer Schwelle. Obwohl die Aufgabe (siehe Abbildung 6.2) beide Seiten der Schwelle (gleiche Marke / unterschiedliche Marke) beschreibt, könnten Probanden die Aufgabe durch die Bewegung des Schiebereglers nach rechts, auch als gerichtete Aufgabe verstehen. Auch das freie Einstellen der Ansicht wurde nicht von allen Probanden umfänglich genutzt. Subjektiv konnte bei der Studierendurchführung eine Fokussierung auf die hexagonalen Aufbauelemente beobachtet werden. Dies könnte damit zusammenhängen, dass hexagonale Körper eher unüblich sind und daher mehr Aufmerksamkeit erregen (vgl. Kapitel 2.4.3.3).

## **6.2 Studie 2: Produktkategorie**

Die zweite Studie baut auf den Ergebnissen der ersten Studie (Kapitel 6.1) zur Formgestaltmatrix (FGM) und den Markenebenen auf. Nach Studie 1 ist anhand der Kantenrundheit eine Differenzierung mit geringeren Schwellen und somit einfacher als über die Flächenrundheit umzusetzen. Daher werden ausschließlich Modifikationspfade der Kantenrundheit in dieser Studie analysiert. Dadurch werden auch Verzerrungen in der FGM bei Flächenrundheitsmodifikationen (vgl. Kapitel 6.1.3) als Störfaktoren vermieden. Neben der Betrachtung unterschiedlicher Produktkategorien stehen Detailvariationen der Kantenrundheit im Fokus. Entsprechend der Ergebnisse zur Markenebene wird dabei fokussiert die PS-Ebene betrachtet. Durch den Einsatz eines genaueren Verfahrens als die Herstellungsmethode, wird der Unterschied zwischen PP- und PS-Ebene in geringem Umfang erneut aufgegriffen. Diese Gelegenheit wird genutzt, um mögliche Detailunterschiede aufzudecken. Weiterhin wird das Betrachtungsverhalten der Probanden bei den Bewertungen analysiert.



## 6.2.1 Studienplanung und -design

Im Folgenden werden Ziele und Hypothesen der zweiten Studie hergeleitet (Kapitel 6.2.1.1). Darauf aufbauend folgt die Erläuterung der Aufgabe und Fragestellung an die Probanden (Kapitel 6.2.1.2). Im Anschluss erfolgt die Beschreibung der Untersuchungsmodelle und des Versuchsaufbaus (Kapitel 6.2.1.3), gefolgt von dem Versuchsablauf (Kapitel 6.2.1.4).

### 6.2.1.1 Ziele und Hypothesen

Ein genaueres Verfahren als die Herstellungsmethode stellt die Konstanzmethode dar (vgl. Kapitel 2.4.2.3). Da durch die erste Studie Kenntnisse über die Urteilsschwellen der Markenzugehörigkeit in der FGM bekannt sind, ist nach der Beschreibung von GESCHEIDER [2016, S. 65] der Einsatz der Konstanzmethode für weitere Untersuchungen zielführender. Bei der Konstanzmethode wird das Ergebnis in der Regel in Form einer psychometrischen Funktion bzw. S-Kurve angegeben (siehe Kapitel 2.4.2.1) [GESCHEIDER 2016, S. 46f.]. Das erste Zwischenziel ist daher der Nachweis, dass die Bewertungen der Markenzugehörigkeit in der FGM für Urteilsschwellen eine S-Kurve bilden ( $H_{2.1}$ ). Zentrales Ziel der Studie ist zu untersuchen, ob Unterschiede zwischen Produktkategorien bei der Bewertung der Markenzugehörigkeit bestehen ( $H_{2.2}$ ).

In Studie 1 wurde anhand  $H_{1.1}$  die Markenzugehörigkeit auf einem Modifikationspfad untersucht. Dies wurde allerdings nur mit Umkehr der Modifikationsrichtung umgesetzt. Von Interesse ist, ob sich die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei unterschiedlichen Referenzkantenrundheiten und gleicher Modifikationsrichtung unterscheiden ( $H_{2.3}$ ). Ebenso ist eine weitere Differenzierung der Flächenrundheit bei Kantenrundheitsänderungen interessant, um Verläufe der Urteilsschwellen in der FGM zu ermitteln ( $H_{2.4}$ ).

Die Hypothesen  $H_{2.1}$  -  $H_{2.4}$  beziehen sich auf die PS-Markenebene. Mit dem genaueren Verfahren (Konstanzmethode) sollen weiterhin noch mögliche Unterschiede zwischen der PP- und PS-Markenebene in geringem Umfang mitbetrachtet werden ( $H_{2.5}$ ). Weil bei Studie 1 ein Fokussieren der Probanden auf hexagonale Aufbauelemente wahrgenommen wurde, soll das Betrachtungsverhalten bzgl. unterschiedlicher Aufbauelemente untersucht werden ( $H_{2.6}$ ). Weiterhin ist die Analyse des Betrachtungsverhaltens für die Interpretation und Diskussion aller Ergebnisse interessant. Die Hypothesen sind als Alternativhypothesen  $H_x$  (mit korrespondierenden Nullhypothesen  $H_{0x}$ ) formuliert und in Tabelle 6.3 zusammengefasst.

Analog zu Studie 1 sind mögliche Zusammenhänge dieser Bewertungen mit Produktinteresse, Produktnutzung, Einkaufsverhalten und der allgemeinen Bedeutsamkeit der äußeren Produktgestalt bei Probanden relevant. Ergänzend ist auch der Zusammenhang

der Bewertungen mit einer eigenen Aussage über die Zulassung von Formabweichungen aus Kundensicht interessant.

H <sub>x</sub>	Beschreibung H <sub>x</sub>
H <sub>2.1</sub>	Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Produktpaaren mit Kantenrundheitsdifferenzen lassen sich mittels einer S-Kurve abbilden.
H <sub>2.2</sub>	Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen unterscheiden sich bei unterschiedlichen Produktkategorien.
H <sub>2.3</sub>	Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen unterscheiden sich bei unterschiedlichen Referenzkantenrundheiten.
H <sub>2.4</sub>	Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen unterscheiden sich bei unterschiedlichen Referenzflächenrundheiten.
H <sub>2.5</sub>	Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen unterscheiden sich zwischen der PP- und PS-Ebene.
H <sub>2.6</sub>	Bei Bewertungen der Markenzugehörigkeit werden hexagonale und quaderförmige Aufbauelemente unterschiedlich stark beachtet.

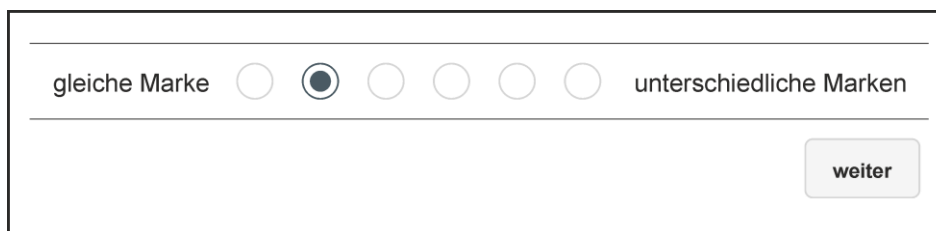
**Tabelle 6.3:** Übersicht der Hypothesen der zweiten Studie

### 6.2.1.2 Aufgabe und Fragestellung

Mit der Anwendung der Konstanzmethode ist die Schwellenbestimmung mit einer Differenzschwelle vergleichbar (siehe Kapitel 2.4.2). Nach GESCHEIDER [2016, S. 50f.] wird dabei im Idealfall ein Referenzstimulus und Vergleichsstimulus simultan nebeneinander präsentiert. Die Darstellung der Produktpaare entspricht daher Studie 1 (vgl. Kapitel 6.1.1.2). In der klassischen Psychophysik bewertet der Proband dichotom das dargestellte Reizpaar mit „gleich“ und „unterschiedlich“ [KINGDOM & PRINS 2016, S. 43]. Anhand der dichotomen Verteilung wird anschließend die S-Kurve berechnet [vgl. GESCHEIDER 2016, S. 46ff.]. Die Antwortoptionen „gleiche Marke“ und „unterschiedliche Marke“ sind demnach für die Ermittlung der S-Kurven bzw. Urteilsschwellen bzgl. der Markenzugehörigkeit geeignet. Für die Überprüfung der Hypothesen stehen mit dem resultierenden, nominalskalierten Datensatz allerdings nur wenige inferenzstatistische Verfahren mit geringer Güte zur Verfügung. Die nominale 2-Punkt-Skala wird daher zu einer 6-Punkt-Ratingskala erweitert (siehe Abbildung 6.14).

Nach DÖRING & BORTZ [2016, S. 249ff.] ist eine Stufenanzahl zwischen fünf und sieben für Ratingskalen optimal. Zudem kann die bipolare Ratingskala mit gleichabständiger Etikettierung für die Auswertung als intervallskaliert aufgefasst werden [DÖRING & BORTZ 2016, S. 251]. Durch das Fehlen einer Mittenbewertung entspricht die Aufgabe weiterhin einer „forced-choice“-Aufgabe [vgl. KINGDOM & PRINS 2016, S. 24ff.] und kann für die Be-

stimmung der S-Kurven auch dichotom ausgewertet werden. Nachteilig an der Erweiterung der Skala ist lediglich, dass der Proband ggf. schwieriger zu einer Entscheidung kommt. Kompensiert werden soll dies durch die Anmerkung bzw. Aufforderung nach der Produktbetrachtung spontan zu bewerten. Diese Art der Ratingskala für die Markenzugehörigkeit wurde bereits in einer vorgelagerten Studie des Verfassers genutzt [FISCHER ET AL. 2020B], [FISCHER ET AL. 2021B]. Nach der Bewertung anhand der 6-Punkt-Skala muss der Proband seine Eingabe bestätigen („weiter“-Button in Abbildung 6.14), um ungewollte Antworten durch flüchtiges Bewerten auszuschließen.



Das Bild zeigt eine Bewertungsskala in einem rechteckigen Rahmen. Oben links steht der Text 'gleiche Marke' und oben rechts 'unterschiedliche Marken'. Dazwischen sind sechs kreisförmige Markierungen angeordnet, die von links nach rechts abnehmen. Die zweite Markierung von links ist aktiviert und zeigt einen dunklen Kreis in der Mitte. Rechts unten befindet sich ein rechteckiger Button mit der Aufschrift 'weiter'.

**Abbildung 6.14:** Bewertungsskala der zweiten Studie (mit „weiter“-Button)

Für die ergänzenden Fragen kommt der Fragebogen der ersten Studie zum Einsatz (siehe Abbildung A.1). Die Fragen zu Produktinteresse, Produktnutzung und Einkaufsverhalten werden jeweils pro Produktkategorie gestellt. Zusätzlich werden die Probanden gefragt, inwiefern sie geringe bzw. große Formabweichungen innerhalb einer Marke zulassen würden. Dafür wird eine siebenstufige Ratingskala mit gleichmäßigen Abständen und Endpunktbeschriftung („sehr geringe / sehr große“) eingesetzt (siehe Abbildung A.6).

### 6.2.1.3 Untersuchungsmodelle und Versuchsaufbau

Die Untersuchungsmodelle werden nach dem Vorgehen aus Kapitel 5.5 erstellt. Aufgrund der guten Eignung für das Forschungsthema (siehe Kapitel 5.1.2) werden neben Elektrowerkzeugen (EHW) auch Küchengeräte (KG) und Haushaltsgeräte (HG) als Produktbeispiele eingesetzt. Als Referenzprodukt für EHW kommt der Akkuschauber (AS) der 18V-Klasse aus Studie 1 zur Anwendung. Das Vergleichsprodukt stellt der große Winkelschleifer (WSg) mit einem Trennscheibendurchmesser von 230 mm aus der ersten Studie dar. Bei KG werden stationäre Geräte eingesetzt. Das Referenzprodukt ist ein Toaster (TR) und das Vergleichsprodukt eine Kaffeemaschine (KM). Das Bügeleisen (BE, Referenzprodukt HG) und der Handstaubsauger (HS, Vergleichsprodukt HG) werden als handgeführte Geräte der dritten Produktkategorie benutzt. Ebenso wie in Studie 1 besitzen alle Produkte die Abmessungen und Proportionen realer Produkte.

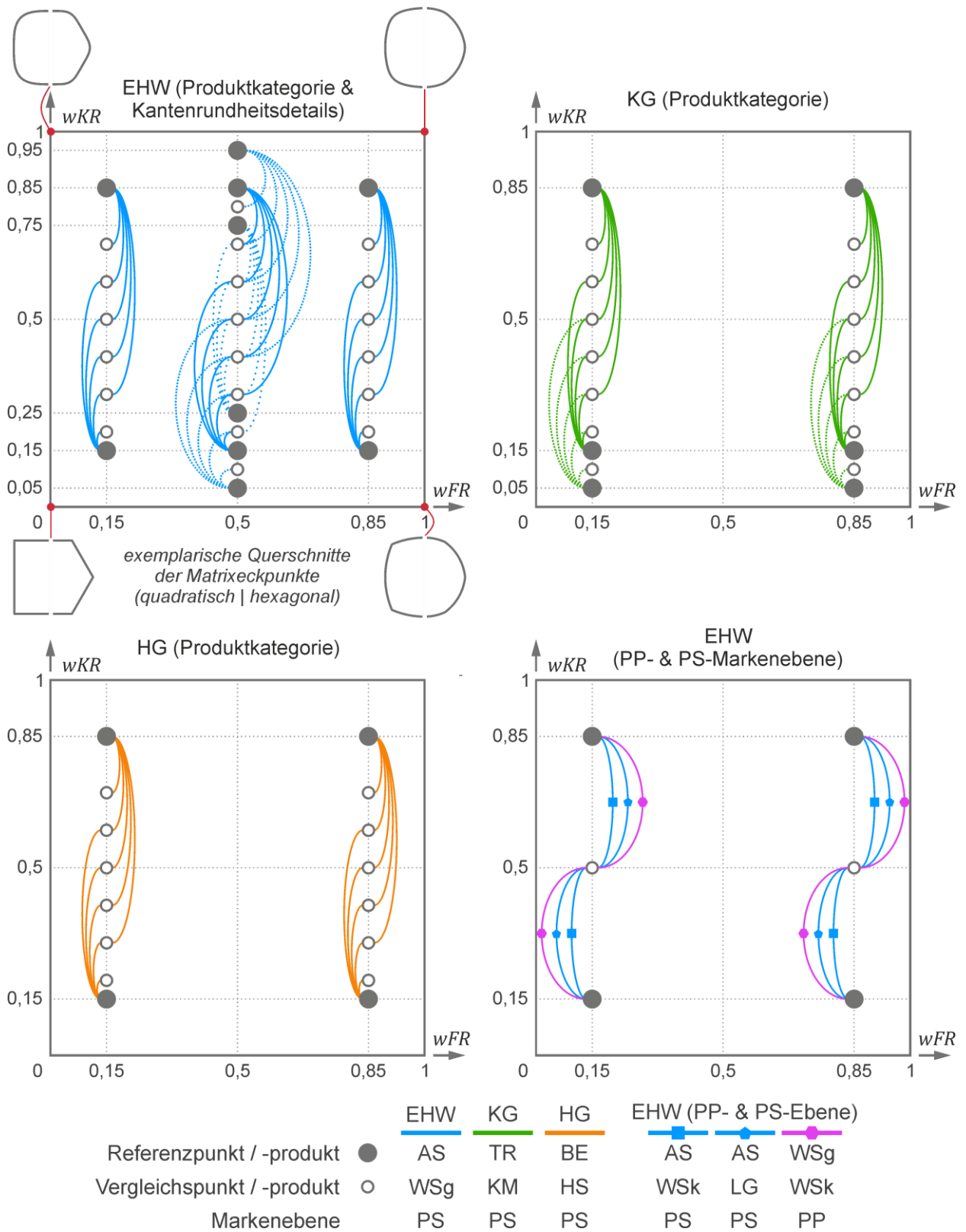
Referenzpunkte in der Matrix sind analog zu Studie 1 die Punkte (0,15/0,15), (0,15/0,85), (0,85/0,15) und (0,85/0,85) (siehe Abbildung 6.15). Nach GESCHIEDER [2016, S. 51] wer-

den in der Regel fünf, sieben oder neun Vergleichsreize mit gleichen physikalischen Abständen eingesetzt. In dieser Studie entsprechen die physikalischen Reize der wahrgenommenen Kantenrundheit. Der Vergleichspunkt mit der geringsten Differenz soll dabei fast immer zur gleichen Marke zugeordnet werden, während der Vergleichspunkt mit der größten Differenz fast immer zu einer unterschiedlichen Marke gehören soll [vgl. GESCHIEDER 2016, S. 51]. Für die Verteilung der Vergleichspunkte werden die Ergebnisse der ersten Studie (siehe Kapitel 6.1.2) herangezogen. Bei niedriger Kantenrundheit des Referenzpunktes  $wKR = 0,15$  wird der erste Vergleichspunkt mit einer Differenz  $\Delta = 0,05$  platziert. Bei hoher Kantenrundheit des Referenzpunktes  $wKR = 0,85$  erhält der erste Vergleichspunkt eine Differenz  $\Delta = 0,15$ . Alle weiteren Vergleichspunkte werden jeweils mit einer zusätzlichen Differenz  $\Delta = 0,10$  aufgereiht (siehe Abbildung 6.15). Da Vorkenntnisse aus Studie 1 bestehen, werden nur jeweils fünf Vergleichspunkte pro Referenzpunkt eingesetzt. Diese Paarungen sind in Abbildung 6.15 mit Verbindungslinien gekennzeichnet.

Ein Aspekt der Kantenrundheit betrifft absolute Radien. Die Definition der wahrgenommenen Kantenrundheit stützt sich auf relative Radien in Bezug auf die anliegenden Flächen (siehe Kapitel 5). Da Toaster und Kaffeemaschine größere Produktabmessungen und Flächen als die anderen Produkte besitzen, sind die absoluten Radien bei identischer Kantenrundheit größer als bei den EHW- und HG-Produkten. Um diesen Aspekt bei der Unterschiedlichkeit der Produktkategorien zu berücksichtigen, werden bei KG auch die Referenzpunkte  $(0,15/0,05)$  und  $(0,85/0,05)$  eingesetzt (siehe Abbildung 6.15). Bei diesen sind die absoluten Kantenradien vergleichbar mit den absoluten Kantenradien der EHW- und HG-Produkten bei  $wKR = 0,15$ .

Für weitere Detailuntersuchungen zur Kantenrundheit werden weitere Referenzpunkte bei EHW eingefügt. Für die Variation der Flächenrundheit kommen die Referenzpunkte  $(0,50/0,15)$  und  $(0,50/0,85)$  zum Einsatz (siehe Abbildung 6.15). Die Variationen der Referenzkantenrundheit werden ebenso bei  $wFR = 0,5$  anhand der weiteren Punkte  $(0,50/0,05)$ ,  $(0,50/0,25)$ ,  $(0,50/0,75)$  und  $(0,50/0,95)$  überprüft (siehe Abbildung 6.15).

Die Unterschiedlichkeit in der PP- und PS-Markenebene wird nicht vollumfänglich anhand von fünf Vergleichspunkten geprüft, da dieses Thema in Studie 1 bereits in größerem Umfang untersucht wurde. Nach Abbildung 6.9 liegen die Urteilsschwellen und Mittelwerte von beiden Modifikationsrichtungen in der Nähe von  $wKR = 0,5$ . Daher werden hier nur Produkte der üblichen vier Referenzpunkte mit den Vergleichspunkten  $(0,15/0,50)$  und  $(0,85/0,50)$  untersucht (siehe Abbildung 6.15 unten rechts). Ergänzend zu AS & WSg kommen die Paarungen AS & kleiner Winkelschleifer (WSk), AS & Ladegerät (LG) und WSg & WSk zum Einsatz.



**Abbildung 6.15:** Darstellung des Aufgabenumfangs in der Formgestaltmatrix, Studie 2

Das LG besitzt andere Flächenaufteilungen und Produktabmessungen als der AS (siehe Abbildung 6.17). Folglich gibt es größere Unterschiede bei den absoluten Radien der Flächen- und Kantenrundheit. Daher können hier mögliche Effekte großer Differenzen bei absoluten Radien aufgezeigt werden. Weiterhin steht damit ein weiteres Produktpaar für

die Untersuchung des Betrachtungsverhaltens hexagonaler Körper zur Verfügung, da nur ein Produkt des Produktpaares diese Aufbaugestalt beinhaltet. Bei allen anderen Paarvergleichen befindet sich entweder bei beiden oder bei keinem Produkt ein hexagonaler Grundkörper im Aufbau.

Beispiele der Reizmuster sind in Abbildung A.3 bis Abbildung A.5 und Abbildung A.7 bis Abbildung A.12 zu finden. Die Produkte in diesen Abbildungen sind identisch skaliert dargestellt und daher auch zwischen den Abbildungen direkt miteinander vergleichbar.

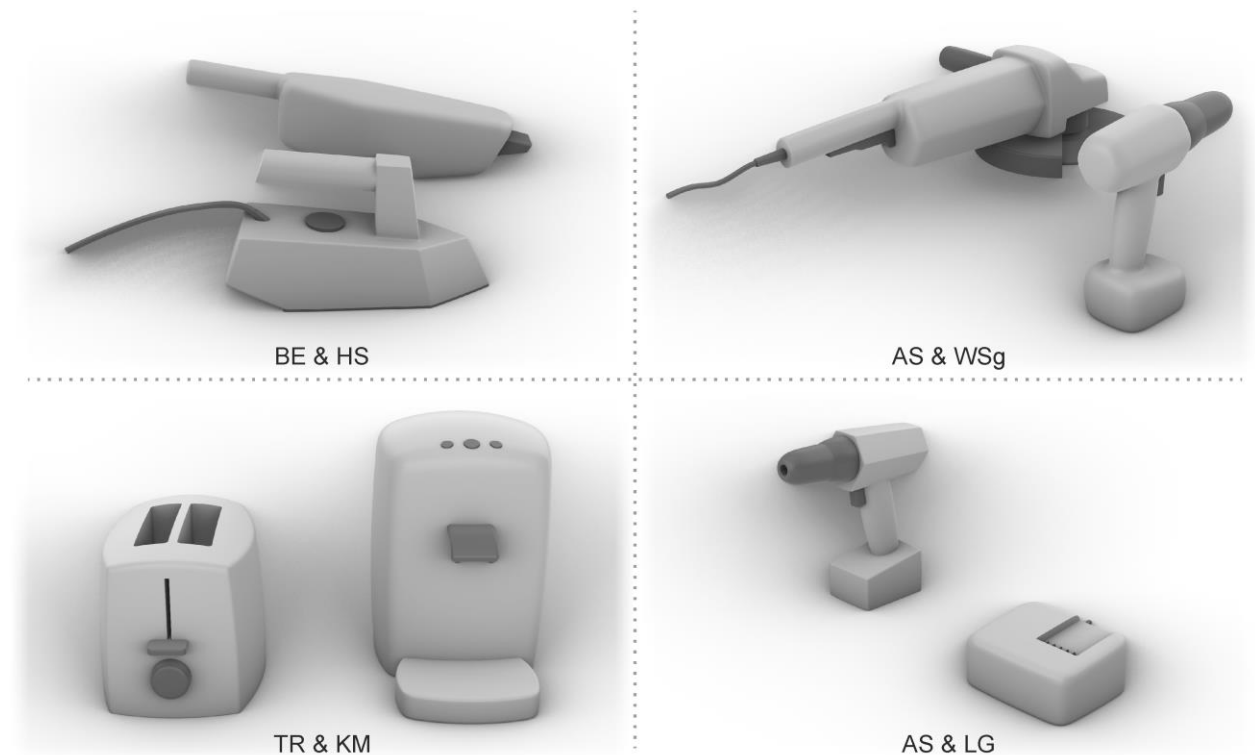
Analog zu Studie 1 findet die Studie in Rhinoceros / Grasshopper statt. Ebenso wird Farbe 1a (siehe Abbildung 5.6) für das Grundgehäuse eingesetzt. Alle weiteren Elemente werden mit dunklerer Farbe (Farbe 3 in Abbildung 5.6) gestaltet.

Der Reiz soll für alle Probanden identisch erfolgen. Damit die Probanden sich nicht auf einzelne Ansichten fokussieren, werden die Ansichten der Produkte vorgegeben. Für eine ganzheitliche Betrachtung werden acht Ansichten mit symmetrisch verteilten Kamerastandpunkten um die Produktpaare ausgewählt (siehe Abbildung 6.16).



**Abbildung 6.16:** Kamerapositionen der Modellansichten der zweiten Studie

Jede Ansicht wird 2,5 Sekunden präsentiert und danach automatisch die nächste Ansicht bereitgestellt (Ansichtsabfolge gegen den Uhrzeigersinn bzgl. Draufsicht). Insgesamt wird jedes Produktpaar 20 Sekunden dargestellt. Anschließend erfolgt die Bewertung des Produktpaares (siehe Abbildung 6.14). Abbildung 6.17 zeigt Produkte exemplarisch aus vier Ansichten der Studie. Bei der Darstellung wird die links / rechts-Positionierung der Produkte randomisiert [vgl. GESCHIEDER 2016, S. 51]. Zusätzlich wird die Startansicht der acht Ansichten pro Produktpaar randomisiert. Durch diese Randomisierungen und nicht gerichtete Fragestellungen kann im Gegensatz zu Studie 1 das Ergebnis der Bewertung als bidirektional interpretiert werden.



**Abbildung 6.17:** Beispielsichten der Produkte der zweiten Studie

Der Versuch wird in den Laborräumen des IKTD durchgeführt. Der Versuchsaufbau entspricht Kapitel 5.4.1.3. Für die Aufzeichnung von Blickdaten der Probanden befindet sich an der Unterseite des Monitors der „Tobii Eye Tracker 4C“.

#### 6.2.1.4 Versuchsablauf

Analog zu Studie 1 unterzeichnet der Proband vor Durchführung des Versuchs eine Einverständniserklärung. Anschließend erfolgt eine Einstufung des visuell-räumlichen Vorstellungsvermögens. Dazu wird der Test „Räumliches Vorstellungsvermögen“ (3D/S1) mit Zeitbegrenzung [BRATFISCH ET AL. 2018] des Wiener Testsystems (WTS) durchgeführt [SCHUHFRIED 2022]. Vor der Einführung der Studie wird das Eye-Tracking-System mit dem Probanden kalibriert. Nach der Einführung und Aufgabenbeschreibung folgen drei Übungsbeispiele (AS-(0,15/0,15) & WSg-(0,15/0,20); TR-(0,85/0,15) & KM-(0,85/60); BE-(0,85/0,85) & HS-(0,85/0,50)). Dadurch werden Ablauf, Produktkategorien und Paare mit geringer, mittlerer und großer Kantenrundheitsdifferenz präsentiert. Auch bei dieser Studie bearbeiten alle Probanden die identischen Beispiele, um unterschiedliche Priming-Effekte zu vermeiden (siehe Kapitel 6.1.1.4). Danach erfolgen alle 112 Produktpaare inkl. deren Bewertungen in randomisierter Reihenfolge. Um Monotonie zu vermeiden, werden nach 50 % und 75 % der Produktpaarvergleiche kurze Pausen eingelegt. Der Proband entscheidet selbst über die Länge der Pausen. Nach der Bewertung aller Produktpaare folgen drei Produktpaarwiederholungen (jeweils Paarvergleich Nr. 11, 26 und 41), um bei

größeren Abweichungen Probanden wegen ihres inkonsistenten Bewertungsverhaltens ggf. auszuschließen. Die Bearbeitung erfolgt mit Ausnahme der Pausen selbstständig durch die Probanden. Es kann nicht zu bereits bearbeiteten Aufgaben zurückgekehrt werden. Anschließend beantwortet der Proband die Ergänzungsfragen verbal in einer Nachbefragung. Da jeder Proband jede Bewertung ausführt, handelt es sich analog zu Studie 1 um eine Studie mit Messwiederholung (within-subjects-design) [vgl. DÖRING & BORTZ 2016, S. 209]. Zum Abschluss erhalten die Probanden 15 € Aufwandsentschädigung.

Die Dauer der Studie beträgt ca. 1,5 Stunden und ist von der Geschwindigkeit der Bewertungen und der Pausenlängen des Probanden abhängig.

## **6.2.2 Studienergebnisse**

Dieses Kapitel beschreibt das Auswertevorgehen (Kapitel 6.2.2.1), statistische Verfahren (Kapitel 6.2.2.2), Probandenkollektiv (Kapitel 6.2.2.3) und die Ergebnisse (Kapitel 6.2.2.4 - 6.2.2.8) der zweiten Studie. Eine Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse folgen anschließend in Kapitel 6.2.3.

### **6.2.2.1 Vorgehen der Auswertung**

Wie in Kapitel 6.2.1.2 erwähnt, können die Bewertungen der Probanden sowohl intervallskaliert über sechs Stufen als auch in Form der dichotomen Verteilung ausgewertet werden. Daher können S-Kurven (siehe Kapitel 2.4.2.1, Formel (2.6)) für die Mittelwerte und die dichotome Verteilung berechnet werden. Die 50 %-Urteilsschwelle kann anhand der S-Kurven ermittelt werden.

Im Unterschied zu Studie 1 können bei dem vorliegenden Studiendesign keine gestutzten Datensätze auftreten. Daher werden für die Untersuchungen von Unterschieden vor allem Varianzanalysen (Anova) durchgeführt. Analog zu Studie 1 werden die Ratingskalen der ergänzenden Fragen als intervallskaliert interpretiert (vgl. Kapitel 6.1.2.1).

Die Produktpaarwiederholungen zum Ende der Studie zeigen keine Auffälligkeiten, weshalb alle Probanden im Datensatz verbleiben.

### **6.2.2.2 Auswahl statistischer Verfahren und Ergebnisdarstellung**

Detaillierte Beschreibungen zu deskriptiven Auswertungen und inferenzstatistischer Analysen sind in Kapitel 5.4.2.2 & 6.1.2.2 zu finden.

Ebenso wie bei Studie 1 werden die Ergebnisse mittels der FGM deskriptiv dargestellt. Für die Beschreibung relevanter Verfahren für die Analyse von Zusammenhängen (Kor-



relationen, nichtlineare Regression), Unterschieden (mehrfaktorielle Anova mit Messwiederholung und Friedman-Test inkl. Post-hoc-Tests) und Gruppierungen (Clusteranalyse) wird auf Kapitel 5.4.2.2 & 6.1.2.2 verwiesen.

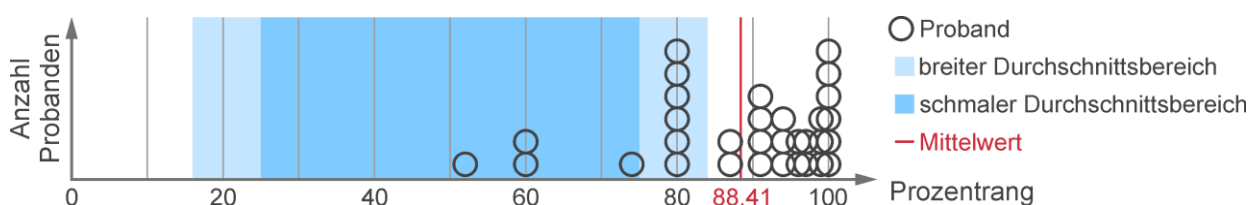
Deskriptive Auswertungen von Blickdaten beinhalten Blickpfade, Heat-Maps, und Areas of Interest (AOI) [BLAKE 2013, S. 377ff.], [HOLMQVIST & ANDERSSON 2017, S. 8ff.]. Mit den Daten von AOIs sind ergänzend auch inferenzstatistische Auswertungen möglich [BLAKE 2013, S. 378]. Bei Blickpfaden werden Fixationen zwischen den Sakkaden (siehe Kapitel 2.4.3.1) ausgewertet [vgl. HOLMQVIST & ANDERSSON 2017, S. 327f.]. HOLMQVIST & ANDERSSON [2017, S. 262] empfehlen bei kostengünstigeren Eye-Trackern mit geringer Präzision die Nutzung von Fixationsdaten bei AOIs. Als ergänzende Begründung für die Auswertung der Fixationsdaten für Heat-Maps können kurze Aufzeichnungssequenzen erwähnt werden [EBD., S. 315]. Da der Tobii Eye Tracker 4C aus dem kostengünstigen Spiele- und Interaktionsbereich kommt, wird bei allen Auswertungen mit Fixationsdaten gearbeitet. Die Aufzeichnung und Auswertung der Eye-Tracking Daten erfolgt mit der Software Tobii Pro Lab (Version: 1.152).

### 6.2.2.3 Probandenkollektiv

Im Gegensatz zu Studie 1 wurde auf eine Geschlechterverteilung von mindestens 1/3 Frauen zu 2/3 Männern geachtet. Die Probanden wurden vor allem im universitären Umfeld angeworben, was nach DÖRING & BORTZ [2016, S. 305ff.] einer Gelegenheitsstichprobe entspricht.

Das Alter der 32 Probanden liegt zwischen 18 und 56 Jahren (Mittelwert: 28,31; Std.-Abweichung: 7,63). Die Stichprobe setzt sich aus elf weiblichen (34,4 %) und 21 männlichen (65,6 %) Personen zusammen (alle deutsch). 20 der Probanden sind berufstätig und von diesen arbeiten 15 in Ingenieurberufen. Die weiteren zwölf Probanden sind Studenten in den Ingenieurwissenschaften. Sieben Probanden tragen eine Brille und fünf Probanden nutzen während des Versuchs Kontaktlinsen. Keiner der Probanden arbeitet hauptberuflich mit den Produkten der Studie.

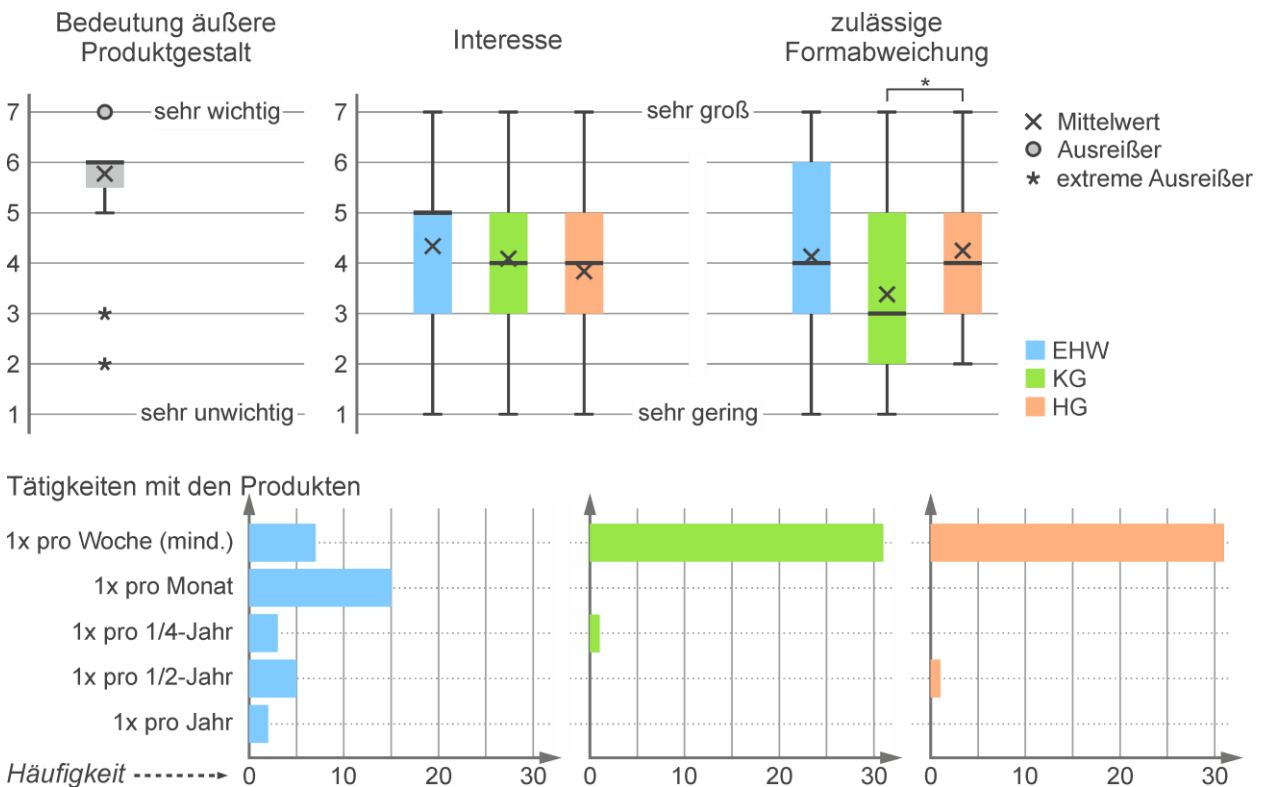
Die Ergebnisse des Tests „Räumliches Vorstellungsvermögen“ (3D/S1) (siehe Kapitel 6.1.1.4) sind als Prozentrang in Abbildung 6.18 dargestellt.



**Abbildung 6.18:** Einstufung der Probanden im WTS bzgl. 3D/S1, Studie 2

Alle Probanden befinden sich mindestens im Durchschnittsbereich der Normstichprobe. Im Mittelwert ist die Stichprobe sogar als überdurchschnittlich einzuordnen. Ein Grund dafür könnte der hohe Ingenieuranteil sein.

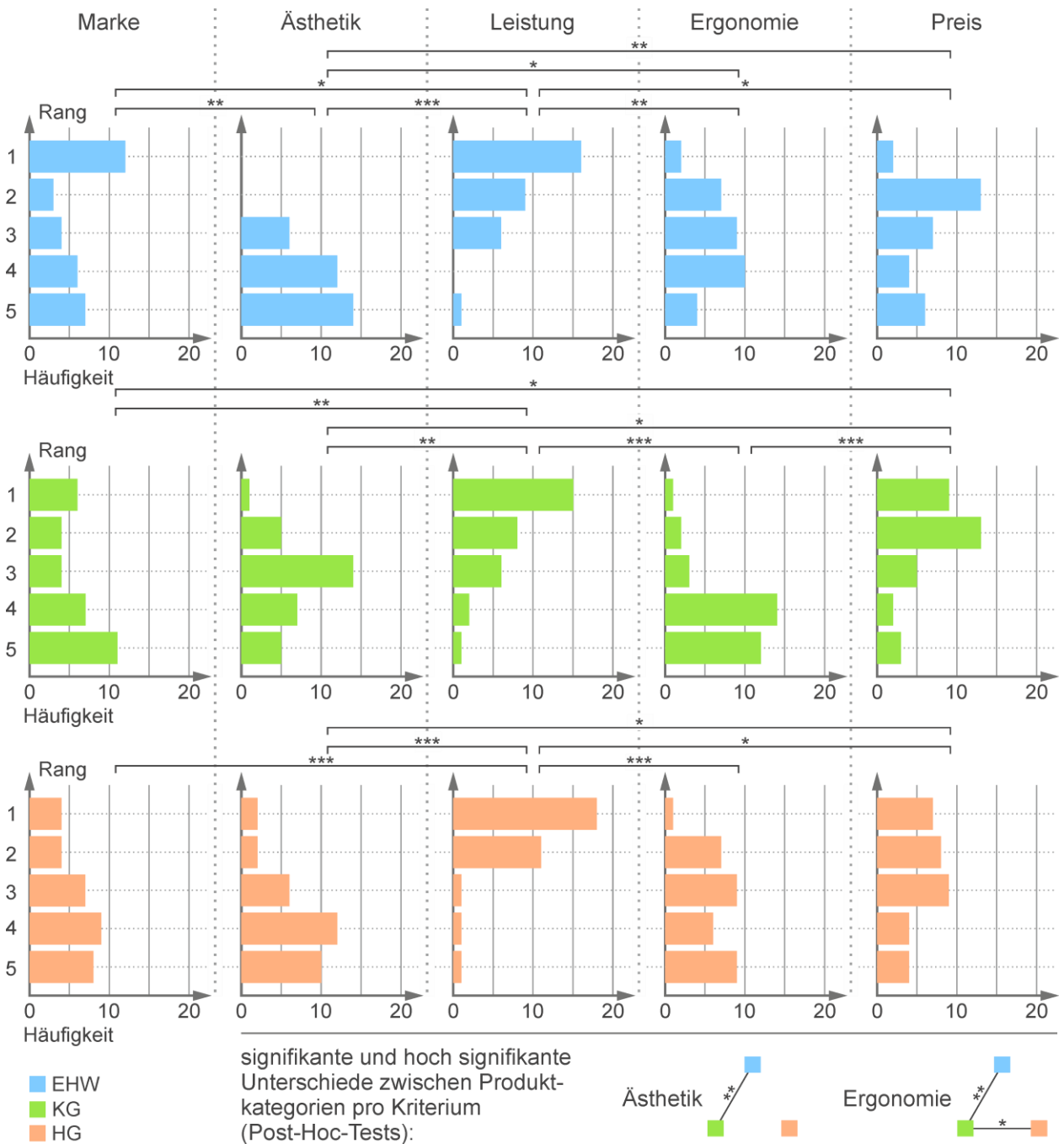
Insgesamt ist den Probanden die äußere Produktgestalt wichtig und das Interesse an den drei Produktkategorien weder sehr groß noch sehr gering (siehe Abbildung 6.19). Das Interesse an den drei Produktkategorien unterscheidet sich zwischen den Kategorien nicht signifikant (Anova mit Messwdh.:  $F(1,649, 51,133) = 0,969$ ;  $p = 0,372$ ; Huynh-Feldt-Korrektur). Die genannten zulässigen Formabweichungen in den Produktkategorien unterscheiden sich signifikant (Anova mit Messwdh.:  $F(2, 62) = 4,399$ ;  $p = 0,016$  \*;  $\eta_p^2 = 0,030$ ). Bei den Post-hoc-Tests (siehe Tabelle A.16) ist nur der Paarvergleich zwischen KG und HG signifikant ( $t = -3,053$ ;  $p_{Korr} = 0,014$  \*;  $d = 0,540$ ; siehe Abbildung 6.19). Bei KG geben die Probanden die geringste zulässige Formabweichung an. Fast alle Probanden arbeiten mindestens wöchentlich mit KG und HG und 68,8 % der Probanden arbeiten mindestens einmal pro Monat mit EHW (siehe Abbildung 6.19).



**Abbildung 6.19:** Bedeutung der äußeren Produktgestalt, Produktinteresse, zulässige Formabweichung und Produktnutzung, Studie 2

Bei dem Einkaufsverhalten bestehen höchst signifikante Unterschiede zwischen den fünf Kriterien pro Produktkategorie (siehe Tabelle A.17). Die Post-Hoc-Tests befinden sich in Tabelle A.18. In Abbildung 6.20 sind die Häufigkeiten der Ränge und die signifikanten, hoch signifikanten und höchst signifikanten Unterschiede der Post-Hoc-Tests dargestellt.

Im Vergleich der Kriterien zwischen den drei Produktkategorien, bestehen hoch signifikante und höchst signifikante Unterschiede nur bei Ästhetik, Ergonomie und Preis (Friedman-Test, siehe Tabelle A.19). Bei den Post-Hoc-Tests existieren lediglich bei Ästhetik und Ergonomie signifikante und hoch signifikante Unterschiede zwischen den Produktkategorien (siehe Tabelle A.20). Diese sind in Abbildung 6.20 in Dreiecksform zwischen den Produktkategorien dargestellt.



**Abbildung 6.20:** Häufigkeit der Ränge der Einkaufskriterien und signifikante, hoch signifikante und höchst signifikante Unterschiede, Studie 2

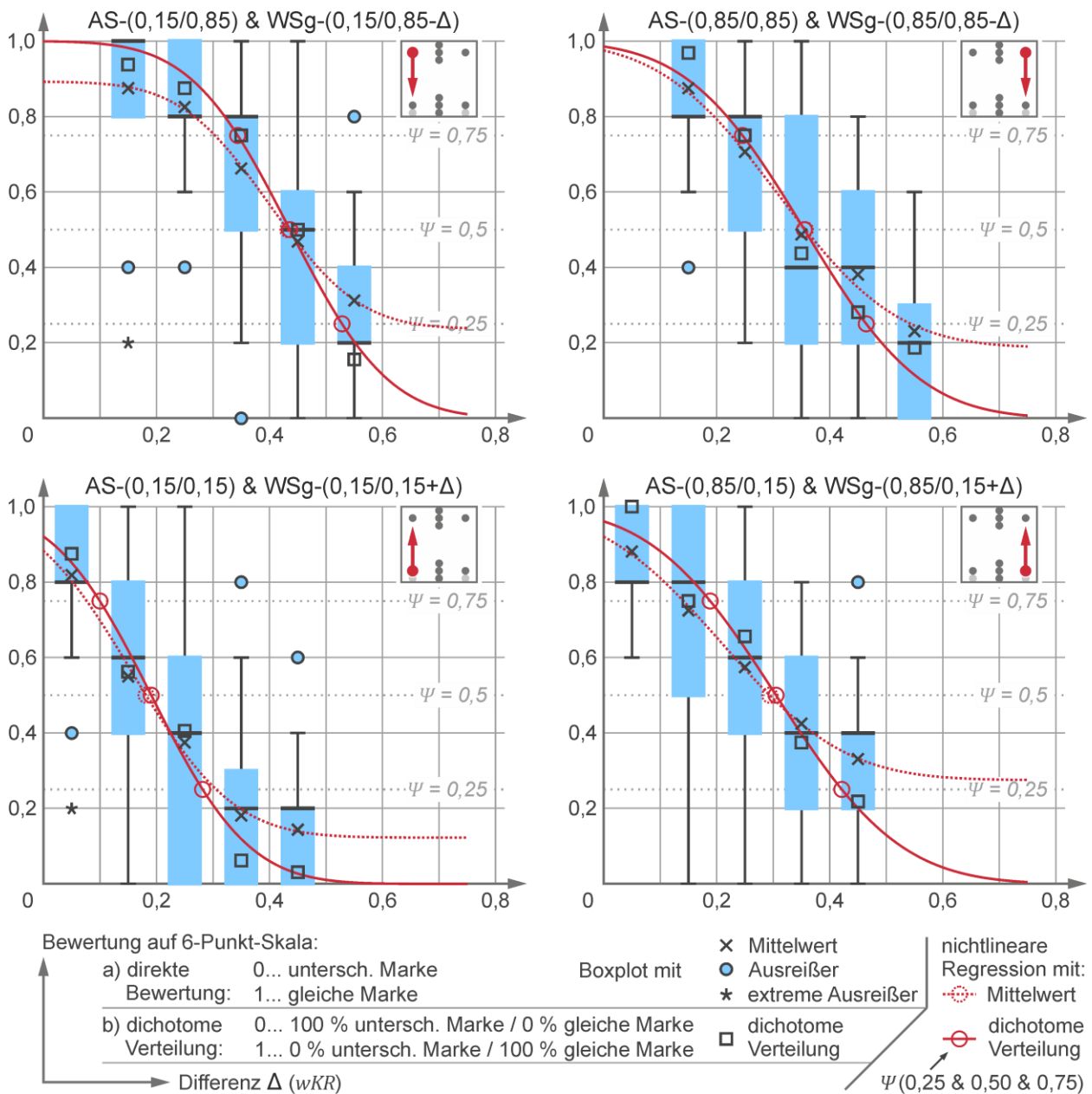
In Abbildung 6.20 ist zu erkennen, dass die Leistung bei allen drei Produktkategorien das wichtigste Einkaufskriterium darstellt. Zudem ist bei KG die Ästhetik vergleichsweise wichtig und die Ergonomie vergleichsweise unwichtig.

Die Häufigkeit der Nutzung korreliert höchst signifikant mit dem Interesse an EHW ( $r_s = -0,666$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*). Zudem besteht eine signifikante Korrelation zwischen der Bedeutung der äußeren Produktgestalt und der zugelassenen Formabweichung (Nachbefragung) bei KG ( $r_p = -0,360$ ;  $p = 0,043$  \*). Die weiteren, nicht signifikanten Korrelationen sind in Tabelle A.21 zu finden.

#### 6.2.2.4 Ergebnisse S-Kurven und Urteilsschwellen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Bewertungen deskriptiv dargestellt und die Bestimmungen der S-Kurven durchgeführt. Die Ergebnisdiagramme (Abbildung 6.21 bis Abbildung 6.24) sind grundsätzlich identisch aufgebaut. Zur Einordnung der Ergebnisse in die FGM ist in jedem Diagramm rechts oben der Referenzpunkt und der Pfad der Vergleichspunkte in einer miniaturisierten FGM visualisiert. In Richtung der x-Achse ist die Differenz  $\Delta$  der wahrgenommenen Kantenrundheit  $wKR$  vom entsprechenden Referenzpunkt zu den Vergleichspunkten abgebildet. Entlang der y-Achse sind die Bewertungen der 6-Punkt-Skala (unterschiedliche Marke 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 gleiche Marke) anhand von Boxplots inkl. der Mittelwerte dargestellt. Zusätzlich ist entlang der y-Achse die dichotome Verteilung (0: 100 % unterschiedliche Marke / 0 % gleiche Marke; 1: 0 % unterschiedliche Marke / 100 % gleiche Marke) mit Quadraten punktförmig eingetragen.

Die S-Kurven der nichtlinearen Regressionen sind ebenfalls eingezeichnet. Diese basieren auf der kumulativen Normalverteilungskurve (siehe Kapitel 2.4.2.1, Formel (2.5) und (2.6)). Bei der dichotomen Verteilung wird angenommen, dass die oberen und unteren Asymptoten der S-Kurven nicht verschoben werden müssen ( $\gamma = \lambda = 0$ ). Bei sehr ungleichen Kantenrundheiten sollte ein Niveau erreichbar sein, bei dem alle Probanden die Produkte zu unterschiedlichen Marken zuordnen. Selbst wenn bei identischer Kantenrundheit nicht alle Probanden die Produkte zu einer Marke zuordnen, ist dies weiterhin durch eine Verschiebung der Kurve in negative x-Richtung anhand des Lageparameters  $\alpha$  möglich. Freiheitsgrade der nichtlinearen Regression bei der dichotomen Verteilung sind daher der Lageparameter  $\alpha$  und der Steigungsparameter  $\beta$ . Bei den Mittelwerten der Bewertung der 6-Punkt-Skala ist nicht zu erwarten, dass diese den Wert 0 und 1 annehmen bzw. alle Probanden die äußeren Bewertungspunkte nutzen. Daher sind bei der nichtlinearen Regression anhand der Mittelwerte die Faktoren  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  und  $\lambda$  als Freiheitsgrade vorhanden. Sollte einer der Parameter  $\gamma$  und  $\lambda$  bei der nichtlinearen Regression den Wert 0 erhalten, werden diese bei der  $F$ -Statistik als Freiheitsgrad entfernt.



**Abbildung 6.21:** Bewertungen und S-Kurven EHW

An den S-Kurven sind bei  $\psi = 0,5$  die 50 %-Urteilsschwellen gekennzeichnet. Bei der dichotomen Verteilung sind auch bei  $\psi = 0,25$  und  $\psi = 0,75$  die 25 %- und 75 %-Urteilsschwellen analog zu den Interquartilsabstand der Boxplots aus Studie 1 (siehe Abbildung 6.9) markiert. Die S-Kurve nach Formel (2.6) ist eine ansteigende Kurve (siehe Abbildung 2.24). Da die y-Skalenrichtung der Ergebnisdarstellung für die Interpretation des Freiheitsgrads der Gestaltung dient, sind in Abbildung 6.21 bis Abbildung 6.24 die S-Kurven in horizontal gespiegelter Form (fallende S-Kurve) eingezeichnet. Durch die fallende S-Kurve wird veranschaulicht, dass bei zunehmender Distanz  $\Delta$  die Produkte immer seltener zu einer gleichen Marke zugeordnet werden.

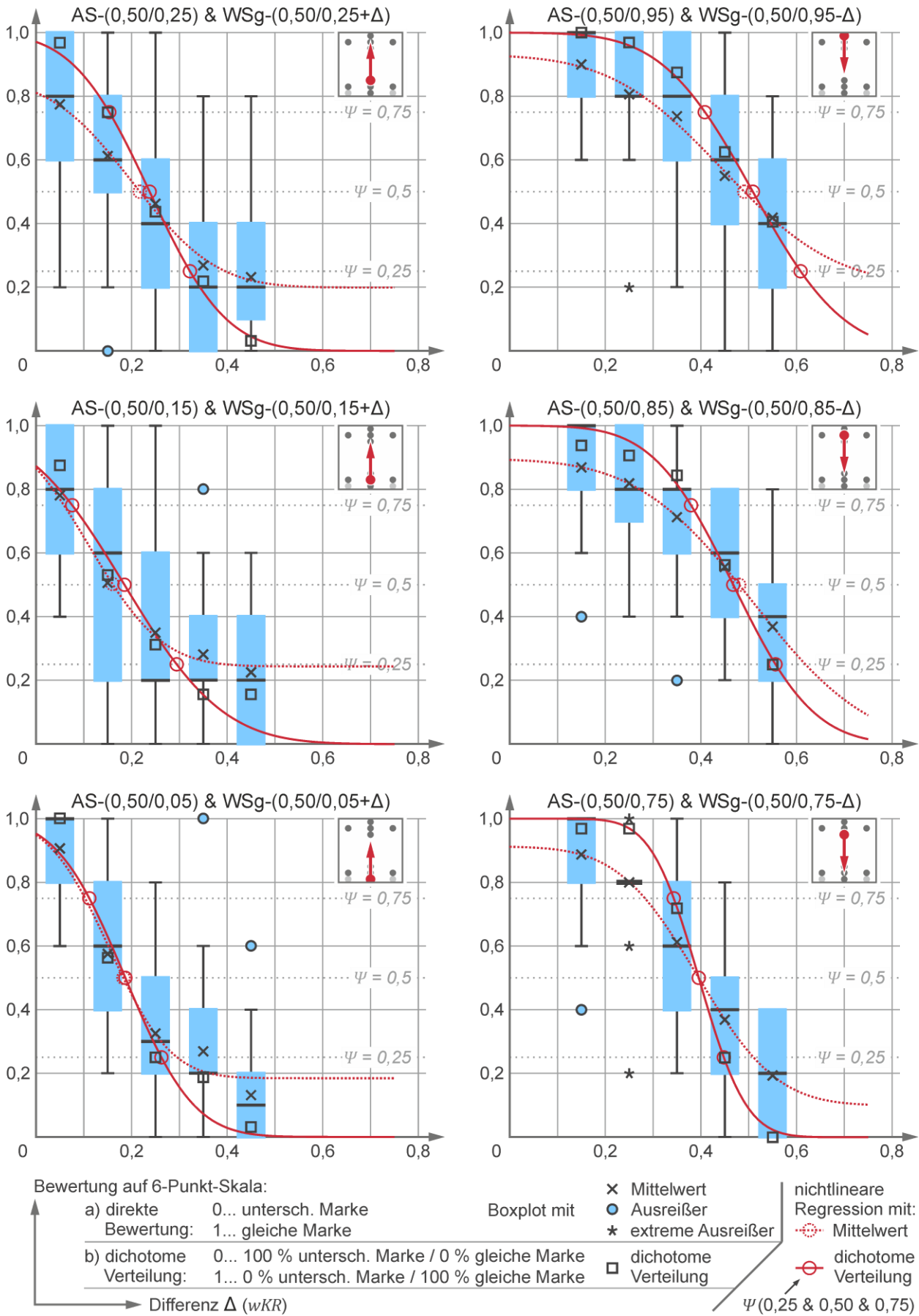


Abbildung 6.22: Bewertungen und S-Kurven EHW ( $wFR = 0,5$ )

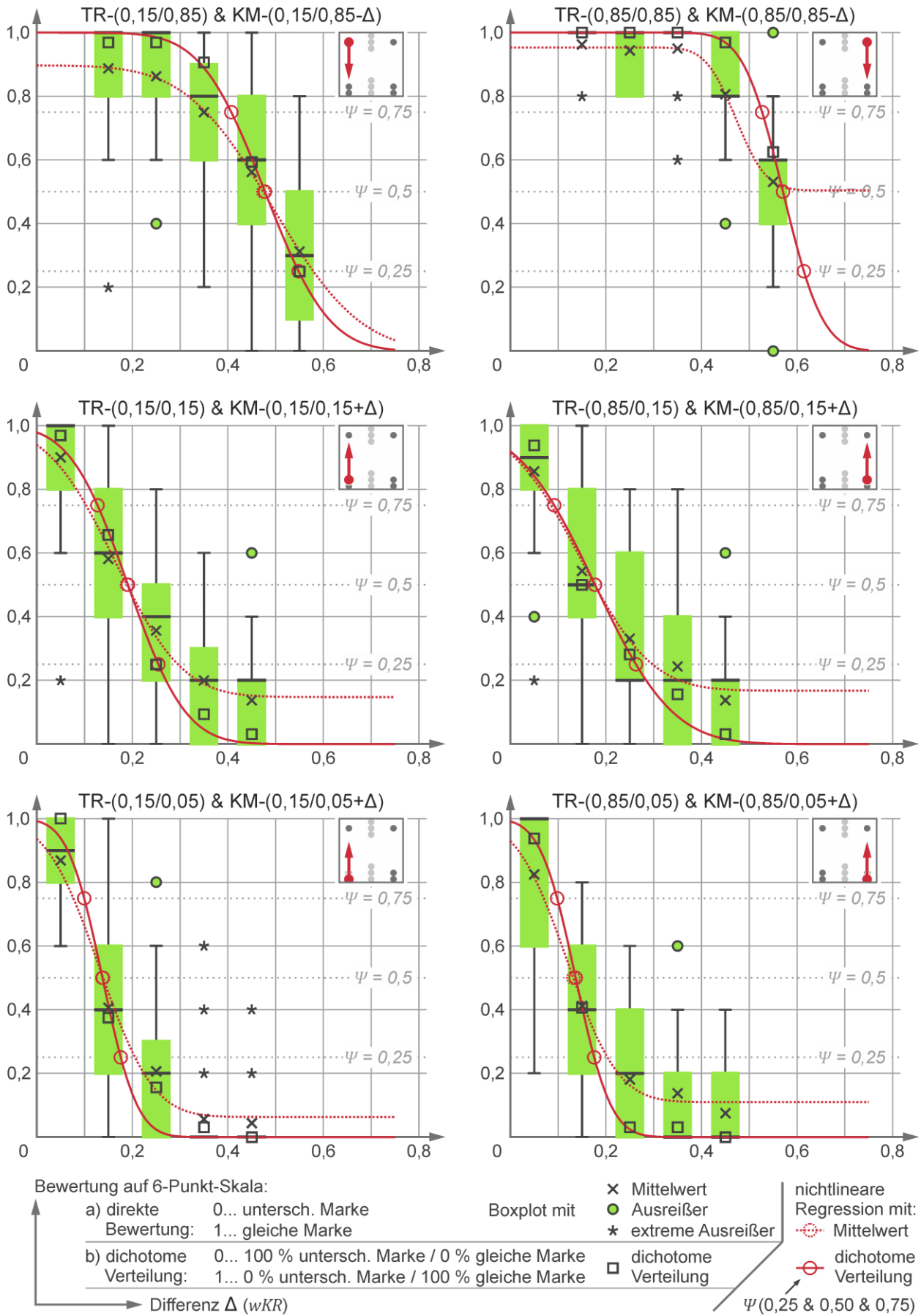
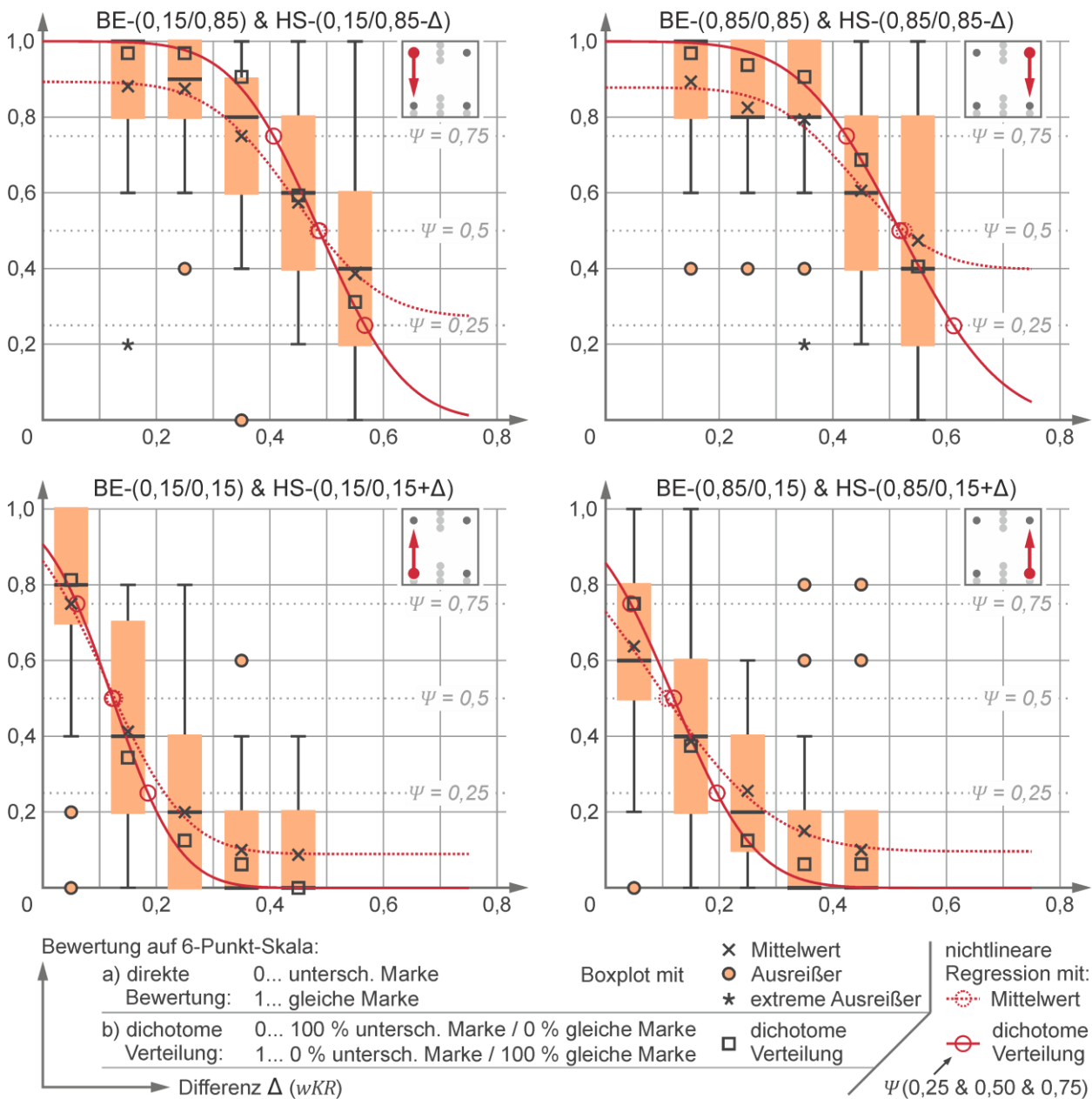


Abbildung 6.23: Bewertungen und S-Kurven KG



**Abbildung 6.24:** Bewertungen und S-Kurven HG

Bei der dichotomen Verteilung kann anhand der S-Kurve für einen beliebigen Differenzwert  $\Delta$  abgelesen werden, wie viel Prozent der Probanden die beiden Produkte zu einer gleichen Marke zugeordnet haben. Der Bereich unterhalb der S-Kurve kann daher auch als Freiheitsgrad der Gestaltung interpretiert werden. Die Ergebnisse der nichtlinearen Regressionen auf Basis der dichotomen Verteilungen sind in Tabelle A.22 zu finden. Tabelle A.23 enthält die Ergebnisse der nichtlinearen Regressionen auf Basis der Mittelwerte.

Nach Tabelle A.22 wird bei allen 20 nichtlinearen Regressionen auf Basis der dichotomen Verteilung ein signifikantes, hoch signifikantes oder höchst signifikantes Ergebnis



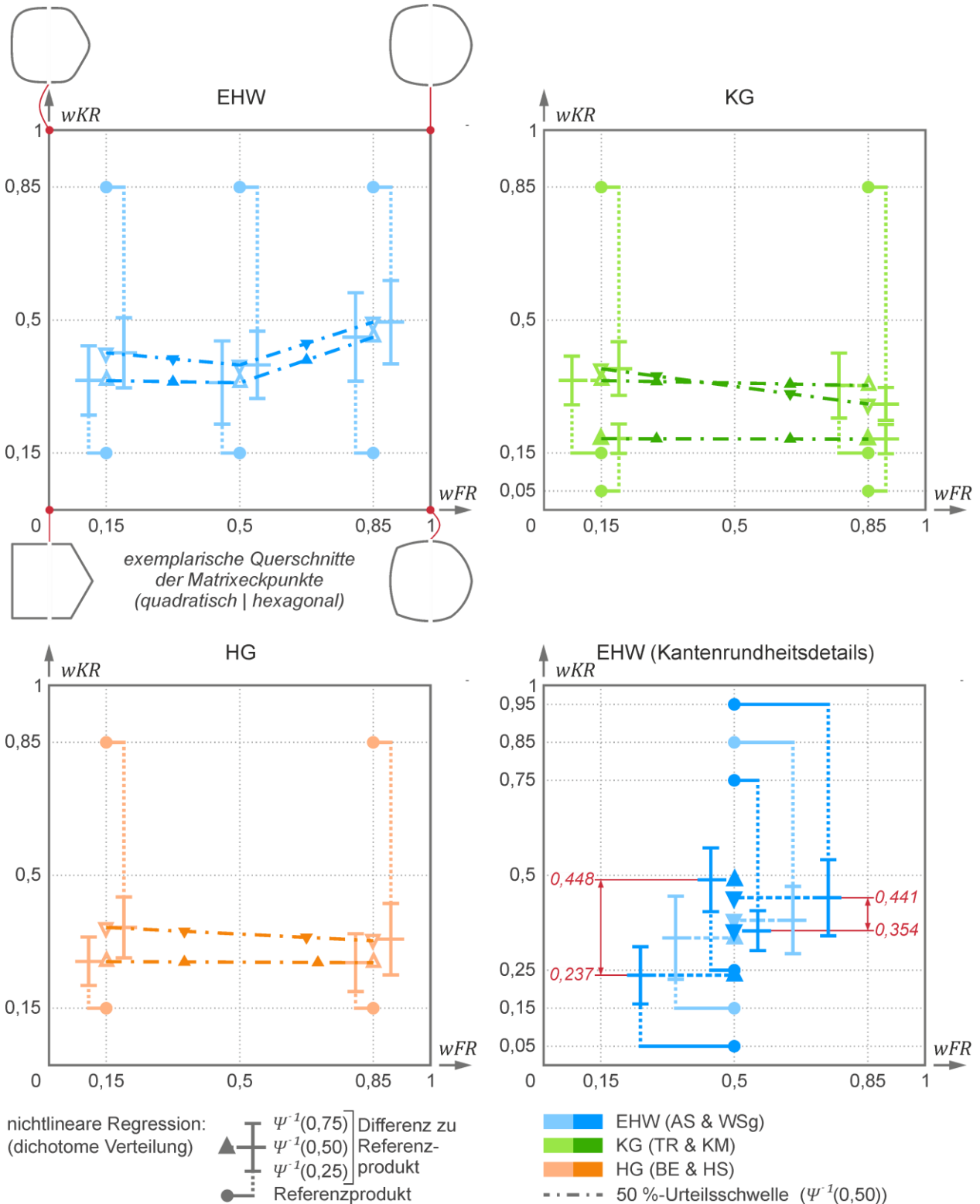
erzielt. Bei den S-Kurven auf Basis der Mittelwerte (Tabelle A.23) sind nach der Bonferroni-Holm-Korrektur lediglich zwei der 20 Regressionen signifikant bzw. hoch signifikant. Zurückzuführen ist dies unter anderem auf die hohe Anzahl an Freiheitsgraden. Bei TR-(0,85/0,85) & KM-(0,85/0,85- $\Delta$ ) liefert die Regression auf Basis der Mittelwerte kein zufriedenstellendes Ergebnis, da die untere Asymptote der S-Kurve oberhalb von  $\Psi = 0,5$  liegt (siehe Abbildung 6.23 oben rechts). Bei allen weiteren 19 S-Kurven auf Basis der Mittelwerte ist zu beobachten, dass sich diese bei ca.  $\Psi = 0,5$  mit den S-Kurven der dichotomen Verteilungen schneiden, was für die Güte der Daten und Regressionsrechnungen spricht.

In Abbildung 6.21 bis Abbildung 6.24 ist analog zu Studie 1 zu erkennen, dass bei geringen Referenzkantenrundheiten die Differenz zur Schwelle kleiner als bei hohen Referenzkantenrundheiten ist. Auffällig ist weiterhin, dass die steilsten S-Kurven bei KG auftreten (siehe auch Steigungsparameter  $\beta$  in Tabelle A.22). Es kann festgestellt werden, dass nicht bei allen Produktpaaren die fünf Differenzpunkte den idealen Abstand zum Referenzpunkt haben. Bei TR-(0,85/0,85) & KM-(0,85/0,85- $\Delta$ ) (siehe Abbildung 6.23 oben rechts) und BE-(0,85/0,85) & HS-(0,85/0,85- $\Delta$ ) (siehe Abbildung 6.24 oben rechts) wären größere Differenzen zum Referenzpunkt vorteilhafter gewesen, während bei TR-(0,15/0,05) & KM-(0,15/0,05+ $\Delta$ ) (siehe Abbildung 6.23 unten links) und BE-(0,85/0,15) & HS-(0,85/0,15+ $\Delta$ ) (siehe Abbildung 6.24 unten rechts) geringere Differenzen zu präziseren Ergebnissen der S-Kurven führen würden.

Anhand der S-Kurven kann für jede beliebige Urteilsschwelle (z. B. 80 % oder 63 %) die zugehörige Differenz bestimmt werden. Analog zu Studie 1 wird zur Anschauung die Differenz zur 50 %-Urteilsschwelle der dichotomen Verteilung in der FGM visualisiert (siehe Abbildung 6.25). Ergänzend sind auch die 25 %- und 75 %-Urteilsschwelle dargestellt. Da keine Anpassung der unteren und oberen Asymptoten der S-Kurven durchgeführt wurde, befindet sich die 50 %-Urteilsschwelle exakt in der Mitte zwischen der 25 %- und 75 %-Urteilsschwelle (siehe Abbildung 6.25). In Abbildung 6.21 bis Abbildung 6.24 ist zu erkennen, dass die S-Kurven in diesem Bereich einen nahezu linearen Verlauf aufweisen.

Analog zu Studie 1 sind kleine Differenzen zu Urteilsschwellen bei niedriger Referenzkantenrundheit und großen Differenzen zu Urteilsschwellen bei großen Referenzkantenrundheiten zu erkennen (siehe Abbildung 6.25). Die Differenz zu den Urteilsschwellen ist bei hohen Referenzkantenrundheiten ( $wKR = 0,85$ ) mindestens doppelt so groß wie bei niedrigen Referenzkantenrundheiten ( $wKR = 0,15$ ). Einzige Ausnahme stellen EHW bei

$wFR = 0,85$  dar. Die größten Unterschiede sind bei HG vorhanden. Hier beträgt die Differenz bei  $wKR = 0,85$  ca. das Vierfache als bei  $wKR = 0,15$  (siehe Abbildung 6.25 unten links und Tabelle A.22).



**Abbildung 6.25:** Resultierende Urteilsschwellen in der FGM auf Basis der dichotomen Verteilung

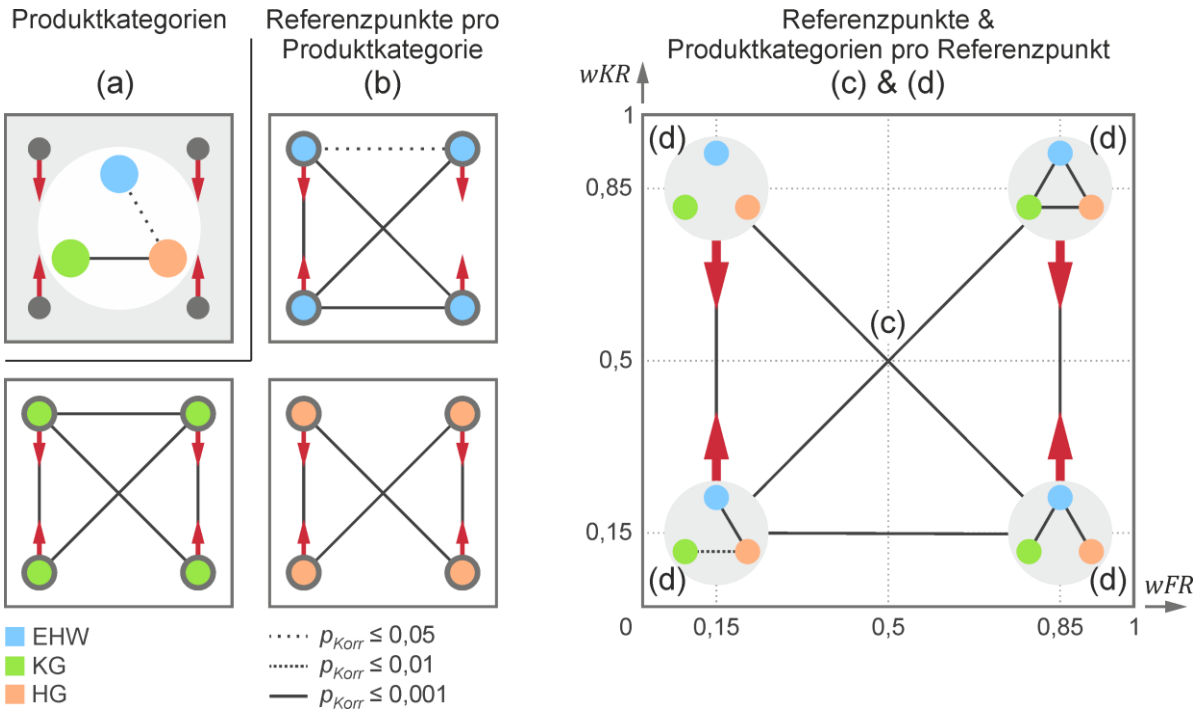
Die niedrigste Differenz  $\Delta = 0,120$  der 50 %-Urteilsschwelle tritt bei BE-(0,85/0,15) & HS-(0,85/0,15+ $\Delta$ ) auf und die größte Differenz  $\Delta = 0,571$  ist bei TR-(0,85/0,85) & KM-(0,85/0,85- $\Delta$ ) zu beobachten. Auffällig ist der Knick im Verlauf der Urteilsschwelle bei EHW (siehe Abbildung 6.25 oben links). Demgegenüber sind die Urteilsgrenzen bei KG und HG weitgehend horizontale Linien. Bei der Variation der Referenzkantenrundheiten bei EHW fällt auf, dass sich bei hohen Referenzkantenrundheiten ( $0,75 \leq wKR \leq 0,95$ ) die Urteilsschwellen auf einen kleinen Differenzbereich in der FGM ( $0,354 \leq wKR \leq 0,441$ ) konzentrieren (berechnet mit Ref.- $wKR$  und  $\Psi^{-1}(0,5)$  aus Tabelle A.22). Demgegenüber verteilen sich bei niedrigen Referenzkantenrundheiten ( $0,05 \leq wKR \leq 0,25$ ) die Urteilsschwellen auf einen größeren Bereich in der FGM ( $0,237 \leq wKR \leq 0,488$ ). Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 6.25 (unten rechts) dargestellt.

### 6.2.2.5 Ergebnisse Produktkategorie

Für die Überprüfung der Unterschiede bei Kantenrundheitsänderungen bei unterschiedlichen Produktkategorien ( $H_{2,2}$ ) wird eine mehrfaktorielle Anova mit Messwiederholung berechnet. Die Daten bei Differenz  $\Delta = 0,05$  und  $\Delta = 0,55$  können nicht eingesetzt werden, da diese nicht bei jedem der vier Basisreferenzpunkte bewertet wurden. Es verbleiben vier Bewertungen pro Referenzpunkt ( $\Delta = 0,15$  &  $0,25$  &  $0,35$  &  $0,45$ ) bei insgesamt vier Referenzpunkten ((0,15/0,15), (0,15/0,85), (0,85/0,15), (0,85/0,85)) und drei Produktkategorien (EHW, KG, HG) im Datensatz. Die Boxplots der Bewertungen und die S-Kurven können in Abbildung 6.21, Abbildung 6.23 und Abbildung 6.24 in den jeweils oberen vier Diagrammen direkt miteinander verglichen werden.

Die Produktkategorien unterscheiden sich höchst signifikant ( $F(2, 62) = 10,866$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*;  $\eta_p^2 = 0,260$ ) mit großer Effektstärke. Weil neben den weiteren Haupteffekten (Referenzpunkte, Differenzen) auch alle Interaktionseffekte hoch signifikant oder höchst signifikant unterschiedlich sind (siehe Tabelle A.24), ist die Betrachtung der Post-Hoc-Tests erforderlich.

Zur Veranschaulichung sind die signifikanten, hoch signifikanten und höchst signifikanten Unterschiede der Post-Hoc-Tests in Abbildung 6.26 in der FGM dargestellt. Bei den Produktkategorien bestehen nur zwischen HG & EHW und HG & KG signifikante bzw. höchst signifikante Unterschiede (siehe Abbildung 6.26a und Tabelle A.25). Bei der Betrachtung der Referenzpunkte fällt auf, dass bei Punkt (0,15/0,85) keine signifikanten Unterschiede zwischen Produktkategorien bestehen und bei Punkt (0,85/0,85) sich alle Produktkategorien höchst signifikant voneinander unterscheiden (siehe Abbildung 6.26d und Tabelle A.27). Dies ist auch in Abbildung 6.21, Abbildung 6.23 und Abbildung 6.24 zu erkennen.



**Abbildung 6.26:** Visualisierung der signifikanten, hoch signifikanten und höchst signifikanten Post-Hoc-Tests für  $H_{2.2}$

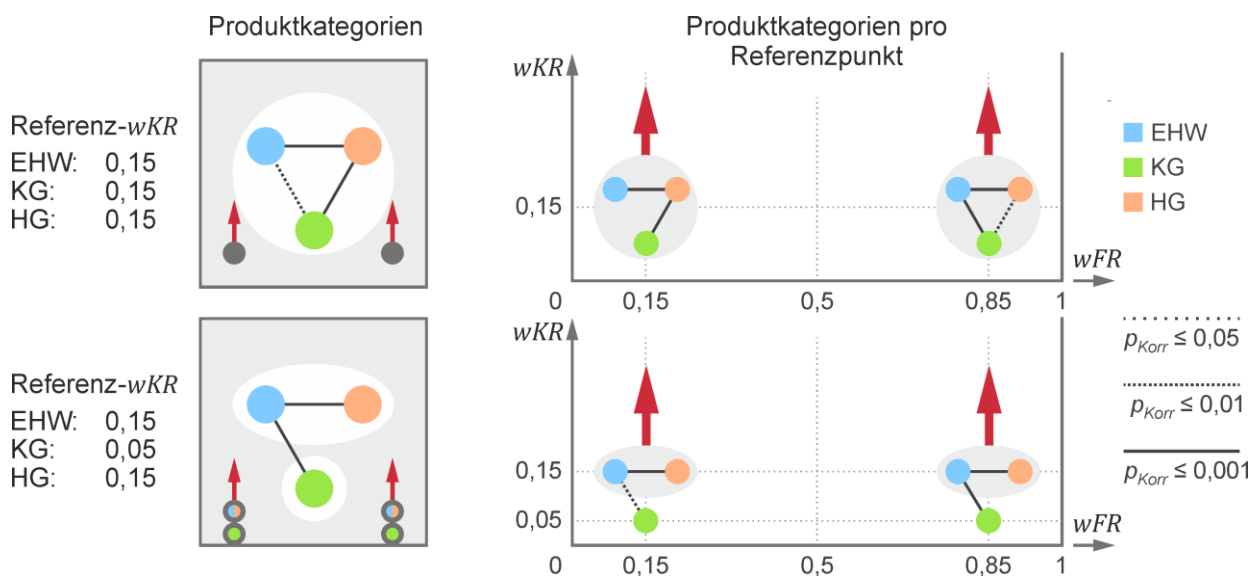
Im Vergleich zu Studie 1 sind auch die Unterschiede zwischen Referenzpunkten interessant. Über alle Produktkategorien ist ein höchst signifikanter Unterschied zwischen den Referenzpunkten (0,15/0,15) und (0,85/0,15) vorhanden (siehe Abbildung 6.26c und Tabelle A.26), welcher in Studie 1 nicht signifikant ist. Bei den Post-Hoc-Tests der Referenzpunkte pro Produktkategorie (siehe Abbildung 6.26b und Tabelle A.28) sind zudem weitere Unterschiede zwischen den Produktkategorien zu erkennen.

Für die Bewertungen an den vier Basisreferenzpunkten befinden sich die Korrelationsanalysen zu den ergänzenden Fragen (Produktinteresse, Produktnutzung, zugelassene Formabweichung, Bedeutung äußere Produktgestalt und Rang der Marke bei Einkauf) in Tabelle A.29. Da nur neun der 300 berechneten Korrelationen signifikant oder hoch signifikant sind, wird davon ausgegangen, dass kein Einfluss der subjektiven Vorprägung bei der Bewertung der Markenzugehörigkeit besteht.

Als Ergänzung zur Untersuchung der Produktkategorien liegt ein Datensatz mit Bewertungen zu den Referenzpunkten (0,15/0,05) und (0,85/0,05) bei KG vor. Hintergrund ist, dass die absoluten Radien dieser Produkte vergleichbar mit den absoluten Radien der Referenzpunkte (0,15/0,15) und (0,85/0,15) bei EHW und HG sind. Untersucht werden soll daher, ob weniger bzw. mehr signifikante Unterschiede bei weitgehend identischen absoluten Referenzradien auftreten. Für die inferenzstatistischen Analysen werden jeweils alle fünf Differenzbewertungen der unteren Referenzpunkte in der FGM eingesetzt.

Im ersten Schritt steht der Vergleich zwischen  $wKR = 0,05$  und  $wKR = 0,15$  bei KG an. Die Ergebnisse der mehrfaktoriellen Anova mit Messwiederholung befinden sich in Tabelle A.30. Ein höchst signifikanter Unterschied besteht zwischen den beiden KG-Referenzkantenrundheiten ( $F(1, 31) = 41,326$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*;  $\eta_p^2 = 0,571$ ).

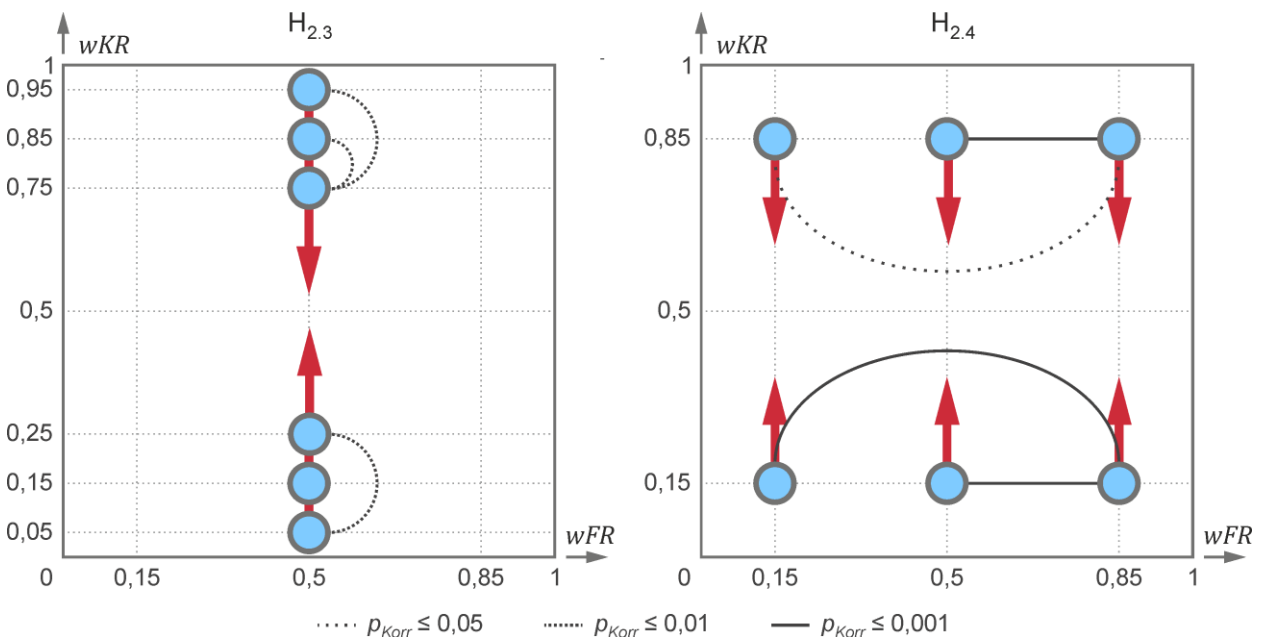
Für die Unterschiede bzgl. der Produktkategorien werden zwei mehrfaktorielle Anovas mit Messwiederholung inkl. Post-Hoc-Tests gerechnet. Bei der ersten Anova inkl. Post-Hoc-Tests sind bei allen Produktkategorien die Referenzpunkte ((0,15/0,15), (0,85/0,15)) identisch (Tabelle A.31 bis Tabelle A.33). Bei der zweiten Anova inkl. Post-Hoc-Tests werden bei KG abweichend die Referenzpunkte (0,15/0,05) und (0,85/0,05) eingesetzt (Tabelle A.34 bis Tabelle A.36). Da sich bei beiden Anovas die Produktkategorien höchst signifikant unterscheiden, ist die Betrachtung der Post-Hoc-Tests relevant. Deren hoch signifikante und höchst signifikante Unterschiede sind in Abbildung 6.27 in der FGM dargestellt. Bei Änderung des Referenzpunktes bei KG kann keine allgemeine Verringerung oder Steigerung an signifikanten Unterschieden beobachtet werden. Allerdings sind teilweise je andere Paarungen signifikant bzw. höchst signifikant unterschiedlich. Bei identischen Referenzpunkten bestehen weniger hoch bzw. höchst signifikante Unterschiede zwischen KG und EHW als bei abweichenden Referenzpunkten (siehe Abbildung 6.27). Im Gegensatz dazu liegen zwischen KG und HG mehr hoch bzw. höchst signifikante Unterschiede bei identischen als bei unterschiedlichen Referenzpunkten vor.



**Abbildung 6.27:** Visualisierung der hoch signifikanten und höchst signifikanten Post-Hoc-Tests bei Variation der Referenzkantenrundheit bei KG, H<sub>2.2</sub>-Ergänzung

### 6.2.2.6 Ergebnisse Kantenrundheitsdetails

Für die Untersuchungen der Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen mit unterschiedlichen Referenzkantenrundheiten ( $H_{2.3}$ ), stehen sechs EHW-Bewertungsreihen bei  $wFR = 0,5$  zur Verfügung (siehe Abbildung 6.22). Nach einer mehrfaktoriellen Anova mit Messwiederholung (Tabelle A.37) unterscheiden sich die Bewertungen bei unterschiedlicher Referenzkantenrundheit höchst signifikant ( $F(2, 62) = 14,021$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*;  $\eta_p^2 = 0,331$ ). Analog zu Studie 1 unterscheiden sich auch die Modifikations- bzw. Differenzrichtungen ( $+\Delta$  &  $-\Delta$ ) höchst signifikant ( $F(1, 31) = 147,349$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*;  $\eta_p^2 = 0,826$ ). Hoch signifikante und höchst signifikante Interaktionseffekte sind Tabelle A.37 zu entnehmen. Die hoch signifikanten Unterschiede des Post-Hoc-Tests (Tabelle A.38) sind in Abbildung 6.28 (links) dargestellt. Auffällig ist, dass bei hohen Referenzkantenrundheiten mehr Paarvergleiche hoch signifikant unterschiedlich sind als bei niedrigen Referenzkantenrundheiten. Dies ist auch an der Verteilung der 50 %-Urteilsschwellen in Abbildung 6.25 (unten rechts) zu erkennen. Ergänzend kann auf den höchst signifikanten Unterschied bei KG zwischen den Referenzkantenrundheiten  $wKR = 0,05$  und  $wKR = 0,15$  in Kapitel 6.2.2.5 hingewiesen werden.



**Abbildung 6.28:** Visualisierung der signifikanten, hoch signifikanten und höchst signifikanten Post-Hoc-Tests für  $H_{2.3}$  und  $H_{2.4}$

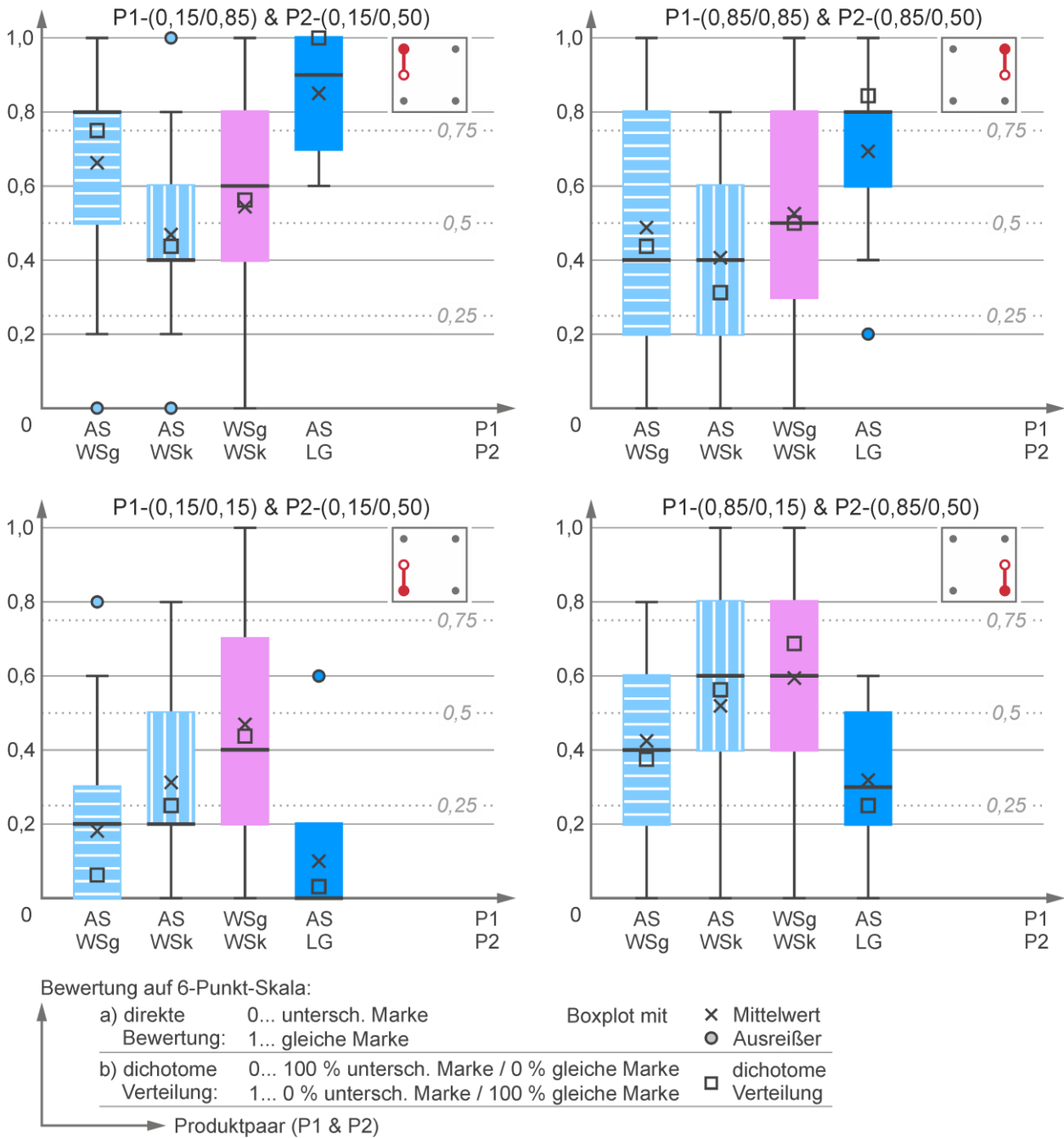
Die Untersuchungen der Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen mit unterschiedlichen Referenzflächenrundheiten ( $H_{2.4}$ ) werden anhand von sechs EHW-Bewertungsreihen bei  $wFR = 0,15$ ,  $wFR = 0,5$  und  $wFR = 0,85$  durchgeführt (siehe Abbildung 6.21 und mittlere Diagramme in Abbildung 6.22). Nach der mehrfaktoriellen Anova mit Messwiederholung (Tabelle A.39) unterscheiden sich die Bewertungen

bei unterschiedlicher Referenzflächenrundheit signifikant ( $F(2, 62) = 4,354$ ;  $p = 0,017$  \*;  $\eta_p^2 = 0,123$ ). Bei den Post-Hoc-Tests zu den drei Referenzflächenrundheiten (Tabelle A.40) ist nur der Unterschied zwischen  $wFR = 0,15$  und  $wFR = 0,85$  signifikant ( $t = -2,983$ ;  $p_{Korr} = 0,017$  \*;  $d = 0,527$ ). Die Post-Hoc-Tests zu den Referenzflächenrundheiten pro Referenzkantenrundheit (Tabelle A.41) zeigen weiterhin auch Unterschiede zwischen  $wFR = 0,5$  und  $wFR = 0,85$  auf. Diese signifikant und höchst signifikant unterschiedlichen Paarvergleiche sind in Abbildung 6.28 (rechts) dargestellt. In Abbildung 6.25 (oben links) kann dieser Zusammenhang auch am Knick im Verlauf der Urteilsschwelle bei EHW beobachtet werden.

### 6.2.2.7 Ergebnisse Markenebene

Die Bewertungen der vier Produktpaarungen zu den Markenebenen sind in Abbildung 6.29 als Boxplot pro Referenzpunkt dargestellt. Ergänzend ist analog zu Kapitel 6.2.2.4 auch die dichotome Verteilung eingetragen. Auffällig ist, dass die Bewertungen mit dem Ladegerät (AS & LG) deutlich von den anderen Produktpaarungen abweichen. Werden die Produktmodelle in Abbildung A.5 und Abbildung A.11 betrachtet, kann eine große Abweichung der absoluten Radien bei den Flächenübergängen festgestellt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Größen und Flächenaufteilungen treten bei LG wahrnehmbar größere, absolute Radien auf. An dieser Stelle scheint der Ansatz der relativen Rundheiten nicht anwendbar zu sein. Bei weiteren inferenzstatistischen Auswertungen wird daher der Produktvergleich AS & LG aus dem Datensatz ausgeschlossen. Weiterhin kann angemerkt werden, dass nicht bei allen Produktpaarungen die Bewertungen in der Nähe der 50 %-Urteilsschwelle liegen. Vor allem bei Referenzpunkt (0,15/0,15) liegen die Vergleichsprodukte teilweise deutlich unterhalb der 50 %-Urteilsschwelle.

Für die Unterschiede der PP- und PS-Markenebene wird mit den verbleibenden drei Produktpaarungen (AS & WSg, AS & WSk, WSg & WSk) über die vier Referenzpunkte eine mehrfaktorielle Anova mit Messwiederholung berechnet (Tabelle A.42). Dabei besteht zwischen den drei Produktpaarungen ein höchst signifikanter Unterschied ( $F(2, 62) = 8,168$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*;  $\eta_p^2 = 0,209$ ). Auch zwischen den Referenzpunkten besteht ein höchst signifikanter Unterschied ( $F(3, 93) = 17,328$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*;  $\eta_p^2 = 0,359$ ). Zudem ist der Interaktionseffekt zwischen den Produktpaarungen und Referenzpunkten höchst signifikant ( $F(6, 186) = 5,859$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*;  $\eta_p^2 = 0,159$ ). Relevant für die Beantwortung der Fragestellung sind die Post-Hoc-Tests (Tabelle A.43 und Tabelle A.44). Deren signifikante, hoch signifikante und höchst signifikante Ergebnisse sind in Abbildung 6.30 in der FGM visualisiert.

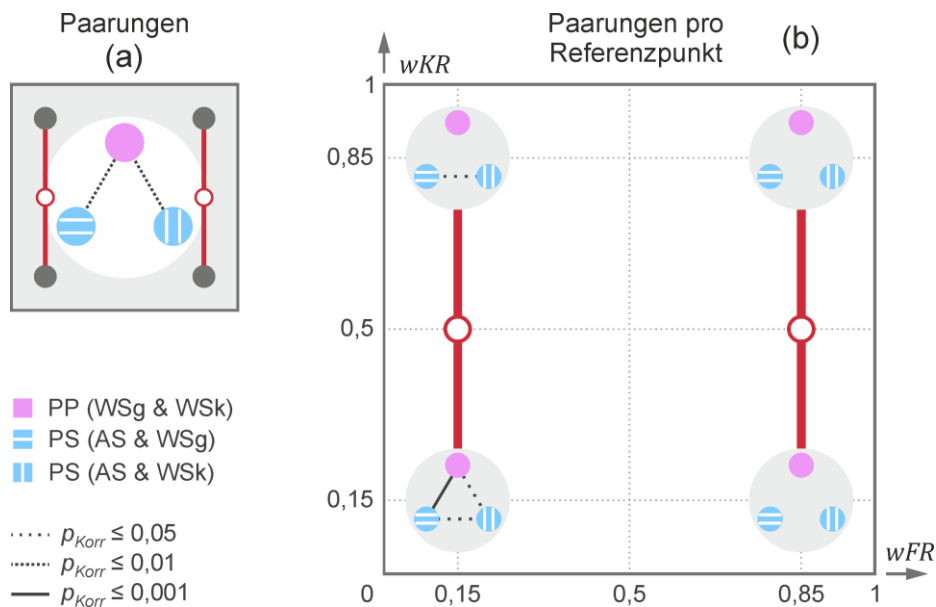


**Abbildung 6.29:** Bewertungen EHW (PP- & PS-Markenebene)

Im Unterschied zu Studie 1 bestehen bei den Paarungen zunächst hoch signifikante Unterschiede zwischen der PP- und PS-Markenebene (siehe Abbildung 6.30a). Werden allerdings die Paarungen pro Referenzpunkt betrachtet, fällt auf, dass nur vier der zwölf Paarvergleiche signifikant oder höchst signifikant unterschiedlich sind (siehe Abbildung 6.30b). Zudem treten drei dieser signifikanten bzw. höchst signifikanten Unterschiede am Referenzpunkt (0,15/0,15) auf, bei welchem die Vergleichsprodukte größere Abweichungen zur 50 %-Urteilsschwelle haben. Demnach werden hier Bereiche der S-Kurve mit Abstand zur 50 %-Urteilsschwelle verglichen, die aufgrund eines anderen Steigungsparameters  $\beta$  auch bei identischer 50 %-Urteilsschwelle verschieden sein könnten.



Durch das genauere Verfahren der Konstanzmethode können solche Unterschiede identifiziert werden. Dem Ergebnis aus Studie 1 widersprechen diese Ergebnisse daher generell nicht. Vielmehr wird die Unterschiedlichkeit der S-Kurven bei verschiedenen Produktpaarungen deutlich.



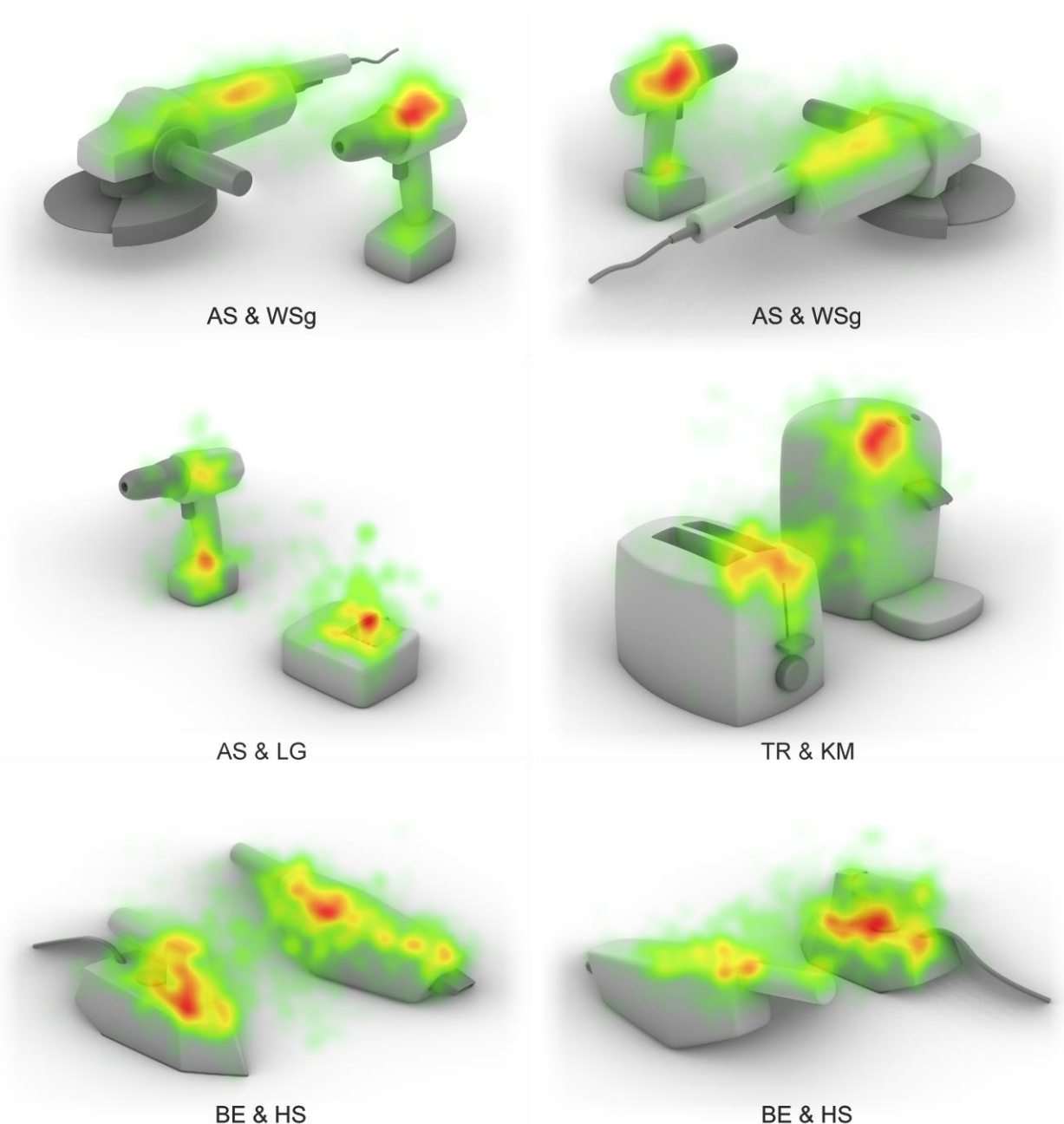
**Abbildung 6.30:** Visualisierung der signifikanten, hoch signifikanten und höchst signifikanten Post-Hoc-Tests für  $H_{2.5}$

### 6.2.2.8 Ergebnisse Betrachtungsverhalten

Für die Analyse des Betrachtungsverhaltens werden Ansichten gewählt, bei denen beide Produkte gleichwertig zu sehen sind. Für EHW (AS & WSg) und HG (BE & HS) werden jeweils Ansichten von seitlich-vorne und seitlich-hinten analysiert (siehe Abbildung 6.31). Bei KG (TR & KM) ist die Rückseite der stationären Produkte nicht von Interesse, wodurch nur eine Ansicht von seitlich-vorne ausgewertet wird. Für die Betrachtungsunterschiede der Grundquerschnitte ist zudem das Produktpaar AS & LG relevant.

Für die sechs Ansichten werden jeweils die Blickdaten über alle Referenz- und Vergleichspunkte kumuliert. Möglich ist dies, da Untersuchungen bzgl. der Grundkörper und nicht der Formdetails bei unterschiedlichen Positionen in der FGM angestrebt werden. Aufgrund der links- / rechts-Randomisierung können nur ca. die Hälfte aller Produktpaare genutzt werden. Ggf. werden dadurch Probanden minimal unterschiedlich gewichtet und gewisse Produktvergleiche häufiger als andere ausgewertet. Durch die hohe Anzahl an Produktvergleichen für die Auswertung des Betrachtungsverhaltens, wird der Einfluss dieser Störeffekte als gering eingeschätzt. Bei dem Produktpaar AS & WSg wurden insgesamt 50 Bewertungen pro Proband durchgeführt. Ca. 25 davon mit der relevanten links-rechts Anordnung der Produkte, was bei 32 Probanden zu ca. 800 Betrachtungen

von 2,5 Sekunden Länge führt. Entsprechend liegen bei AS & LG ca. 64 Betrachtungen vor. Bei KG (TR & KM) sind ca. 480 und bei HG (BE & HS) ca. 320 Betrachtungen vorhanden. Anhand der Fixationsdaten kann ermittelt werden, welche Bereiche der Produkte bei der Aufgabendurchführung Aufmerksamkeit erregt haben (vgl. Kapitel 2.4.3.3) bzw. für die Bewertung besonders relevant waren.

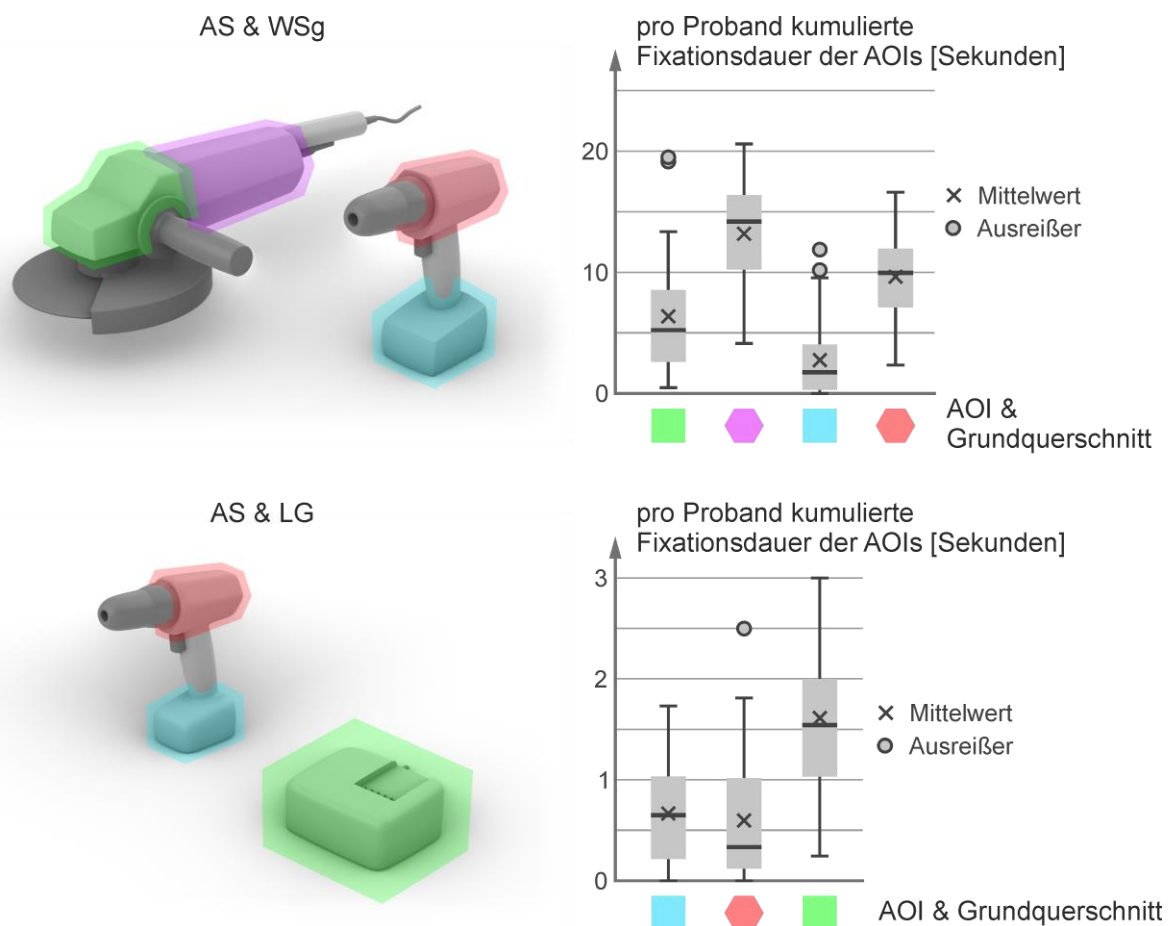


**Abbildung 6.31:** Heat-Maps ausgewählter Ansichten

Die Heat-Maps auf Basis der Fixationsdaten von allen Probanden sind in Abbildung 6.31 dargestellt. Das abgebildete Produktpaar präsentiert entsprechend des Auswertevorgehens nur die Ansicht und nicht Formdetails. Bei EHW kann bei allen Ansichten eine Fokussierung der hexagonalen Grundkörper beobachtet werden. Lediglich bei AS & LG ist

eine Tendenz zu den quaderförmigen Grundkörpern zu erkennen. Bei KG scheinen die oberen Kanten und Ecken für die Bewertung relevant zu sein. Die quaderförmige Griffbefestigung bei BE, ist entsprechend der Heat-Maps für die Probanden aufmerksamkeits-erregend gewesen. Da die Flächen der quaderförmigen Griffbefestigung proportional kleiner sind als die Flächen des Hauptkörpers, sind die absoluten Radien geringer. Dies kann analog zum Produktpaar AS & LG in Kapitel 6.2.2.7 eine Erklärung der niedrigen Differenzen bei den HG-Urteilschwellen darstellen (siehe Kapitel 6.2.2.4).

Für die Untersuchung bzgl. des Betrachtungsfokus bei quaderförmigen und hexagonalen Grundkörpern (H<sub>2,6</sub>) sind Auswertungen der AOIs relevant. Dafür wird die Ansicht seitlich-vorne von AS & WSg gewählt (siehe Abbildung 6.32). Bei dieser Ansicht nehmen beide Grundkörper ungefähr dieselbe Bildfläche ein. Die AOIs werden zum Ausgleich der Aufzeichnungspräzision des Eye-Trackers und der verschiedenen Flächen- und Kantenrundheiten minimal größer als die Grundkörper gewählt [vgl. HOLMQVIST & ANDERSSON 2017, S. 262]. Bei dem WSg muss eine Überlappung der AOIs erfolgen. Nach HOLMQVIST & ANDERSSON [2017, S. 268] wird davon ausgegangen, dass die Probanden in dem Überlappungsbereich beide AOIs betrachten.

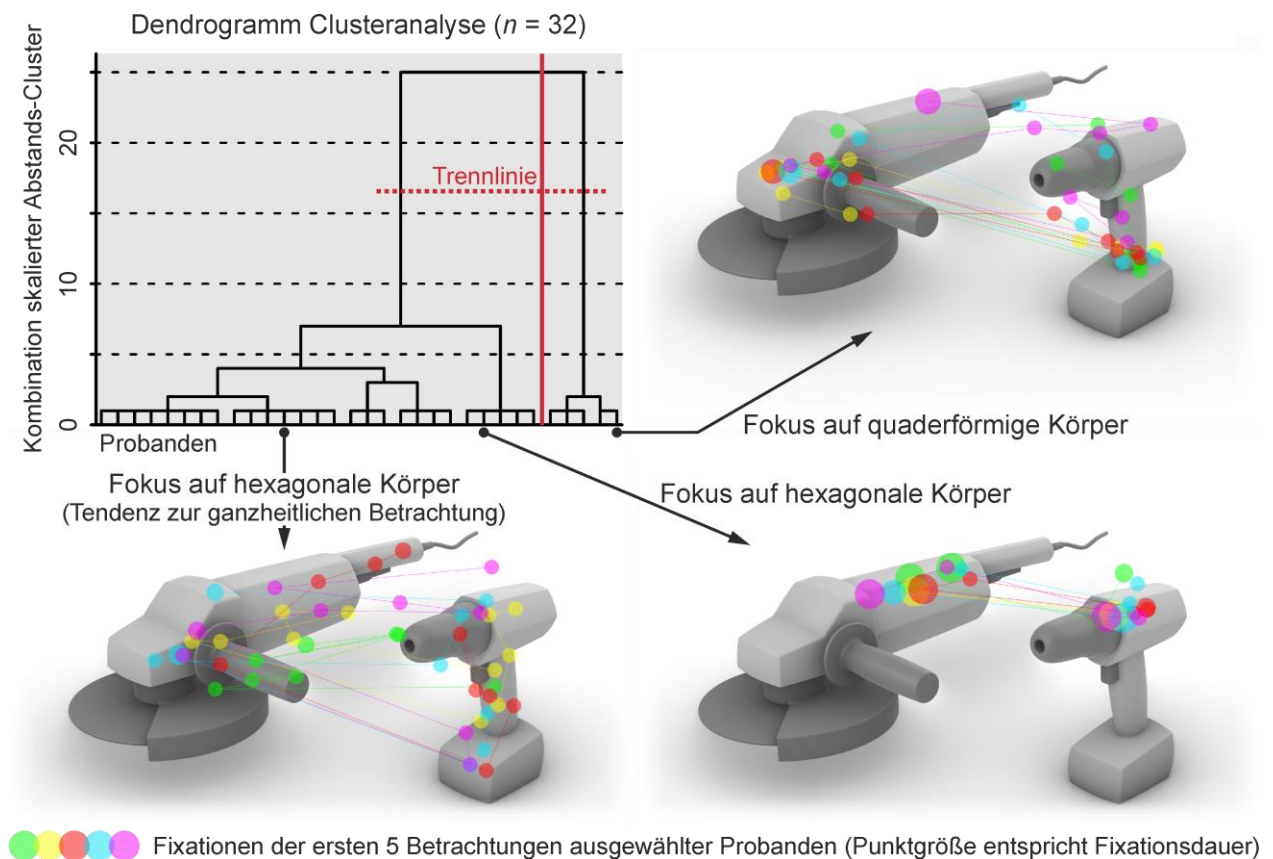


**Abbildung 6.32:** AOIs und pro Proband kumulierte Fixationsdauern

Bei der Auswertung werden die pro Proband kumulierten Fixationsdauern der AOIs als Datengrundlage genutzt (siehe Abbildung 6.32). Die verschiedenen Grundkörper bzgl. des Querschnitts werden mit höchst signifikant unterschiedlichen Fixationsdauern betrachtet (mehrfaktorielle Anova mit Messwiederholung:  $F(1, 31) = 32,978$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*;  $\eta_p^2 = 0,515$ ; siehe Tabelle A.45). Auch die Produkte bzw. deren zusammengeführte AOIs werden mit höchst signifikant unterschiedlichen Fixationsdauern angeschaut ( $F(1, 31) = 84,762$ ;  $p < 0,001$  \*\*\*;  $\eta_p^2 = 0,732$ ). Der Interaktionseffekt zwischen den Querschnittsarten der Grundkörper und der Produkte ist nicht signifikant ( $F(1, 31) = 0,010$ ;  $p = 0,922$ ;  $\eta_p^2 < 0,001$ ). Demnach erhalten die hexagonalen Grundkörper mehr Fixationszeit als quadratische Grundkörper. Dies könnte u. a. ein Grund für Abweichungen der Bewertungen zwischen EHW und KG / HG sein, da KG und HG keine hexagonalen Körper aufweisen. Weiterhin kann erwähnt werden, dass der WSg mehr Fixationszeit bekommt als der AS. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass der AS als Referenzprodukt häufig mit identischer Formgestalt vorkommt und demnach nicht bei jedem Produktpaar ausführlich betrachtet werden muss.

Bei dem Produktpaar AS & LG ist von Interesse, ob bei AS der quaderförmige oder hexagonale Grundkörper höhere Fixationsdauern aufweist. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Fixationszeiten dieser Grundkörper ( $t$ -Test:  $t = 0,386$ ,  $p = 0,702$ ). Zu erwarten wäre hier ein Fokus auf den quaderförmigen Grundkörper des AS zum Vergleich mit dem quaderförmigen LG. Dies kann anhand der inferenzstatistischen Auswertung nicht nachgewiesen werden.

Im Zusammenhang mit den erfolgten Ergebnisbeschreibungen ist interessant, ob einzelne Probanden eine gesamtheitliche oder fokussierte Betrachtungsstrategie aufweisen. Auf Basis der pro Proband kumulierten Fixationsdauern der AOIs bei AS & WSg (siehe Abbildung 6.32) können die Probanden gruppiert werden. Das Single-Linkage-Verfahren führt zu keinem Ausreißerausschluss. Bei der Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren resultieren zwei Cluster bzw. Gruppen von Probanden. In dem kleinen Cluster ( $n = 5$ ) haben die Probanden höhere Fixationsdauern bei quaderförmigen als bei hexagonalen Grundkörpern. In dem großen Cluster ( $n = 27$ ) haben die Probanden höhere Fixationsdauern bei hexagonalen als bei quaderförmigen Grundkörpern. In beiden Clustern gibt es Probanden mit annähernd ganzheitlicher Betrachtung. Diese Betrachtungsstrategien sind in Abbildung 6.33 anhand von Blickpfaden der ersten fünf Betrachtungen des dargestellten Produktpaares bei ausgewählten Probanden dargestellt.



**Abbildung 6.33:** Clusteranalyse und Beispiele von Blickpfaden exemplarischer Probanden

### 6.2.3 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Tabelle 6.4 fasst die Ergebnisse der Hypothesenprüfungen der zweiten Studie zusammen. Dabei ist gekennzeichnet, ob die korrespondierende Nullhypothese verworfen werden muss („ja / nein“) und ggf. die Alternativhypothese angenommen werden kann. Wenn bei multiplen Paarvergleichen nicht alle Paarvergleiche signifikant, hoch signifikant oder höchst signifikant unterschiedlich sind, wird dies mit „ja, teilweise“ gekennzeichnet.

Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Produktpaaren mit Kantenrundheitsdifferenzen lassen sich auf Basis der dichotomen Verteilung mittels einer S-Kurve abbilden ( $H_{2.1}$ ). Auf Basis der Mittelwerte kann nur für wenige S-Kurven ein signifikanter bzw. hoch signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. Bei weiteren Untersuchungen sollten daher eindeutige bipolare Fragen eingesetzt werden. Für weitere Details könnten mehr Vergleichsprodukte pro Referenzprodukt gewählt werden, da in der Studie nur die Mindestanzahl an fünf Vergleichen angewendet wurde. Damit kann auch vermieden werden, dass einzelne Vergleichsprodukte nicht die idealen Differenzen zum Referenzprodukt besitzen. Da die Differenzen auf Basis von Ergebnissen der ersten Studie gewählt wurden, waren diese bei EHW in der Regel passend. Bei KG und HG hatten wenige Vergleichsprodukte nicht den idealen Abstand zum Referenzprodukt.

H <sub>x</sub>	Beschreibung H <sub>x</sub>	H <sub>0x</sub> verworfen
H <sub>2.1</sub>	Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Produktpaaren mit Kantenrundheitsdifferenzen lassen sich mittels einer S-Kurve abbilden.	✓
H <sub>2.2</sub>	Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen unterscheiden sich bei unterschiedlichen Produktkategorien.	(✓)
H <sub>2.3</sub>	Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen unterscheiden sich bei unterschiedlichen Referenzkantenrundheiten.	(✓)
H <sub>2.4</sub>	Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen unterscheiden sich bei unterschiedlichen Referenzflächenrundheiten.	(✓)
H <sub>2.5</sub>	Die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen unterscheiden sich zwischen der PP- und PS-Ebene.	(✓)
H <sub>2.6</sub>	Bei Bewertungen der Markenzugehörigkeit werden hexagonale und quaderförmige Aufbauelemente unterschiedlich stark beachtet.	✓
✓ Ja		(✓) Ja, teilweise
		✗ Nein

**Tabelle 6.4:** Ergebnisse der Hypothesenprüfung, Studie 2

Zwischen den Produktkategorien sind teilweise Unterschiede bzgl. der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsdifferenzen vorhanden (H<sub>2.2</sub>). Inwiefern Unterschiede bestehen, muss für die entsprechenden Produktkategorien individuell in der FGM bestimmt werden. Präzisere Aussagen können nicht getroffen werden, da nur zwei Produkte pro Produktkategorie untersucht wurden. Zudem kann nicht differenziert werden, ob Unterschiede zwischen Produktkategorien bestehen, oder ob die Aufbauunterschiede relevant sind. Da der Aufbau von der Produktkategorie abhängig ist, kann dieser Aspekt nicht weiter untersucht werden. Dies ist erwähnenswert, da bei den Urteilsschwellen eine klare Tendenz unabhängig von der Produktkategorie zu erkennen ist. Bei niedrigen Referenzkantenrundheiten sind die Urteilsschwellen näher an dem Referenzpunkt als bei hohen Referenzkantenrundheiten (siehe Abbildung 6.25).

Wird die Referenzkantenrundheit variiert, unterscheiden sich die Bewertungen bzgl. der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsdifferenzen teilweise (H<sub>2.3</sub>). Nicht bei allen Kombinationen sind die Unterschiede hoch signifikant. Allerdings kann beobachtet werden, dass eine Erhöhung der Referenzkantenrundheit in der Regel eine Erhöhung der Distanz zur Urteilsschwelle bedeutet. In einem Fall (AS-(0,50/0,05) & WSg-(0,50/0,05+Δ) zu AS-(0,50/0,15) zu WSg-(0,50/0,15+Δ)) ist die Distanz zur Urteilsschwelle trotz Erhöhung der Referenzkantenrundheit nahezu identisch.

Bei der Änderung der Referenzflächenrundheiten unterscheiden sich die Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen in einigen Fällen (H<sub>2.4</sub>). Zudem

kann nicht von einem linearen Zusammenhang bzgl. der Urteilsschwellen und der Änderung der Referenzflächenrundheiten ausgegangen werden.

Zwischen der PP- und PS-Markenebene sind teilweise Unterschiede bei Bewertungen der Markenzugehörigkeit bei Kantenrundheitsänderungen vorhanden (H<sub>2.5</sub>). Die Urteilsschwellen bzgl. der Markenebene können hier nicht verglichen werden, da keine kompletten S-Kurven bestimmt wurden. Die geringe Anzahl an signifikanten und höchst signifikanten Unterschieden kann ggf. aber auch auf unterschiedliche Steigungen der S-Kurve zurückzuführen sein, da vor allem Produktpaare bei Paarvergleichen mit signifikanten oder höchst signifikanten Unterschieden eine größere Distanz zur 50 %-Urteilsschwelle aufweisen. Im Detail können tendenziell geringe Unterschiede zwischen der PP- und PS-Markenebene bestehen. Ob diese Unterschiede nur die Steigung der S-Kurve oder auch die 50 %-Urteilsschwelle betreffen, kann mit dieser Untersuchung nicht final geklärt werden.

Die Studie hat weiterhin die Grenzen der skalierungsunabhängigen, relativen Rundheiten aufgezeigt. Bei den unterschiedlichen Produktabmessungen und Flächenaufteilungen bei AS & LG sind große Abweichungen im Vergleich zu Produktpaaren mit vergleichbarer Flächenaufteilung und Gesamtabmessung vorhanden (siehe Kapitel 6.2.2.7). Zurückzuführen ist dies auf große Unterschiede der absoluten Radien bei den Flächenübergängen. Der Einfluss der Differenz der absoluten Radien bei Flächenübergängen beim Paarvergleich bedarf weiterer Forschungen. Ergänzt werden kann, dass die absoluten Radien bei größerer Dimension beider Produkte (Referenz- und Vergleichsprodukt) nur zu geringen Bewertungsabweichungen im Vergleich zu Produkten mit geringerer Dimension (Referenz- und Vergleichsprodukt) führen (siehe KG in Kapitel 6.2.2.5). Ein allgemeingültiger Zusammenhang konnte aber nicht festgestellt werden.

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Probanden bei der Bewertung der Markenzugehörigkeit hexagonale Grundkörper der EHW mit mehr Fixationszeiten betrachtet haben als quaderförmige Aufbauelemente (H<sub>2.6</sub>). Nur wenige Probanden hatten höhere Fixationsdauern bei den quaderförmigen Aufbauelementen. Dieser Zusammenhang kann Erklärungen für Unterschiede bei den Produktkategorien liefern. Die bei realen Produkten eher unüblichen hexagonalen Körper könnten daher auch einen Störfaktor bei EHW darstellen. Dies würde bedeuten, dass die Ergebnisse von KG und HG ggf. mehr Güte besitzen. Größere Abweichungen der 50 %-Urteilsschwellen bei EHW-Referenzpunkt (0,85/0,15) zu KG und HG (siehe Abbildung 6.25) können weiterhin auch auf die Abweichungen der wahrgenommenen Kantenrundheit zwischen hexagonalem und quadratischem Grundquerschnitt (siehe Abbildung 5.19) entsprechend der Vorstudie zurückzuführen sein. Bei den Ergebnissen auf Basis der Eye-Tracking-Daten muss allerdings

betont werden, dass nur das foveale Sehen (siehe Kapitel 2.4.3.1) aufgezeichnet wird [GEISE 2011, S. 178]. Der Mensch nimmt allerdings auch Informationen aus dem peripheren Sehbereich auf [BLAKE 2013, S. 380].

Analog zu Studie 1 besteht zwischen den Bewertungen und den ergänzenden Fragen (produktspezifische, subjektive Vorprägung) kein allgemeiner Zusammenhang. Interessant ist dabei, dass die nachträglich bewertete, zugelassene Formabweichung nicht mit den Bewertungen der Formänderungen in der Studie korrelieren.

Die beschriebenen Ergebnisse beziehen sich in der Regel auf die 50 %-Urteilsschwelle. Anhand der S-Kurven in Abbildung 6.21 bis Abbildung 6.24 kann weiterhin auch die 25 %- und 75 %-Urteilsschwelle bzw. jede weitere Schwelle abgelesen und interpretiert werden.

### 6.3 Interpretation und Anwendung der Studienergebnisse

In diesem Kapitel folgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der durchgeführten Studien für die Anwendung in der markenspezifischen Produktgestaltung. Grundlage dafür ist die Beziehung zwischen geometrischer Flächen- und Kantenrundheit ( $gFR$  &  $gKR$ ) und wahrgenommener Flächen- und Kantenrundheit ( $wFR$  &  $wKR$ ) der Primärform.

Die Ergebnisse beschreiben den Zusammenhang zwischen einer Referenzformgestalt und der Differenzen bzgl. der Flächen- und / oder Kantenrundheit bis zur Urteilsschwelle. Die 50 %-Urteilsschwelle ist die Schwelle, an der 50 % der Probanden zwei Produkte zu einer gleichen Marke bzw. zu unterschiedlichen Marken zugeordnet haben. Eingegrenzt wurden die Untersuchungen auf Produkte mit reiner Formgebung. D. h. an den Produkten wurden alle Flächen- und Kanten einheitlich nach den skalierungsunabhängigen, relativen wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheiten modelliert. Zudem haben Vergleichsprodukte eine vergleichbare Flächenaufteilung und Gesamtabmessung. In der zweiten Studie wurde ermittelt, dass die Ergebnisse nicht auf Produktpaare mit großen Abweichungen in der Flächenaufteilung und Dimension anwendbar sind. Bei der Kanten-gestaltung spielt in diesem Fall der minimale absolute Radius und nicht mehr die relative wahrgenommene Kantenrundheit eine Rolle. Eingesetzt wurden quaderförmige und hexagonale Grundkörper als Basis für die Primärform. Hexagonale Grundkörper wurden allerdings nicht bei allen Produktkategorien eingesetzt.

Nach den Ergebnissen der Vorstudie besteht zwischen der wahrgenommenen Flächenrundheit  $wFR$  und der Krümmung der Oberfläche ein nahezu linearer Zusammenhang (siehe Kapitel 5.4.3). Weiterhin besteht zwischen der wahrgenommenen Kantenrundheit  $wKR$  und dem minimalen Radius im Kantenquerschnitt eine annähernd lineare Bezie-



hung. Daher können die Ergebnisse auch ohne die detaillierte Berechnung der geometrischen Flächen- und Kantenrundheit für die Anwendung in Modellierungsoperationen mit geringen Abweichungen angewendet werden.

Für die anwendungsorientierte Beschreibung der Ergebnisse wird die Differenz zur Urteilsschwelle als Freiheitsgrad der Gestaltung bis zur Erreichung dieser Grenze interpretiert. Folgende Erkenntnisse für die Anwendung ergeben sich aus den beiden Studien:

- *Markenebene*: Zwischen der Produktprogramm- und Produktsystemebene bestehen Unterschiede bzgl. dem Freiheitsgrad der Gestaltung nur in Details der S-Kurven und müssen bei der Modellierung bzgl. der 50 %- Urteilsschwelle nicht spezifisch beachtet werden. Sollte allerdings die 25 %-Urteilsschwelle relevant sein, besteht weiterer Forschungsbedarf.
- *Produktkategorie*: Es bestehen Unterschiede in dem Freiheitsgrad der Gestaltung bei verschiedenen Produktkategorien. Je nach Ausgangspunkt in der Formgestaltmatrix sind die Unterschiede verschieden groß. Allerdings konnte dabei kein allgemeingültiger Zusammenhang identifiziert werden. Wenn Detailoptimierungen bei der markenspezifischen Gestaltung durchgeführt werden sollen, müssen ggf. die Freiheitsgrade der Gestaltung für die Produktkategorie individuell ermittelt werden.
- *Formgestaltmatrix*: Unabhängig von Unterschieden zwischen den untersuchten Produktkategorien gilt:
  - *Flächen- und Kantenrundheit*: Der Freiheitsgrad der Gestaltung ist bei Flächenrundheit mindestens identisch oder größer als bei der Kantenrundheit.
  - *Flächenrundheit*: Bei geringen Kantenrundheiten ist der Freiheitsgrad der Gestaltung kleiner als bei hohen Kantenrundheiten. Bei hoher Flächen- und Kantenrundheit eines Referenzproduktes ist der Freiheitsgrad der Gestaltung am größten.
  - *Kantenrundheit*: Bei geringen Kantenrundheiten ist der Freiheitsgrad der Gestaltung in der Regel deutlich kleiner als bei hohen Kantenrundheiten. Zwischen  $wKR = 0,15$  und  $wKR = 0,85$  wurde in einer Produktkategorie der Faktor 4 zwischen der Größe der Freiheitsgrade der Gestaltung ermittelt. Variationen der Flächenrundheit haben nur einen geringen Einfluss auf die Freiheitsgrade der Gestaltung der Kantenrundheit.
- *Farbeigenschaften*: Ein Einfluss des Grautons auf den Freiheitsgrad der Gestaltung wurde identifiziert, während bei dem Reflexionsvermögen kein Einfluss fest-

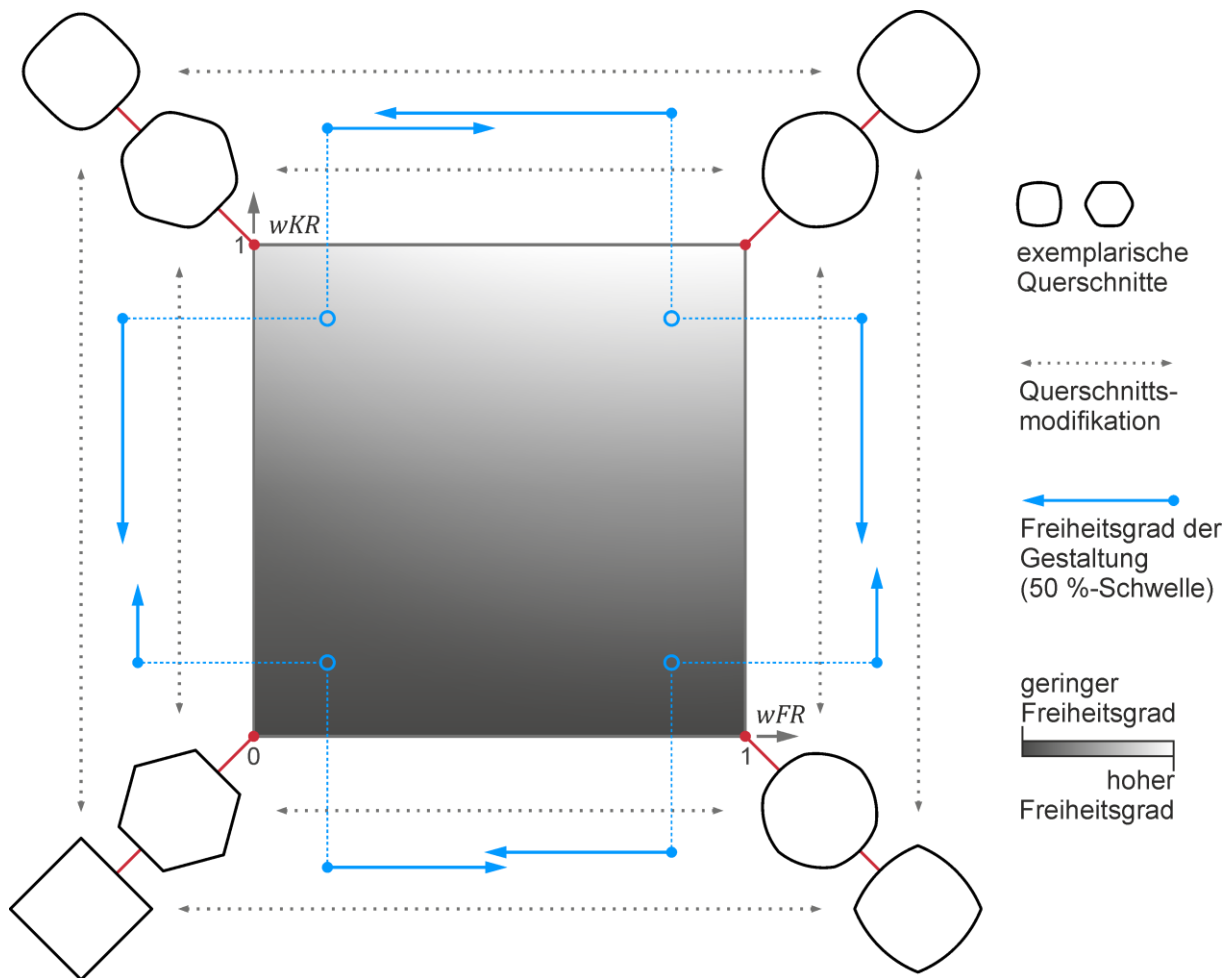
gestellt wurde. Aufgrund des geringen Untersuchungsumfangs stellen diese Ergebnisse allerdings nur Tendenzen dar. Zudem beziehen sich die Ergebnisse ausschließlich auf den identischen Farbeinsatz innerhalb einer Marke.

- *Betrachtungsverhalten:* Die Probanden haben pro Produkt spezifische Bereiche mit hohen Fixationsdauern bei der visuellen Betrachtung beobachtet. Diese Stellen erregen viel Aufmerksamkeit bzw. waren für die Bewertung der Markenzugehörigkeit besonders relevant. Kenntnisse über diese Produktbereiche können ggf. für den Fokus des Modellierungsprozesses genutzt werden. Allerdings müssen diese Bereiche pro Produkt individuell ermittelt werden. Weiterhin wurden Unterschiede bei den Betrachtungsdauern von hexagonalen und quaderförmigen Grundelementen beobachtet, welche als Erklärung für die Unterschiede zwischen den Produktkategorien in Frage kommen.

In Abbildung 6.34 sind die Freiheitsgrade der Gestaltung in der Formgestaltmatrix qualitativ eingezeichnet. Die Pfeillänge der 50 %-Schwellen entspricht dem Mittelwert der 50 %-Urteilsschwellen aus Abbildung 6.9 und Abbildung 6.25. Eine quantitative Spezifizierung ist aufgrund der Unterschiede zwischen den Produktkategorien nicht allgemein möglich.

Entsprechend Abbildung 6.34 sollte bei der Modellierung vor allem die Kantenrundheit beachtet werden. In welchem Maß die Erkenntnisse über die Formgestaltmatrix im Modellierungsprozess zum Einsatz kommen, ist von der Markenführung [vgl. VDI/VDI 2424 2023, S. 26ff.] bzw. von markeninternen und -externen Faktoren abhängig. Zu den internen Faktoren zählen z. B. Markenarchitektur und -strategie (siehe Kapitel 2.3.2) und wie eng eigene Modellierungsfreiheiten gesetzt werden sollen. Die externen Faktoren entstehen aus dem Wettbewerb und dem eigenen Markenimage. Dabei sind die Positionen von Wettbewerbern in der Formgestaltmatrix und die Nutzungsoptionen weiterer Teilgestalten zur Angleichung oder Differenzierung relevant.

In der Anwendung sollten im ersten Schritt die bestehenden Produkte der Marke in der Formgestaltmatrix eingeordnet werden. Darauf aufbauend erfolgt die Abschätzung des Freiheitsgrads der Gestaltung und dessen Festlegung für die Modellierung. Modellierte Produktkonzepte können anschließend wieder anhand der Formgestaltmatrix klassifiziert werden. Iterativ können Modellierungsprozess und Einordnung in der Formgestaltmatrix wiederholt werden, bis das Ergebnis mit der festgelegten Flächen- und Kantenrundheit übereinstimmt.



**Abbildung 6.34:** Qualitative Visualisierung der Freiheitsgrade der Gestaltung in der Formgestaltmatrix

Die Formgestalt stellt nur einen Teil der gesamten Produkterscheinung dar (siehe Kapitel 2.1.1). In der Anwendung müssen daher immer alle Teilgestalten betrachtet werden. Dabei bietet es sich an, die Teilgestalten zu analysieren und eine teilgestaltübergreifende Strategie zu entwickeln [vgl. FISCHER ET AL. 2020A].

Einen weiteren Aspekt stellen die Sekundärformen dar. Die Ergebnisse beziehen sich auf die Primärform. Bei zunehmender Anzahl an Sekundärformen nimmt die Wirkung der Primärform ab [vgl. HEUFLER ET AL. 2019, S. 66]. Weiterhin stellen die Freiheitsgrade der Gestaltung in Abbildung 6.34 auch eine Orientierung für die Schrittweite möglicher Änderungen der Formensprache einer Marke dar. Auch muss beachtet werden, dass innerhalb der Formgestaltmatrix Unterschiede in der Produktwirkung bestehen (vgl. Kapitel 4.2.3). Dieser Aspekt ist für die Markenpositionierung relevant und sollte daher nicht vernachlässigt werden.

## 7 Zusammenfassung

Anhand von Ähnlichkeiten der äußeren Erscheinung lassen sich technische Produkte zu Marken zuordnen. Ein wesentlicher Gestaltparameter dafür ist die Teilgestalt Form, welcher bei Produkten mit unterschiedlichem Aufbau in der Produktsystem-Markenebene bisher kaum beachtet wurde. In der vorliegenden Arbeit wurde ermittelt, dass sich Flächen- und Kantenrundheit der Primärform zur einheitlichen Gestaltung einer Marke bzw. zur Differenzierung von Wettbewerbern eignen. Untersucht wurden für Flächen- und Kantenrundheit die Urteilsschwellen der Markenzugehörigkeit, welche den Freiheitsgrad der Produktgestaltung bestimmen.

Dazu wurden im ersten Schritt Grundlagen zur Produktgestalt und -modellierung sowie zur markenspezifischen Produktgestalt und menschlichen Wahrnehmung betrachtet (Kapitel 2). Anschließend erfolgte die Analyse wissenschaftlicher Forschungsarbeiten zur Formgestalt im Markenkontext (Kapitel 3). Dabei wurde u. a. festgestellt, dass implizite Attribute (Wesen und Wirkung des Produkts) bei der Produktsystem-Markenebene (PS) häufiger als in der Produktprogramm-Markenebene (PP) berücksichtigt werden.

Mit dem Formbeschreibungsmo­dell (Kapitel 4) wurde unter Berücksichtigung der visuellen Wahrnehmung eine Beschreibung zur geometrischen Differenzierung der Elemente Fläche und Flächenübergang (Kante, Ecke) auf Produktoberflächen vorgestellt. Weiterhin wurde ein System zur Herkunfts­klassifizierung von Flächen und Flächenübergängen für technische Produkte entwickelt. Nach diesem lassen sich Flächen und Flächenübergänge bzgl. deren Herkunft in die technische Gesamtfunktion (Ziel: Aufbaueinhüllung), technische Detailfunktion (Ziel: Fertigbarkeit, Funktionserfüllung) und Geltungsfunktion (Ziel: Ästhetik) einteilen. Das Formbeschreibungsmo­dell ist auch über den Kontext dieser Arbeit (Markenzugehörigkeit) hinaus für die Beschreibung der Teilgestalt Form von technischen Produkten anwendbar. Aus dem Formbeschreibungsmo­dell wurden globale Formen, wie die Primärform der technischen Gesamtfunktion und Facettierungen der Geltungsfunktion (Sekundärform) als geeignete herkunftsbezogene Formen für die Markenzugehörigkeit ermittelt. Durch die Betrachtung von deren impliziten Attributen wurden „Flächenrundheit“, „Kantenrundheit“ und die „Anzahl der Elemente“ als relevante Formeigenschaften für die PS-Markenebene bestimmt. Da der Faktor der „Anzahl der Elemente“ der Sekundärformen zugeordnet wird, wurde die „Flächen- und Kantenrundheit“ für weitere Untersuchungen ausgewählt.

Mit dieser Basis wurde die Parametrisierung von Flächen- und Kantenrundheit entwickelt (Kapitel 5). Bei minimaler Flächenrundheit ist eine Fläche eben und wird mit Zunahme

dieser stetig gekrümmt. Die minimale Kantenrundheit beschreibt unverrundete, scharfe Kanten, welche mit zunehmender Kantenrundheit einen größeren Radius als Kantenverrundung erhalten. Zunächst wurde bei der Reizmusterabstraktion festgelegt, dass zylinderförmige Aufbauelemente bei minimaler Flächenrundheit statt eines Kreisquerschnitts einen hexagonalen Querschnitt besitzen. Neben den Körpern mit hexagonalem Querschnitt wurde ein Modellierungsansatz für quaderförmige Grundkörper mit variabler Flächen- und Kantenrundheit erstellt. Aus diesen Grundkörpern können durch boolesche Operationen abstrakte Reizmuster technischer Produkte generiert werden. Den Kern der Parametrisierung bilden die Ergebnisse der Vorstudie. Bei dieser Vorstudie mit zwölf Experten wurden skalierungsunabhängige Zusammenhänge zwischen geometrischer und wahrgenommener Flächen- und Kantenrundheit in Form der Stevens'schen Potenzfunktion ermittelt. Dafür kam die Herstellungsmethode als psychophysisches Studiendesign zum Einsatz. Die Probanden mussten mit einem Schieberegler quasi-stufenlos die Flächen- und Kantenrundheit von hexagonalen und quaderförmigen Grundkörpern einstellen. Aufgabe waren die Mittenfindungen zwischen vorgegebenen Grundkörpern und die Herstellung von identischer Flächen- oder Kantenrundheit mehrerer Grundkörper. Nach den Studienresultaten ist die wahrgenommene Flächenrundheit von den Flächenabmessungen und der Flächenkrümmung abhängig. Der minimale Verrundungsradius, Verrundungsabmessung, Winkel und Abmessungen der anliegenden Flächen haben Einfluss auf die wahrgenommene Kantenrundheit. Mit den Ergebnissen können Produkte mit reiner Formgebung unabhängig von deren Skalierung modelliert werden. Zudem ist der Vergleich von Produkten auf Basis der wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheit möglich. Diese Ergebnisse sind auch ohne den Kontext der Markenzugehörigkeit z. B. im Zusammenhang der Produktwirkung einsetzbar.

Nach diesen Erkenntnissen wurden Produktmodelle zielgerichteter wahrgenommener Flächen- und Kantenrundheit für die Untersuchung der Markenzugehörigkeit modelliert. Diese Reizmuster kamen in zwei Studien zum Einsatz (Kapitel 6). Immer zwei Produkte wurden simultan als Graustufen-Rendering nebeneinander auf einem Bildschirm präsentiert. In Studie 1 stellten Elektrohandwerkzeuge die Produktbeispiele dar. Als Referenzprodukt wurde ein kleiner Winkelschleifer eingesetzt. Vergleichsprodukte waren ein großer Winkelschleifer (PP-Markenebene) und ein Akkuschauber (PS-Markenebene). Die Vergleichsprodukte wurden entsprechend der Herstellungsmethode von den 36 Probanden auf die Urteilsschwelle quasi-stufenlos modifiziert. Die Urteilsschwelle besagt, ob das Vergleichs- und Referenzprodukt zu einer oder zu unterschiedlichen Marken gehören. Ergänzend zu 20 Modifikationen der Flächen- und / oder Kantenrundheiten mit einer tendenziell reflexionsarmen, hellgrauen Farbe wurden weitere sechs Modifikationen mit Pro-

duktpaaren weiterer Farbeigenschaften (höheres Reflexionsvermögen, dunklerer Grauton) durchgeführt. Für eine gesamtheitliche und ansichtsunabhängige Bewertung konnten die Probanden die CAD-Kameraposition während der Studie stets ändern. Es konnten keine signifikanten Unterschiede bei den 50 %-Urteilsschwellen bzgl. der Markenebenen (PP & PS) und dem Reflexionsvermögen identifiziert werden. Allerdings legt der signifikante Unterschied bei den Graustufen nahe, dass die Wahrnehmung der Formgestalt im Markenkontext von der Farbe beeinflusst wird. Insgesamt sind die Urteilsschwellen (und damit auch die Freiheitsgrade der Gestaltung) bei geringen Referenzrundheiten kleiner als bei hohen Referenzrundheiten. Zudem sind die Freiheitsgrade der Gestaltung bei der Kantenrundheit in der Regel geringer als bei der Flächenrundheit. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde in der zweiten Studie fokussiert die wahrgenommene Kantenrundheit im Markenkontext in der PS-Ebene untersucht. Schwerpunkt der Studie mit 32 Probanden waren mögliche Unterschiede zwischen verschiedenen Produktkategorien. Für das Studiendesign kam das genauere psychophysische Studiendesign der Konstanzmethode zum Einsatz. Pro Referenzprodukt wurden je fünf Vergleichsprodukte mit Variation der wahrgenommenen Kantenrundheit als Paare präsentiert. Für eine gesamtheitliche Bewertung wurde jedes Produktpaar in acht Ansichten dargestellt. Anschließend erfolgte jeweils die Bewertung der Markenzugehörigkeit anhand einer 6-Punkt-Skala. Urteilsschwellen wurden analog zur psychometrischen Funktion durch S-Kurven ermittelt. Als Reizmuster kamen Elektrohandwerkzeuge (Akkuschrauber, großer Winkelschleifer), Küchengeräte (Toaster, Kaffeemaschine) und Haushaltsgeräte (Bügel-eisen, Handstaubsauger) zum Einsatz. Aufgrund des genaueren psychophysischen Studiendesigns wurden mit Elektrohandwerkzeuge weitere Details zur Kantenrundheit untersucht. Ergänzend wurden mit reduziertem Umfang anhand der Elektrohandwerkzeuge mögliche Unterschiede zwischen der PP- und PS-Markenebene erneut aufgegriffen. Weiterhin erfolgte während der Studie die Aufzeichnung von Blickdaten der Probanden bei allen 112 Produktpaaren für die Analyse des Betrachtungsverhaltens. Die dichotome Auswertung der 6-Punkt-Skala führte zu signifikanten, hoch signifikanten und höchst signifikanten S-Kurven als Ergebnis. Zwischen den Produktkategorien wurden Unterschiede bei der Bewertung der Markenzugehörigkeit festgestellt. Allerdings treten diese nicht bei allen Flächen- und Kantenrundheiten der Referenzprodukte auf. Ein allgemeingültiger Zusammenhang der Abweichungen zwischen der Produktkategorie bzgl. der wahrgenommenen Kantenrundheit konnte nicht festgestellt werden. Zusammen mit den Ergebnissen aus den Detailuntersuchungen zur Kantenrundheit gilt allerdings produktkategorieübergreifend, dass der Freiheitsgrad der Gestaltung bei geringer Kantenrundheit am kleinsten ist und mit größeren Kantenrundheiten stets steigt. Zwischen der PP- und PS-

Markenebene wurden geringe Unterschiede festgestellt, welche allerdings auch auf Details im Verlauf der S-Kurven zurückzuführen sein könnten. Im Rahmen der Studie wurden auch die Grenzen der skalierungsunabhängigen wahrgenommenen Flächen- und Kantenrundheit identifiziert. Bei großen Abweichungen der Flächenaufteilungen und Produktabmessungen scheinen statt der relativen Rundheiten, absolute Radien bzw. Krümmungen der Flächen und Kanten relevant zu sein. Weiterhin zeigt die Analyse des Betrachtungsverhaltens, dass nicht alle Bereiche der Produkte die identische Aufmerksamkeit bei dieser Aufgabe bekamen. Die fokussierten Produktbereiche können ggf. für eine gezielte Produktmodellierung genutzt werden.

Insgesamt wurden drei unterschiedliche psychophysische Studiendesigns erfolgreich für die Bewertung von Flächen- und Kantenrundheit und der Ermittlung von Urteilsschwellen bzgl. der Markenzugehörigkeit angewendet. Die theoretischen Arbeitsanteile und Resultate der Vorstudie (Kapitel 4 & 5) präzisieren und erweitern das Verständnis über die Formgestalt von technischen Produkten. Die Ergebnisse der Hauptstudien (Kapitel 6) können für die Analyse des Wettbewerbs und der gezielten Produktmodellierung entsprechend der Markenstrategie und -führung eingesetzt werden.

## 8 Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit bilden eine Grundlage, um die Formgestalt von technischen Produkten präzise zu beschreiben und Produkte innerhalb der Produktsystem-Ebene mit optimaler Markenzugehörigkeit zu gestalten bzw. Produkte bzgl. der Markenzugehörigkeit zu analysieren. Kapitel 6.3 erläutert die dafür relevanten Studienresultate und deren Anwendungsgebiete im Markenkontext. Trotzdem behandelt diese Arbeit nur einen Teil der Formgestalt und zeigt zahlreiche Anknüpfungspunkte für weitere Forschungsvorhaben auf.

In dem Formbeschreibungsmo­dell wurden Oberflächenelemente in Flächen und Kanten gegliedert. Anhand der Vorstudie wurde der Zusammenhang zwischen geometrischer und wahrgenommener Flächen- und Kantenrundheit anhand von zwei Grundkörpern untersucht. Für einen allgemeingültigen Ansatz, der alle theoretisch möglichen Aufbaukombinationen sowie Flächenproportionen und -winkel beinhaltet, sollten weitere Grundkörper mit einer höheren Probandenanzahl analysiert werden. In dem Zusammenhang ist auch interessant zu quantifizieren, an welcher Stelle sich die Schwelle befindet, an der eine stark verrundete Kante nicht mehr als Kante identifiziert wird und eine große zusammenhängende Fläche entsteht.

Hinsichtlich der Markenzugehörigkeit besteht eine Vielzahl an weiteren Untersuchungsoptionen. Als besonders relevant wird dabei die Untersuchung von Produkten mit unterschiedlichen Flächenaufteilungen und -proportionen sowie Größenunterschiede der Vergleichsprodukte angesehen. An dieser Stelle scheinen absolute Radien für die Bewertung der Markenzugehörigkeit wichtig zu sein. Deren Freiheitsgrade würden das Anwendungsfeld der Ergebnisse dieser Arbeit deutlich erweitern. Eine andere Fortsetzungsoption ist der nicht untersuchte Faktor der „Anzahl der Elemente“. Bei diesem wurde ein hohes Differenzierungspotenzial in der Produktsystem-Ebene ermittelt, welches nicht im Umfang dieser Arbeit untersucht wurde. Auch Ordnungsbeziehungen der Formgestalt wie Proportion, Symmetrie und Kontrast können näher betrachtet werden.

Zudem wurden die Studien nur mit selbst erstellten Modellen ohne reale Marke im Hintergrund durchgeführt. BURNAP ET AL. [2016] haben für bestehende reale Pkw-Marken herausgefunden, dass die Freiheitsgrade der Gestaltung von der jeweiligen Marke abhängig sind. Ein weiterer wichtiger Schritt ist daher, die Ergebnisse nun mit realen Marken zu überprüfen. Bei diesen hat die in dieser Arbeit nicht weiter vertiefte Ebene der Produkthistorie Einfluss auf Freiheitsgrad der Gestaltung. Wobei auch interessant ist, inwiefern sich der Freiheitsgrad der Gestaltung über die Historie einer Marke entwickelt. An



dieser Stelle ist auch eine Erweiterung des Studiendesigns von Paarvergleichen zu der Bewertung eines kompletten Produktsystems interessant, um auch die gegenseitige Beeinflussung mehrerer Aufbau- und Formgestalten berücksichtigen zu können. Weiterhin können z. B. die Auswirkungen unterschiedlicher Farben bei Produkten einer Marke oder der ergänzende Einsatz von Sekundärformen bzgl. des Freiheitsgrads der Gestaltung untersucht werden.

Die Produktwirkung (implizite Attribute) wurde in dieser Arbeit lediglich für die Ermittlung von Formelementeigenschaften mit hohem Differenzierungspotenzial eingesetzt. Eine zentrale Einbindung der Produktwirkung in Studien über die Formgestalt im Markenkontext wird als sinnvoll erachtet. Weiterhin muss angemerkt werden, dass bei allen Studien der Altersdurchschnitt ca. 30 Jahre betrug. Die Untersuchungen sollten auch mit einer älteren Probandengruppe wiederholt und verglichen werden, um einen möglichen Alters Einfluss zu ermitteln. Da der behandelte sog. „Firmenstil“ einer Marke nach STEFFEN [2000, S. 88ff.] nur eine Stil-Art neben z. B. dem Regionalstil darstellt, ist auch die Wiederholung der Studie in anderen Regionen bzw. Kulturkreisen möglich. Der Vergleich mit den Ergebnissen dieser Arbeit ist zudem für global agierende Marken von hoher Relevanz.

Es muss angemerkt werden, dass die Form nur eine von vier Teilgestalten ist und die Ergebnisse letztlich immer im Zusammenspiel mit den anderen Teilgestalten weiter präzisiert werden sollten.

Für die Anwendung der Ergebnisse im Modellierungsprozess sollten diese zur Unterstützung in Form eines CAD-Plugins bereitgestellt werden. Weiterhin ist ein Einfließen der Erkenntnisse dieser Arbeit in die Lehre des Technischen Designs und Industriedesigns sinnvoll.



## Literaturverzeichnis

- [AGARWAL & CAGAN 1998] Agarwal, M.; Cagan, J.: A Blend of Different Tastes: The Language of Coffee-makers. In: *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 25, Nr. 2, 1998, S. 205-226.
- [ALBERT & MARX 2010] Albert, R.; Marx, N.: *Empirisches Arbeiten in Linguistik und Sprachlehrforschung - Anleitung zu quantitativen Studien von der Planungsphase bis zum Forschungsbericht*. Tübingen: Narr, 2010.
- [ALCAIDE-MARZAL ET AL. 2020] Alcaide-Marzal, J.; Diego-Mas, J. A.; Acosta-Zazueta, G.: A 3D shape generative method for aesthetic product design. In: *Design Studies*, Vol. 66, 2020, S. 144-176.
- [ANDERL & JOHN 2000] Anderl, R.; John, H.: Teil I - Produktdatentechnologie. In: Anderl, R.; Trippner, D. (Hrsg.): *STEP STandard for the Exchange of Product Model Data - Eine Einführung in die Entwicklung, Implementierung und industrielle Nutzung der Normenreihe ISO 10303 (STEP)*. Stuttgart, Leipzig: Teubner, 2000, S. 7-36.
- [ANDERSON ET AL. 2007] Anderson, J. R., Funke, J.; Plata, G.: *Kognitive Psychologie*. 6. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer, Spektrum Akademischer Verlag, 2007.
- [ANDERSON ET AL. 2011] Anderson, B. A.; Laurent, P. A.; Yantis, S.: Value-driven attentional capture. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 108, Nr. 25, 2011, S. 10367-10371.
- [ANDERSSON ET AL. 2021] Andersson, T.; Warell, A.; Ölvander, J.; Wever, R.: Product portfolio management in industrial design: a model of design strategies for mature portfolios. In: *International Journal of Product Development*, Vol. 25, Nr. 4, 2021, S. 343-368.
- [ANDERSSON & WARELL 2015] Andersson, T.; Warell, A.: Aesthetic Flexibility in the Management of Visual Product Branding. In: *Procedia Manufacturing*, Vol. 3, 2015, S. 2191-2198.
- [ANG ET AL. 2006] Ang, M. C.; Chau, H. H.; McKay, A.; de Pennington, A.: Combining Evolutionary Algorithms and Shape Grammars to Generate Branded Product Design. In: Gero, J. S. (Hrsg.): *Design Computing and Cognition '06*. Dordrecht: Springer, 2006, S. 521-539.
- [ANG ET AL. 2011] Ang, M. C.; Chong, H. Y.; McKay, A.; Ng, K. W.: Capturing Mini Brand Using a Parametric Shape Grammar. In: Zaman, H. B.; Robinson, P.; Petrou, M.; Olivier, P.; Shih, T. K.; Velastin, S.; Nyström, I. (Hrsg.): *Visual Informatics: Sustaining Research and Innovations Second International Visual Informatics Conference (IVIC 2011)*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011, S. 1-12.
- [AQEEL 2015] Aqeel, A. B.: Development of Visual Aspect of Porsche Brand using CAD Technology. In: *Procedia Technology*, Vol. 20, 2017, S. 170-177.
- [ARLT ET AL. 2000] Artl, M.; Endres, M.; Katzenmaier, J.; Philipp, M.; Pütter, C.: Teil II - STEP. In: Anderl, R.; Trippner, D. (Hrsg.): *STEP STandard for the Exchange of Product Model Data - Eine Einführung in die Entwicklung, Implementierung und industrielle Nutzung der Normenreihe ISO 10303 (STEP)*. Stuttgart, Leipzig: Teubner, 2000, S. 37-126.
- [AUTODESK 2022A] Autodesk Inc.: NURBS 2: Terminology - Alias Products 2022 - Autodesk Knowledge Network. <https://knowledge.autodesk.com/support/alias-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/ENU/Alias-Tutorials/files/GUID-44C90759-1812-4051-85BF-072140EE6623-htm.html> (abgerufen am 23.08.2022).

- [AUTODESK 2022B] Autodesk Inc.: Polygonal Modeling - Maya 2022 - Autodesk Knowledge Network. <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/ENU/Maya-Modeling/files/GUID-7941F97A-36E8-47FE-95D1-71412A3B3017-htm.html> (abgerufen am 25.08.2022).
- [AUTODESK 2022C] Autodesk Inc.: NURBS 1: Introduction - Alias Products 2022 - Autodesk Knowledge Network. <https://knowledge.autodesk.com/support/alias-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/ENU/Alias-Tutorials/files/GUID-366304CB-16FF-46F9-9F64-D7385358D855-htm.html> (abgerufen am 25.08.2022).
- [AUTODESK 2022D] Autodesk Inc.: Continuity 1: G0, G1, G2, G3 - Alias Products 2022 - Autodesk Knowledge Network. <https://knowledge.autodesk.com/support/alias-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/ENU/Alias-Tutorials/files/GUID-E1BDFBD0-33CC-44C4-866D-5F367105A050-htm.html> (abgerufen am 25.08.2022).
- [BACKHAUS ET AL. 2015] Backhaus K.; Erichson, B.; Weiber, R.: Fortgeschrittene Multivariate Analysemethoden - Eine anwendungsorientierte Einführung. 3., überarb. u. aktual. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, 2015.
- [BACKHAUS ET AL. 2021] Backhaus, K.; Erichson, B.; Gensler, S.; Weiber, R.; Weiber, T.: Multivariate Analysemethoden - Eine anwendungsorientierte Einführung. 16., vollst. überarb. u. erw. Aufl., Wiesbaden: Springer Gabler, 2021.
- [BARTMANN ET AL. 2000] Bartmann, H.; Simon, H.; Tacke, G.; Erlei, M.; Schmidt-Mohr, U.; Zur, E.; Weber, J.; Engel, P.; Budäus, D.: P. In: Haderer, T.; Winter, E. (Hrsg.): Gabler Wirtschafts Lexikon. 15., vollst. überarb. u. aktual. Aufl., Wiesbaden: Springer, 2000, S. 2347-2557.
- [BECKER 1999] Becker, M.: Rhino NURBS 3D Modeling. Indianapolis: New Riders, 1999.
- [BECKER 2019] Becker, J.: Einzel-, Familien- und Dachmarken als grundlegende Handlungsoptionen. In: Esch, F.-R. (Hrsg.): Handbuch Markenführung. Wiesbaden: Springer Gabler, 2019, S. 257-273.
- [BIEDERMAN & JU 1988] Biederman, I.; Ju, G.: Surface versus edge-based determinants of visual recognition. In: Cognitive Psychology, Vol. 20, Nr. 1, 1988, S. 36-64.
- [BIEDERMAN 1987] Biederman, I.: Recognition-by-Components: A Theory of Human Image Understanding. Psychological Review, Vol. 94, Nr. 2, 1987, S. 115-147.
- [BIEDERMAN 1990] Biederman, I.: Higher-Level Vision. In: Osherson, D. N.; Kosslyn, S. M.; Hollerbach, J. M. (Hrsg.): An invitation to cognitive science - visual cognition and action. Vol. 2, Cambridge, London: MIT Press, 1990, S. 41-72.
- [BLAKE 2013] Blake, C.: Eye-Tracking: Grundlagen und Anwendungsfelder. In: Möhring, W.; Schlütz, D. (Hrsg.): Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft. Wiesbaden: Springer VS, 2013, S. 367-387.
- [BLIJLEVENS ET AL. 2013] Blijlevens, J.; Mugge, R.; Ye, P.; Schoormans, J.: The Influence of Product Exposure on Trendiness and Aesthetic Appraisal. In: International Journal of Design, Vol. 7, Nr. 1, 2013, S. 55-67.
- [BLOCH 1995] Bloch, P. H.: Seeking the Ideal Form: Product Design and Consumer Response. In: Journal of Marketing, , Vol. 59, Nr. 3, S. 16-29.
- [BLUNTZER & OSTROSI 2019] Bluntzer, J.-B.; Ostrosi, E.: From the Car Style Pregnancy towards the Brand Country Origin Recognition. In: Wartzack, S.; Schleich, B. (Hrsg.): Proceedings of the Design Society: 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19), DS 94. Delft: Design Society, 2019, S. 3091-3910.

- [BOA ET AL. 2015] Boa, D. r.; Ranscombe, C.; Hicks, B.: Determining the Similarity of Products Using Pairwise Comparisons and Eye Tracking. In: Weber, C.; Husung, S.; Cascini, G.; Cantamessa, M.; Marjanovic, D.; Rotini, F. (Hrsg.): Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 15) Vol 5: Design Methods and Tools, DS 80-5. Politecnico di Milano: Design Society, 2015, S. 225-234.
- [BÖCKING ET AL. 2000] Böcking, H.-J.; Dörner, D.; Pfitzer, N.; Bartmann, H.; Heise, M.; Bischoff, I.; Bohnet, A.; Männel, W.; Krystek, U.; Holland, H.; Sebastian, K.-H.; Olbrich, M.; Schmidt, R. H.: K. In: Hadelers, T.; Winter, E. (Hrsg.): Gabler Wirtschafts Lexikon. 15., vollst. überarb. u. aktual. Aufl., Wiesbaden: Springer, 2000, S. 1677-1920.
- [BONITZ 2009] Bonitz, P.: Freiformflächen in der rechnerunterstützten Karosseriekonstruktion und im Industriedesign - Grundlagen und Anwendungen. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009.
- [BORTZ ET AL. 2008] Bortz, J.; Lienert, G. A.; Boehnke, K.: Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. 3., korr. Aufl., Heidelberg: Springer Medizin, 2008.
- [BRATFISCH ET AL. 2018] Bratfisch, O.; Hagman, E.; Egle, J.: Manual - Räumliches Vorstellungsvermögen. Version 53, Mödling: Schuhfried GmbH, 2018.
- [BÜHLER 2021] Bühler, P.: 3D mit Blender - Modeling, Animation, Rendering. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021.
- [BÜHNER & ZIEGLER 2009] Bühner, M.; Ziegler, M.: Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. München: Pearson, 2009.
- [BURMANN ET AL. 2013] Burmann, C.; Meffert, H.; Koers, M.: Stellenwert und Gegenstand des Markenmanagements. In: Meffert, H.; Burmann C.; Koers, M. (Hrsg.): Markenmanagement - Identitätsorientierte Markenführung und praktische Umsetzung. 2., vollst. überarb. u. erw. Aufl., Wiesbaden: Gabler, 2013, S. 3-17.
- [BURMANN & MEFFERT 2013] Burmann, C.; Meffert, H.: Theoretisches Grundkonzept der identitätsorientierten Markenführung. In: Meffert, H.; Burmann, C.; Koers, M. (Hrsg.): Markenmanagement - Identitätsorientierte Markenführung und praktische Umsetzung. 2., vollst. überarb. u. erw. Aufl., Wiesbaden: Gabler, 2013, S. 37-72.
- [BURNAP ET AL. 2016] Burnap, A.; Hartley, J.; Pan, Y.; Gonzalez, R.; Papalambros, P. Y.: Balancing design freedom and brand recognition in the evolution of automotive brand styling. In: Design Science, Vol. 2, Nr. 9, 2016, S. 1-28.
- [CATALANO ET AL. 2007] Catalano, C. E.; Giannini, F.; Monti, M.; Ucelli, G.: A framework for the automatic annotation of car aesthetics. In: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, Vol. 21, Nr. 1, 2007, S. 73-90.
- [CHAU 2002] Chau, H. H.: Preserving brand identity in engineering design using a grammatical approach. University of Leeds, PhD Thesis, 2002.
- [CHEN ET AL. 2004] Chen, X.; McKay, A.; de Pennington, A.; Chau, H. H.: Package Shape Design Principles to Support Brand Identity. In: 14th IAPRI World Conference on Packaging. Stockholm, 2004, S. 1-14.
- [CHEN & OWEN 1998] Chen, K.; Owen, C. L.: A study of computer-supported formal design. In: Design Studies, Vol. 19, Nr. 3, 1998, S. 331-359.
- [CHENG ET AL. 2018] Cheng, P.; Mugge, R.; Bont, C.: Transparency in product design: investigating design intentions and consumers' interpretations. In: Journal of Engineering Design, Vol. 29, Nr. 10, 2018, S. 539-568.
- [CHUANG & MA 2001] Chuang, M.-C.; Ma, Y.-C.: Expressing the expected product images in product design of micro-electronic products. In: International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 27, Nr. 4, 2001, S. 233-245.
- [COHEN 1988] Cohen, J.: Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd ed., Hillsdale: Erlbaum, 1988.

- [CORSTEN & GÖSSINGER 2016] Corsten, H.; Gössinger, R.: Produktionswirtschaft - Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. 14. Aufl., Berlin, Boston: De Gruyter, 2016.
- [CRANE 2019] Crane, K.: A Quick and Dirty Introduction to the Curvature of Surfaces - Geometry Processing and Applications WS 2019/2020 - TU Berlin Course Blog. <http://wordpress.discretization.de/geometryprocessingandapplicationsws19/a-quick-and-dirty-introduction-to-the-curvature-of-surfaces/> (abgerufen am 23.08.2022).
- [CRILLY ET AL. 2004] Crilly, N.; Moultrie, J.; Clarkson, P. J.: Seeing things: consumer response to the visual domain in product design. In: Design Studies, Vol. 25, Nr. 6, 2004, S. 547-577.
- [CULBERTSON & SIMPSON 2014] Culbertson, T. D.; Simpson, T. W.: Using Shape Grammars to Identify Salient Features in Support of Product Family Design. In: Proceedings of the ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Volume 7: 26th International Conference on Design Theory and Methodology (DTM). Buffalo: ASME, 2014, S. V007T07A036:1-13.
- [CUPAR ET AL. 2014] Cupar, A.; Pogačar, V.; Stjepanović, Z.: Methodology for Surfaces Analysis and Classification. In: Universal Journal of Mechanical Engineering, Vol. 2, Nr. 2, 2014, S. 64-70.
- [CUTTING & MILLARD 1984] Cutting, J. E.; Millard, R. T.: Three gradients and the perception of flat and curved surfaces. In: Journal of Experimental Psychology: General, Vol. 113, Nr. 2, 1984, S. 198-216.
- [DE VRIES ET AL. 1993] De Vries, S. C.; Kappers, A. M.; Koenderink, J. J.: Shape from stereo: a systematic approach using quadratic surfaces. In: Perception & Psychophysics, Vol. 53, Nr. 1, 1993, S. 71-80.
- [DESMET & HEKKERT 2007] Desmet, P.; Hekkert, P.: Framework of Product Experience. In: International Journal of Design, Vol. 1, Nr. 1, 2007, S. 57-66.
- [DIM 2022] DIM (Deutsches Institut für Marketing GmbH): Einzelmarke - die Markenstrategie für starke Produkte. <https://www.marketinginstitut.biz/blog/einzelmarke/> (abgerufen am 15.07.2022)
- [DÖRING & BORTZ 2016] Döring, N.; Bortz, J.: Forschungsmethoden und Evaluation - Für Human- und Sozialwissenschaftler. 5., vollst. überarb., aktual. u. erw. Aufl., Berlin: Springer, 2016.
- [DRESP ET AL. 2007] Dresp, B.; Silvestri, C.; Motro, R.: Which geometric model for the curvature of 2-D shape contours? In: Spatial vision, Vol. 20, Nr. 3, 2007, S. 219-264.
- [DUCHOWSKI 2017] Duchowski, A. T.: Eye Tracking Methodology - Theory and Practice. 3rd ed., Cham: Springer, 2017.
- [DUNN 1964] Dunn, O. J.: Multiple Comparisons Using Rank Sums. In: Technometrics, Vol. 6, Nr. 3, 1964, S. 241-252.
- [DUTTA ROY & MISHRA 2021] Dutta Roy, S.; Mishra, W.: Brand Style DNA in Consumer Products: Decoding Strategies from a Design Perspective. In: Chakrabarti, A.; Poovaiyah, R.; Bokil, P.; Kant, V. (Hrsg.): Design for Tomorrow - Volume 1, Proceedings of ICoRD 2021. Singapore: Springer, 2021, S. 593-605.
- [EHRENFELS 1890] Ehrenfels, C.: Über „Gestaltqualitäten“. 1890. Nachdruck in Weinhandl, F. (Hrsg.): Gestalthaftes Sehen, Ergebnisse und Aufgaben der Morphologie, zum hundertjährigen Geburtstag von Christian von Ehrenfels. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1960, S. 11-43.
- [EHRENFELS 1932] Ehrenfels, C.: Über Gestaltqualitäten. 1932. Nachdruck in Weinhandl, F. (Hrsg.): Gestalthaftes Sehen, Ergebnisse und Aufgaben der Morphologie, Zum hundertjährigen Geburtstag von Christian von Ehrenfels. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1960, S. 61-63.

- [EHRLENSPIEL & MEERKAMM 2017] Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung - Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 6., vollst. überarb. u. erw. Aufl., München, Wien: Hanser, 2017.
- [ELLIS 2010] Ellis, P. D.: The Essential Guide to Effect Sizes - Statistical Power, Meta-Analysis, and the Interpretation of Research Results. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- [ERLHOFF & MARSHALL 2008] Erlhoff, M.; Marshall, T.: Wörterbuch Design - Begriffliche Perspektiven des Design. Basel: Birkhäuser, 2008.
- [ESCH ET AL. 2019] Esch, F.-R.; Schaarschmidt, C.; Baumgartl, C.: Herausforderungen und Aufgaben des Markenmanagements. In: Esch, F.-R. (Hrsg.): Handbuch Markenführung. Wiesbaden: Springer Gabler, 2019, S. 3-40.
- [ESCH & HANISCH 2013] Esch, F.-R.; Hanisch, J.: Automobile durch Automobildesign markenspezifisch gestalten. In: Esch, F.-R. (Hrsg.): Strategie und Technik des Automobilmarketing. Wiesbaden: Springer Gabler, 2013, S. 97-124.
- [ESCH & ISENBERG 2013] Esch, F.-R.; Isenberg, M.: Markenidentität und Markenpositionierung festlegen. In: Esch, F.-R. (Hrsg.): Strategie und Technik des Automobilmarketing. Wiesbaden: Springer Gabler, 2013, S. 37-57.
- [ESCH 2012] Esch, F.-R.: Strategie und Technik der Markenführung. 7., vollst. überarb. u. erw. Aufl., München: Vahlen, 2012.
- [EYSEL 2006] Eysel, U.: Sehen. In: Schmidt, R. F.; Schaible, H.-G. (Hrsg.): Neuro- und Sinnesphysiologie. 5., neu bearb. Aufl., Heidelberg: Springer Medizin, 2006, S. 243-286.
- [FIORES-II 2022] FIORES-II: Character Preservation and Modelling in Aesthetic and Engineering Design, Growth-Project, GRD1-1999-10385. <https://www.fiores.com/FIORES2/FIORES2.html> (abgerufen am 09.11.2022).
- [FISCHER ET AL. 2019] Fischer, M. S.; Holder, D.; Maier, T.: Evaluating Similarities in Visual Product Appearance for Brand Affiliation. In: Fukuda, S. (Hrsg.): Advances in Affective and Pleasurable Design - Proceedings of the AHFE 2019 International Conference. Cham: Springer, 2019, S. 3-12.
- [FISCHER ET AL. 2020A] Fischer, M. S.; Holder, D.; Reichelt, F.; Kern, F.; Maier, T.: Methode für markenübergreifendes Produktdesign am Beispiel eines Akkumoduls. In: Krause, D.; Paetzold, K.; Wartzack, S. (Hrsg.): Proceedings of the 31st Symposium Design for X (DFX2020), DS 106. Design Society, 2020 S. 219-228.
- [FISCHER ET AL. 2020B] Fischer, M. S.; Holder, D.; Maier, T.: Brand Affiliation Through Curved and Angular Surfaces Using the Example of the Vehicle Front. In: Proceedings of the ASME 2020 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Volume 8: 32nd International Conference on Design Theory and Methodology (DTM). Virtual: ASME, 2020, S. V008T08A047:1-10.
- [FISCHER ET AL. 2021A] Fischer, M. S.; Holder, D.; Maier, T.: Analysis of Geometric Features of 3D Shapes on Perception of Product Appearance for Visual Brand Affiliation. In: Black, N. L.; Neumann, W. P.; Noy, I. (Hrsg.): Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021) - Volume V: Methods & Approaches. Cham: Springer, 2021, S. 31-38.
- [FISCHER ET AL. 2021B] Fischer, M. S.; Holder, D.; Maier, T.: Are Brand Affiliation Tasks and Similarity Evaluations Comparable? An Examination Using the Example of the Vehicle Front. In: Shin, C. S.; Di Bucchianico, G.; Fukuda, S.; Ghim, Y.-G.; Montagna, G.; Carvalho, C. (Hrsg.): Advances in Industrial Design - Proceedings of the AHFE 2021 Virtual Conference. Cham: Springer, 2021, S. 805-812.
- [FISCHER ET AL. 2021C] Fischer, M. S.; Weißer, S.; Maier, T.: Untersuchung zu Betrachtungsmethode und salienten Formmerkmalen bei visuellen Ähnlichkeitsbewertungen. In: Binz, H.-G.; Bertsche, B.; Spath, D.; Roth, D. (Hrsg.): Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2021. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, 2021.

- [FONTANA ET AL. 1999] Fontana, M.; Giannini, F.; Meirana, M.: A Free Form Feature Taxonomy. In: Computer Graphics Forum, Vol. 18, Nr. 3, 1999, S. 107-118.
- [GEHAN 1965] Gehan, E. A.: A Generalized Wilcoxon Test for Comparing Arbitrarily Singly-Censored Samples. In: Biometrika, Vol. 52, Nr. 1/2, 1965, S. 203-223.
- [GEISE 2011] Geise, S.: Eyetracking in der Kommunikations- und Medienwissenschaft: Theorie, Methode und kritische Reflexion. In: SCM Studies in Communication and Media, Nr. 2, 2011, S. 149-263.
- [GERICKE ET AL. 2021] Gericke, K.; Bender, B.; Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Der Produktentwicklungsprozess. In: Bender, B.; Gericke, K. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 9. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2021, S. 57-93.
- [GESCHEIDER 2016] Gescheider, G. A.: Psychophysics - The Fundamentals. 3rd ed., London, New York: Routledge, 2016.
- [GIANNINI ET AL. 2004] Giannini, F.; Monti, M.; Podehl, G.: Styling Properties and Features in Computer Aided Industrial Design. In: Computer-Aided Design and Applications, Vol. 1, Nr. 1-4, 2004, S. 321-330.
- [GIANNINI ET AL. 2006] Giannini, F.; Monti, M.; Podehl, G.: Aesthetic-driven tools for industrial design. In: Journal of Engineering Design, Vol. 17, Nr. 3, 2006, S. 193-215.
- [GLOHR 2018] Glohr, T.: Untersuchung zur markenspezifischen Betätigungshaptik und -akustik von Bedienelementen im Kraftfahrzeug. Universität Stuttgart, Dissertation, 2018.
- [GOLDSTEIN 2015] Goldstein, E. B.: Wahrnehmungspsychologie - Der Grundkurs. Gegenfurtner, K. R. (Hrsg.) der deutschen Ausgabe. 9. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer, 2015.
- [GOPSILL ET AL. 2021] Gopsill, J.; Goudswaard, M.; Jones, D.; Hicks, B.: Capturing mathematical and human perceptions of shape and form through machine learning. In: Proceedings of the Design Society: 23rd International Conference on Engineering Design (ICED21), DS 109. Gothenburg: Design Society, 2021, S. 591-600.
- [GREENE 2012] Greene, W. H.: Econometric Analysis. 7th ed., international ed., Harlow: Pearson, 2012.
- [GRIEB 2010] Grieb, P.: Digital Prototyping - Virtuelle Produktentwicklung im Maschinenbau. München, Wien: Hanser, 2010.
- [GRONDIN 2016] Grondin, S.: Psychology of Perception. Cham: Springer, 2016.
- [GROS 1983] Gros, J.: Grundlagen einer Theorie der Produktsprache - Einführung. Offenbach am Main: HfG Offenbach, 1983.
- [GULANOVÁ ET AL. 2017] Gulánová, J.; Gulán, L.; Forrai, M.; Hirz, M.: Generative engineering design methodology used for the development of surface-based components. In: Computer-Aided Design and Applications, Vol. 14, Nr. 5, 2017, S. 642-649.
- [HAGENDORF ET AL. 2011] Hagendorf, H.; Krummenacher, J.; Müller, H. J.; Schubert, T.: Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011.
- [HAJOS 1972] Hajos, A.: Wahrnehmungspsychologie - Psychophysik und Wahrnehmungsforschung. Stuttgart: Kohlhammer, 1972.
- [HARRIS & STOCKER 1998] Harris, J. W.; Stocker, H.: Handbook of Mathematics and Computational Science. New York: Springer, 1998.
- [HEDDERICH & SACHS 2020] Hedderich, J.; Sachs, L.: Angewandte Statistik - Methodensammlung mit R. 17., überarb. u. erg. Aufl., Berlin: Springer Spektrum, 2020.
- [HERRMANN ET AL. 2007] Herrmann, A.; Befurt, R.; Heitmann, M.; Berger, H.: Alles für die Marke? Produktdesign im Konflikt zwischen einer markenkonformen und einer eigenständigen Produktliniengestaltung. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Vol. 59, Nr. 8, 2007, S. 1055-1079.



- [HERRMANN & MOELLER 2009] Herrmann, C.; Moeller, G.: Strategisches Industriegüterdesign. In: Herrmann, C.; Moeller, G.; Gleich, R.; Russo, P. (Hrsg.): Strategisches Industriegüterdesign - Innovation und Wachstum durch Gestaltung. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009, S. 9-37.
- [HEß 1999] Heß, S.: Ähnlichkeitsermittlung von Produktsystemen. Universität Stuttgart, Dissertation, 1999.
- [HEUFLER ET AL. 2019] Heufler, G., Lanz, M., Prettenthaler, M.: Design Basics - Von der Idee zum Produkt. 5., erw. u. überarb. Aufl., Salenstein: Niggli, 2019.
- [HIRZ ET AL. 2013] Hirz, M.; Dietrich, W.; Gfrerrer, A.; Lang, J.: Integrated Computer-Aided Design in Automotive Development - Development Processes, Geometric Fundamentals, Methods of CAD, Knowledge-Based Engineering Data Management. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013.
- [HOLDER ET AL. 2018] Holder, D.; Inkermann, D.; Krasteva, P.; Vietor, T.; Maier, T.: Integrated Product Gestalt Design Method for the Analysis and Definition of Interface Elements Regarding Exterior and Interior. In: Bagnara, S.; Tartaglia, R.; Albolino, S.; Alexander, T.; Fujita, Y. (Hrsg.): Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018) - Volume VII: Ergonomics in Design, Design for All, Activity Theories for Work Analysis and Design, Affective Design. Cham: Springer, 2018, S. 888-897.
- [HOLDER 2016] Holder, D.: Gefallensurteil und Blickanalyse zum Fahrzeugdesign zukünftiger Aufbaugestalten anhand einer technischen Prognose. Universität Stuttgart, Dissertation, 2016.
- [HOLMQVIST & ANDERSSON 2017] Holmqvist, K.; Andersson, R.: Eye Tracking - A Comprehensive Guide to Methods, Paradigms, and Measures. 2nd ed., Lund: Lund Eye-Tracking Research Institute, 2017.
- [HOSCHEK & LASSER 1992] Hoschek, J.; Lasser, D.: Grundlagen der Geometrischen Datenverarbeitung. 2., neubearb. u. erw. Aufl., Stuttgart: Teubner, 1992.
- [HSIAO ET AL. 2018] Hsiao, S.-W.; Lee, C.-H.; Chen, R.-Q.; Lin, C.-Y.: A methodology for brand feature establishment based on the decomposition and reconstruction of a feature curve. In: Advanced Engineering Informatics, Vol. 38, 2018, S. 14-26.
- [HSIAO & CHEN 2006] Hsiao, K.-A.; Chen, L.-L.: Fundamental dimensions of affective responses to product shapes. In: International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 36, Nr. 6, 2006, S. 553-564.
- [HSIAO & TSAI 2005] Hsiao, S.-W.; Tsai, H.-C.: Applying a hybrid approach based on fuzzy neural network and genetic algorithm to product form design. In: International Journal of Industrial Ergonomics, Vol 35, Nr. 5, 2005, S. 411-428.
- [HSU ET AL. 2000] Hsu, S. H.; Chuang, M. C.; Chang, C. C.: A semantic differential study of designers' and users' product form perception. In: International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 25, Nr. 4, 2000, S. 375-391.
- [HU ET AL. 2017] Hu, R.; Li, W.; van Kaick, O.; Huang, H.; Averkiou, M.; Cohen-Or, D.; Zhang, H.: Co-Locating Style-Defining Elements on 3D Shapes. In: ACM Transactions on Graphics, Vol. 36, Nr. 3, 2017, S. 33:1-15.
- [HÜCKLER 2000] Hückler, A.: Gerätedesign. In: Krause, W. (Hrsg.): Gerätekonstruktion in Feinwerktechnik und Elektronik. 3., stark bearb. Aufl., München, Wien: Hanser, 2000, S. 550-578.
- [HUI & LI 1997] Hui, K. C.; Li, Y.: Feature based 2D shape transformation. In: Proceedings - 1997 IEEE Conference on Information Visualization (IV'97). London: IEEE, 1997, S. 337-342.
- [HYUN ET AL. 2015] Hyun, K. H.; Lee, J.-H.; Kim, M.; Cho, S.: Style synthesis and analysis of car designs for style quantification based on product appearance similarities. In: Advanced Engineering Informatics, Vol. 29, Nr. 3, 2015, S. 483-494.

- [ISO 10303-1 2021] ISO 10303 Part 1: Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange; Overview and fundamental principles. 2021
- [ITTI & KOCH 2000] Itti, L.; Koch, C.: A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. In: *Vision Research*, Vol 40, Nr. 10-12, 2000, S. 1489-1506.
- [JACKSTIEN & VAJNA 2014] Jackstien, K., Vajna, S.: Grundlagen des Integrated Design Engineering. In: Vajna, S. (Hrsg.): *Integrated Design Engineering - Ein interdisziplinäres Modell für die ganzheitliche Produktentwicklung*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2014, S. 51-94.
- [KAPFERER 2012] Kapferer, J.-N.: *The New Strategic Brand Management - Advanced insights and strategic thinking*. 5th ed., London: Kogan Page, 2012.
- [KAPKIN & JOINES 2018] Kapkin, E.; Joines, S.: An investigation into the relationship between product form and perceived meanings. In: *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 67, 2018, S. 259-273.
- [KARJALAINEN & SNELDERS 2010] Karjalainen, T.-M.; Snelders, D.: Designing Visual Recognition for the Brand. In: *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 27, Nr. 1, 2010, S. 6-22.
- [KARJALAINEN 2004] Karjalainen, T.-M.: *Semantic transformation in design - Communicating strategic brand identity through product design references*. University of Art and Design Helsinki, PhD Thesis, 2004.
- [KARJALAINEN 2007] Karjalainen, T.-M.: *It Looks Like a Toyota: Educational Approaches to Designing for Visual Brand Recognition*. In: *International Journal of Design*, Vol. 1, Nr. 1, 2007, S. 67-81.
- [KARMASIN 2012] Karmasin, H.: *Produkte als Botschaften - Konsumenten, Marken und Produktstrategien*. Nachdr. der 4. Aufl. von 2007. München: Redline, 2012.
- [KELLER 2013] Keller, K. L.: *Strategic Brand Management - Building, Measuring, and Managing Brand Equity*. 4th, global ed., Harlow: Pearson, 2013.
- [KIM ET AL. 2016] Kim, H. K.; Han, S. H.; Park, J.; Park, J.: Identifying affect elements based on a conceptual model of affect: A case study on a smartphone. In: *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 53, 2016, S. 193-204.
- [KINGDOM & PRINS 2016] Kingdom, F. A. A.; Prins, N.: *Psychophysics - A Practical Introduction*. 2nd ed., London: Elsevier, 2016.
- [KLÖCKER 1981] Klöcker, I.: *Produktgestaltung - Aufgabe, Kriterien, Ausführung*. Berlin: Springer, 1981.
- [KOENDERINK & VAN DOORN 1992] Koenderink, J. J.; van Doorn, A. J.: Surface shape and curvature scales. In: *Image and Vision Computing*, Vol. 10, Nr. 8, 1992, S. 557-564.
- [KÖHLER ET AL. 2000] Kohler, R.; Tostmann, R.; Böcking, H.-J.; Dörner, D.; Pfitzer, N.; Vikas, K.; Kilger, W.: G. In: Haderer, T.; Winter, E. (Hrsg.): *Gabler Wirtschafts Lexikon*. 15., vollst. überarb. u. aktual. Aufl., Wiesbaden: Springer, 2000, S. 1175-1372.
- [KÖHLER 2017] Köhler, M.: *Kansei Engineering zur Strukturierung objektiv erfasster Informationen über die visuelle Wahrnehmung für die kundenorientierte Produktgestaltung*. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Dissertation, 2017.
- [KOPPELMANN 2001] Koppelman, U.: *Produktmarketing - Entscheidungsgrundlagen für Produktmanager*. 6., überarb. u. erw. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer, 2001.
- [KREUZBAUER & MALTER 2005] Kreuzbauer, R.; Malter, A. J.: Embodied Cognition and New Product Design: Changing Product Form to Influence Brand Categorization. In: *Journal of Product Innovation Management*, Vol 22, Nr. 2, 2005, S. 165-176.
- [KROHN ET AL. 2010] Krohn, M.; Müller-Schöll, A.; Bardtholdt, J.; Menzi, R.: *Formfächer - Design, Begriffe, Begreifen*. Ludwigsburg: Avedition, 2010.

- [KÜDERLI 2007] Küderli, F.: Computer Aided Styling und die virtuelle Realität im Außen- und Innendesign. In: Braess, H.-H. und Seiffert, U. (Hrsg.): *Automobildesign und Technik - Formgebung, Funktionalität, Technik*. Wiesbaden: Vieweg, 2007, S. 302-314.
- [KÜHNER 2014] Kühner, M.: *Haptische Unterscheidbarkeit mechanischer Parameter bei rotatorischen Bedienelementen*. Technische Universität München, Dissertation, 2014.
- [KUNSCH & KUNSCH 2007] Kunsch, K.; Kunsch, S.: *Der Mensch in Zahlen - Eine Datensammlung in Tabellen mit über 20.000 Einzelwerten*. 3. Aufl., München: Elsevier, 2007.
- [KURZ 2008] Kurz, M.: *Die Modellmethodik im Formfindungsprozess am Beispiel des Automobildesigns*. Baden-Baden: Deutscher Wissenschafts-Verlag, Dissertation, 2008.
- [LAGA ET AL. 2019] Laga, H.; Guo, Y.; Tabia, H.; Fisher, R.; Bennamoun, M.: *3D Shape Analysis - Fundamentals, Theory and Applications*. Hoboken: Wiley, 2019.
- [LASHIN & STARK 2021] Lashin, G; Stark, R.: *Virtuelle Produktentwicklung*. In: Bender, B.; Gericke, K. (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 9. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2021, S. 1097-1153.
- [LEVEN 1991] Leven, W.: *Blickverhalten von Konsumenten - Grundlagen, Messung und Anwendung in der Werbeforschung*. Heidelberg: Physica, 1991.
- [LEWANDOWSKI & BOLT 2010] Lewandowski, S.; Bolt, S.: *Box-and-Whisker Plot*. In: Salkind, N. (Hrsg.): *Encyclopedia of Research Design*. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2010, S. 104-108.
- [LI ET AL. 2018] Li, B.; Dong, Y.; Wen, Z.; Liu, M.; Yang, L.; Song, M.: *A machine learning-based framework for analyzing car brand styling*. In: *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 10, Nr. 7, 2018, S. 1-17.
- [LIAO ET AL. 2017] Liao, W.; Liu, H.; Li, T.: *Subdivision Surface Modeling Technology*. Singapore: Springer, 2017.
- [LIENERT 1973] Lienert, G. A.: *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. 2., völlig neu bearb. Aufl., Meisenheim am Glan: Anton Hain, 1973.
- [LIU ET AL. 2015] Liu, T.; Hertzmann, A.; Li, W; Funkhouser, T.: *Style compatibility for 3D furniture models*. In: *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 34, Nr. 4, 2015, S. 85:1-9.
- [LIU ET AL. 2019] Liu, F.; Ji, X.; Hu, G.; Gao, J.: *A Novel Shape-Adjustable Surface and Its Applications in Car Design*. In: *Applied Sciences*, Vol. 9, Nr. 11, 2019, S. 2339:1-20.
- [LIU ET AL. 2020] Liu, F.; Ji, X.; Hu, G.; Gao, J.: *A computer aided design method for car form and its application based on shape parameters*. In: *Frontiers of Computer Science*, Vol. 14, Nr. 6, 2020, S. 146703:1-17.
- [LÖBACH 1976] Löbach, B.: *Industrial Design - Grundlagen der Industrieproduktgestaltung*. München: Thiemig, 1976.
- [LOEWY 1953] Loewy, R.: *Häßlichkeit verkauft sich schlecht - Die Erlebnisse des erfolgreichsten Formgestalters unserer Zeit*. Düsseldorf: Econ Verlag, 1953.
- [LUN ET AL. 2015] Lun, Z.; Kalogerakis, E.; Sheffer, A.: *Elements of Style: Learning Perceptual Shape Style Similarity*. In: *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 34, Nr. 4, 2015, S. 84:1-14.
- [LUN ET AL. 2016] Lun, Z.; Kalogerakis, E.; Wang, R.; Sheffer, A.: *Functionality preserving shape style transfer*. In: *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 35, Nr. 6, 2016, S. 209:1-14.
- [MA ET AL. 2022] Ma, L.; Wu, Y.; Li, Q.; Yuan, X.: *Recognition of Car Front Facing Style for Machine-Learning Data Annotation: A Quantitative Approach*. In: *Symmetry*, Vol. 14, Nr. 6, 2022, S. 1181:1-26.

- [MAIER 1993] Maier, T.: Gleichteileanalyse und Ähnlichkeitsermittlung von Produktprogrammen. Universität Stuttgart, Dissertation, 1993.
- [MALLOT 2000] Mallot, H. A.: Sehen und die Verarbeitung visueller Information - Eine Einführung. 2., überarb. u. erw. Aufl., Wiesbaden: Vieweg, 2000.
- [MANAVIS ET AL. 2023] Manavis, A.; Kakoulis, K.; Kyratsis, P.: A Brief Review of Computational Product Design: A Brand Identity Approach. In: *Machines*, Vol. 11, Nr. 2, 2023, S. 232:1-20.
- [MANAVIS & KYRATISIS 2021] Manavis, A.; Kyratsis, P.: A computational study on product shape generation to support brand identity. In: *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, Vol. 13, Nr. 1, 2021, S. 115-122.
- [MARR & NISHIHARA 1978] Marr, D.; Nishihara, H. K.: Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes. In: *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, Vol. 200, Nr. 1140, 1978, S. 269-294.
- [MAYER 1996] Mayer, S.: Wettbewerbsfaktor Design - Zum Einsatz von Design im Markt für Investitionsgüter. Hamburg: S + W Steuer- und Wirtschaftsverlag, 1996.
- [McCORMACK ET AL. 2004] McCormack, J. P.; Cagan, J.; Vogel, C. M.: Speaking the Buick language: capturing, understanding, and exploring brand identity with shape grammars. In: *Design Studies*, Vol. 25, Nr. 1, 2004, S. 1-29.
- [MEFFERT ET AL. 2002] Meffert, H.; Burmann, C.; Koers, M.: Stellenwert und Gegenstand des Markenmanagement. In: Meffert, H.; Burmann, C.; Koers, M. (Hrsg.): *Markenmanagement - Grundfragen der identitätsorientierten Markenführung*. Wiesbaden: Gabler, 2002, S. 3-15.
- [METZGER 1975A] Metzger, W.: Psychologie - Die Entwicklung ihrer Grundannahmen seit der Einführung des Experiments. 5. Aufl., Darmstadt: Steinkopff, 1975.
- [METZGER 1975B] Metzger, W.: *Gesetze des Sehens*. Frankfurt am Main: Kramer, 1975.
- [METZ-GÖCKEL 2016] Metz-Göckel, H.: Einführung und Überblick. In: Metz-Göckel, H. (Hrsg.): *Gestalttheorie und kognitive Psychologie*. Wiesbaden: Springer, 2016, S. 1-11.
- [MINGOLLA & TODD 1986] Mingolla, E.; Todd, J. T.: Perception of solid shape from shading. In: *Biological Cybernetics*, Vol. 53, Nr. 3, 1986, S. 137-151.
- [MONÖ 1997] Monö, R.: *Design for Product Understanding*. Stockholm: Liber, 1997.
- [MÜNTE & KRÄMER 2014] Münte, T. F.; Krämer, U. M.: Psychophysik. In: Pape, H.-C.; Kurtz, A.; Silbernagl, S. (Hrsg.): *Physiologie*. 7., vollst. überarb. u. erw. Aufl., Stuttgart: Thieme, 2014, S. 941-947
- [MÜSSELER 2017] Müsseler, J.: Visuelle Informationsverarbeitung. In: Müsseler, J.; Rieger, M. (Hrsg.): *Allgemeine Psychologie*. 3. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer, 2017, S. 13-49.
- [MYERS 2008] Myers, D. G.: *Psychologie*. 2., erw. u. aktual. Aufl., Heidelberg: Springer Medizin, 2008.
- [MYERS 2015] Myers, D. G.: *Psychologie*. 3., vollst. überarb. u. erw. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer, 2015.
- [NAGAMACHI 2011] Nagamachi, M.: *Kansei/affective engineering*. Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [NORMAN ET AL. 2006] Norman, J. F.; Todd, J. T.; Norman, H. F.; Clayton, A. M.; McBride, T. R.: Visual discrimination of local surface structure: slant, tilt, and curvedness. In: *Vision Research*, Vol. 46, Nr. 6-7, 2006, S. 1057-1069.
- [ONDRA ET AL. 2017] Ondra, M.; Škaroupka, D.; Rajlich, J.: Innovating product appearance within brand identity. In: *International Journal of Innovation Science*, Vol. 9, Nr. 2, 2017, S. 153-169.
- [ORBAY ET AL. 2015] Orbay, G.; Fu, L.; Kara, L. B.: Deciphering the Influence of Product Shape on Consumer Judgments Through Geometric Abstraction. In: *Journal of Mechanical Design*, Vol. 137, Nr. 8, 2015, S. 081103:1-10.

- [OSGOOD ET AL. 1957] Osgood, C. E.; Suci, G. J.; Tannenbaum, P. H.: *The Measurement of Meaning*. Urbana: University of Illinois Press, 1957.
- [OSTROSI ET AL. 2019] Ostrosi, E.; Bluntzer, J.-B.; Zhang, Z.; Stjepandić, J.: Car style-holon recognition in computer-aided design. In: *Journal of Computational Design and Engineering*, Vol. 6, Nr. 4, 2019, S. 719-738.
- [PAGANO 2010] Pagano, R. R.: *Understanding Statistics in the Behavioral Sciences*. 9th ed., Belmont: Wadsworth, 2010.
- [PARKHURST ET AL. 2002] Parkhurst, D.; Law, K.; Niebur, E.: Modeling the role of salience in the allocation of overt visual attention. In: *Vision Research*, Vol. 42, Nr. 1, 2002, S. 107-123.
- [PEREZ MATA ET AL. 2017] Perez Mata, M.; Ahmed-Kristensen, S.; Brockhoff, P. B.; Yanagisawa, H.: Investigating the influence of product perception and geometric features. In: *Research in Engineering Design*, Vol. 28, Nr. 3, 2017, S. 357-379.
- [PERSON ET AL. 2008] Person, O.; Schoormans, J.; Snelders, D.; Karjalainen, T.-M.: Should new products look similar or different? The influence of the market environment on strategic product styling. In: *Design Studies*, Vol. 29, Nr. 1, 2008, S. 30-48.
- [PERSON & SNELDERS 2010] Person, O.; Snelders, D.: Brand Styles in Commercial Design. In: *Design Issues*, Vol. 26, Nr. 1, 2010, S. 82-94.
- [PERZYLO ET AL. 2015] Perzylo, A.; Somani, N.; Rickert, M.; Knoll, A.: An ontology for CAD data and geometric constraints as a link between product models and semantic robot task descriptions. In: *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. Hamburg: IEEE, 2015, S. 4197-4203.
- [PETROV 2016] Petrov, A.: *Understanding the relationships between aesthetic properties of shapes and geometric quantities of free-form curves and surfaces using Machine Learning Techniques*. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers Paris, PhD Thesis, 2016.
- [PHAM 1999] Pham, B.: Design for Aesthetics: Interactions of Design Variables and Aesthetic Properties. In: Rogowitz, B. E.; Pappas, T. N. (Hrsg.): *Human Vision and Electronic Imaging IV, Electronic Imaging '99*. San Jose: SPIE, 1999, S. 364-371.
- [PICOT ET AL. 2000] Picot, A.; Wolff, B.; Fassing, W.; Hübner, H.; Pellens, B.; Sellhorn, E.; Brauchlin, E.; Meffert, H.; Bruhn, M.; Lange, T. A.; Siepermann, M.; Schneider, D. J. G.; Eilenberger, G.: I. In: Haderer, T.; Winter, E. (Hrsg.): *Gabler Wirtschafts Lexikon. 15., vollst. überarb. u. aktual. Aufl.*, Wiesbaden: Springer, 2000, S. 1467-1660.
- [PIEGL & TILLER 1997] Piegl, L.; Tiller, W.: *The NURBS Book*. 2nd ed., Berlin, Heidelberg: Springer, 1997.
- [PODEHL 2002] Podehl, G.: Terms and Measures for Styling Properties. In: Marjanovic D. (Hrsg.): *Proceedings of DESIGN 2002, the 7th International Design Conference, DS 30*. Dubrovnik: Design Society, 2002, S. 879-886.
- [PUGLIESE & CAGAN 2002] Pugliese, M. J.; Cagan, J.: Capturing a rebel: modeling the Harley-Davidson brand through a motorcycle shape grammar. In: *Research in Engineering Design*, Vol. 13, Nr. 3, 2002, S. 139-156.
- [RAJAPAKSE ET AL. 2009] Rajapakse, R. P. C. J.; Jayasinghe, H.; Tokuyama, Y.; Miyata, K.; Marasinghe, A.: The Effect of Variable Base on Perceiving Gender Kansei of 3D-Shape. In: *2009 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE'09)*. Cieszyn: IEEE, 2009, S. 136-141.
- [RANAWAT ET AL. 2012] Ranawat, A.; Tuteja, S.; Hölttä-Otto, K.: Contribution of visual design elements to the perceived product family look. In: *Journal of Design Research*, Vol. 10, Nr. 3, 2012, S. 189-205.

- [RANSCOMBE ET AL. 2012A] Ranscombe, C.; Hicks, B.; Mullineux, G.; Singh, B.: Visually decomposing vehicle images: Exploring the influence of different aesthetic features on consumer perception of brand. In: *Design Studies*, Vol. 33, Nr. 4, 2012, S. 319-341.
- [RANSCOMBE ET AL. 2012B] Ranscombe, C.; Hicks, B.; Mullineux, G.: A method for exploring similarities and visual references to brand in the appearance of mature mass-market products. In: *Design Studies*, Vol. 33, Nr. 5, 2012, S. 496-520.
- [RANSCOMBE ET AL. 2012C] Ranscombe, C.; Mullineux, G.; Hicks, B.: Evaluating Similarity and Exploring Branding in Vehicle Styling Using Fourier Decomposition. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojcetic, N. (Hrsg.): *Proceedings of DESIGN 2012, the 12th International Design Conference, DS 70*. University of Zagreb: Design Society, 2012, S. 1377-1386.
- [RANSCOMBE ET AL. 2015] Ranscombe, C.; Kinsella, P.; Stoddart, P.R.; Melles, G.: Investigating Shape Comparison Tools for Benchmarking Differences in Product Appearance During Product Styling. In: Chakrabarti, A. (Hrsg.): *ICoRD'15 - Research into Design Across Boundaries Volume 1. Theory, Research Methodology, Aesthetics, Human Factors and Education*. New Delhi: Springer, 2015, S. 169-179.
- [RANSCOMBE ET AL. 2017] Ranscombe, C.; Kinsella, P.; Blijlevens, J.: Data-Driven Styling: Augmenting Intuition in the Product Design Process Using Holistic Styling Analysis. In: *Journal of Mechanical Design*, Vol. 139, Nr. 11, 2017, S. 111417:1-11.
- [RANSCOMBE & BLIJLEVENS 2014] Ranscombe, C.; Blijlevens, J.: Measurement and Visualisation of Evolutionary Changes in Product Shape for Justification of Styling Decisions in Design. In: Miko, L.; Kalevi, E. (Hrsg.): *Proceedings of NordDesign 2014 Conference, DS 81*. Aalto University: Design Society, 2014, S. 865-874.
- [REINEKE ET AL. 2000] Reineke, R.-D.; Weber, J.; Peemöller, V. H.: C. In: Haderer, T.; Winter, E. (Hrsg.): *Gabler Wirtschafts Lexikon. 15., vollst. überarb. u. aktual. Aufl.*, Wiesbaden: Springer, 2000, S. 3209-3396.
- [RENSINK 2002] Rensink, R. A.: Change detection. In: *Annual review of psychology*, Vol. 53, 2002, S. 245-277.
- [RHEE & KIM 2019] Rhee, J.; Kim, E. M.: *Rhinoceros*. USA: Eigene Veröffentlichung, 2019.
- [RHEE & KIM 2020] Rhee, J.; Kim, E. M.: *Grasshopper*. USA: Eigene Veröffentlichung, 2020.
- [RHINO 2022] Rhino: Rhino 7 Online-Hilfe - Plastik. [https://docs.mcneel.com/rhino/7/help/de-de/index.htm#commands/materials.htm#plastic\\_panel](https://docs.mcneel.com/rhino/7/help/de-de/index.htm#commands/materials.htm#plastic_panel) (abgerufen am 16.11.2022).
- [SCHENDERA 2007] Schendera, C. F. G.: *Datenqualität mit SPSS*. München, Wien: Oldenbourg, 2007.
- [SCHICKER & STRASSL 2019] Schicker, G; Strassl, J.: *Produktportfolio-Management im Zeitalter der Digitalisierung*. Amberg-Weiden: Ostbayerische Technische Hochschule, 2019.
- [SCHIELE 2012] Schiele, H.-G.: *Computergrafik für Ingenieure - Eine anwendungsorientierte Einführung*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2012.
- [SCHMITT 2012] Schmitt, B.: The consumer psychology of brands. In: *Journal of Consumer Psychology*, Vol. 22, Nr. 1, S. 7-17.
- [SCHREINER ET AL. 2017] Schreiner, T. F.; Fandrich, T.; Heitmann, M.; Talke, K.: A Novel Approach for Predicting and Understanding Consumers' Sense of Design Similarity. In: *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 34, Nr. 6, 2017, S. 790-820.
- [SCHUHFRIED 2022] Schuhfried GmbH: Wiener Testsystem. <https://www.schuhfried.com/de/wiener-testsystem/> (abgerufen am 28.11.2022).
- [SEEGER 2005] Seeger, H.: *Design technischer Produkte, Produktprogramme und -systeme - Industrial Design Engineering. 2., bearb. u. erw. Aufl.*, Berlin, Heidelberg: Springer, 2005.

- [SEGU ET AL. 2021] Segu, M.; Grinvald, M.; Siegwart, R.; Tombari, F.: 3DSNet: Unsupervised Shape-to-Shape 3D Style Transfer. arXiv-Preprint, 2021, S. 1-15.
- [SEO & MILANFAR 2009] Seo, H. J.; Milanfar, P.: Static and space-time visual saliency detection by self-resemblance. In: Journal of Vision, Vol. 9, Nr. 12, 2009, S. 15:1-27.
- [SMYTH & WALLACE 2000] Smyth, S. N.; Wallace, D. R.: Towards the Synthesis of Aesthetic Product Form. In: Proceedings of the ASME 2000 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Volume 4: 12th International Conference on Design Theory and Methodology (DTM). Baltimore: ASME, 2000, S. 113-120.
- [SPUR & KRAUSE 1997] Spur, G.; Krause, F.-L.: Das virtuelle Produkt - Management der CAD-Technik. München, Wien: Hanser, 1997.
- [STADLER & HIRZ 2016] Stadler, S.; Hirz, M.: A knowledge-based framework for integration of computer aided styling and computer aided. In: Computer-Aided Design and Applications, Vol. 13, Nr. 4, 2016, S. 558-569.
- [STEFFEN 2000] Steffen, D.: Design als Produktsprache - Der "Offenbacher Ansatz" in Theorie und Praxis. Frankfurt am Main: Verlag form, 2000.
- [STEINER & BENESCH 2021] Steiner, E.; Benesch, M.: Der Fragebogen - Von der Forschungs idee zur SPSS-Auswertung. 6., aktual. u. überarb. Aufl., Wien: Facultas, 2021.
- [STEVENS 1958] Stevens, S. S.: Mathematics, Measurements, and Psychophysics. In: Stevens, S. S. (Hrsg.): Handbook of Experimental Psychology. 2nd ed., New York: Wiley, 1958, S. 1-49.
- [STINY 1980] Stiny, G.: Introduction to shape and shape grammars. In: Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 7, Nr. 3, 1980, S. 343-351.
- [STONE 2010] Stone, E. R.: t test - Paired Samples. In: Salkind, N. (Hrsg.): Encyclopedia of Research Design. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2010, S. 1560-1565.
- [TALKE ET AL. 2017] Talke, K.; Müller, S.; Wieringa, J. E.: A matter of perspective: Design newness and its performance effects. In: International Journal of Research in Marketing, Vol. 34, Nr. 2, 2017, S. 399-413.
- [TARR & BÜLTHOFF 1995] Tarr, M. J., Bülthoff, H. H.: Is human object recognition better described by geon-structural-descriptions or by multiple-views. In: Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, Vol. 21, Nr. 6, 1995, S. 1494-1505.
- [TJALVE 1979] Tjalve, E.: A Short Course in Industrial Design. London: Newnes-Butterworths, 1979.
- [TODD & NORMAN 2003] Todd, J. T.; Norman, J. F.: The visual perception of 3-D shape from multiple cues: are observers capable of perceiving metric structure? In: Perception & Psychophysics, Vol. 65, Nr. 1, 2003, S. 31-47.
- [TODD & MINGOLLA 1983] Todd, J. T.; Mingolla, E.: Perception of surface curvature and direction of illumination from patterns of shading. In: Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, Vol. 9, Nr. 4, 1983, S. 583-595.
- [TODD 2004] Todd, J. T.: The visual perception of 3D shape. In: Trends in Cognitive Sciences, Vol. 8, Nr. 3, 2004, S. 115-121.
- [TREUTWEIN 1995] Treutwein, B.: Adaptive psychophysical procedures. In: Vision Research, Vol. 35, Nr. 17, 1995, S. 2503-2522.
- [TSAGKRASOULIS ET AL. 2017] Tsagkrasoulis, D.; Hysi, P.; Spector, T.; Montana, G.: Heritability maps of human face morphology through large-scale automated three-dimensional phenotyping. In: Scientific Reports, Vol. 7, 2017, S. 45885:1-18.
- [VAJNA ET AL. 2018] Vajna, S.; Weber, C.; Zeman, K.; Hehenberger, P.; Gerhard, D.; Wartzack, S.: CAx für Ingenieure - Eine praxisbezogene Einführung. 3., vollst. neu bearb. Aufl., Berlin: Springer Vieweg, 2018.

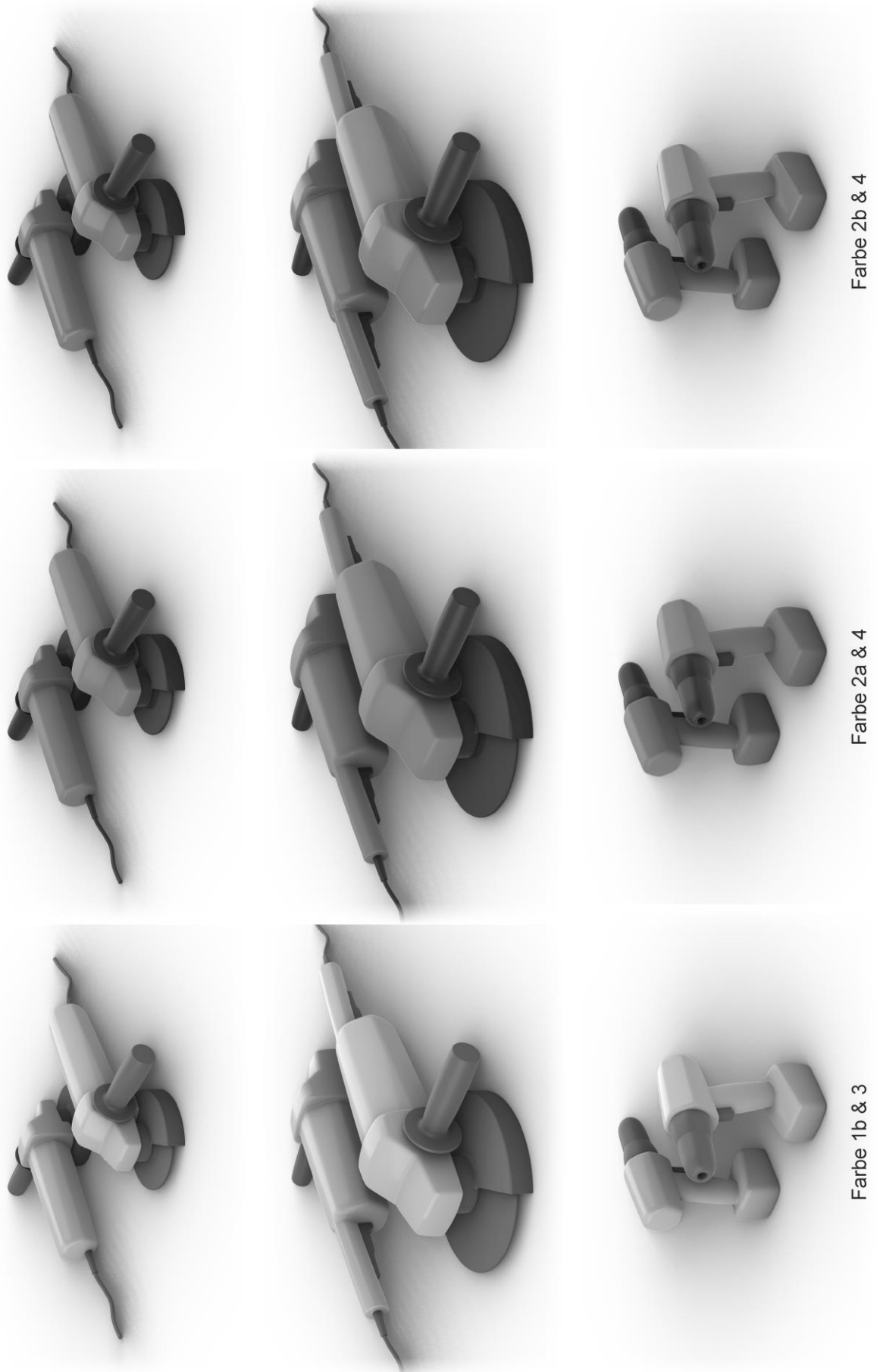
- [VAN BREEMEN & SUDIJONO 1999] Van Breemen, E. J. J.; Sudijono, S.: The Role of Shape in Communicating Designers' Aesthetic Intentions. In: Proceedings of the ASME 1999 Design Engineering Technical Conferences. Volume 3: 11th International Conference on Design Theory and Methodology (DTM). Las Vegas: ASME, 1999, S. 99-108.
- [VAN TILBURG ET AL. 2015] Van Tilburg, M.; Lieven, T.; Herrmann, A.; Townsend, C.: Beyond "Pink It and Shrink It" Perceived Product Gender, Aesthetics, and Product Evaluation. In: Psychology & Marketing, Vol. 32, Nr. 4, 2015, S. 422-437.
- [VDA 4955 2006] VDA 4955: Umfang und Qualität von CAD/CAM-Daten. Verband der Automobilindustrie: Frankfurt, 2006.
- [VDI 2209 2009] VDI 2209: 3D-Produktmodellierung - Technische und organisatorische Voraussetzungen; Verfahren, Werkzeuge und Anwendungen; Wirtschaftlicher Einsatz in der Praxis. Berlin: Beuth Verlag, 2009.
- [VDI 2221-1 2019] VDI 2221 Blatt 1: Entwicklung technischer Produkte und Systeme - Modell der Produktentwicklung. Berlin: Beuth Verlag, 2019.
- [VDI 2221-2 2019] VDI 2221 Blatt 2: Entwicklung technischer Produkte und Systeme - Gestaltung individueller Produktentwicklungsprozesse. Berlin: Beuth Verlag, 2019.
- [VDI 4520-1 2017] VDI 4520 Blatt 1: Produktmanagement - Einführung und Grundlagen. Berlin: Beuth Verlag, 2017.
- [VDI 5620 2017] VDI 5620: Reverse Engineering von Geometriedaten. Berlin: Beuth Verlag, 2017.
- [VDI/VDE 2206 2021] VDI/VDE 2206: Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme. Berlin: Beuth Verlag, 2021.
- [VDI/VDE 2424-2 1986] VDI/VDE 2424 Blatt 2: Industrial Design - Grundlagen, Begriffe, Wirkungsweisen; Darstellung an Beispielen. Berlin, Köln: Beuth Verlag, 1986.
- [VDI/VDID 2424 2023] VDI/VDID 2424: Industriedesign - Nutzerzentrierte Gestaltung im Produktentwicklungsprozess. Berlin: Beuth Verlag, 2023.
- [VERMA 2015] Verma, J. P.: Repeated Measures Design for Empirical Researchers. Hoboken: Wiley, 2015.
- [VOGT 1972] Vogt, I.: Zur Psychologie der Ähnlichkeit, Problemheuristische und experimentelle Untersuchungen. Meisenheim am Glan: Verlag Anton Hain, 1972.
- [VUKAŠINOVIĆ & DUHOVNIK 2019] Vukašinić, N.; Duhovnik, J.: Advanced CAD Modeling - Explicit, Parametric, Free-Form CAD and Re-engineering. Cham: Springer, 2019.
- [WALLACE & JAKIELA 1993] Wallace, D. R.; Jakiela, M. J.: Automated product concept design: unifying aesthetics and engineering. In: IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 13, Nr. 4, 1993, S. 66-75.
- [WANG & CHEN 2020] Wang, H.-H.; Chen, C.-P.: A Case Study on Evolution of Car Styling and Brand Consistency Using Deep Learning. In: Symmetry, Vol. 12, Nr. 12, 2020, S. 2074:1-30.
- [WARE 2021] Ware, C.: Information visualization - Perception for Design. 4th ed., Cambridge: Morgan Kaufmann, 2021.
- [WARELL 2001] Warell, A.: Design syntactics: A functional approach to visual product form - theory, models and methods. Chalmers University of Technology, PhD Thesis, 2001.
- [WEITZ 2019] Weitz, E.: Elementare Differentialgeometrie (nicht nur) für Informatiker - Mit vielen Grafiken und Visualisierungen in JavaScript. Berlin: Springer Spektrum, 2019.
- [WENDT 2014] Wendt, M.: Allgemeine Psychologie - Wahrnehmung. Göttingen: Hogrefe, 2014.
- [WILCOX 2012] Wilcox, R. R.: Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing. 3rd ed., Amsterdam, Boston: Elsevier, 2012.



- 
- [WINDISCH ET AL. 2000] Windisch, R.; Helten, E.; Bittl, A.; Picot, A.; Neuburger, R.; Brümmerhoff, D.: V. In: Hadelers, T.; Winter, E. (Hrsg.): Gabler Wirtschafts Lexikon. 15., vollst. überarb. u. aktual. Aufl., Wiesbaden: Springer, 2000, S. 3209-3396.
- [WOHLGEMUTH 2016] Wohlgemuth, U.: Maschinen Design - Industrieprodukte erfolgreich gestalten. Hamburg: Diplomica Verlag, 2016.
- [XU ET AL. 2016] Xu, Q. Y.; Yang, M. L.; Liu, W. D.; Liu, C. J.; Yan, H. M.: Product form feature evolution forecasting based on IGMBPM model. In: Computer-Aided Design and Applications, Vol. 13, Nr. 4, 2016, S. 431-439.







**Abbildung A.2:** Farbvariation am Beispiel der Reizmuster (0,50/0,50)

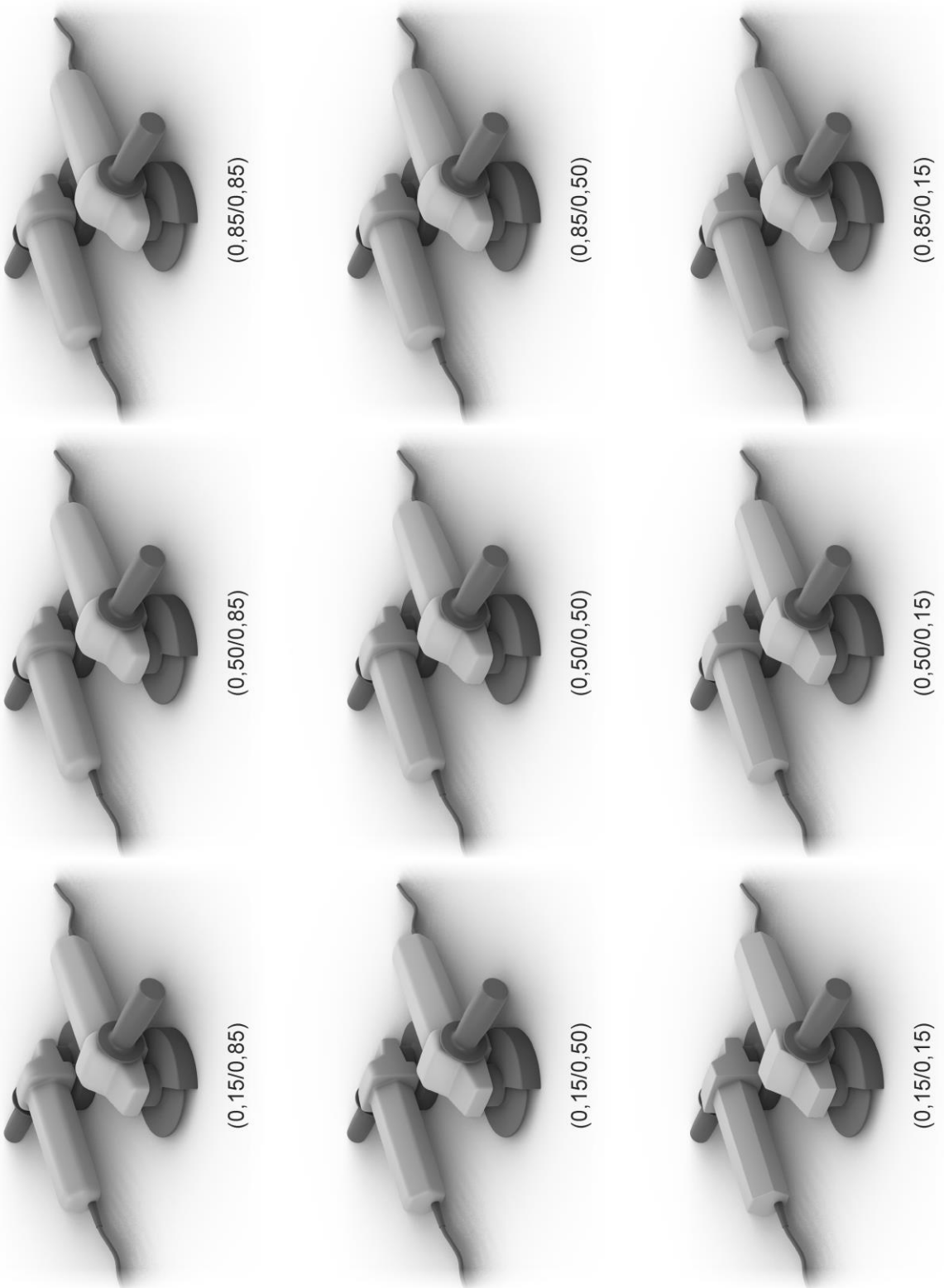
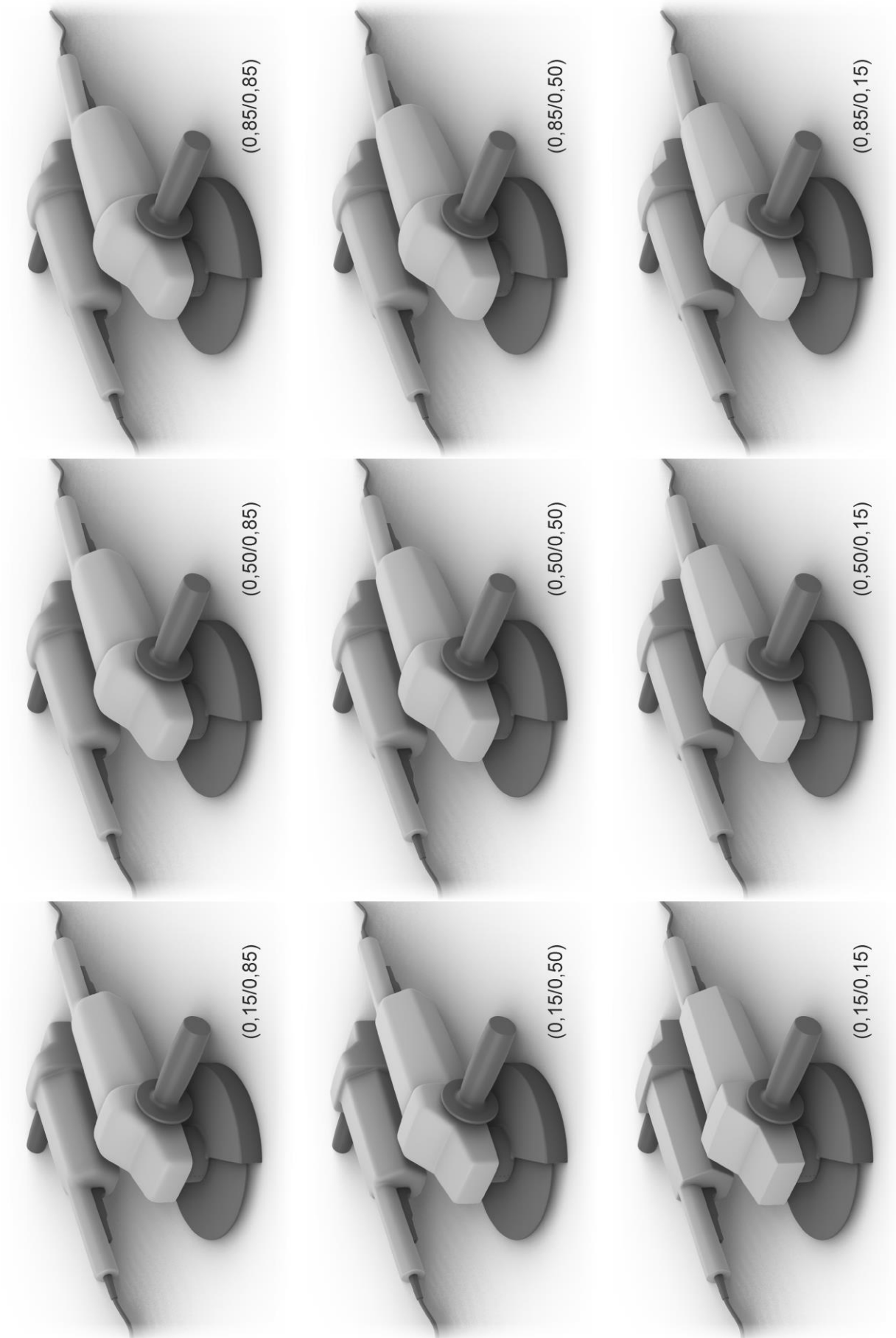
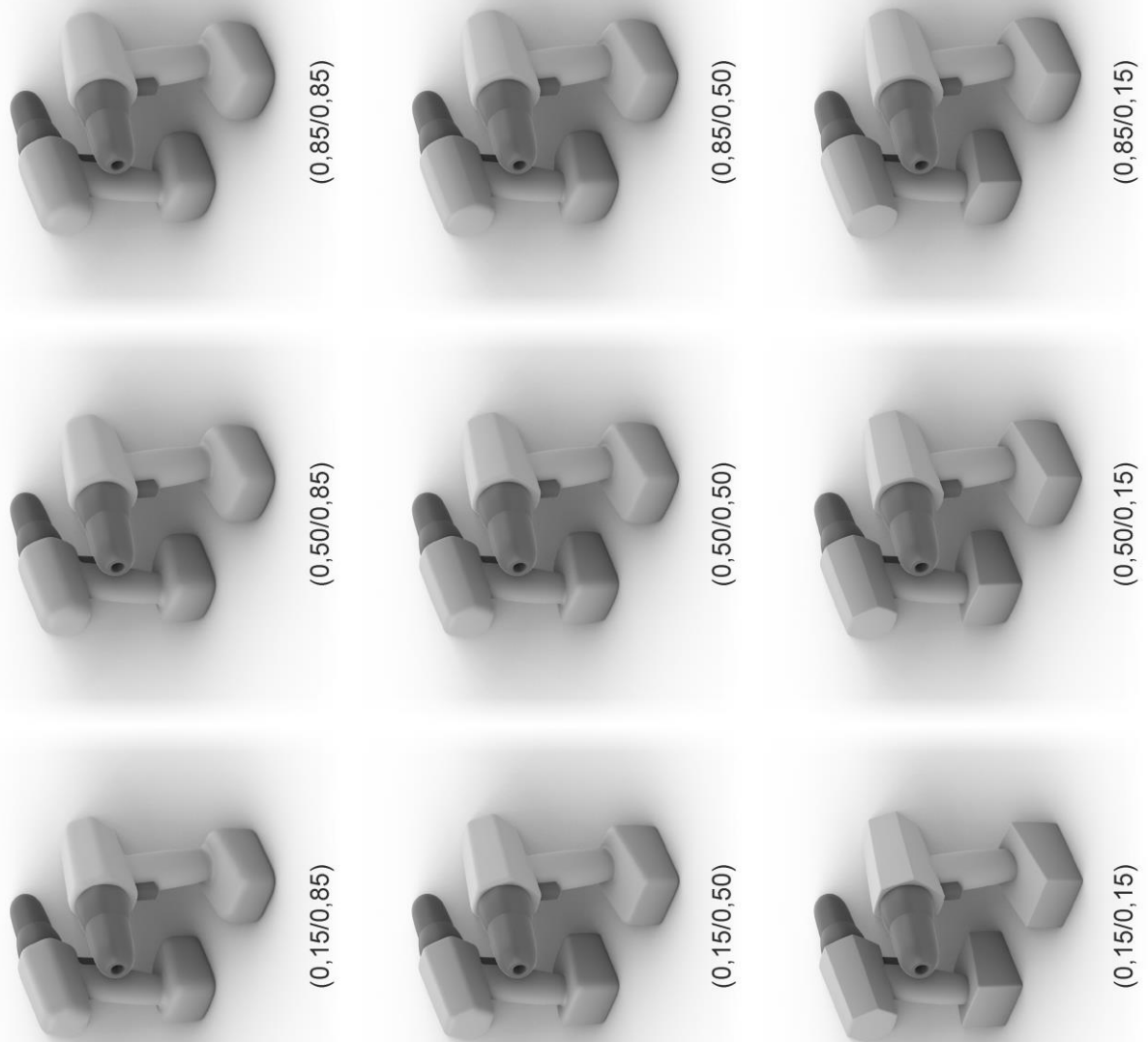


Abbildung A.3: Reizmuster kleiner Winkelschleifer (WSk), Farbe 1a & 3



**Abbildung A.4:** Reizmuster großer Winkelschleifer (WSg), Farbe 1a & 3



**Abbildung A.5:** Reizmuster Akkuschauber (AS), Farbe 1a & 3

Kombination		$z$	$p$	$p_{Korr}$	$r$	Effekt
Marke	Ästhetik	-1,222	0,001 **	0,008 **	0,204	klein
Marke	Leistung	-0,778	0,037 *	0,184	0,130	klein
Marke	Ergonomie	-0,556	0,136	0,408	0,093	-
Marke	Preis	-0,250	0,502	0,502	0,042	-
Ästhetik	Leistung	-2,000	0,000 ***	0,000 ***	0,333	mittel
Ästhetik	Ergonomie	-0,667	0,074	0,295	0,111	klein
Ästhetik	Preis	-0,972	0,009 **	0,055	0,162	klein
Leistung	Ergonomie	-1,333	0,000 ***	0,003 **	0,222	klein
Leistung	Preis	-1,028	0,006 **	0,041 *	0,171	klein
Ergonomie	Preis	-0,306	0,412	0,825	0,051	-

**Tabelle A.3:** Einkaufsverhalten Post-Hoc-Test (Dunn-Test), Studie 1

		Bedeutung äußere Produktgestalt	Interesse	Häufigkeit Nutzung
Interesse	$r_p$	-0,005	-	-
	$p$	0,978	-	-
Häufigkeit Nutzung	$r_s$	-0,209	-0,466	-
	$p$	0,220	0,004 **	-
Rang der Marke bei Einkauf	$r_s$	-0,267	0,002	0,406
	$p$	0,116	0,989	0,014 *

Korrelation nach Pearson  $r_p$ ; Korrelation nach Spearman  $r_s$

**Tabelle A.4:** Korrelationen der ergänzenden Fragen, Studie 1

Paarung		$z$	$p$	$p_{korr}$	$r$	Effekt	Korrektur
WSk-(0,15/0,15) & Wsg-(0,15+ $\Delta$ /0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,85) & Wsg-(0,85- $\Delta$ /0,85- $\Delta$ )	4,235	0,000 ***	0,000 ***	0,706	groß	-
WSk-(0,15/0,15) & Wsg-(0,15/0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,15/0,85) & Wsg-(0,15/0,85- $\Delta$ )	3,316	0,001 ***	0,005 **	0,553	groß	-
WSk-(0,85/0,15) & Wsg-(0,85/0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,85) & Wsg-(0,85/0,85- $\Delta$ )	3,042	0,002 **	0,009 **	0,507	groß	-
WSk-(0,15/0,15) & Wsg-(0,15+ $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,85/0,15) & Wsg-(0,85- $\Delta$ /0,15)	2,271	0,023 *	0,046 *	0,379	mittel	-
WSk-(0,15/0,85) & Wsg-(0,15+ $\Delta$ /0,85)	WSk-(0,85/0,85) & Wsg-(0,85- $\Delta$ /0,85)	3,803	0,000 ***	0,000 ***	0,634	groß	Gehan
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,85- $\Delta$ )	4,334	0,000 ***	0,000 ***	0,722	groß	-
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15/0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15/0,85- $\Delta$ )	3,986	0,000 ***	0,000 ***	0,664	groß	-
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85/0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85/0,85- $\Delta$ )	2,671	0,008 **	0,023 *	0,445	mittel	-
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,15)	0,139	0,889	0,889	0,023	-	-
WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,85)	WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,85)	3,779	0,000 ***	0,001 ***	0,630	groß	Gehan

**Tabelle A.5:** Multiple Paarvergleiche (Wilcoxon-Test),  $H_{1.1}$ 

Paarung		$z$	$p$	$p_{korr}$	$r$	Effekt	Korrektur
WSk-(0,15/0,15) & Wsg-(0,15+ $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,15/0,85) & Wsg-(0,15+ $\Delta$ /0,85)	0,147	0,883	0,883	0,025	-	-
WSk-(0,85/0,15) & Wsg-(0,85- $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,85/0,85) & Wsg-(0,85- $\Delta$ /0,85)	-4,218	0,000 ***	0,000 ***	0,703	groß	Gehan
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,85)	0,713	0,476	0,952	0,119	klein	Gehan
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,85)	-4,181	0,000 ***	0,000 ***	0,697	groß	Gehan

**Tabelle A.6:** Multiple Paarvergleiche (Wilcoxon-Test),  $H_{1.2}$ 

AV	$F$	$p$	$\eta_p^2$	Effekt	Korrektur
Markenebene (PS- & PP-Ebene)	(1, 35) = 0,089	0,767	0,003	-	-
Referenzflächenrundheit	(1, 35) = 2,850	0,100	0,075	mittel	-
Modifikationsrichtung / -pfad (+ $\Delta$ & - $\Delta$ )	(1, 35) = 32,220	0,000 ***	0,479	groß	-
Markenebene* Referenzflächenrundheit	(1, 35) = 0,077	0,784	0,002	-	-
Markenebene* Modifikationsrichtung	(1, 35) = 0,023	0,880	0,001	-	-
Referenzflächenrundheit* Modifikationsrichtung	(1, 35) = 0,471	0,497	0,013	klein	-
Markenebene* Referenzflächenrundheit* Modifikationsrichtung	(1, 35) = 0,590	0,448	0,017	klein	-

**Tabelle A.7:** Mehrfaktorielle Anova mit Messwdh.,  $H_{1.3}$



Paarung		Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	95% Konfidenz-intervall		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>p<sub>korr</sub></i>
WSk-(0,15/0,15) & WSG-(0,15/0,15+Δ)	WSk-(0,85/0,15) & WSG-(0,85/0,15+Δ)	-0,029	0,033	-0,096	0,038	-0,883	0,383	0,77
WSk-(0,15/0,85) & WSG-(0,15/0,85-Δ)	WSk-(0,85/0,85) & WSG-(0,85/0,85-Δ)	-0,026	0,022	-0,071	0,019	-1,169	0,250	0,75
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15/0,15+Δ)	WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85/0,15+Δ)	-0,038	0,020	-0,079	0,003	-1,906	0,065	0,26
WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15/0,85-Δ)	WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85/0,85-Δ)	-0,004	0,022	-0,049	0,040	-0,204	0,839	0,84

**Tabelle A.8:** Multiple Paarvergleiche (*t*-Test),  $H_{1.3}$ 

Paarung		<i>z</i>	<i>p</i>	<i>p<sub>korr</sub></i>	<i>r</i>	Effekt	Korrektur
WSk-(0,15/0,15) & WSG-(0,15+Δ/0,15+Δ) (U)	WSk-(0,15/0,15) & WSG-(0,15/0,15+Δ)	3,271	0,001 **	0,003 **	0,545	groß	-
WSk-(0,15/0,15) & WSG-(0,15+Δ/0,15+Δ) (U)	WSk-(0,15/0,15) & WSG-(0,15+Δ/0,15)	4,629	0,000 ***	0,000 ***	0,772	groß	-
WSk-(0,85/0,85) & WSG-(0,85-Δ/0,85-Δ) (U)	WSk-(0,85/0,85) & WSG-(0,85/0,85-Δ)	3,787	0,000 ***	0,001 ***	0,631	groß	-
WSk-(0,85/0,85) & WSG-(0,85-Δ/0,85-Δ) (U)	WSk-(0,85/0,85) & WSG-(0,85-Δ/0,85)	5,107	0,000 ***	0,000 ***	0,851	groß	Gehan
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+Δ/0,15+Δ) (U)	WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15/0,15+Δ)	3,206	0,001 **	0,003 **	0,534	groß	-
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+Δ/0,15+Δ) (U)	WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+Δ/0,15)	4,942	0,000 ***	0,000 ***	0,824	groß	-
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85-Δ/0,85-Δ) (U)	WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85/0,85-Δ)	3,003	0,003 **	0,003 **	0,501	groß	-
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85-Δ/0,85-Δ) (U)	WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85-Δ/0,85)	5,108	0,000 ***	0,000 ***	0,851	groß	Gehan

**Tabelle A.9:** Multiple Paarvergleiche (Wilcoxon-Test),  $H_{1.4}$ 

Paarung		<i>z</i>	<i>p</i>	<i>p<sub>korr</sub></i>	<i>r</i>	Effekt	Korrektur
WSk-(0,15/0,15) & WSG-(0,15+Δ/0,15)	WSk-(0,15/0,15) & WSG-(0,15/0,15+Δ)	-3,182	0,001 **	0,006 **	0,530	groß	-
WSk-(0,15/0,85) & WSG-(0,15+Δ/0,85)	WSk-(0,15/0,85) & WSG-(0,15/0,85-Δ)	-0,707	0,480	0,480	0,118	klein	-
WSk-(0,85/0,85) & WSG-(0,85-Δ/0,85)	WSk-(0,85/0,85) & WSG-(0,85/0,85-Δ)	-4,743	0,000 ***	0,000 ***	0,791	groß	Gehan
WSk-(0,85/0,15) & WSG-(0,85-Δ/0,15)	WSk-(0,85/0,15) & WSG-(0,85/0,15+Δ)	-3,851	0,000 ***	0,001 ***	0,642	groß	-
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+Δ/0,15)	WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15/0,15+Δ)	-3,733	0,000 ***	0,001 ***	0,622	groß	-
WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15+Δ/0,85)	WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15/0,85-Δ)	-0,975	0,330	0,659	0,163	klein	Gehan
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85-Δ/0,85)	WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85/0,85-Δ)	-4,839	0,000 ***	0,000 ***	0,807	groß	Gehan
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85-Δ/0,15)	WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85/0,15+Δ)	-2,514	0,012 *	0,036 *	0,419	mittel	-

**Tabelle A.10:** Multiple Paarvergleiche (Wilcoxon-Test),  $H_{1.5}$

Produktpaar		Pearson-Korrelation		Spearman-Korrelation	
		Interesse EHW	Bedeutung äußere Produktgestalt	Häufigkeit Nutzung EHW	Rang der Marke bei Einkauf
WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15/0,15+Δ)	r	-0,094	0,097	0,240	-0,260
	p	0,584	0,572	0,159	0,125
WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15+Δ/0,15+Δ)	r	-0,035	-0,036	0,134	-,0387
	p	0,839	0,836	0,437	0,020 *
WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15+Δ/0,15)	r	0,010	0,170	0,168	-0,141
	p	0,954	0,322	0,328	0,412
WSk-(0,15/0,85) & WSg-(0,15/0,85-Δ)	r	-0,052	-0,002	-0,031	-0,216
	p	0,765	0,990	0,860	0,206
WSk-(0,15/0,85) & WSg-(0,15+Δ/0,85)	r	-0,062	0,106	0,218	-0,157
	p	0,719	0,538	0,201	0,362
WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85-Δ/0,85)	r	0,092	-0,319	0,071	-0,081
	p	0,595	0,058	0,680	0,639
WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85-Δ/0,85-Δ)	r	0,049	-0,231	0,034	-0,086
	p	0,777	0,176	0,842	0,617
WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85/0,85-Δ)	r	0,016	0,039	0,149	-0,154
	p	0,924	0,822	0,385	0,370
WSk-(0,85/0,15) & WSg-(0,85-Δ/0,15)	r	-0,140	-0,250	0,239	0,120
	p	0,416	0,141	0,160	0,486
WSk-(0,85/0,15) & WSg-(0,85/0,15+Δ)	r	-0,001	-0,266	0,112	-0,200
	p	0,997	0,117	0,514	0,241
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15/0,15+Δ)	r	-0,027	-0,019	0,122	-0,189
	p	0,878	0,912	0,477	0,271
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+Δ/0,15+Δ)	r	-0,001	-0,108	-0,019	-0,119
	p	0,996	0,530	0,912	0,488
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+Δ/0,15)	r	0,039	-0,211	0,100	-0,076
	p	0,823	0,217	0,561	0,657
WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15/0,85-Δ)	r	0,027	-0,183	-0,044	-0,103
	p	0,876	0,285	0,800	0,549
WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15+Δ/0,85)	r	-0,003	-0,117	0,003	-0,154
	p	0,988	0,496	0,985	0,371
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85-Δ/0,85)	r	-0,142	-0,222	0,118	-0,071
	p	0,408	0,194	0,491	0,680
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85-Δ/0,85-Δ)	r	-0,111	-0,498	0,201	0,009
	p	0,519	0,002 **	0,240	0,958
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85/0,85-Δ)	r	-0,076	-0,089	0,150	-0,017
	p	0,660	0,605	0,384	0,923
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85-Δ/0,15)	r	0,420	-0,271	-0,247	-0,068
	p	0,011 *	0,110	0,146	0,696
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85/0,15+Δ)	r	-0,070	-0,306	0,046	-0,090
	p	0,684	0,070	0,788	0,601

**Tabelle A.11:** Korrelationen FGM-Bewertungen und ergänzende Fragen, Studie 1

Paarung		z	p	$p_{korr}$	r	Effekt	Korrektur
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+Δ/0,15+Δ)	WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15+Δ/0,15+Δ)	-0,671	0,502	1,000	0,112	klein	-
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85-Δ/0,85-Δ)	WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85-Δ/0,85-Δ)	-0,811	0,417	1,000	0,135	klein	-
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15/0,15+Δ)	WSk-(0,15/0,85) & WSg-(0,15/0,85-Δ)	-0,094	0,925	1,000	0,016	-	-
WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15/0,85-Δ)	WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15/0,15+Δ)	-0,170	0,865	1,000	0,028	-	-
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85/0,15+Δ)	WSk-(0,85/0,15) & WSg-(0,85/0,15+Δ)	-0,197	0,844	1,000	0,033	-	-

**Tabelle A.12:** Multiple Paarvergleiche (Wilcoxon-Test),  $H_{1.6}$  (Teil 1/2)

Paarung		$z$	$p$	$p_{korr}$	$r$	Effekt	Korrektur
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85/0,85- $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85/0,85- $\Delta$ )	-0,542	0,588	1,000	0,090	-	-
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15+ $\Delta$ /0,15)	-0,254	0,800	1,000	0,042	-	-
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,85/0,15) & WSg-(0,85- $\Delta$ /0,15)	-1,507	0,132	1,000	0,251	klein	-
WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,85)	WSk-(0,15/0,85) & WSg-(0,15+ $\Delta$ /0,85)	-0,463	0,643	1,000	0,077	-	Gehan
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,85)	WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85- $\Delta$ /0,85)	-0,094	0,925	0,925	0,016	-	Gehan

**Tabelle A.12:** Multiple Paarvergleiche (Wilcoxon-Test),  $H_{1.6}$  (Teil 2/2)

Paarung		$(n = 25)$	$z$	$p$	$p_{korr}$	$r$	Effekt	Korrektur
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15+ $\Delta$ /0,15+ $\Delta$ )		-2,149	0,032 *	0,190	0,358	mittel	-
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,85- $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85- $\Delta$ /0,85- $\Delta$ )		-1,415	0,157	0,785	0,236	klein	-
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15/0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,15/0,85) & WSg-(0,15/0,85- $\Delta$ )		-2,195	0,028 *	0,197	0,366	mittel	-
WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15/0,85- $\Delta$ )	WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15/0,15+ $\Delta$ )		-0,386	0,699	0,699	0,064	-	-
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85/0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,15) & WSg-(0,85/0,15+ $\Delta$ )		-0,564	0,573	1,000	0,094	-	-
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85/0,85- $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85/0,85- $\Delta$ )		-0,767	0,443	1,000	0,128	klein	-
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15+ $\Delta$ /0,15)		-3,245	0,001 **	0,010 **	0,541	groß	-
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,85/0,15) & WSg-(0,85- $\Delta$ /0,15)		-1,200	0,230	0,920	0,200	klein	-

**Tabelle A.13:** Multiple Paarvergleiche (Wilcoxon-Test),  $H_{1.6}$ -Ergänzung, Cluster 2a

Paarung		$(n = 10)$	$z$	$p$	$p_{Korr}$	$r$	Effekt	Korrektur
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15+ $\Delta$ /0,15+ $\Delta$ )		-1,682	0,092	0,462	0,280	klein	-
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,85- $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85- $\Delta$ /0,85- $\Delta$ )		-1,173	0,241	0,963	0,196	klein	-
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15/0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,15/0,85) & WSg-(0,15/0,85- $\Delta$ )		-2,661	0,008 **	0,055	0,444	mittel	-
WSk-(0,15/0,85) & AS-(0,15/0,85- $\Delta$ )	WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15/0,15+ $\Delta$ )		-1,051	0,293	0,879	0,175	klein	-
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85/0,15+ $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,15) & WSg-(0,85/0,15+ $\Delta$ )		-0,765	0,444	0,888	0,128	klein	-
WSk-(0,85/0,85) & AS-(0,85/0,85- $\Delta$ )	WSk-(0,85/0,85) & WSg-(0,85/0,85- $\Delta$ )		-2,550	0,011 *	0,065	0,425	mittel	-
WSk-(0,15/0,15) & AS-(0,15+ $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,15/0,15) & WSg-(0,15+ $\Delta$ /0,15)		-2,803	0,005 **	0,040 *	0,467	mittel	-
WSk-(0,85/0,15) & AS-(0,85- $\Delta$ /0,15)	WSk-(0,85/0,15) & WSg-(0,85- $\Delta$ /0,15)		-0,663	0,507	0,507	0,111	klein	-

**Tabelle A.14:** Multiple Paarvergleiche (Wilcoxon-Test)  $H_{1.6}$ -Ergänzung, Cluster 2b

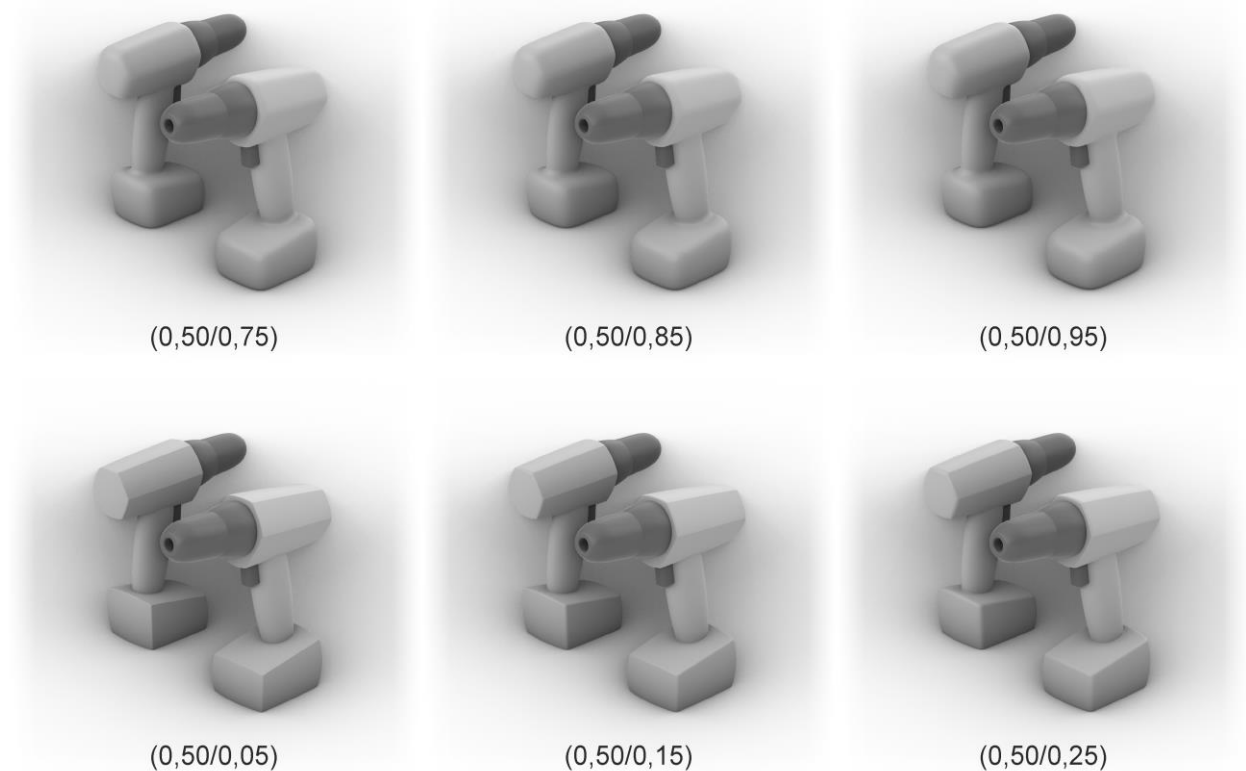
AV	F	p	$\eta_p^2$	Effekt	Korrektur
Markenebene (PP- & PS-Ebene)	(1, 35) = 0,044	0,836	0,001	-	-
Graustufe	(1, 35) = 5,852	0,021 *	0,143	groß	-
Reflexionsvermögen	(1, 35) = 0,589	0,448	0,017	klein	-
Produktpaar* Graustufe	(1, 35) = 0,563	0,458	0,016	klein	-
Produktpaar* Reflexionsvermögen	(1, 35) = 0,367	0,549	0,010	klein	-
Graustufe* Reflexionsvermögen	(1, 35) = 1,194	0,282	0,033	klein	-
Produktpaar* Graustufe* Reflexionsvermögen	(1, 35) = 1,042	0,314	0,029	klein	-

**Tabelle A.15:** Mehrfaktorielle Anova mit Messwdh. der Farbeigenschaften, H<sub>1.7</sub> & H<sub>1.8</sub>

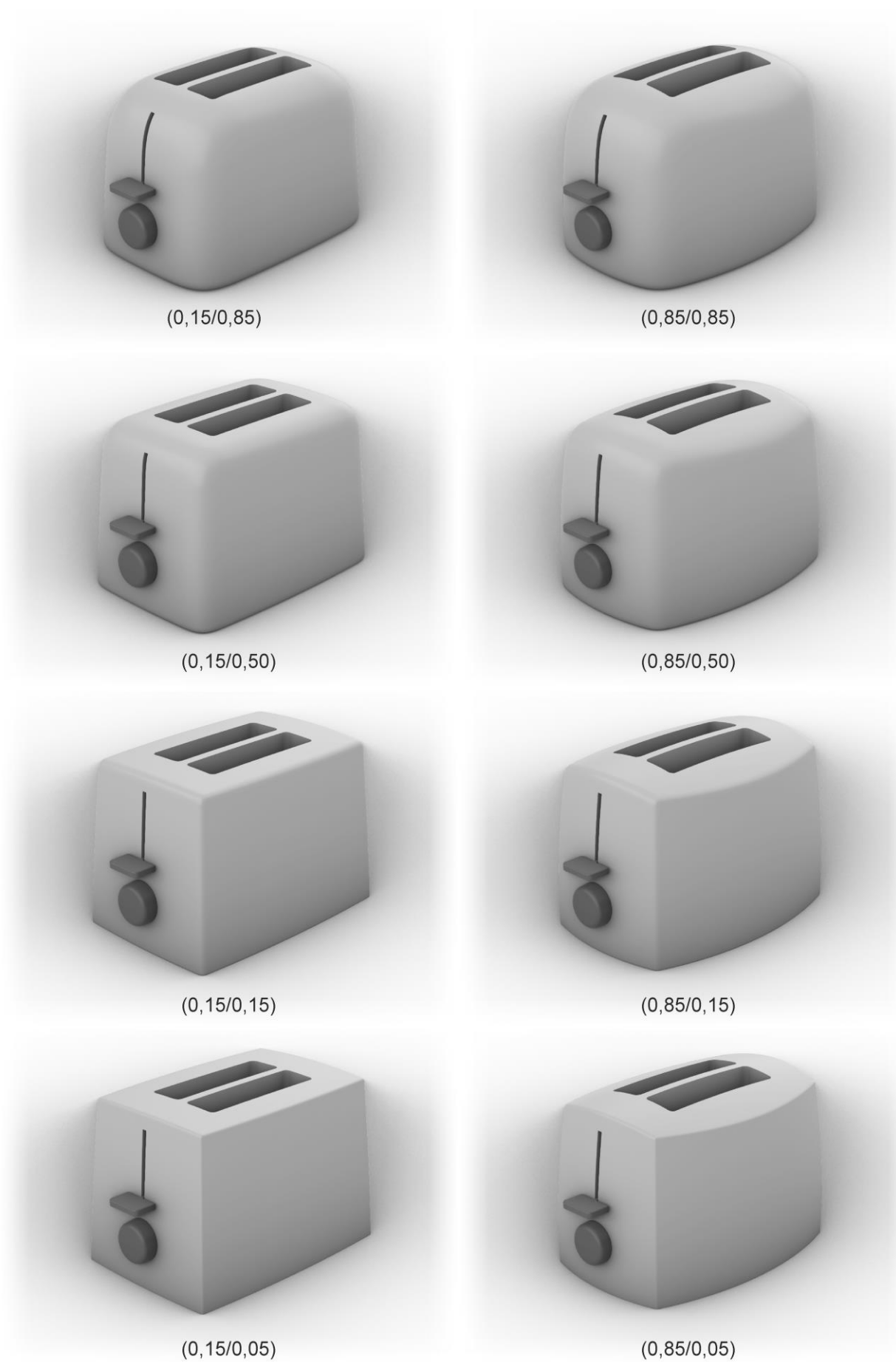
### A3 Studie 2: Produktkategorie

- Innerhalb einer Marke würde ich ... Formabweichungen zulassen (Kundensicht)
  - Elektrohandwerkzeuge  
 sehr geringe    ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○    sehr große  
                          1 2 3 4 5 6 7
  - Küchengeräte  
 sehr geringe    ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○    sehr große  
                          1 2 3 4 5 6 7
  - Haushaltsgeräte  
 sehr geringe    ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○    sehr große  
                          1 2 3 4 5 6 7

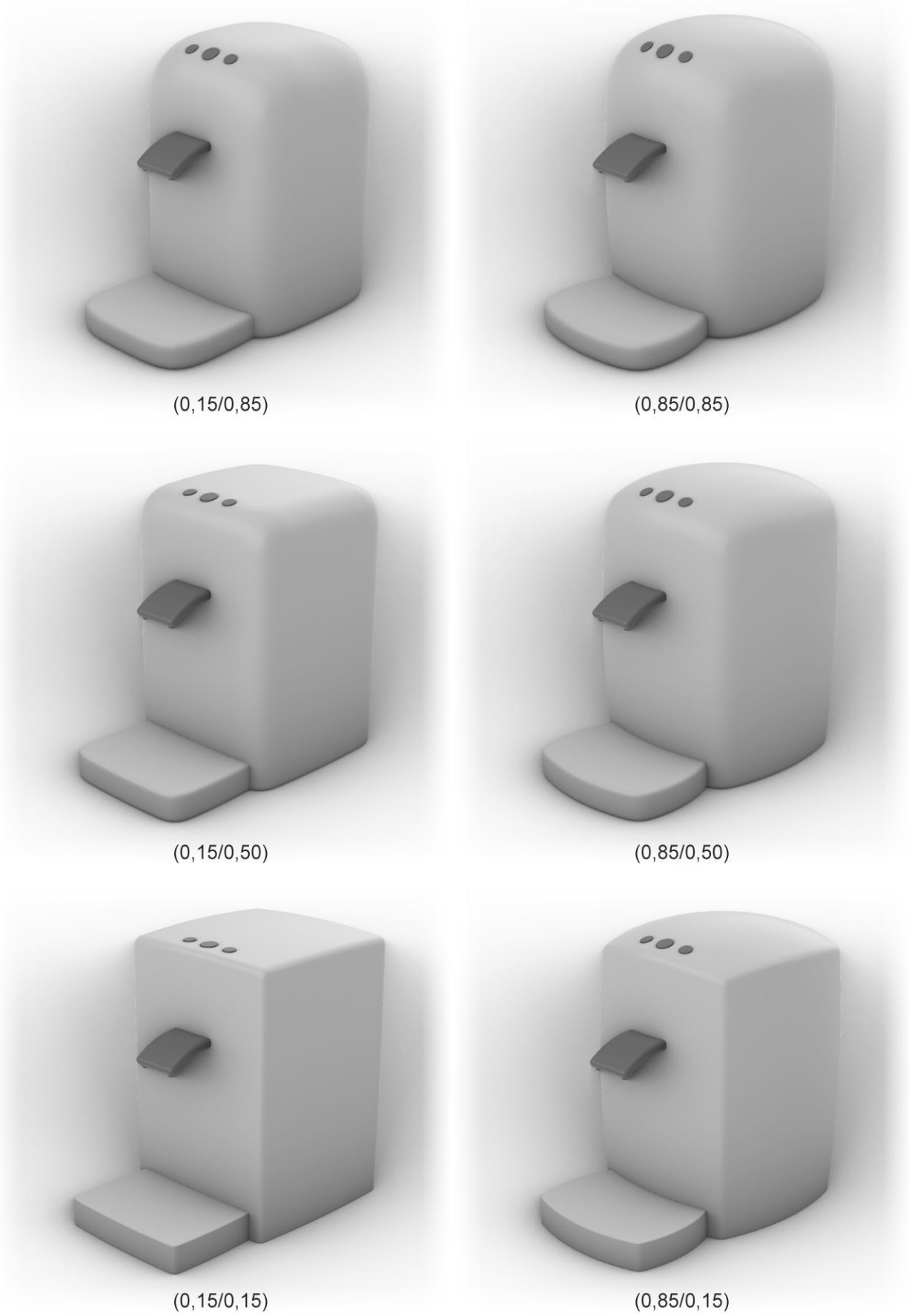
**Abbildung A.6:** Fragebogenergänzung der Nachbefragung, Studie 2



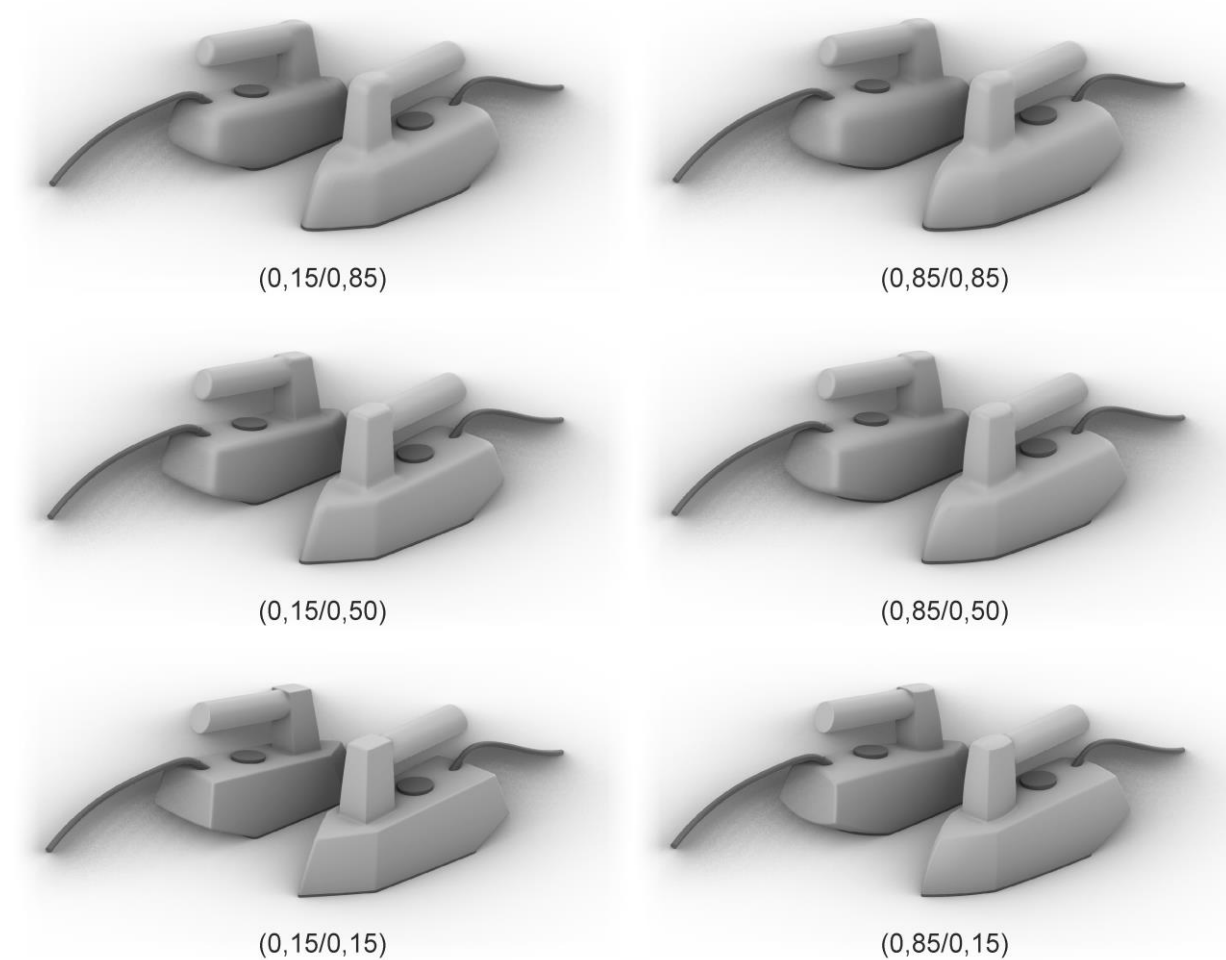
**Abbildung A.7:** Reizmusterergänzung Akkuschauber (AS), Farbe 1a & 3



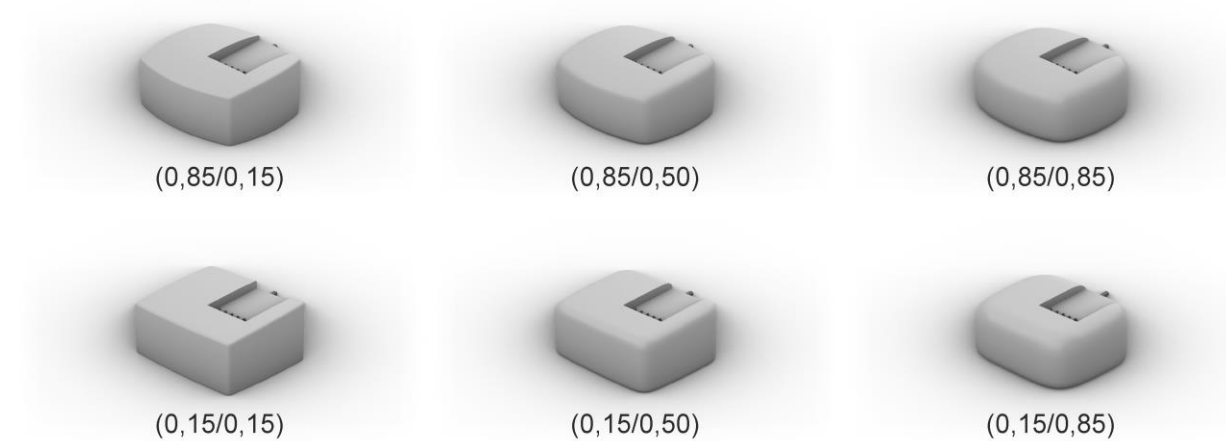
**Abbildung A.8:** Reizmuster Toaster (TR), Farbe 1a & 3



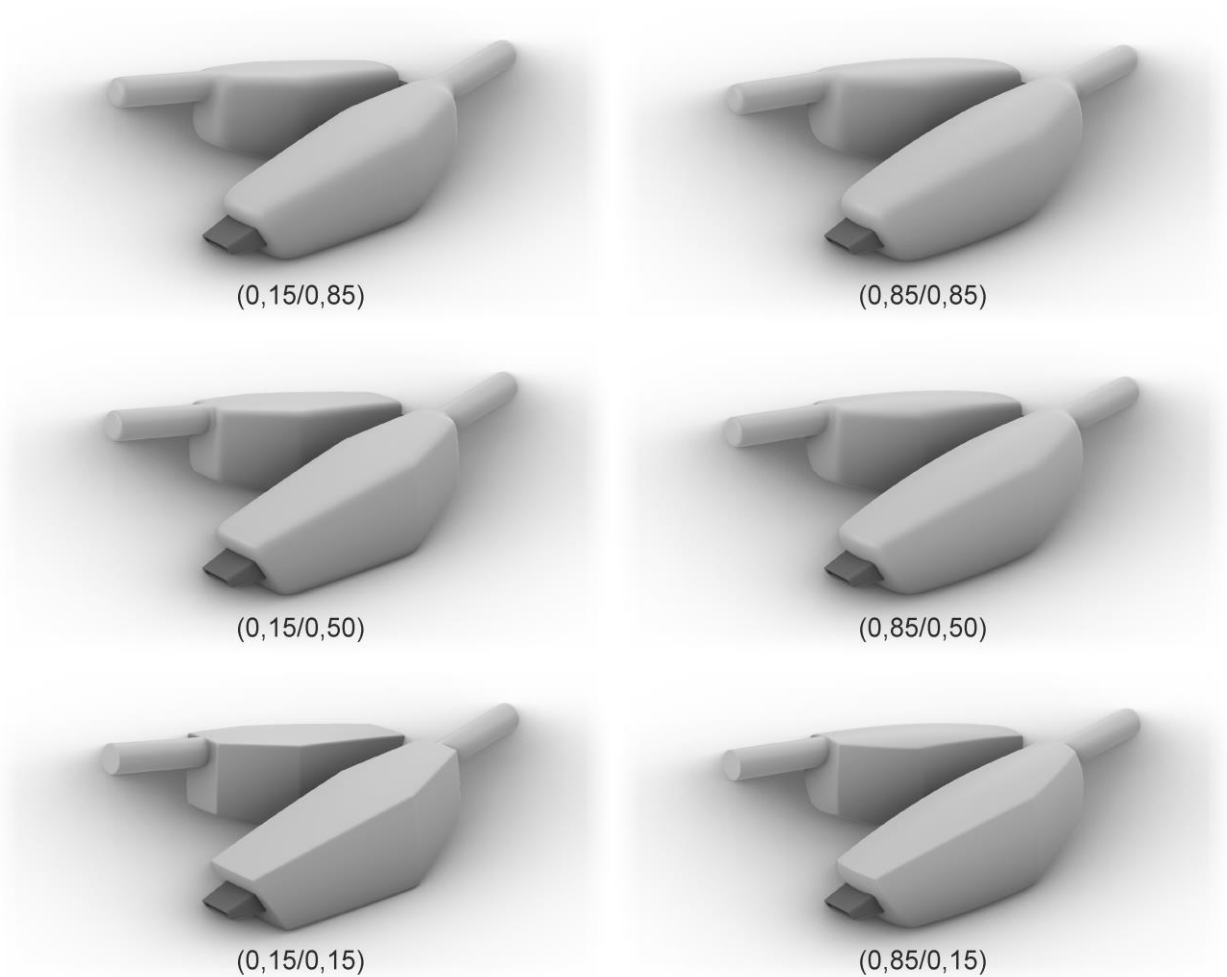
**Abbildung A.9:** Reizmuster Kaffeemaschine (KM), Farbe 1a & 3



**Abbildung A.10:** Reizmuster Bügeleisen (BE), Farbe 1a & 3



**Abbildung A.11:** Reizmuster Ladegerät (LG), Farbe 1a & 3



**Abbildung A.12:** Reizmuster Handstaubsauger (HS), Farbe 1a & 3

Paarung		Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>p</i> <sub>Korr</sub>	<i>d</i>	Effekt
EHW	KG	0,750	0,370	-0,005	1,505	2,026	0,051	0,103	0,358	klein
EHW	HG	-0,125	0,294	-0,724	0,474	-0,426	0,673	0,673	0,075	-
KG	HG	-0,875	0,287	-1,460	-0,290	-3,053	0,005 **	0,014 *	0,540	mittel

**Tabelle A.16:** Zugelassene Formabweichung Post-Hoc-Test (*t*-Test), Studie 2

Produktkategorie	$\chi^2(4)$	<i>p</i>
EHW	40,250	0,000 ***
KG	38,875	0,000 ***
HG	38,825	0,000 ***

**Tabelle A.17:** Einkaufsverhalten Friedman-Test pro Produktkategorie, Studie 2



P.-Kategorie	Kombination		z	p	$p_{Korr}$	r	Effekt
EHW	Marke	Ästhetik	-1,469	0,000 ***	0,002 **	0,260	klein
	Marke	Leistung	-1,000	0,011 *	0,046 *	0,177	klein
	Marke	Ergonomie	-0,438	0,268	0,805	0,077	-
	Marke	Preis	-0,188	0,635	0,635	0,033	-
	Ästhetik	Leistung	-2,469	0,000 ***	0,000 ***	0,436	mittel
	Ästhetik	Ergonomie	-1,031	0,009 **	0,045 *	0,182	klein
	Ästhetik	Preis	-1,281	0,001 **	0,008 **	0,226	klein
	Leistung	Ergonomie	-1,438	0,000 ***	0,002 **	0,254	klein
	Leistung	Preis	-1,188	0,003 **	0,016 *	0,210	klein
	Ergonomie	Preis	-0,250	0,527	1,000	0,044	-
KG	Marke	Ästhetik	-0,094	0,813	0,813	0,017	-
	Marke	Leistung	-1,469	0,000 ***	0,002 **	0,260	klein
	Marke	Ergonomie	-0,656	0,097	0,291	0,116	klein
	Marke	Preis	-1,125	0,004 **	0,027 *	0,199	klein
	Ästhetik	Leistung	-1,375	0,001 ***	0,004 **	0,243	klein
	Ästhetik	Ergonomie	-0,750	0,058	0,231	0,133	klein
	Ästhetik	Preis	-1,031	0,009 **	0,045 *	0,182	klein
	Leistung	Ergonomie	-2,125	0,000 ***	0,000 ***	0,376	mittel
	Leistung	Preis	-0,344	0,385	0,769	0,061	-
	Ergonomie	Preis	-1,781	0,000 ***	0,000 ***	0,315	mittel
HG	Marke	Ästhetik	-0,406	0,304	0,912	0,072	-
	Marke	Leistung	-1,781	0,000 ***	0,000 ***	0,315	mittel
	Marke	Ergonomie	-0,063	0,874	0,874	0,011	-
	Marke	Preis	-0,719	0,069	0,276	0,127	klein
	Ästhetik	Leistung	-2,188	0,000 ***	0,000 ***	0,387	mittel
	Ästhetik	Ergonomie	-0,344	0,385	0,769	0,061	-
	Ästhetik	Preis	-1,125	0,004 **	0,031 *	0,199	klein
	Leistung	Ergonomie	-1,844	0,000 ***	0,000 ***	0,326	mittel
	Leistung	Preis	-1,063	0,007 **	0,043 *	0,188	klein
	Ergonomie	Preis	-0,781	0,048 *	0,241	0,138	klein

**Tabelle A.18:** Einkaufsverhalten Post-Hoc-Test (Dunn-Test) pro Produktkategorie, Studie 2

Kriterium	$\chi^2(2)$	p
Marke	5,609	0,061
Ästhetik	15,906	0,000 ***
Leistung	3,464	0,177
Ergonomie	20,025	0,000 ***
Preis	10,464	0,005 **

**Tabelle A.19:** Einkaufsverhalten Studie 2 Friedman-Test pro Kriterium

Kriterium	Kombination		z	p	$p_{Korr}$	r	Effekt
Ästhetik	EHW	KG	-0,813	0,001 **	0,003 **	0,144	klein
	EHW	HG	-0,406	0,104	0,104	0,072	-
	KG	HG	-0,406	0,104	0,208	0,072	-
Ergonomie	EHW	KG	-0,875	0,000 ***	0,001 **	0,155	klein
	EHW	HG	-0,297	0,235	0,235	0,052	-
	KG	HG	-0,578	0,021 *	0,042 *	0,102	klein
Preis	EHW	KG	-0,594	0,018 *	0,053	0,105	klein
	EHW	HG	-0,297	0,235	0,235	0,052	-
	KG	HG	-0,297	0,235	0,470	0,052	-

**Tabelle A.20:** Einkaufsverhalten Post-Hoc-Test (Dunn-Test) pro Kriterium, Studie 2

	Elektrohandwerkzeuge			Küchengeräte			Haushaltsgeräte		
	Inter- resse	zugelas- sene For- mabweichung	Häufig- keit Nut- zung	Inter- resse	zugelas- sene For- mabweichung	Häufig- keit Nut- zung	Inter- resse	zugelas- sene For- mabweichung	Häufig- keit Nut- zung
zugelas- sene For- mabweichung	$r_p$ -0,263	-	-	0,222	-	-	-0,267	-	-
	$\rho$ 0,146	-	-	0,221	-	-	0,139	-	-
Bedeutung äußere Produktge- stalt	$r_p$ 0,159	-0,019	-	0,053	-0,360	-	0,167	-0,282	-
	$\rho$ 0,386	0,919	-	0,773	0,043 *	-	0,361	0,118	-
Häufigkeit Nutzung	$r_s$ -0,666	-0,137	-	-0,150	0,200	-	-0,151	0,120	-
	$\rho$ 0,000 ***	0,456	-	0,412	0,273	-	0,409	0,513	-
Rang der Marke bei Einkauf	$r_s$ -0,179	0,222	-0,062	-0,349	0,075	0,211	-0,159	0,222	0,240
	$\rho$ 0,328	0,221	0,735	0,050	0,683	0,247	0,384	0,221	0,186

Korrelation nach Pearson  $r_p$ ; Korrelation nach Spearman  $r_s$

**Tabelle A.21:** Korrelationen der ergänzenden Fragen, Studie 2

Referenz- produkt	Vergleichs- produkt	$\alpha$	$\beta$	$\psi^{-1}$ (0,25)	$\psi^{-1}$ (0,5)	$\psi^{-1}$ (0,75)	$R^2$	$F(2,3) =$	$p$	$\rho_{Korr}$
AS- (0,15/0,15)	WSg- (0,15/0,15+ $\Delta$ )	0,191	7,408	0,100	0,191	0,282	0,975	57,802	0,004 **	0,028 *
AS- (0,15/0,85)	WSg- (0,15/0,85- $\Delta$ )	0,436	7,303	0,344	0,436	0,528	0,982	81,431	0,002 **	0,022 *
AS- (0,50/0,05)	WSg- (0,50/0,05+ $\Delta$ )	0,187	8,926	0,111	0,187	0,262	0,946	26,399	0,012 *	0,025 *
AS- (0,50/0,15)	WSg- (0,50/0,15+ $\Delta$ )	0,185	6,161	0,076	0,185	0,295	0,943	24,844	0,014 *	0,014 *
AS- (0,50/0,25)	WSg- (0,50/0,25+ $\Delta$ )	0,238	7,993	0,154	0,238	0,322	0,994	270,163	0,000 ***	0,007 **
AS- (0,50/0,75)	WSg- (0,50/0,75- $\Delta$ )	0,396	12,864	0,343	0,396	0,448	0,998	740,318	0,000 ***	0,002 **
AS- (0,50/0,85)	WSg- (0,50/0,85- $\Delta$ )	0,468	7,625	0,379	0,468	0,556	0,982	81,382	0,002 **	0,019 *
AS- (0,50/0,95)	WSg- (0,50/0,95- $\Delta$ )	0,509	6,741	0,409	0,509	0,609	0,994	249,583	0,000 ***	0,007 **
AS- (0,85/0,15)	WSg- (0,85/0,15+ $\Delta$ )	0,305	5,788	0,189	0,305	0,422	0,971	50,774	0,005 **	0,029 *
AS- (0,85/0,85)	WSg- (0,85/0,85- $\Delta$ )	0,355	6,157	0,246	0,355	0,465	0,962	38,300	0,007 **	0,029 *
BE- (0,15/0,15)	HS- (0,15/0,15+ $\Delta$ )	0,123	10,780	0,060	0,123	0,185	0,984	90,063	0,002 **	0,023 *
BE- (0,15/0,85)	HS- (0,15/0,85- $\Delta$ )	0,487	8,398	0,407	0,487	0,567	0,991	173,975	0,001 ***	0,010 *
BE- (0,85/0,15)	HS- (0,85/0,15+ $\Delta$ )	0,120	8,895	0,044	0,120	0,196	0,982	83,519	0,002 **	0,023 *
BE- (0,85/0,85)	HS- (0,85/0,85- $\Delta$ )	0,518	7,158	0,424	0,518	0,612	0,989	139,065	0,001 **	0,013 *
TR- (0,15/0,05)	KM- (0,15/0,05+ $\Delta$ )	0,138	17,636	0,099	0,138	0,176	0,965	41,294	0,007 **	0,033 *
TR- (0,15/0,15)	KM- (0,15/0,15+ $\Delta$ )	0,191	10,598	0,127	0,191	0,255	0,993	199,485	0,001 ***	0,009 **

**Tabelle A.22:** S-Kurve Regression auf Basis der dichotomen Verteilung,  $H_{2.1}$  (Teil 1/2)

Referenz- produkt	Vergleichs- produkt	$\alpha$	$\beta$	$\Psi^{-1}$ (0,25)	$\Psi^{-1}$ (0,5)	$\Psi^{-1}$ (0,75)	$R^2$	$F(2,3) =$	$p$	$p_{Korr}$
TR- (0,15/0,85)	KM- (0,15/0,85- $\Delta$ )	0,478	9,572	0,407	0,478	0,548	0,996	359,221	0,000 ***	0,005 **
TR- (0,85/0,05)	KM- (0,85/0,05+ $\Delta$ )	0,137	17,397	0,098	0,137	0,175	0,998	942,750	0,000 ***	0,001 **
TR- (0,85/0,15)	KM- (0,85/0,15+ $\Delta$ )	0,178	7,882	0,092	0,178	0,263	0,958	33,976	0,009 **	0,026 *
TR- (0,85/0,85)	KM- (0,85/0,85- $\Delta$ )	0,571	15,443	0,527	0,571	0,614	1,000	1510173,997	0,000 ***	0,000 ***

**Tabelle A.22:** S-Kurve Regression auf Basis der dichotomen Verteilung,  $H_{2.1}$  (Teil 2/2)

Referenz- produkt	Vergleichs- produkt	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\lambda$	$\Psi^{-1}$ (0,5)	$R^2$	$F$	$p$	$p_{Korr}$
AS- (0,15/0,15)	WSg- (0,15/0,15+ $\Delta$ )	0,157	7,092	0,000	0,123	0,182	0,993	(3, 2) = 94,538	0,028 *	0,358
AS- (0,15/0,85)	WSg- (0,15/0,85- $\Delta$ )	0,401	8,014	0,107	0,238	0,432	1,000	(4, 1) = 517,992	0,033 *	0,329
AS- (0,50/0,05)	WSg- (0,50/0,05+ $\Delta$ )	0,154	9,896	0,000	0,184	0,183	0,977	(3, 2) = 27,825	0,089	0,355
AS- (0,50/0,15)	WSg- (0,50/0,15+ $\Delta$ )	0,111	8,323	0,000	0,244	0,161	0,992	(3, 2) = 87,492	0,030 *	0,357
AS- (0,50/0,25)	WSg- (0,50/0,25+ $\Delta$ )	0,203	7,346	0,144	0,199	0,217	0,993	(4, 1) = 37,910	0,121	0,363
AS- (0,50/0,75)	WSg- (0,50/0,75- $\Delta$ )	0,393	7,642	0,087	0,100	0,396	1,000	(4, 1) = 19374,831	0,005 **	0,092
AS- (0,50/0,85)	WSg- (0,50/0,85- $\Delta$ )	0,508	5,269	0,104	0,000	0,480	1,000	(3, 2) = 21233,215	0,000 ***	0,003 **
AS- (0,50/0,95)	WSg- (0,50/0,95- $\Delta$ )	0,446	5,456	0,069	0,210	0,491	0,992	(4, 1) = 29,661	0,137	0,274
AS- (0,85/0,15)	WSg- (0,85/0,15+ $\Delta$ )	0,209	5,862	0,000	0,275	0,294	0,999	(3, 2) = 576,951	0,005 **	0,083
AS- (0,85/0,85)	WSg- (0,85/0,85- $\Delta$ )	0,309	6,062	0,000	0,188	0,357	0,992	(3, 2) = 78,466	0,033 *	0,297
BE- (0,15/0,15)	HS- (0,15/0,15+ $\Delta$ )	0,113	9,132	0,000	0,090	0,127	0,999	(3, 2) = 489,861	0,005 **	0,087
BE- (0,15/0,85)	HS- (0,15/0,85- $\Delta$ )	0,444	8,400	0,107	0,273	0,485	0,998	(4, 1) = 120,861	0,068	0,341
BE- (0,85/0,15)	HS- (0,85/0,15+ $\Delta$ )	0,086	6,099	0,000	0,096	0,108	0,994	(3, 2) = 118,819	0,022 *	0,330
BE- (0,85/0,85)	HS- (0,85/0,85- $\Delta$ )	0,437	9,003	0,122	0,399	0,526	0,985	(4, 1) = 16,673	0,181	0,181
TR- (0,15/0,05)	KM- (0,15/0,05+ $\Delta$ )	0,131	11,364	0,000	0,063	0,139	0,984	(3, 2) = 40,552	0,062	0,374
TR- (0,15/0,15)	KM- (0,15/0,15+ $\Delta$ )	0,164	8,931	0,000	0,148	0,189	0,992	(3, 2) = 86,674	0,030 *	0,330
TR- (0,15/0,85)	KM- (0,15/0,85- $\Delta$ )	0,495	6,960	0,103	0,000	0,474	1,000	(3, 2) = 1654,251	0,002 **	0,031 *
TR- (0,85/0,05)	KM- (0,85/0,05+ $\Delta$ )	0,119	11,895	0,000	0,110	0,132	0,993	(3, 2) = 101,569	0,026 *	0,360
TR- (0,85/0,15)	KM- (0,85/0,15+ $\Delta$ )	0,147	8,531	0,000	0,168	0,177	0,986	(3, 2) = 46,424	0,055	0,384
TR- (0,85/0,85)	KM- (0,85/0,85- $\Delta$ )	0,472	20,090	0,047	0,505	-	0,999	(4, 1) = 190,831	0,054	0,434

$F$ -Statistik: Reduzierte Freiheitsgrade wenn  $\gamma = 0$  oder  $\lambda = 0$

**Tabelle A.23:** S-Kurve Regression auf Basis der Mittelwerte,  $H_{2.1}$

AV	F	p	$\eta_p^2$	Effekt	Korrektur
Produktkategorie	(2, 62) = 10,866	0,000 ***	0,260	groß	-
Referenzpunkt	(2,155, 66,814) = 317,951	0,000 ***	0,911	groß	Greenhouse-Geisser
Differenzen ( $\Delta = 0,15$ & $0,25$ & $0,35$ & $0,45$ )	(2,235, 69,283) = 269,238	0,000 ***	0,897	groß	Greenhouse-Geisser
Produktkategorie* Referenzpunkt	(6, 186) = 34,800	0,000 ***	0,529	groß	-
Produktkategorie* Differenzen	(6, 186) = 4,092	0,001 ***	0,117	mittel	-
Referenzpunkt* Differenzen	(9, 279) = 6,219	0,000 ***	0,167	groß	-
Produktkategorie* Referenzpunkt* Differenzen	(18, 558) = 2,050	0,007 **	0,062	mittel	-

**Tabelle A.24:** Mehrfaktorielle Anova mit Messwdh., H<sub>2.2</sub>

Paarung Produktkategorie		Mittelwert- differenz	Std.- Fehler	95% Konfidenz- intervall		t	p	$p_{korr}$	d	Effekt
EHW	KG	-0,042	0,021	-0,084	0,001	-2,006	0,054	0,054	0,355	klein
EHW	HG	0,043	0,018	0,007	0,080	2,407	0,022 *	0,044 *	0,426	klein
KG	HG	0,085	0,016	0,053	0,117	5,470	0,000 ***	0,000 ***	0,967	groß

**Tabelle A.25:** Multiple Paarvergleiche (t-Test), H<sub>2.2</sub> (Produktkategorien)

Paarung Referenzpunkt		Mittelwert- differenz	Std.- Fehler	95% Konfidenz- intervall		t	p	$p_{korr}$	d	Effekt
(0,15/0,15)	(0,15/0,85)	-0,471	0,024	-0,520	-0,422	-19,585	0,000 ***	0,000 ***	3,462	groß
(0,15/0,15)	(0,85/0,15)	-0,073	0,017	-0,108	-0,039	-4,346	0,000 ***	0,000 ***	0,768	mittel
(0,15/0,15)	(0,85/0,85)	-0,492	0,023	-0,539	-0,446	-21,660	0,000 ***	0,000 ***	3,829	groß
(0,15/0,85)	(0,85/0,15)	0,397	0,021	0,354	0,441	18,692	0,000 ***	0,000 ***	3,304	groß
(0,15/0,85)	(0,85/0,85)	-0,021	0,014	-0,050	0,007	-1,520	0,139	0,139	0,269	klein
(0,85/0,15)	(0,85/0,85)	-0,419	0,022	-0,464	-0,373	-18,791	0,000 ***	0,000 ***	3,322	groß

**Tabelle A.26:** Multiple Paarvergleiche (t-Test), H<sub>2.2</sub> (Referenzpunkte)

Ref.- P.	Paarung Pro- duktkategorie		Mittelwert- differenz	Std.- Fehler	95% Konfidenz- intervall		t	p	$p_{korr}$	d	Effekt
(0,15/ 0,15)	EHW	KG	-0,006	0,031	-0,069	0,056	-0,204	0,840	1,000	0,036	-
	EHW	HG	0,113	0,025	0,062	0,163	4,518	0,000 ***	0,001 ***	0,799	mittel
	KG	HG	0,119	0,031	0,056	0,181	3,881	0,001 ***	0,003 **	0,686	mittel
(0,15/ 0,85)	EHW	KG	-0,058	0,035	-0,129	0,013	-1,662	0,107	0,320	0,294	klein
	EHW	HG	-0,063	0,037	-0,138	0,013	-1,691	0,101	0,403	0,299	klein
	KG	HG	-0,005	0,025	-0,056	0,047	-0,186	0,854	0,854	0,033	-

**Tabelle A.27:** Multiple Paarvergleiche (t-Test), H<sub>2.2</sub> (Produktkategorie pro Referenzpunkte) (Teil 1/2)

Ref.-P.	Paarung Produktkategorie		Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>p<sub>korr</sub></i>	<i>d</i>	Effekt
(0,85/0,15)	EHW	KG	0,200	0,037	0,125	0,275	5,472	0,000 ***	0,000 ***	0,967	groß
	EHW	HG	0,291	0,032	0,225	0,357	8,988	0,000 ***	0,000 ***	1,589	groß
	KG	HG	0,091	0,036	0,017	0,164	2,521	0,017 *	0,085	0,446	klein
(0,85/0,85)	EHW	KG	-0,303	0,029	-0,363	-0,244	-10,388	0,000 ***	0,000 ***	1,836	groß
	EHW	HG	-0,167	0,030	-0,229	-0,105	-5,511	0,000 ***	0,000 ***	0,974	groß
	KG	HG	0,136	0,019	0,097	0,175	7,124	0,000 ***	0,000 ***	1,259	groß

**Tabelle A.27:** Multiple Paarvergleiche (*t*-Test), H<sub>2.2</sub> (Produktkategorie pro Referenzpunkte) (Teil 2/2)

	Paarung Referenzpunkt		Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>p<sub>korr</sub></i>	<i>d</i>	Effekt
EHW	(0,15/0,15)	(0,15/0,85)	-0,395	0,043	-0,484	-0,307	-9,101	0,000 ***	0,000 ***	1,609	groß
	(0,15/0,15)	(0,85/0,15)	-0,202	0,028	-0,259	-0,144	-7,109	0,000 ***	0,000 ***	1,257	groß
	(0,15/0,15)	(0,85/0,85)	-0,300	0,041	-0,384	-0,216	-7,279	0,000 ***	0,000 ***	1,287	groß
	(0,15/0,85)	(0,85/0,15)	0,194	0,035	0,123	0,265	5,585	0,000 ***	0,000 ***	0,987	groß
	(0,15/0,85)	(0,85/0,85)	0,095	0,032	0,030	0,160	2,992	0,005 **	0,027 *	0,529	mittel
	(0,85/0,15)	(0,85/0,85)	-0,098	0,040	-0,179	-0,018	-2,488	0,018 *	0,074	0,440	klein
KG	(0,15/0,15)	(0,15/0,85)	-0,447	0,026	-0,500	-0,394	-17,264	0,000 ***	0,000 ***	3,052	groß
	(0,15/0,15)	(0,85/0,15)	0,005	0,028	-0,053	0,062	0,166	0,869	0,869	0,029	-
	(0,15/0,15)	(0,85/0,85)	-0,597	0,024	-0,645	-0,548	-25,128	0,000 ***	0,000 ***	4,442	groß
	(0,15/0,85)	(0,85/0,15)	0,452	0,031	0,388	0,515	14,423	0,000 ***	0,000 ***	2,550	groß
	(0,15/0,85)	(0,85/0,85)	-0,150	0,023	-0,198	-0,102	-6,400	0,000 ***	0,000 ***	1,131	groß
	(0,85/0,15)	(0,85/0,85)	-0,602	0,025	-0,653	-0,550	-24,016	0,000 ***	0,000 ***	4,245	groß
HG	(0,15/0,15)	(0,15/0,85)	-0,570	0,032	-0,636	-0,505	-17,836	0,000 ***	0,000 ***	3,153	groß
	(0,15/0,15)	(0,85/0,15)	-0,023	0,023	-0,070	0,023	-1,034	0,309	0,928	0,183	-
	(0,15/0,15)	(0,85/0,85)	-0,580	0,032	-0,646	-0,514	-17,866	0,000 ***	0,000 ***	3,158	groß
	(0,15/0,85)	(0,85/0,15)	0,547	0,032	0,481	0,613	16,933	0,000 ***	0,000 ***	2,993	groß
	(0,15/0,85)	(0,85/0,85)	-0,009	0,018	-0,046	0,027	-0,528	0,601	1,000	0,093	-
	(0,85/0,15)	(0,85/0,85)	-0,556	0,036	-0,630	-0,483	-15,463	0,000 ***	0,000 ***	2,733	groß

**Tabelle A.28:** Multiple Paarvergleiche (*t*-Test), H<sub>2.2</sub> (Referenzpunkte pro Produktkategorien)

		$\Delta$	Pearson-Korrelation			Spearman-Korrelation		
			Interesse	zugelassene Formabweichung	Bedeutung äußere Produktgestalt	Häufigkeit Nutzung	Rang der Marke bei Einkauf	
AS-(0,15/0,15) &	WSg-(0,15/0,15+ $\Delta$ )	0,05	r	-0,139	-0,097	-0,214	0,188	0,045
			p	0,449	0,598	0,239	0,303	0,808
		0,15	r	0,239	-0,277	0,112	0,056	0,090
			p	0,188	0,124	0,542	0,760	0,625
		0,25	r	0,301	0,103	0,149	-0,218	-0,020
			p	0,094	0,574	0,415	0,230	0,911
		0,35	r	0,176	0,041	0,098	-0,132	-0,204
			p	0,335	0,823	0,593	0,470	0,264
		0,45	r	0,069	0,244	0,075	-0,049	0,184
			p	0,709	0,178	0,682	0,790	0,313
AS-(0,15/0,85) &	WSg-(0,15/0,85- $\Delta$ )	0,15	r	-0,002	-0,010	0,021	-0,035	-0,026
			p	0,989	0,957	0,910	0,848	0,889
		0,25	r	0,150	-0,077	0,228	-0,174	0,028
			p	0,414	0,675	0,209	0,342	0,881
		0,35	r	0,045	0,160	-0,038	0,129	0,041
			p	0,806	0,383	0,835	0,482	0,823
		0,45	r	0,302	0,216	0,010	-0,286	0,149
			p	0,093	0,235	0,956	0,112	0,415
		0,55	r	0,187	0,033	-0,066	-0,082	-0,129
			p	0,307	0,858	0,721	0,654	0,481
AS-(0,85/0,15) &	WSg-(0,85/0,15+ $\Delta$ )	0,05	r	0,162	-0,308	-0,008	-0,160	0,079
			p	0,375	0,086	0,967	0,383	0,669
		0,15	r	0,002	0,199	0,052	-0,004	-0,021
			p	0,993	0,274	0,779	0,982	0,911
		0,25	r	0,230	0,020	-0,019	-0,064	0,044
			p	0,205	0,915	0,916	0,729	0,810
		0,35	r	0,157	0,100	0,087	-0,238	0,135
			p	0,392	0,586	0,635	0,189	0,461
		0,45	r	0,269	0,149	-0,225	-0,241	0,079
			p	0,137	0,417	0,215	0,185	0,668
AS-(0,85/0,85) &	WSg-(0,85/0,85- $\Delta$ )	0,15	r	-0,258	0,013	-0,059	0,186	0,137
			p	0,154	0,945	0,750	0,309	0,456
		0,25	r	0,064	-0,017	-0,189	-0,031	-0,196
			p	0,726	0,925	0,301	0,865	0,282
		0,35	r	-0,036	-0,010	-0,237	0,187	-0,079
			p	0,843	0,958	0,191	0,305	0,667
		0,45	r	-0,054	0,114	-0,202	0,421	-0,272
			p	0,770	0,534	0,268	0,016 *	0,132
		0,55	r	0,176	0,091	-0,026	-0,064	-0,315
			p	0,334	0,620	0,888	0,727	0,080
TR-(0,15/0,15) &	KM-(0,15/0,15+ $\Delta$ )	0,05	r	-0,241	-0,094	-0,018	0,137	-0,016
			p	0,184	0,607	0,923	0,455	0,931
		0,15	r	-0,013	0,205	0,035	-0,010	0,064
			p	0,943	0,259	0,851	0,956	0,729
		0,25	r	-0,201	0,138	-0,152	0,021	0,211
			p	0,270	0,451	0,407	0,911	0,245
		0,35	r	-0,270	-0,063	-0,413	0,031	0,331
			p	0,136	0,733	0,019 *	0,866	0,064
		0,45	r	0,163	0,376	-0,123	0,117	0,049
			p	0,374	0,034 *	0,502	0,522	0,790

**Tabelle A.29:** Korrelationen Markenzugehörigkeitsbewertungen und ergänzende Fragen, Studie 2 (Teil 1/3)

	$\Delta$		Pearson-Korrelation			Spearman-Korrelation		
			Interesse	zugelassene Formabweichung	Bedeutung äußere Produktgestalt	Häufigkeit Nutzung	Rang der Marke bei Einkauf	
TR-(0,15/0,85) &	KM-(0,15/0,85- $\Delta$ )	0,15	r	0,163	-0,074	-0,067	-0,346	-0,132
			p	0,373	0,689	0,717	0,053	0,472
		0,25	r	-0,098	-0,203	0,182	-0,268	0,123
			p	0,594	0,266	0,318	0,138	0,503
		0,35	r	-0,068	-0,098	-0,230	0,041	0,103
			p	0,710	0,594	0,205	0,825	0,576
		0,45	r	-0,113	-0,224	-0,114	0,000	0,398
			p	0,537	0,219	0,533	1,000	0,024 *
		0,55	r	-0,012	-0,236	-0,220	-0,080	0,053
			p	0,949	0,193	0,226	0,664	0,774
TR-(0,85/0,15) &	KM-(0,85/0,15+ $\Delta$ )	0,05	r	0,026	-0,070	0,125	-0,129	-0,135
			p	0,889	0,703	0,496	0,483	0,460
		0,15	r	0,311	0,282	-0,122	-0,121	0,081
			p	0,083	0,117	0,505	0,508	0,658
		0,25	r	-0,038	-0,034	-0,011	-0,108	0,035
			p	0,835	0,853	0,952	0,556	0,851
		0,35	r	-0,188	0,121	0,063	0,000	-0,021
			p	0,303	0,509	0,732	1,000	0,908
		0,45	r	-0,147	-0,061	-0,130	-0,194	-0,048
			p	0,424	0,742	0,477	0,287	0,793
TR-(0,85/0,85) &	KM-(0,85/0,85- $\Delta$ )	0,15	r	0,030	-0,038	0,052	0,086	0,107
			p	0,869	0,838	0,776	0,639	0,559
		0,25	r	0,133	-0,114	0,134	0,112	-0,008
			p	0,468	0,533	0,464	0,540	0,966
		0,35	r	0,066	-0,175	0,332	0,086	0,017
			p	0,720	0,338	0,064	0,640	0,928
		0,45	r	0,161	0,143	0,047	0,243	-0,012
			p	0,378	0,435	0,798	0,180	0,948
		0,55	r	-0,192	-0,013	0,172	0,294	0,142
			p	0,294	0,944	0,348	0,103	0,437
BE-(0,15/0,15) &	HS-(0,15/0,15+ $\Delta$ )	0,05	r	-0,389	0,030	-0,037	0,216	-0,078
			p	0,028 *	0,871	0,839	0,234	0,673
		0,15	r	-0,087	-0,008	0,140	-0,280	0,264
			p	0,635	0,967	0,446	0,120	0,144
		0,25	r	0,042	0,000	-0,149	-0,176	0,059
			p	0,817	1,000	0,417	0,334	0,747
		0,35	r	0,015	-0,251	0,018	-0,128	-0,090
			p	0,934	0,165	0,923	0,486	0,624
		0,45	r	0,008	0,017	-0,046	-0,137	0,061
			p	0,966	0,926	0,804	0,455	0,740
BE-(0,15/0,85) &	HS-(0,15/0,85- $\Delta$ )	0,15	r	-0,383	0,115	0,064	-0,165	-0,232
			p	0,030 *	0,531	0,730	0,367	0,201
		0,25	r	-0,073	0,000	-0,095	0,173	0,123
			p	0,691	1,000	0,604	0,343	0,504
		0,35	r	0,228	-0,287	0,334	0,031	0,091
			p	0,210	0,112	0,062	0,867	0,622
		0,45	r	0,277	-0,183	-0,049	0,191	0,157
			p	0,125	0,316	0,791	0,296	0,390
		0,55	r	0,033	-0,265	0,219	-0,141	0,230
			p	0,857	0,143	0,229	0,441	0,205

**Tabelle A.29:** Korrelationen Markenzugehörigkeitsbewertungen und ergänzende Fragen, Studie 2 (Teil 2/3)

	$\Delta$	Pearson-Korrelation			Spearman-Korrelation		
		Interesse	zugelassene Formabweichung	Bedeutung äußere Produktgestalt	Häufigkeit Nutzung	Rang der Marke bei Einkauf	
BE-(0,85/0,15) & HS-(0,85/0,15+ $\Delta$ )	0,05	r	-0,189	0,146	0,007	-0,070	-0,035
		p	0,301	0,426	0,970	0,703	0,847
	0,15	r	-0,250	-0,007	-0,070	-0,109	-0,030
		p	0,167	0,969	0,703	0,551	0,873
	0,25	r	-0,068	0,187	-0,488	0,284	0,133
		p	0,713	0,306	0,005 **	0,115	0,468
0,35	r	-0,006	-0,063	0,037	-0,160	0,307	
	p	0,972	0,734	0,840	0,380	0,087	
0,45	r	0,155	-0,116	-0,016	-0,128	0,371	
	p	0,396	0,529	0,929	0,484	0,037 *	
BE-(0,85/0,85) & HS-(0,85/0,85- $\Delta$ )	0,15	r	-0,021	0,059	-0,065	0,136	-0,119
		p	0,909	0,747	0,725	0,459	0,518
	0,25	r	-0,130	-0,170	0,273	-0,063	0,027
		p	0,478	0,352	0,131	0,733	0,882
	0,35	r	-0,133	0,514	-0,308	0,230	0,111
		p	0,467	0,003 **	0,086	0,205	0,546
0,45	r	0,108	-0,107	0,054	-0,030	-0,050	
	p	0,555	0,558	0,768	0,870	0,786	
0,55	r	-0,328	-0,015	0,076	-0,191	0,080	
	p	0,067	0,936	0,678	0,294	0,663	

**Tabelle A.29:** Korrelationen Markenzugehörigkeitsbewertungen und ergänzende Fragen, Studie 2 (Teil 3/3)

AV	F	p	$\eta_p^2$	Effekt	Korrektur
Referenzkantenrundheit	(1, 31) = 41,326	0,000 ***	0,571	groß	-
Referenzflächenrundheit	(1, 31) = 0,004	0,949	0,000	-	-
Differenzen (5x $\Delta$ )	(4, 124) = 302,861	0,000 ***	0,907	groß	-
Referenzkantenrundheit* Referenzflächenrundheit	(1, 31) = 0,581	0,452	0,018	klein	-
Referenzkantenrundheit* Differenzen	(4, 124) = 2,999	0,021 *	0,088	mittel	-
Referenzflächenrundheit* Differenzen	(4, 124) = 1,830	0,127	0,056	klein	-
Referenzkantenrundheit* Referenzflächenrundheit* Differenzen	(3,533, 109,531) = 0,147	0,952	0,005	-	Huynh-Feldt

**Tabelle A.30:** Mehrfaktorielle Anova mit Messwdh., Ref.-KG bei  $wKR = 0,05$  und  $wKR = 0,15$ , H<sub>2.2</sub>-Ergänzung

AV	F	p	$\eta_p^2$	Effekt	Korrektur
Produktkategorie	(2, 62) = 35,571	0,000 ***	0,534	groß	-
Referenzflächenrundheit	(1, 31) = 12,092	0,002 **	0,281	groß	-
Differenzen (5x $\Delta$ )	(2,985, 92,550) = 312,535	0,000 ***	0,910	groß	Greenhouse-Geisser
Produktkategorie* Referenzflächenrundheit	(2, 62) = 23,579	0,000 ***	0,432	groß	-
Produktkategorie* Differenzen	(8, 248) = 2,534	0,011 *	0,076	mittel	-
Referenzflächenrundheit* Differenzen	(4, 124) = 3,923	0,005 **	0,112	mittel	-
Produktkategorie* Referenzflächenrundheit* Differenzen	(8, 248) = 0,475	0,873	0,015	klein	-

**Tabelle A.31:** Mehrfaktorielle Anova mit Messwdh., Ref.-KG- $wKR = 0,15$ , H<sub>2.2</sub>-Ergänzung



Paarung Produktkategorie		Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		$t$	$p$	$p_{\text{kor}}$	$d$	Effekt
EHW	KG	0,072	0,023	0,024	0,120	3,070	0,004 **	0,004 **	0,543	mittel
EHW	HG	0,193	0,021	0,150	0,235	9,176	0,000 ***	0,000 ***	1,622	groß
KG	HG	0,121	0,025	0,070	0,171	4,893	0,000 ***	0,000 ***	0,865	groß

**Tabelle A.32:** Multiple Paarvergleiche ( $t$ -Test), Ref.-KG- $wKR = 0,15$ ,  $H_{2,2}$ -Ergänzung (Produktkategorie)

Ref.-P.	Paarung Produktkategorie		Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		$t$	$p$	$p_{\text{kor}}$	$d$	Effekt
(0,15/0,15)	EHW	KG	-0,021	0,027	-0,077	0,034	-0,782	0,440	0,440	0,138	-
	EHW	HG	0,104	0,020	0,063	0,144	5,233	0,000 ***	0,000 ***	0,925	groß
	KG	HG	0,125	0,026	0,072	0,178	4,806	0,000 ***	0,000 ***	0,850	groß
(0,85/0,15)	EHW	KG	0,165	0,029	0,105	0,225	5,625	0,000 ***	0,000 ***	0,994	groß
	EHW	HG	0,281	0,030	0,219	0,343	9,252	0,000 ***	0,000 ***	1,635	groß
	KG	HG	0,116	0,032	0,052	0,181	3,668	0,001 ***	0,002 **	0,648	mittel

**Tabelle A.33:** Multiple Paarvergleiche ( $t$ -Test), Ref.-KG- $wKR = 0,15$ ,  $H_{2,2}$ -Ergänzung (Produktkategorie pro Referenzpunkt)

AV	$F$	$p$	$\eta_p^2$	Effekt	Korrektur
Produktkategorie	(2, 62) = 61,921	0,000 ***	0,666	groß	-
Referenzflächenrundheit	(1, 31) = 22,420	0,000 ***	0,420	groß	-
Differenzen (5x $\Delta$ )	(2,829, 87,684) = 305,312	0,000 ***	0,908	groß	Greenhouse-Geisser
Produktkategorie* Referenzflächenrundheit	(2, 62) = 23,108	0,000 ***	0,427	groß	-
Produktkategorie* Differenzen	(5,585, 173,140) = 6,651	0,000 ***	0,177	groß	Greenhouse-Geisser
Referenzflächenrundheit* Differenzen	(3,818, 118,368) = 4,449	0,003 **	0,125	mittel	Huynh-Feldt
Produktkategorie* Referenzflächenrundheit* Differenzen	F(8, 248) = 0,483	0,868	0,015	klein	-

**Tabelle A.34:** Mehrfaktorielle Anova mit Messwdh., Ref.-KG- $wKR = 0,05$ ,  $H_{2,2}$ -Ergänzung

Paarung Produktkategorie		Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		$t$	$p$	$p_{\text{kor}}$	$d$	Effekt
EHW	KG	0,179	0,018	0,143	0,216	10,095	0,000 ***	0,000 ***	1,785	groß
EHW	HG	0,193	0,021	0,150	0,235	9,176	0,000 ***	0,000 ***	1,622	groß
KG	HG	0,013	0,019	-0,026	0,052	0,687	0,497	0,497	0,121	-

**Tabelle A.35:** Multiple Paarvergleiche ( $t$ -Test), Ref.-KG- $wKR = 0,05$ ,  $H_{2,2}$ -Ergänzung (Produktkategorie)

Ref.-P.	Paarung Produktkategorie		Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>p<sub>korr</sub></i>	<i>d</i>	Effekt
(0,15/ 0,15)	EHW	KG	0,098	0,025	0,047	0,148	3,908	0,000 ***	0,001 **	0,691	mittel
	EHW	HG	0,104	0,020	0,063	0,144	5,233	0,000 ***	0,000 ***	0,925	groß
	KG	HG	0,006	0,022	-0,039	0,051	0,282	0,780	0,780	0,050	-
(0,85/ 0,15)	EHW	KG	0,261	0,023	0,215	0,308	11,500	0,000 ***	0,000 ***	2,033	groß
	EHW	HG	0,281	0,030	0,219	0,343	9,252	0,000 ***	0,000 ***	1,635	groß
	KG	HG	0,020	0,024	-0,028	0,068	0,844	0,405	0,810	0,149	-

**Tabelle A.36:** Multiple Paarvergleiche (*t*-Test), Ref.-KG-*wKR* = 0,05, H<sub>2.2</sub>-Ergänzung (Produktkategorie pro Referenzpunkt)

AV	<i>F</i>	<i>p</i>	$\eta_p^2$	Effekt	Korrektur
Differenzrichtung (+ $\Delta$ & - $\Delta$ )	(1, 31) = 147,349	0,000 ***	0,826	groß	-
Referenzkantenrundheit	(2, 62) = 14,021	0,000 ***	0,311	groß	-
Differenzen ( $\Delta$ = 0,15 & 0,25 & 0,35 & 0,45)	(2,724, 84,454) = 137,617	0,000 ***	0,816	groß	Huynh-Feldt
Differenzrichtung* Referenzkantenrundheit	(2, 62) = 2,018	0,141	0,061	mittel	-
Differenzrichtung* Differenzen	(3, 93) = 6,685	0,000 ***	0,177	groß	-
Referenzkantenrundheit* Differenzen	(6, 186) = 3,025	0,008 **	0,089	mittel	-
Differenzrichtung* Referenzkantenrundheit* Differenzen	(6, 186) = 1,543	0,166	0,047	klein	-

**Tabelle A.37:** Mehrfaktorielle Anova mit Messwdh., H<sub>2.3</sub>

$\Delta$	Paarung Referenzkantenrundheit		Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>p<sub>korr</sub></i>	<i>d</i>	Effekt
+ $\Delta$	0,05	0,15	-0,016	0,017	-0,051	0,020	-0,895	0,378	0,755	0,158	-
	0,05	0,25	-0,069	0,017	-0,104	-0,034	-4,030	0,000 ***	0,002 **	0,712	mittel
	0,15	0,25	-0,053	0,023	-0,099	-0,007	-2,344	0,026 *	0,077	0,414	klein
- $\Delta$	0,75	0,85	-0,072	0,020	-0,113	-0,031	-3,581	0,001 **	0,006 **	0,633	mittel
	0,75	0,95	-0,081	0,024	-0,131	-0,032	-3,335	0,002 **	0,009 **	0,590	mittel
	0,85	0,95	-0,009	0,020	-0,050	0,032	-0,466	0,645	0,645	0,082	-

**Tabelle A.38:** Multiple Paarvergleiche (*t*-Test), H<sub>2.3</sub> (Ref.-*wKR* pro Differenzrichtung)

AV	<i>F</i>	<i>p</i>	$\eta_p^2$	Effekt	Korrektur
Referenzkantenrundheit	(1, 31) = 81,233	0,000 ***	0,724	groß	-
Referenzflächenrundheit	(2, 62) = 4,354	0,017 *	0,123	mittel	-
Differenzen ( $\Delta$ = 0,15 & 0,25 & 0,35 & 0,45)	(2,227, 69,044) = 120,186	0,000 ***	0,795	groß	Greenhouse-Geisser
Referenzkantenrundheit* Referenzflächenrundheit	(1,681, 52,111) = 35,137	0,000 ***	0,531	groß	Huynh-Feldt
Referenzkantenrundheit* Differenzen	(3, 93) = 3,242	0,026 **	0,095	mittel	-
Referenzflächenrundheit* Differenzen	(6, 186) = 3,178	0,005 *	0,093	mittel	-
Referenzkantenrundheit* Referenzflächenrundheit* Differenzen	(6, 186) = 1,146	0,337	0,036	klein	-

**Tabelle A.39:** Mehrfaktorielle Anova mit Messwdh., H<sub>2.4</sub>

Paarung Referenz- flächenrundheit		Mittelwert- differenz	Std.- Fehler	95% Konfidenz- intervall		$t$	$p$	$p_{korr}$	$d$	Effekt
0,15	0,5	-0,030	0,016	-0,063	0,003	-1,836	0,076	0,152	0,325	klein
0,15	0,85	-0,053	0,018	-0,089	-0,017	-2,983	0,006 **	0,017 *	0,527	mittel
0,5	0,85	-0,023	0,020	-0,064	0,017	-1,175	0,249	0,249	0,208	klein

**Tabelle A.40:** Multiple Paarvergleiche ( $t$ -Test),  $H_{2.4}$  (Ref.- $wFR$ )

$wKR$	Paarung Referenz- flächenrundheit		Mittelwert- differenz	Std.- Fehler	95% Konfidenz- intervall		$t$	$p$	$p_{korr}$	$d$	Effekt
0,15	0,15	0,5	-0,028	0,023	-0,076	0,019	-1,206	0,237	0,474	0,213	klein
	0,15	0,85	-0,202	0,028	-0,259	-0,144	-7,109	0,000 ***	0,000 ***	1,257	groß
	0,5	0,85	-0,173	0,029	-0,232	-0,115	-6,051	0,000 ***	0,000 ***	1,070	groß
0,85	0,15	0,5	-0,031	0,029	-0,091	0,029	-1,062	0,296	0,296	0,188	-
	0,15	0,85	0,095	0,032	0,030	0,160	2,992	0,005 **	0,016 *	0,529	mittel
	0,5	0,85	0,127	0,021	0,084	0,169	6,044	0,000 ***	0,000 ***	1,069	groß

**Tabelle A.41:** Multiple Paarvergleiche ( $t$ -Test),  $H_{2.4}$  (Ref.- $wFR$  pro Ref.- $wKR$ )

AV	$F$	$p$	$\eta_p^2$	Effekt	Korrektur
Produktpaarung	(2, 62) = 8,168	0,000 ***	0,209	groß	-
Referenzpunkt	(3, 93) = 17,328	0,000 ***	0,359	groß	-
Produktpaarung* Referenzpunkt	(6, 186) = 5, 859	0,000 ***	0,159	groß	-

**Tabelle A.42:** Mehrfaktorielle Anova mit Messwdh.,  $H_{2.5}$ 

Paarung		Mittelwert- differenz	Std.- Fehler	95% Konfidenz- intervall		$t$	$p$	$p_{korr}$	$d$	Effekt
AS & WSg	AS & WSk	0,013	0,027	-0,042	0,067	0,471	0,641	0,641	0,083	-
AS & WSg	WSg & WSk	-0,094	0,029	-0,153	-0,035	-3,244	0,003 **	0,006 **	0,573	mittel
AS & WSk	WSg & WSk	-0,106	0,031	-0,169	-0,044	-3,472	0,002 **	0,005 **	0,614	mittel

**Tabelle A.43:** Multiple Paarvergleiche ( $t$ -Test),  $H_{2.5}$  (Paarungen)

Ref.- P.	Paarung		Mittelwert- differenz	Std.- Fehler	95% Konfidenz- intervall		$t$	$p$	$p_{korr}$	$d$	Effekt
(0,15/ 0,15)	AS & WSg	AS & WSk	-0,131	0,041	-0,214	-0,048	-3,219	0,003 **	0,030 *	0,569	mittel
	AS & WSg	WSg & WSk	-0,288	0,050	-0,389	-0,186	-5,756	0,000 ***	0,000 ***	1,017	groß
	AS & WSk	WSg & WSk	-0,156	0,049	-0,256	-0,056	-3,191	0,003 **	0,029 *	0,564	mittel
(0,15/ 0,85)	AS & WSg	AS & WSk	0,194	0,056	0,079	0,309	3,434	0,002 **	0,019 *	0,607	mittel
	AS & WSg	WSg & WSk	0,119	0,055	0,008	0,230	2,178	0,037 *	0,260	0,385	klein
	AS & WSk	WSg & WSk	-0,075	0,066	-0,209	0,059	-1,139	0,263	0,527	0,201	klein

**Tabelle A.44:** Multiple Paarvergleiche ( $t$ -Test),  $H_{2.5}$  (Paarungen pro Referenzpunkt) (Teil 1/2)

Ref.-P.	Paarung		Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>p<sub>korrr</sub></i>	<i>d</i>	Effekt
(0,85/ 0,15)	AS & WSg	AS & WSk	-0,094	0,054	-0,204	0,016	-1,740	0,092	0,459	0,308	klein
	AS & WSg	WSg & WSk	-0,169	0,060	-0,290	-0,047	-2,829	0,008 **	0,065	0,500	mittel
	AS & WSk	WSg & WSk	-0,075	0,060	-0,198	0,048	-1,248	0,221	0,664	0,221	klein
(0,85/ 0,85)	AS & WSg	AS & WSk	0,081	0,053	-0,027	0,189	1,532	0,136	0,542	0,271	klein
	AS & WSg	WSg & WSk	-0,037	0,071	-0,182	0,107	-0,528	0,601	0,601	0,093	-
	AS & WSk	WSg & WSk	-0,119	0,057	-0,234	-0,003	-2,094	0,044 *	0,267	0,370	klein

**Tabelle A.44:** Multiple Paarvergleiche (*t*-Test),  $H_{2.5}$  (Paarungen pro Referenzpunkt) (Teil 2/2)

AV	<i>F</i>	<i>p</i>	$\eta_p^2$	Effekt	Korrektur
Grundkörper	(1, 31) = 32,978	0,000 ***	0,515	groß	-
Produkte	(1, 31) = 84,762	0,000 ***	0,732	groß	-
Grundkörper* Produkte	(1, 31) = 0,010	0,922	0,000	-	-

**Tabelle A.45:** Mehrfaktorielle Anova mit Messwdh., Fixationsdauer

## Lebenslauf

### Persönliche Angaben:

Name: Matthias Sebastian Fischer  
Geburtsdatum: 16.01.1992  
Geburtsort: Stuttgart  
Staatsangehörigkeit: deutsch

### Ausbildung:

09/2002 – 06/2011 Hegel-Gymnasium Stuttgart  
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife  
10/2011 – 05/2015 Studium Maschinenbau an der Universität Stuttgart  
Abschluss: Bachelor of Science  
05/2015 – 10/2016 Studium Maschinenbau an der Universität Stuttgart  
Spezialisierungen: Konstruktionstechnik, Feinwerktechnik  
Abschluss: Master of Science

### Beruflicher Werdegang:

11/2016 – 01/2023 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktions-  
technik und Technisches Design (IKTD), Forschungs- und  
Lehrgebiet Technisches Design der Universität Stuttgart  
seit 01/2023 Systemingenieur bei der Festool GmbH in Wendlingen a. N.





ISBN-13: 978-3-946924-23-4