# Ratgeber Virtuelle Techniken im Design



# Ratgeber Virtuelle Techniken im Design

Bild Titelseite: Design-Review bei Miele & Cie. KG

# Inhalt

Ι.	VORWORL	3
2.	Überblick Design	4
	a. Begriff	4
	b. Funktionen	4
	c. Ansätze Virtueller Techniken im Design	4
3.	Nutzen und Anwendungen	5
	a. Nutzenpotenziale	5
	b. Branchen	6
	c. Anwendungen	6
	d. Eingesetzte Techniken	7
4.	Spezifikation Hardware und Software	8
	a. Anforderungen an Hardware und Software	8
	b. 3D-Modellierung	8
	c. Systeme zur haptischen und akustischen Gestaltung	11
	d. 3D-Visualisierung	13
	e. Multimedia-Umgebung	17
5.	Arbeitsabläufe	17
	a. Phasen	17
	b. Frontloadung und Design-Reviews	18
	c. Anforderungen an Abläufe	19
	d. Barrieren der Implementierung	20
6.	Zusammenfassung	21
	a. Abschließende Bemerkungen	21
	b. Literatur	21
	7. Nützliche Links	23
8.	Impressum	23

#### 1. Vorwort

Wir freuen uns über Ihr Interesse an diesem Ratgeber zu virtuellen Techniken im Design. Das Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach hat diesen Ratgeber erstellt mit dem Ziel, Firmen - insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen - an das Thema virtuelle Techniken im Kontext Design heranzuführen.

Virtuelle Techniken bieten zahlreiche Chancen für das Design. Dazu zählen die Beschleunigung des Design-Prozesses, verbessertes Variantenmanagement oder die Reduktion der Anzahl der Entwicklungszyklen. Alle Aspekte haben eine unmittelbare Auswirkung auf die Wettbewerbsfähigkeit.

Mit der Erstellung des Ratgebers haben wir einerseits die Möglichkeiten, Einsatzgebiete und Vorteile dieser Technologieverwen-



Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Christoph Runde

dung dokumentiert. Andererseits haben wir uns bemüht, den Leser von gerade denjenigen lernen zu lassen, die bereits heute großes Knowhow im Themenfeld aufweisen. Daher haben wir in der Vorbereitung dieses Ratgebers Unternehmen befragt und diese gebeten, uns ihre jeweiligen Einschätzungen mitzuteilen. Deren Antworten finden Sie in den Grafiken dieses Ratgebers.

Wir danken folgenden Anwenderunternehmen digitaler Designtechniken für ihre Teilnahme an unserer Befragung:

- Alfred Kärcher GmbH & Co. KG
- Bernd Kußmaul GmbH
- Bertrandt Ing. Büro GmbH
- BSH Hausgeräte GmbH
- Daimler AG
- Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG
- John Deere (Deere & Company)
- Hilti Corporation
- MAN Truck & Bus AG
- Miele & Cie. KG

Wir danken weiterhin folgenden Organisationen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung für ihre Teilnahme an unserer Befragung:

- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)
- Fachhochschule Köln
- ESI Group
- Lightshape GmbH & Co. KG

Wir danken ausdrücklich auch der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart für die finanzielle Unterstützung, ohne die dieser Ratgeber nicht möglich gewesen wäre.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Umsetzung!

Fellbach im August 2015

Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Christoph Runde Geschäftsführer VDC Fellbach

# 2. Überblick Design

#### a. Begriff

Design wird als die Gestaltung von Gegenständen aller Art nach Kriterien von Funktionalität (beispielsweise Ergonomie) und Ästhetik bezeichnet [1]. Dabei wird nach verschiedenen Designklassen unterschieden. Gorb [2] differenziert so nach Produkt (z. B. Industriedesign, Verpackungsdesign, Service Design), Information (z.B. Grafik-Design, Branding, Mediendesign, Webdesign) und Umgebung (z.B. Retail-Design, Ausstellungsdesign, Innenarchitektur).

#### b. Funktionen

Innerhalb des Produktdesigns ist das Design Träger verschiedener Funktionen [3]: Dazu zählen die praktischen Funktionen (wie Funktionalität, Ergonomie, Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit [usability], Benutzerfreundlichkeit, Wartung und Pflege), die produktsprachlichen Funktionen (formalästhetische, zeichenhafte, semantische, Anzeichen, symbolische), die ökologischen Funktionen (Lebenszyklus, Entsorgung) und die ökonomischen Funktionen (Herstellungsaufwand, Komplexität, Herstellungstechniken, Anzahl Fertigungsschritte, Materialien, Materialvielfalt, -komplexität, Transport-, Lageraufwand). Weiterhin existiert eine Reihe von



Abb. 1: Blick durch den virtuellen Rückspiegel [Bild: ESI Group]

Paradigmen des anforderungsgerechten Designs (engl. "Design-for-X"), die ebenfalls auf verschiedene Designfunktionen abzielen. In dieser Lesart ist es die Aufgabe des Designs sicherzustellen, dass ein Produkt beispielsweise funktionsgerecht, Ergonomie-gerecht, recyclinggerecht, fertigungsgerecht, beanspruchungsgerecht, normgerecht, kostengerecht, montagegerecht, werkstoffgerecht, transportgerecht, servicegerecht oder sicherheitsgerecht ist.

#### c. Ansätze Virtueller Techniken im Design

Simulations- und Visualisierungstechniken können sinnvolle Beiträge liefern sowohl zu zahlreichen Designklassen wie auch zur Erzielung zahlreicher Design-Funktionen. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick zu Anforderungen an Simulations- und Visualisierungstechniken, zu einsetzbaren Technologien sowie Einsatzfeldern. Im Design eingesetzte IT-Systeme finden sich heute in der Modellierung, im haptischen und akustischen Design sowie in der Design-Visualisierung.

Das VDC-Whitepaper "Immersive Design" gibt einen umfassenden Überblick über verschiedene methodische Ansätze und über verschiedene technische Realisierungsoptionen Virtueller Techniken im Design [4].

# 3. Nutzen und Anwendungen

#### a. Nutzenpotenziale

Vergleiche der Verwendung von konventionellen und digitalen Designwerkzeugen sind schwierig und daher nicht häufig. Tano [5] stellte 2003 das Design eines neuen Autos als Aufgabe und ließ die Ausführung mit Hilfe von drei Methoden (Papier & Stift, 3D-CAD, räumliches 3D-Sketch-Tool) von elf Designern bewerten. Das Ergebnis (Abbildung 2) zeigte damals, dass die die Verwendung von Papier und

Werkzeuge	# Entwürfe	# Ideen	Qualität (5: max)
Papier & Stift	6.7	4.2	4.0
	(2 – 21)	(1 – 8)	(3 – 5)
3D – CAD	1.2	0.4	1.6
	(1 – 2)	(0.3 – 0.5)	(1 – 2)
Godzilla (2D/3D Sketch Tool)	5.7 (1 – 12)	0.9 (0.5 – 1)	2.2 (1 – 3)

Abb. 2: Vergleich dreier Werkzeuge im Design

dem 3D-Sketch-Werkzeug ähnlich komfortabel zur Erstellung von Skizzen geeignet war, 3D-CAD jedoch weniger. Mit dem 3D-Sketch-Werkzeuge wurden auch mehr brauchbare Ideen als mit dem 3D-CAD-Werkzeug erzeugt.

Digitale und immersive Designtechniken sind heute ein Mittel des Frontloadings. Sie werden eingesetzt, um schnelle Entwicklungszyklen als aktives Prozesselement zu unterstützen. Es gilt, frühe Entwicklungsphasen zu betonen und Änderungskosten durch frühes Ergebnisfeedback zu reduzieren. Alternative Produktkonzepte können besser entwickelt werden; Variantenvergleiche fallen leichter; die Entscheidung über die Produktspezifikation wird unterstützt. Der Einsatz digitaler Technologien im Entwicklungsprozess von Beginn an hilft zudem, Medienbrüche zu reduzieren und die Kooperation über Distanz zu stimulieren. Die Animation, Interaktion und in-Kontext-Darstellung digitaler 3D-Modelle sind weitere Vorteile, die im Vergleich zu klassischen Methoden zu nennen sind. Abbildung 3 zeigt die Einschätzungen zum Nutzen digitaler Techniken im Design nach einer Umfrage des Virtual Dimension Centers (VDC) unter 10 Industrieanwendern und 4 F&E-Organisationen (Teilnehmer: siehe Kapitel 1).

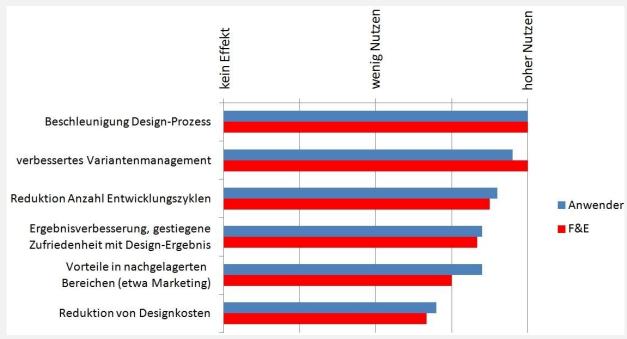


Abb. 3: Einschätzung des Nutzens digitaler Techniken im Design [Bild: VDC]

#### b. Branchen

Die Einsatzfelder der in Abschnitt 2 c benannten Simulations- und Visualisierungstechniken sind sehr breit. Letztlich lassen sie sich überall dort sinnvoll einsetzen, wo die benannten Design-Klassen und Design-Funktionen greifen. Dazu zählen unter anderem die Branchen Automobil, Bahntechnik, Bauwesen, Mode, Innenarchitektur, Luft- und Raumfahrt, Maschinenbau, Schiffbau und Verpackungstechnik (Abbildung 4).

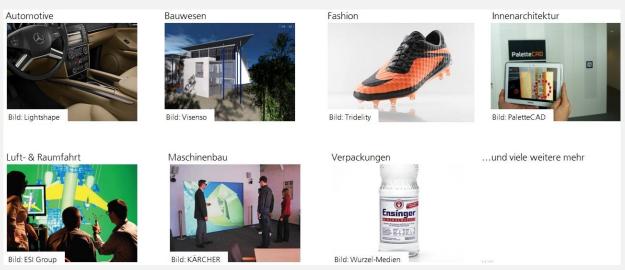


Abb. 4: Relevante Branchen für den Einsatz digitaler Design-Methoden [Bild: VDC]

# c. Anwendungen

Die in der heutigen Praxis wichtigsten Designanwendungen sind die Designbeurteilung, die Designpräsentation, die Designkommunikation und die Produktvisualisierung für das Marketing (Abbildung 5).

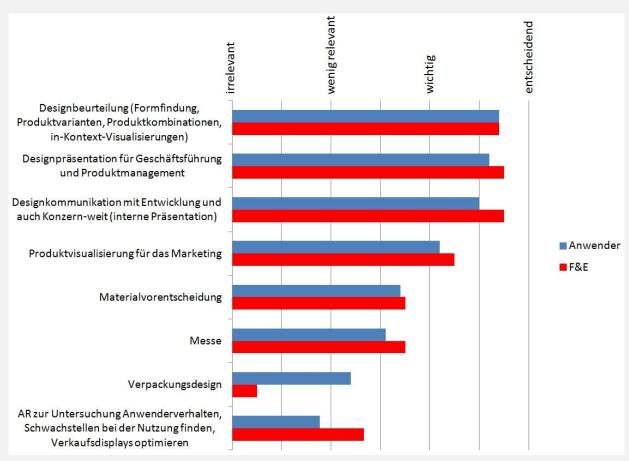


Abbildung 5: Anwendungen digitaler Designmethoden [Bild: VDC]

# d. Eingesetzte Techniken

Die wichtigsten Techniken, die heute im digitalen Design Anwendung finden, sind die Design-Visualisierung (für Evaluationszwecke), die 3D-Direktmodellung und das 2D-Sketching (Abbildung 6).

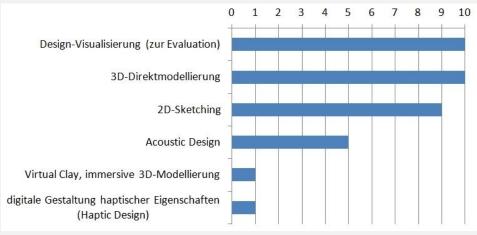


Abb. 6: Wichtigste eingesetzte digitale Designtechniken (nur Industrieanwender) [Bild: VDC]

# 4. Spezifikation Hardware und Software

### a. Anforderungen an Hardware und Software

Sollen Tätigkeiten des Designs von klassischen Methoden auf den Rechner übertragen werden, so sind für eine erfolgreiche Umsetzung die Anforderungen der Nutzer, also der Designer, tragend. Bereits 1997 formulierten Spur/Krause die Anforderungen an eine Computer-Aided-Styling-(CAS)-System aus ihrer Sicht [6]. Demnach soll ein CAS-System skizzenhaftes Arbeiten unterstützen, die visuelle Denk- und Arbeitsweise des Designers berücksichtigen und die freie und künstlerische Entwurfsarbeit ermöglichen - mit so viel Ausdrucksfreiheit wie möglich. Die Gestaltungsfreiheit des Benutzers darf nicht eingeschränkt sein (z. B. durch automatisierte Abläufe), was impliziert, dass das CAS-System keine Lösungen vorschreibt (auch nicht im Detail) und vom Benutzer kontrolliert wird. Eine Kontrolle des Benutzers durch das CAS-System ist in jedem Fall zu vermeiden. Schließlich sind geeignete Funktionen und ergonomisch günstige Interaktionsformen zu entwickeln, die sich an traditionellen, gewohnten Arbeitsweisen des Designers orientieren.

Rothenburg/Israel beschrieben die Anforderungen an immersive Modelliersysteme [7], die sie zu einem Lastenheft verdichteten. Demnach soll ein immersives Modelliersystem klassische Zeichen-, Modellier- und CAD-Techniken unterstützen (Zeichnen, Radieren, Abtragen, Auftragen, geometrische Standardvolumen erstellen und ändern, Skalieren, Spiegeln, Schneiden, Kopieren). Gleichzeitig werden mit der Rechnerunterstützung neue Techniken möglich (Abzeichnen realer Gegenstände, Rückgängig-Funktion [undo], Einsatz virtueller Schablonen, kneten, stauchen, zerren, drücken, falten, dehnen, Modelle überlagern, Ungenauigkeiten einführen, Zwiebelschichten mit Transparenz, Nebenfiguren, Partikel aufträufeln, darstellen von Bewegungsspuren und Prozesswirkungen, Historie: Bewahren der Varianten einer Skizze). Schließlich sind mit immersiven Modelliersystemen Umgebungsbedingungen mit einzubeziehen. Dieses sind Schritt- und Körpermaße, der Kontext, kreative Umgebungen und reale Proportionen.

#### b. 3D-Modellierung

Desktop-Sketching-Programme sind 2D-Zeichenwerkzeuge, die die Erstellung digitaler Skizzen ermöglichen. Dazu werden verschiedenste, auch selbst definierbare Stifte, Pinsel, Texturierungswerkzeuge, Farb- und Materialpaletten eingesetzt. Es gibt Hilfswerkzeuge für die Erstellung von Animationen und für das perspektivische Zeichnen.

Programme für die 3D-Direktmodellierung verwenden ein Modellierungsparadigma, das sich vom parametrischen Konstruieren unterscheidet. In diesen Programmen finden sich skizzenorientierte Zeichenwerkzeuge, die auch die Erstellung von 3D-Modellen aus (und auf) 2D-Zeichnungen ermöglichen. Die Änderung von Geometrien erfolgt ohne komplexe Feature-Abhängigkeiten und Randbedingungen. Die Vorteile dieses Ansatzes liegen in der Schnelligkeit und Flexibilität sowie in vergleichsweise geringen Wissens- und Ausbildungsschwellen. Das Verhalten des Objektmodells hängt zudem nicht von der Erzeugungsreihenfolge der Abhängigkeiten ab.

Sketch Pads sind Hardware-Schnittstellen für das skizzenhafte Zeichnen am Rechner. Auf einer näherungs- und berührungsempfindlichen Oberfläche (induktives Touchpad) auf einem Tablet kann der Benutzer mit speziellen Eingabegeräten (Griffeln) Eingaben vornehmen. Die Drucksensititivät von Sketchpads besitzt zumeist eine sehr hohe Auflösung. Das induktive Touchpad ist in der Lage, die X/Y-Position, die Entfernung und den Neigungswinkel des Griffels zu erfassen. Der Griffel kann mit verschiedenen Spitzen und Griffen seiner Aufgabe angepasst



Abb. 7: Sketchpad [Bild: wacom]

werden (Standard-, Filz-, Pinsel- und flexible Spitzen, Radierer). Sowohl der Griffel wie auch das Tablet besitzen Taster und Drehregler für zumeist selbst definierbare Funktionen (Doppelklick, rechte Maustaste, Pinseleffekte, Zoomen, Scrollen, Anpassen Pinselgröße, Bewegung Leinwand, Ebenen-Auswahl). Die mit dem Sketchpad erstellten Skizzen lassen sich in gängigen 3D-Modellierungsprogrammen weiterverarbeiten.

Grafiktabletts sind Sketch Pads, bei denen das Touch Pad durch einen Touch Screen ersetzt wurde. Damit wird koloziertes Arbeiten möglich: Im Gegensatz zum Sketch Pad, bei dem die haptische Eingabe auf dem Touch Pad erfolgte, die grafische Ausgabe hingegen auf dem Bildschirm, arbeitet der Nutzer eines Grafiktabletts mit dem Griffel direkt auf der im Touchscreen angezeigten Grafik.

Das zSpace-System [8] ist ebenfalls ein Touchscreen für den Desktop-Einsatz. In Ergänzung zu den Grafiktabletts verfügt das zSpace über eine stereoskopische Ausgabe und Headtracking. Beide Eigenschaften unterstützen die Tiefenwahrnehmung, letztere zudem die Navigation. Der Nutzer trägt eine zirkular polarisierende Brille, das Display schaltet in hoher Frequenz die Polarisation und die Perspektive (rechtes Auge, linkes Auge) um. Die Arbeit mit dem zSpace-System erfolgt wie bei Grafiktabletts und Sketch Pads mit einem Eingabestift. Hier ist der Griffel zusätzlich noch mit einer Vibrationsausgabe versehen, die beispielsweise Kollisionen rückmeldet.

Geomagic Claytools und Geomegic Freeform sind Lösungen zur Bearbeitung von 3D-Daten (wie Punktwolken, Polygone, Sweeps und NURBS) mit Hilfe eines kraftrückkoppelnden haptischen Ein-/ Ausgabesystems und einer dafür konzipierten Softwarelösung [9]. Zum Einsatz kommt ein PHANToMartiges Ein-/Ausgabesystem [10] in Kombination mit einem Bildschirm. Die Programmumgebung setzt die Interaktion mit dem Ein-Ausgabesystem auf typische Clay-Werkzeuge um (Messer, Schaber, Kratzer, Schlingen) um so typische Bearbeitungsaufgaben abzubilden (Clay antragen, abtragen, deformieren,



Abb. 8: Freiformflächengestaltung mit Force Feedback [Bild: Geomagic]

ziehen, stauchen, furchen/riefen, prägen). Zusätzlich kommen neue Funktionen zum Einsatz, die spezifisch für eine digitale Arbeitsumgebung sind (Kurven und Flächen zeichnen, reparieren [etwa nach Digitalisierung] und gestalten, bool'sche Operationen, Texturierung, Airbrushing).

Immersive Modelliersysteme werden seit mehr als zehn Jahren entwickelt (2002: Fiorentino [11], 2004: Diehl [12], 2006: Frontdesign [13], 2011: Rothenburg [7]), wobei sich die in Großprojektionssystemen verwirklichten Systemansätze noch immer im Forschungs-/Prototypenstatus befinden. Bei der Arbeit in Großprojektionssystemen wie CAVE [14] oder Powerwall liegt einer der besonderen Herausforderungen der Systementwickler darin, für diese Projektionssysteme spezifische Interaktionsmechanismen zu schaffen, die der Arbeitsumgebung Rechnung tragen (Verzicht auf Tastatur, Maus, klassische Programmumgebung mit



Abb. 9: Freiformflächengestaltung in einem 6-Wand-Projektionsraum "CAVE" [Bild: Fraunhofer IPK]

Fenstern und Dialogen). Gleichzeitig kann der Benutzer mit zwei Händen räumlich in jeweils sechs Freiheitsgraden interagieren. Wie bei den bereits zuvor diskutierten technischen Möglichkeiten ist es hier wiederum so, dass einerseits klassische (Clay-) Modellieraufgaben übertragen werden, sich aber andererseits auch neue Möglichkeiten der Gestaltung im digitalen Raum ergeben. Wichtige Funktionen betreffen die Erzeugung und Bearbeitung von Freiformflächen, Volumina, Geometrie-Primitiven im immersiven Raum. Die Bearbeitung umfasst dabei unter anderem das Antragen, Abtragen, Schneiden, Verschneiden, Addieren, Subtrahieren, Stauchen und Zerren.

Zwei Modelliersysteme unter Verwendung der Erweiterten Realität (engl. Augmented Reality - AR) sind nun der Öffentlichkeit vorgestellt worden. Der Ansatz der Firma Meta verwendet eine AR-Brille "Meta SpaceGlasses" mit integrierter Kamera und Tiefenbildkamera [15]. Diese Tiefenbildkamera dient zur Gestenerkennung. Über Gesteneingabe kann den Benutzer in der Folge eine Freiformfläche mit den Fingerkuppen erstellen und über Sweeping zu einem dreidimensionalen Objekt verarbeiten. Die Anzeige des 3D-Objekts und der Finger/Hände des Benutzers er-



Abb. 10: Augmented-Reality(AR)-basiertes Design-Werkzeuge - Blick durch die AR-Brille [Bild: Gravity Sketch]

folgt in der AR-Brille. Die Firma Gravity [16] hingegen verwendet eine AR-Brille zusammen mit einem Tablet, welches als Tracking-Target des AR-Systems dient (virtuelle Objekte werden an das Tablet gebunden). Die Interaktion erfolgt mittels eines getrackten Griffels und mit Hilfe von Tasten am Tablet (zum Beispiel für Tiefenverstellung und Rotation). Der Nutzer sieht das virtuelle Objekt in der AR-Brille.

Die wichtigsten, heute eingesetzten digitalen Designwerkzeuge sind 3D-Direktmodellierer, 2D-Sketching-Programme, Graphik-Tablets und Sketch Pads (Abbildung 11).

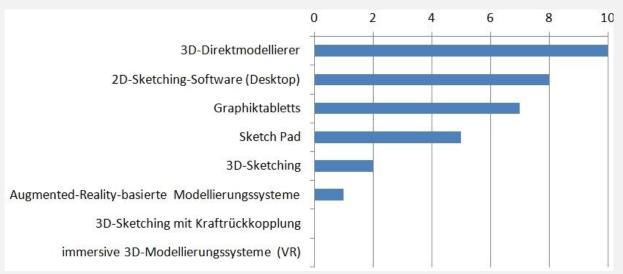


Abb. 11: Wichtigste heute eingesetzte digitale Designwerkzeuge (nur Industrieanwender) [Bild: VDC]

# c. Systeme zur haptischen und akustischen Gestaltung

#### **Haptik**

Die Tauglichkeit eines Produkts im Gebrauch wie in der Fertigung kann maßgeblich von seinen haptischen Eigenschaften abhängen. Zudem kann auch die Produkthaptik ein wichtiges Qualitäts- und Differenzierungsmerkmal darstellen. Damit sind haptische Produkteigenschaften ebenfalls früh im Produktentwicklungsprozess zu überprüfen. Zu diesem Zweck kommen 3D-Menschmodelle, Motion Capturing und Tangible User Interfaces zum Einsatz.

3D-Menschmodelle (Abbildung 12) erlauben die Evaluation der haptischen Eigenschaften (Kinästhe-



Abb. 12: Arbeit mit einem digitalen Menschmodel vor der Powerwall [Bild: ESI Group]

sie) des virtuellen Prototyps. Dazu wird ein extern gesteuertes, anthropometrisches 3D-Menschmodell eingesetzt, dessen Bewegungen und Gelenkpositionen vorgegeben werden. Ziel der Untersuchungen ist es, Aussagen zu Erreichbarkeiten, Belastungen, Zugänglichkeit der Hände und Werk-

zeug zu Befestigungselementen (Schrauben, Muttern, Klammern, etc.) und Wartungsstellen (z. B. Schmierstellen) zu überprüfen. Diese Aussagen sind für einen großen Bevölkerungsteil abzusichern (Betrachtung vieler Altersklassen, Perzentile, Somatotypen). Zu diesem Zweck werden Anthropometrie-Datenbanken zur statistischen Körperformdimensionierung eingesetzt. Mit dieser Methode sind so letztlich objektive, wiederholbare Aussagen zu oben genannten Fragestellungen möglich.



Abb. 13: Proband in physischer Sitzkiste in CAVE: Erreichbarkeitstests [Bild: Daimler AG]

Motion-Capturing-Verfahren (Abbildung 13) verwenden eine interaktive Visualisierung, in die der Benutzer mittels einer Positionserfassung seiner Extremitäten integriert wird. Auch auf diese Weise lassen sich so Erreichbarkeit, Montage- und Demontage-Eignung überprüfen. Einfache Verfahren verwenden einfache Tracker (z. B. Flysticks) an den Händen (also den Greifpunkten) und dem Kopf (Head Tracking) anstelle von Ganzkörper-Motion-Capturing-Systemen. Im Gegensatz zur Verwendung eines 3D-Menschmodells gelingt es mit diesem Verfahren, einen subjektiven Eindruck beim Benutzer zu erzeugen. Insofern eine persönliche Bewertung des betrachteten Objekts auf subjektiver Basis eine Rolle spielt, ist dieser Umstand somit relevant. Andererseits bedeutet dieses aber auch, dass die getroffenen Aussagen, auch objektive wie zum Beispiel bezüglich der Erreichbarkeit, eben nur für den agierenden Probanden Gültigkeit besitzen.

Tangible User Interfaces, also anfassbare Benutzungsschnittstellen (Abbildungen 14, 15), kommen zum Einsatz, wenn die subjektive Bewertung von Kraftrückkopplung und/oder taktilen Eigenschaften wichtig wird. Force-Feedback-Gelenkarmsysteme können bei der Beurteilung der Montageeignung oder Qualität (z. B. Solidität) von Türen und Klappen (etwa im Automotive-Umfeld) wertvolle Dienste leisten [17]. Werden an solche Force-Feedback-Systeme auch noch geometrische Dummy-Objekte gekoppelt, lässt sich zudem die Greifart am Objekt berücksichtigen, bei Bedarf sogar das echte Gewicht



Abb. 14: Programmierbare rotatorische Eingaben: Wechsel-Magazin, Drehknopf, Visualisierung [Bild: Hochschule Schwäbisch Gmünd]

[17]. Zwei Force-Feedback-Systeme mit jeweils drei Freiheitsgraden lassen sich mechanisch über das Dummy-Objekt zu einem Force-Feedback-System mit sechs Freiheitsgraden verbinden. Physische Objekte zur haptischen Beurteilung werden ebenso eingesetzt, um begleitend zu 3D-Visualisierun-

gen Materialentscheidungen zu unterstützen. Die Automobilindustrie verwendet in diesem Kontext Proben lackierter oder Leder-bezogener Gegenstände, die von Designern oder auch von prospektiven Kunden in die Hand genommen und auch visuell begutachtet werden [18]. Auch das Verhalten und die Handhabung von Schaltern, Tastern und weiteren Bedienelementen lässt sich simulativ erproben und optimieren. Zum Einsatz kommen dazu Schalter, Taster und Drehregler, deren Kraft-Wegbeziehungsweise Winkel-Drehmoment-Verhalten



Abb. 15: Virtuelle PKW-Heckklappe mit programmierbarem Kraft-Weg-Verhalten [Bild: Fraunhofer IPK]

programmierbar ist [19]. Auch existieren darüber hinaus gehende Ansätze, in denen die Größe, Gewicht, Form und Materialität des Bedienelements variabel austauschbar ist, um deren Einfluss auf das jeweilige Bedienverhalten zu ergründen [20].

Die wichtigsten, heute eingesetzten digitalen Werkzeuge für das haptische Prototyping sind 3D-Menschmodelle und tangible User-Interfaces (Abbildung 16).

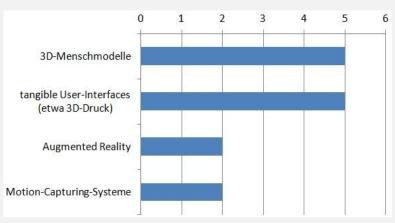


Abb. 16: Wichtigste heute eingesetzte digitale Werkzeuge für das haptische Prototyping (nur Industrieanwender) [Bild: VDC]

#### **Akustik**

Zur Schaffung einer Qualitätsanmutung und einer Markenidentität kann - natürlich in Abhängigkeit vom Produkt - der Klang ein wesentliches Element sein. Das Acoustic Design/Acoustic Engineering kümmert sich als Fachdisziplin um diesen Bereich. In der Automobilindustrie zählt es beispielsweise zu den Zielen, dass sich ein Fahrzeug hochwertig anhört und sein Klang Qualität suggeriert. Das Ziel ist ein emotionaler, charaktervoller Sound, ein "Markensound", ohne jedoch ein gewisses Geräuschniveau zu überschreiten. Alle Geräusch-verursachenden Elemente stehen im Interesse: Motor, Türen, Klappen, Blinker, Seitenscheiben, Schiebedach und Sitzverstellung [21][22].

# d. 3D-Visualisierung

Die Visualisierung digitaler Design-Entwürfe ist der mutmaßlich wirtschaftlich wichtigste Bereich der vorgestellten Simulations- und Visualisierungstechniken im Designkontext. Die Vorstellung der Anforderungen aus der Industrie hat bereits gezeigt, dass gerade das Designhöchste Ansprüche an die Bildqualität hat.



Abb. 17: VR-Anlage im Design-Prozess bei BSH mit dem Fokus auf hohe Darstellungsqualität. Mit Hilfe von Produktvisualisierungen treffen Designer dort Material- und Formentscheidungen. [Bild: BSH Hausgeräte GmbH]

Die wichtigsten heute eingesetzten 3D-Visualisierungstechniken im Design sind die Desktop-Visualisierung, die hochauflösende Großprojektion und die Visualisierung per Powerwall (Abbildung 18).

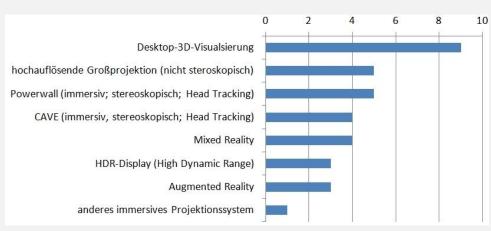


Abb. 18: Wichtigste heute eingesetzte digitale Werkzeuge für die 3D-Designvisualisierung (nur Industrieanwender) [Bild: VDC]

#### Mixed-Reality-

Techniken finden sich im Design-Kontext dort, wo graphisch-haptische Umgebungen eingesetzt werden. Dieses sind etwa das haptische Design von Bedienschnittstellen (etwa Fahrzeugbereich), die Auslegung von Assistenzsystemen, die Fahr-/Bediensimulationen oder Montageuntersuchungen mit physischen Dummy-Objekten. Sämtliche dieser Anwendungen fußen auf der manuellen Betätigung physischer Eingabesysteme und zeitgleicher graphischer Ausgabe (realer Prototyp in Virtueller Umgebung).

Augmented-Reality-(AR)-Verwendungen im Design gehen in die genau umgekehrte Richtung: hier wird ein virtueller Prototyp in einer realen Umgebung angezeigt/überlagert. Das Ziel ist es, früh im Entwicklungsprozess einen Eindruck des Prototyps (Gestalt und Wirkung) in seinem späteren Kontext zu generieren, um bei Korrekturbedarf rechtzeitig reagieren zu können. Beispiele finden sich in der (Innen-) Architektur, in der Automobil- oder in der Modeindustrie.

Projektions-AR-Ansätze im Design nutzen weiße Clay-Modelle, auf die perspektivisch richtig vor-verarbeitete Ansichten des fertigen Endprodukts projiziert werden. Damit lassen sich am 1:1-Modell die Wirkung von Materialien und Licht (bei entsprechender Visualisierungstechnik) erkunden. Anbauten, die es physisch noch nicht gibt, wechselnde Varianten und Facelifts lassen sich so ebenso bereits virtuell auf das bestehende Modell bringen. Realisierungen für diesen Technologieansatz gibt es für die Fahrzeugaußenhaut, die Innenausstattung und Schuhe.



Abb. 19: Aufprojektion Sitzdesign und Content Entertainmensystem auf weißes Geometriemodell [Bild: Dassault Systèmes 3DEXCITE]

#### Software-Funktionalitäten

Die wichtigsten Funktionalitäten, die Designsoftware heute aufweisen muss, sind die Fähigkeit zur Variantendarstellung, die Darstellung großer Modelle und Baugruppen, hohe Frameraten und eine einfache Benutzeroberfläche (Abbildung 20).

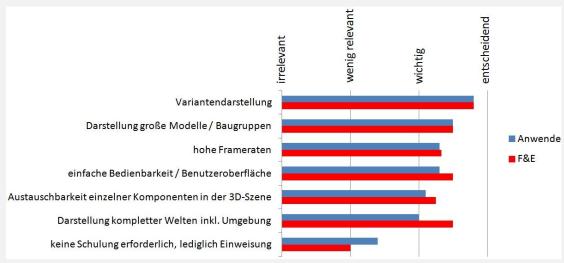


Abb. 20: Wichtigste Funktionalitäten von im Design eingesetzten Software-Lösungen [Bild: VDC]

#### Software-Bildqualität

Die wichtigsten Aspekte im Hinblick auf die Qualität der Bilderzeugung sind der erzielbare Fotorealismus, die Fähigkeit zur Animation, Schnitte, interne Shader-Definitionen und der Shader-Abnahme-Prozess (Abbildung 21).

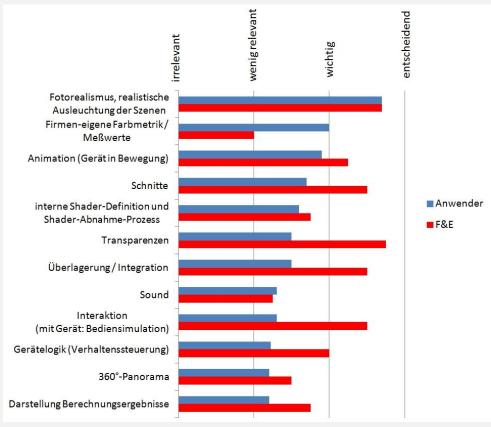


Abb. 21: Wichtigste Aspekte im Hinblick auf die Qualität der Bilderzeugung [Bild: VDC]

#### Hardware Bildausgabe / Projektionstechnik:

Die wichtigsten Aspekte im Hinblick auf die Qualität der Bildwiedergabe sind die Größe des Projektionssystems, die Auflösung, die Vermeidung von Verzerrungen, Farbtreue, kontrastkorrekte Weißwiedergabe, Hot-Spot-Vermeidung, hoher Betrachtungswinkel und hohe Helligkeit (Abbildung 22).

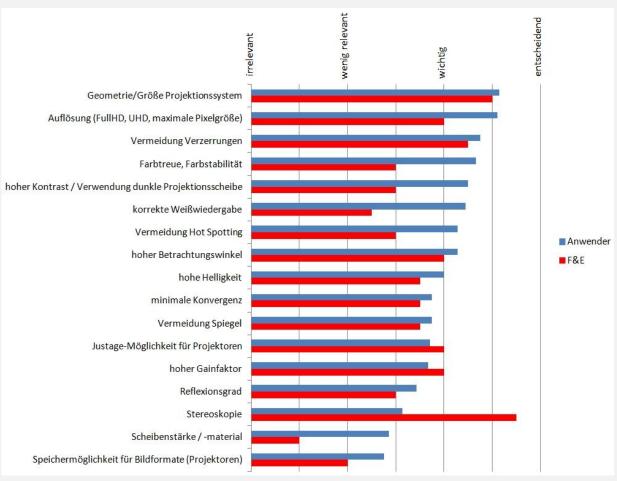


Abb. 22: Wichtigste Aspekte im Hinblick auf die Qualität der Bildwiedergabe [Bild: VDC]

Viele der geforderten Eigenschaften erreicht man durch die Verwendung von qualitativ hochwertigen Projektoren-Arrays in Verbindung mit dunklen Projektionsscheiben. Die Auflösungen der Projektoren und deren Helligkeiten addieren sich (nicht zu 100% aufgrund einer notwendigen Überlagerung [Blending]), die dunkle Scheibe reduziert Scheiben-interne Reflexionen und erhöht damit dem dynamischen Kontrast. Das Array selbst sorgt für eine homogenere Lichtverteilung gegenüber 1-Projektor-Lösungen und vermindert Verzerrungen. Weiterhin ist die benötigte Raumtiefe eines Arrays geringer, beziehungsweise vermeidet die Verwendung von Umlenkspiegeln. Die Projektoren selbst müssen Verzerrungen kompensieren können, Farbtreue und -stabilität gewährleisten.

Zur Erzielung hoher Kontraste auf der Displayseite verwenden so genannte High-Dynamic-Range-(HDR)-Displays eine variable Hintergrundbeleuchtung (Backlight Illumination Modulation), die gezielt helle Bildbereiche unterstützt ohne zugleich auch dunkle Bildbereiche stärker auszuleuchten (Verschiebung der Dynamik) [23].

### e. Multimedia-Umgebung

Für effizientes Arbeiten ist ein Multimediasystem bereits zu stellen, das Video- und gegebenenfalls Audioquellen sowie die Bildausgabe-Hardware (Projektionssysteme, Desktopsysteme) verwalten kann. Ein reibungsloser Zugriff auf digitale Skizzen und Zeichnungen ist sicherzustellen. Die wichtigsten Aspekte der Multimedia-Umgebung sind heute die Netzwerk-Leistungsfähigkeit und die Nutzung unterschiedlicher Videoquellen (Abbildung 23).

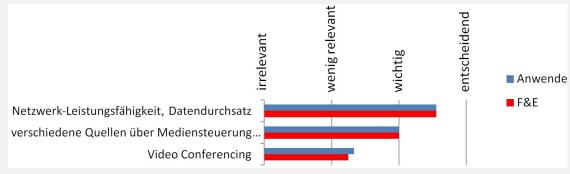


Abb. 23: Wichtigste Aspekte der Multimedia-Umgebung [Bild: VDC]

# 5. Arbeitsabläufe

#### a. Phasen

Interessant aus Prozesssicht ist ebenfalls die Betrachtung des IT-Einsatzes nach Phasen im Kreativprozess. Hier wechseln sich divergente und konvergente Phasen in Iterationsschleifen ab. Während erstere offen, unsystematisch und spielerisch angelegt ist, um Denkblockaden aus-

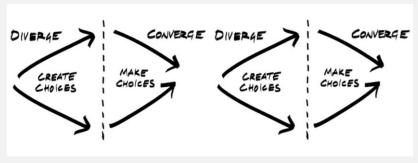


Abb. 24: Divergente und konvergente Phasen im Design

zuschalten und möglichst viele Alternativen zu generieren, so ist die konvergente Phase logisch, planmäßig, rational und effizient ausgerichtet. Ziel ist es, viele Einzelfaktoren wieder hin zu einer Lösung zu verdichten.

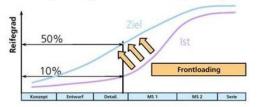
Einzusetzende IT-Werkzeuge müssen damit sowohl das Verteilen von Informationen als auch den Entscheidungsprozess unterstützen können. Kooperations-unterstützende Großvisualisierungen (etwa Powerwall) können hier gut unterstützen, wenn deren Darstellungsqualität so gut ist, dass auf dieser digitalen Basis auch Entscheidungen getroffen werden können.

# b. Frontloading und Design-Reviews

und immersive Digitale Designtechniken sind ein Mittel des Frontloadings. Sie werden eingesetzt, um schnelle Entwicklungszyklen als aktives Prozesselement zu unterstützen. Es gilt, frühe Entwicklungsphasen zu betonen und Änderungskosten durch frühes Ergebnisfeedback zu reduzieren. Alternative Produktkonzepte können besser entwickelt werden; Variantenvergleiche fallen leichter; die Entscheidung über die Produktspezifika-

# Frontloading: Begriff

 Erhöhung der Planungssicherheit und Kostenbeeinflussung durch Verlagerung von Planungstätigkeiten "nach vorne"



Kostenfestlegung erfolgt früh, die Kostenentstehung spät

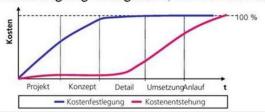


Abb. 25: Frontloading

tion wird unterstützt. Der Einsatz digitaler Technologien im Entwicklungsprozess von Beginn an hilft zudem, Medienbrüche zu reduzieren und die Kooperation über Distanz zu stimulieren

Entscheidungspunkte in der Designdefinition im industriellen Kontext sind die Designreviews. Sie stellen demnach die Eckpunkte aus der Prozesssicht dar. Krottmaier führte auf, welche Teilegruppen und Ereignisse in Designreviews besonders zu betrachten sind [24]. Dazu zählt er

- sicherheitskritische Bauteile, Baugruppen und Produktfunktionen,
- kritische Bauteile, Baugruppen, und Produktfunktionen laut FMEA (Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse, kurz Auswirkungsanalyse),
- bedeutende Bauteile, Baugruppen und Produktfunktionen laut QFD (Quality Function Deployment, eine Methode der Qualitätssicherung im Qualitätsmanagement),
- Bauteile, Baugruppen und Produktfunktionen, die in der Vergangenheit Probleme bereitet haben.

Gleichzeitig listet Krottmaier die Freigabestufen der Softwarephase (Projektanstoß, Lastenheft, Konstruktionsfreigabe, Planungsfreigabe) und der Hardwarephase (Versuchsfreigabe, Beschaffungsfreigabe, Dispositionsfreigabe, Serienfreigabe) auf. Bereits ab dem Vorfeld der Einführung Virtueller Techniken in den Unternehmenskontext muss versucht werden zu klären, an welchen Stellen im Entwicklungsprozess Virtuelle Techniken einzusetzen sind - unmittelbar oder zukünftig.

### c. Anforderungen an Abläufe

Die Anforderung an digitale Design-Werkzeuge, die sich aus dem Arbeitsprozess ergeben, können in einem ersten Schritt in folgende drei Teilbereiche unterschieden werden:

# • Nutzungsorientierung:

Die einzusetzenden Werkzeuge müssen (natürlich) die unter Abschnitt 3 c genannten Anwendungen (1) Designbeurteilung, (2) Designkommunikation, (3) Designpräsentation, (4) Produktvisualisierung für das Marketing, (5) Materialvorentscheidung, etc. unterstützen.

#### Nutzer-Orientierung:

Es wird verschiedene Nutzer mit unterschiedlichen Bedürfnissen, unterschiedlichem Hintergrund und unterschiedlichem Kenntnisstand geben. Die wichtigsten Nutzer sind jedoch im Normalfall er-

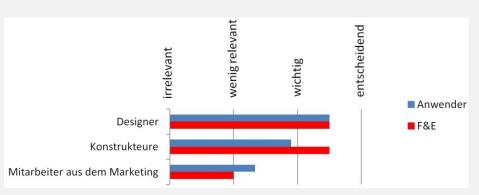


Abb. 26: Wichtigste Nutzer digitaler Designwerkzeuge (Bild: VDC]

wartungsgemäß die Designer selbst und die Konstrukteure (Abbildung 26).

#### Prozess-Orientierung:

Der Einsatz digitaler Design-Werkzeuge wird zwangsläufig Änderungen am Arbeitsprozess mit seinen Beteiligten, Vorgängen, Autoritäten, etc. mit sich bringen. Diesem Umstand ist von Beginn der Planungen an Rechnung zu tragen.

Die wichtigsten Anforderungen an den Arbeitsprozess sind unter anderem der definierte Datenbeschaffungs- und -aufbereitungsprozess, funktionierende Schnittstellen und CAD-Anbindung, ausgereifte und etablierte Technik, garantierte Betriebsdauern der IT-Systeme und die Materialdatenverarbeitung (Abbildung 27).

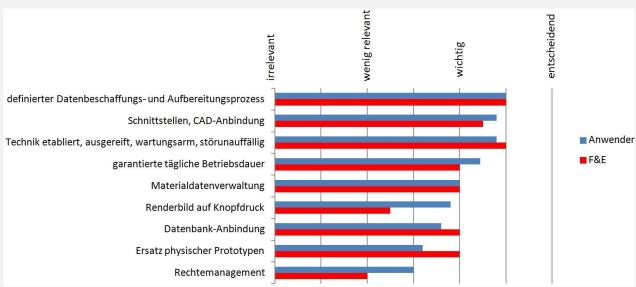


Abb. 27: Wichtigste Anforderungen an den Arbeitsprozess mit digitalen Design-Werkzeugen [Bild: VDC]

# d. Barrieren der Implementierung

Aufgrund ihrer Zukunftswirkung gehören IT-Investitionsentscheidungen zu den wichtigsten und schwierigsten, die ein Unternehmen zu fällen hat. Dieses trifft auch und insbesondere auf Virtuelle Techniken zu, da sich die nutzenbringenden Effekte häufig nicht exakt vorhersagen lassen. Dabei stellt die Einführung Virtueller Techniken Unternehmen vor eine nicht triviale Aufgabe: es gilt, Mitarbeiter mitzunehmen; die Führungsriege muss eine Kultur des Vormachens und aktiven Begleitens etablieren. Entwicklungs- oder Organisationsprozesse können sich durch den Einsatz einer neuen Technologie ändern und ein Prozess-Reengineering erforderlich machen. Dieses hat seinerseits Auswirkungen auf die Aufbau- und Ablauforganisation. Der Entscheidung vorgelagert sind Auswahl- und Bewertungsvorgänge, etwa hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit oder Langfristplanung. Das Projektmanagement muss schließlich alle operativen Maßnahmen der Einführung koordinieren.

Die maßgeblichsten Barrieren, die heute der Nutzung Virtueller Techniken im Design entgegenstehen sind die mangelnde Prozessintegration, der mangelnde Reifegrad der IT-Lösungen, mangelnde Akzeptanz und fehlendes Knowhow (Abbildung 28).

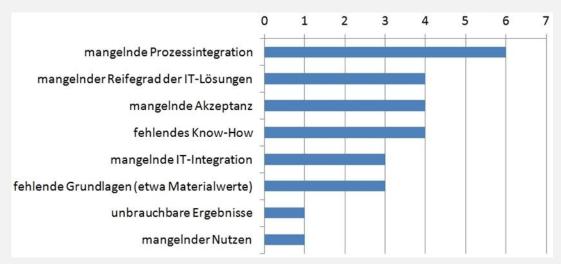


Abb. 28: Maßgebliche Barrieren der Nutzung Virtueller Techniken im Design [Bild: VDC]

# 6. Zusammenfassung

#### a. Abschließende Bemerkungen

Virtuelle Techniken bieten zahlreiche Chancen für das Design. Dieses zeigt die intensive Nutzung durch eine gute Zahl sehr renommierter Unternehmen (siehe Kapitel 1). Allerdings handelt es sich auch um eine komplexe Technik, die profundes Knowhow voraussetzt. Dieser Ratgeber versucht den Einsteigern im Thema daher ein erstes Gefühl dafür zu vermitteln, auf welche Aspekte es besonders ankommt - welche gar kritisch sind - und welche Bereiche nicht im Fokus stehen. Vor der erfolgreichen Hebung der Potenziale Virtueller Techniken steht die Überwindung der im letzten Kapitel skizzierten Hemmnisse. Nach der Devise "Gefahr erkannt - Gefahr gebannt" lassen sich diese aber mit überschaubarem Aufwand aus dem Weg räumen.

#### b. Literatur

- [1] Designlexikon International: Design (2013), <a href="http://www.designlexikon.net/Fachbegriffe/D/design.html">http://www.designlexikon.net/Fachbegriffe/D/design.html</a>, abgerufen am 5.6.2014
- [2] Gorb, Peter: Designthinkers (Hrsg.): The design management interface. The Association of Registered Graphic Designers, Ontario Science Centre, Ontario October 19th, 2001, S. 1–13
- [3] Wikipedia: Produktdesign (2014), <a href="http://de.wikipedia.org/wiki/Produktdesign">http://de.wikipedia.org/wiki/Produktdesign</a>, abgerufen am 5.6.2014
- [4] VDC-Whitepaper "Immersive Design", <a href="http://www.vdc-fellbach.de/downloads/whitepaper">http://www.vdc-fellbach.de/downloads/whitepaper</a>, abgerufen am 4.8.2015
- [5] Tano, S.; et.al.: Godzilla: Seamless 2D and 3D Sketch Environment for Reflective and Creative Design Work. In: M. Rauterberg et al. (Eds.): Human-Computer Interaction INTERACT'03, IOS Press, 2003, S. 311-318
- [6] Spur, G.; Krause, F.-L.: Das virtuelle Produkt. Carl Hanser Verlag, München Wien, 1997, S. 413
- [7] Rothenburg, U.; Israel, J.H.: Immersive Modelliertechniken Tangible Interfaces für die Virtuelle Produktentstehung; 6. Fachkongress Designprozess Wettbewerbsfaktor Design, Fellbach, 14.7.2011
- [8] zSpace: Unleash Understanding (2014), <a href="http://zspace.com">http://zspace.com</a>, abgerufen am 5.6.2014
- [9] Geomagic (2014), <a href="http://www.geomagic.com/de">http://www.geomagic.com/de</a>, abgerufen am 5.6.2014
- [10] Massie 1994 Massie, T.H.; Salisbury, J.K.: The PHANToM haptic interface. A device for probing virtual objects. In: American Society of Mechanical Engineers ASME (Hrsg.): Proceedings of ASME Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 1994, Chicago/USA. New York/USA: American Society of Mechanical Engineers, 1994, S. 295-299
- [11] Fiorentino, M.; de Amicis, R.; Stork, A.; Monno, G.: Spacedesign: conceptual styling and design review in augmented reality. Eurographics Italia Conference, 11. -12. Juli 2002, S. 86-94
- [12] Diehl, H.; Müller, F.; Lindemann, U.: Konzept zur Konkretisierung von 3D-Skizzen in einer Virtual-Reality-Umgebung. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 17.-18.06.2004, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2004, S. 73-82

- [13] Tokyo Wonder Site, Cosmos Aoyama South 3F (2006), <a href="http://www.frontdesign.se/newsupdate\_JAPAN\_TOKYO%20WONDER%20SITE\_02.htm">http://www.frontdesign.se/newsupdate\_JAPAN\_TOKYO%20WONDER%20SITE\_02.htm</a>, abgerufen am 3.6.2014
- [14] Cruz-Neira 1993 Cruz-Neira, C.; Sandnin, D.; DeFanti, T.: Surround-Screen Projection-based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. In: Kajiya, T. (Hrsg.): ACM SIGGRAPH '93. Conference Proceedings, 1993, Anaheim/USA. Boston/USA u.a.: Addison Wesley, 1993, S. 135-142
- [15] Meta's Augmented Reality Glasses 2.0 | Demo (2014), <a href="http://techcrunch.com/video/metas-augmented-reality-glasses-2-0-demo/518132621">http://techcrunch.com/video/metas-augmented-reality-glasses-2-0-demo/518132621</a>, abgerufen am 5.6.2014
- [16] Gravity allows you to Sketch in 3D with Augmented Reality (2014),

  <a href="http://www.augmentedrealitytrends.com/augmented-reality/gravity-augmented-reality.html?utm\_source="feedburner&utm\_medium=email&utm\_campaign=Feed%3A+artrends+%28Augmented+Reality+Trends%29">http://www.augmentedrealitytrends.com/augmented-reality/gravity-augmented-reality.html?utm\_source=

  feedburner&utm\_medium=email&utm\_campaign=Feed%3A+artrends+%28Augmented+Reality+Trends%29</a>, abgerufen am 5.6.2014
- [17] Stark, Rainer; Beckmann-Dobrev, Boris: Smart Hybrid Prototyping: Ein interdisziplinärer Ansatz zur multimodalen funktionalen Absicherung mechatronischer Systeme am Beispiel einer PKW-Heckklappe, 3. Grazer Symposium Virtuelles Fahrzeug, Graz, 6.-7. Mai 2009
- [18] Audi City London, <a href="http://www.audi.co.uk/audi-innovation/audi-city.html">http://www.audi.co.uk/audi-innovation/audi-city.html</a>, abgerufen am 4.8.2015
- [19] Reisinger, Jörg: Parametrisierung der Haptik von hand-betätigten Stellteilen. Disseration, TU München, 2009
- [20] Krämer, Hans: HaptiCS Haptic Interface Comunication System (2008), <a href="http://www.hfg-gmuend.de/haptiCS">http://www.hfg-gmuend.de/haptiCS</a> haptic Interface ....html, abgerufen am 5.6.2013
- [21] Genuit, Klaus: Sound-Engineering im Automobilbereich: Methoden zur Messung und Auswertung von Geräuschen und Schwingungen. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010
- [22] Jürgen Battlogg: Auto Sound-Designer (2007), <a href="http://www.youtube.com/watch?feature=player\_embedded&v=ZhqKu53WoRM">http://www.youtube.com/watch?feature=player\_embedded&v=ZhqKu53WoRM</a>, abgerufen am 5.6.2014
- [23] SIM2 HDR47 What is HDR Technology (2013), http://www.sim2.com/HDR/tech/hdr\_technology, abgerufen am 5.6.2014
- [24] Krottmaier, Johannes: Leitfaden Simultaneous Enginering. Kurze Entwicklungszeiten Niedrige Kosten Hohe Qualität. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1995

#### 7. Nützliche Links

- BARCO GmbH, Bereich Virtual Reality: <a href="https://www.barco.com/de/solutions/Virtual-reality">https://www.barco.com/de/solutions/Virtual-reality</a>
- Dassault Systèmes 3DEXCITE: <a href="http://www.3dexcite.com">http://www.3dexcite.com</a>
- ESI Group, Bereich ICIDO: <a href="https://www.esi-group.com/software-services/virtual-reality">https://www.esi-group.com/software-services/virtual-reality</a>
- Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Competence Center Virtual Environments: <a href="http://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/geschaeftsfelder/engineering-systeme/266-virtual-environments.html">http://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/geschaeftsfelder/engineering-systeme/266-virtual-environments.html</a>
- Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Abteilung "Virtuelle Produktentstehung": <a href="http://www.ipk.fraunhofer.de/geschaeftsfelder/virtuelle-produktentstehung">http://www.ipk.fraunhofer.de/geschaeftsfelder/virtuelle-produktentstehung</a>
- Lauer & Weiss, Competence Center "Integration Gesamtfahrzeug"
   <a href="http://www.lauer-weiss.de/competence-center/integration-gesamtfahrzeug">http://www.lauer-weiss.de/competence-center/integration-gesamtfahrzeug</a>
- Lightshape: <a href="http://lightshape.net">http://lightshape.net</a>
- OPTIS: <a href="http://www.optis-world.com">http://www.optis-world.com</a>
- PaletteCAD: <a href="http://www.palettecad.com">http://www.palettecad.com</a>
- TU Dresden, Zentrum Virtueller Maschinenbau: <a href="http://tu-dresden.de/die-tu-dresden/fakultaet-maschinenwesen/zvm/ueberblick#vr">http://tu-dresden.de/die-tu-dresden/fakultaet-maschinenwesen/zvm/ueberblick#vr</a> labor
- Virtalis: <a href="http://www.virtalis.de">http://www.virtalis.de</a>
- Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach, Themenseite Design: <a href="http://www.vdc-fellbach.de/wissen/anwendungen/virtual-reality-design">http://www.vdc-fellbach.de/wissen/anwendungen/virtual-reality-design</a>
- Wurzel-Medien: <a href="http://w-mg.com/wurzel-medien">http://w-mg.com/wurzel-medien</a>
- Z&M 3D-Welt, Bereich Visualisierung: <a href="http://www.zm-3dwelt.de/de/visualisierung.html">http://www.zm-3dwelt.de/de/visualisierung.html</a>

# 8. Impressum

Verantwortlich für die Inhalte dieses Atlasses ist das Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach. Die Inhalte dieses Atlasses wurden mit größter Sorgfalt erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte kann jedoch keinerlei Gewähr übernommen werden. Die Inhalte unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Die Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und jede Art der Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts bedürfen der schriftlichen Zustimmung des Erstellers.

#### Verantwortlich für den Inhalt:

Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach Kompetenzzentrum für Virtuelle Realität und kooperatives Engineering w.V.

Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Christoph Runde Auberlenstr. 13

Auberlenstr. 13 70736 Fellbach

URL: www.vdc-fellbach.de

#### Kontakt:

Tel.: +49(0)711 58 53 09-0 Fax: +49(0)711 58 53 09-19 Email: info@vdc-fellbach.de



