

# Smart Hybrid Prototyping zur multimodalen Erlebbarkeit virtueller Prototypen innerhalb der Produktentstehung

Rainer Stark, Boris Beckmann-Dobrev, Ernst-Eckart Schulze, Julian Adenauer und Johann Habakuk Israel

*Schlüsselwörter: Smart Hybrid Prototyping, Mixed Reality, Virtual Reality, Digital Mock-Up*

## Zusammenfassung

Virtuelle Modelle zur Repräsentation und Beurteilung des aktuell vorliegenden Entwicklungsstandes finden auf Grund des verstärkten Rechneinsatzes bei der Produktentstehung immer häufiger Anwendung. Die virtuelle Realität bietet eine kostengünstige Alternative zu dem physikalischen Prototyp in Maßstab 1:1, kann diesen jedoch nicht vollständig ersetzen. Eine Übergangsform stellt die *Mixed Reality (MR)* Technologie dar. Zwar existieren im Bereich Mixed Reality verschiedene Techniken zur Integration physischer und virtueller Komponenten in einer gemeinsamen Szene, diese wurden bisher jedoch nicht ausreichend in das Umfeld der virtuellen Produktentwicklung übertragen. Zusätzlich findet heutige Produktentwicklung in einem engen Zusammenspiel von mechanischen, elektronischen und softwaretechnischen Domänen statt.

Als Lösungsansatz zur multimodalen und domänenübergreifenden Beurteilung von virtuellen Prototypen in frühen Phasen der Produktentstehung führt dieser Beitrag das Konzept des *Smart Hybrid Prototyping (SHP)* ein. Dieses fußt auf Methoden der Mixed Reality und erweitert diese um intelligente Techniken, die das Erleben des virtuellen Prototyps gestatten. Hierfür dienen mechatronische Systeme als Brücke zwischen physischer Realität und digitaler Virtualität.

## Abstract

Due to the increasing use of computers in the process of industrial product development, virtual models for representation and evaluation purposes gain more and more importance. Virtual reality offers a cost-efficient alternative to physical prototypes in a 1:1-scale, yet cannot completely replace them. A transitional form is the *mixed reality (MR)* technology. Though there are techniques to integrate virtual and physical objects into a common scene in the field of MR, they have not yet been adapted to the field of product development. In addition to that, today's product development is characterized by close collaboration of mechanical, electronical and software engineering.

The concept of *Smart Hybrid Prototyping (SHP)* is a solution for the multimodal and interdisciplinary evaluation of virtual prototypes in early development states. It is based upon methods of MR and expands it with intelligent techniques which allow experiencing the virtual product. Mechatronic systems serve as a bridge between physical reality and digital virtuality.

## Trends und Herausforderungen in der industriellen Produktentwicklung

Entsprechend allgemeiner Konstruktionsmethodik wird die Produktentstehung in mehrere Phasen unterteilt (Cross, 2008; Pahl, E Beitz, Feldhusen, & Grote, 2005). Beginnend mit der Planung, der Entwicklung und der Arbeitsvorbereitung reicht die Produktentstehung bis zum Beginn der operativen Produktion. Die Produktentstehung ist ein iterativer Prozess, welcher aus Synthese und Analyse besteht. Die Synthese behandelt hierbei das generative Entwerfen einer Lösung bzw. eines Lösungsansatzes und spiegelt sich üblicherweise in Externalisierungsfor-

men wider. Die Analyse entspricht der Beurteilung der entworfenen Lösung um daraus neue Erkenntnisse für den weiteren Entwicklungsverlauf abzuleiten (Cross, 2008; Sachse, 2002; Uhlmann, 2005).

Mit zunehmendem Einsatz von Computertechnik in der Produktentstehung liegt zu jedem Zeitpunkt eine digitale Repräsentation des gegenwärtigen Entwurfsstandes vor. Die virtuelle Produktentstehung beschäftigt sich mit der Entwicklung und Simulation der digitalen Repräsentation eines jeweiligen Entwicklungsstandes (Spur & Krause, 1997).

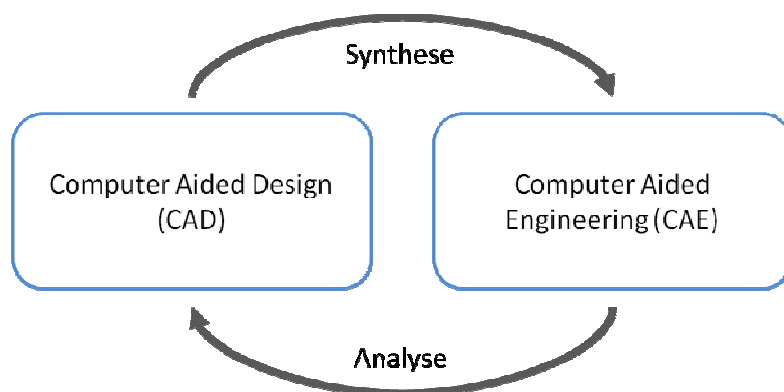


Abb. 1: Produktentwicklung als iterativer Zyklus zwischen Analyse und Synthese

Innerhalb des Bereiches des Technischen Design und der Konstruktion werden in der Konzeptphase üblicherweise Skizzen erstellt, welche zunächst eine Vorstellung der Produktidee im Sinne einer „Vorwegnahme des Gesamtentwurfes“ (Uhlmann, 2005) darstellen soll. Entsprechend der Skizze des Gesamtentwurfes werden darin auch der Aufbau des Produktes und damit die Produktstrukturen definiert. Mittels CAD-Werkzeugen werden bei der detaillierten geometrischen Ausarbeitung eines Bauteils aus den zweidimensionalen Skizzen dreidimensionale Flächen- oder Volumenmodelle erzeugt. Die CAD-Geometriemodelle werden der Produktstruktur zugewiesen bzw. als Baugruppen in Beziehung zueinander gesetzt.

In der hier erläuterten CAD-Prozesskette können in jeder Phase über Computer Aided Engineering (CAE) Methoden Funktionalitäten analytisch überprüft und abgesichert werden (vgl. Abb. 1). CAE-Tools haben sich in der industriellen Praxis als ein fester Bestandteil der virtuellen Produktentwicklung etabliert. Die Produktentstehung ist ein Wechselspiel zwischen Konstruktion und Absicherung. Erkenntnisse aus der analytischen Untersuchung und CAE-Absicherung fließen wieder direkt in die Weiterentwicklung der CAD-Modelle ein. Die Herausforderung für die CAE-Ingenieure ist es, möglichst schnell, möglichst genaue Ergebnisse an die CAD-Entwickler zu liefern. Da hochpräzise Simulationen sehr rechen- und zeitintensiv sind und der Konstruktionsprozess parallel weiterläuft, besteht immer die Gefahr, dass wichtige Produktoptimierungsvorschläge zu einem späten Zeitpunkt einfließen und nicht mehr vom Konstrukteur berücksichtigt werden können.

Für eine gesamtheitliche Repräsentation des Entwicklungsstandes in der virtuellen Produktentstehung hat sich in der industriellen Praxis ein integratives Produktmodell mit dem Begriff *Digital Mock-Up* (DMU) etabliert. Dieses virtuelle Modell repräsentiert die Struktur und Geometrie eines Produktes (Spur & Krause, 1997).

Die Entwicklung von rein mechanischen Produkten im Sinne des klassischen Maschinenbaus ist in der heutigen Zeit eher die Seltenheit. Das Zusammenspiel von verschiedenen Domänen (Mechanik, Elektronik, Software) gewinnt in der Produktentwicklung zunehmend an Bedeutung (vgl. Abb. 2). „Bislang galt die Elektronik- bzw. Softwareentwicklung als Dienstleister für die Maschinenbaubranche. Für zukünftige mechatronische Produkte muss jedoch ein die Fachdisziplinen integrierender mechatronischer Produktentwicklungsprozess definiert werden“ (F.-L. Krause, Franke, & Gausemeier, 2007).

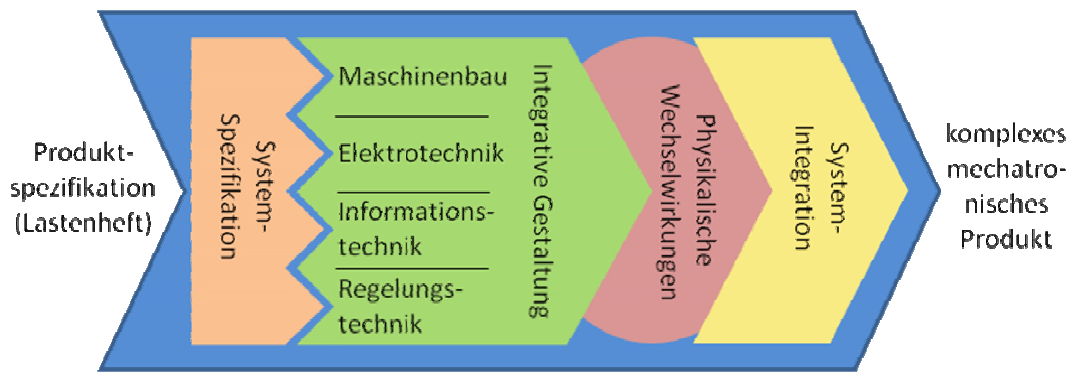


Abb. 2: Mechatronischer Produktentwicklungsprozess nach (F.-L. Krause et al., 2007)

„Die Entwicklung [mechatronischer Produkte] erfolgt bislang meist getrennt in den involvierten Domänen auf der Basis etablierter, spezifischer Entwicklungsmethoden, die durch eigene Denkweisen, Begriffswelten und Erfahrungen geprägt sind. [...] Die Entwicklung von mechatronischen Systemen setzt die ganzheitliche Betrachtung der Systeme, ein interdisziplinäres Denken, eine gemeinsame begleitende Sprache bei den Entwicklern und meist den Einsatz rechnerunterstützter Werkzeuge voraus. Infolge der Komplexität und Heterogenität, die den meisten mechatronischen Systemen anhaften, ist eine systematische Vorgehensweise unabdingbar.“ (VDI, 2004)

Auf Grund der ständig zunehmenden Komplexität mechatronischer Produkte zeichnet sich in der Industrie der Bedarf an einer Schnittstellentechnologie ab, die die interdisziplinäre Integration von Design, Mechanik, Elektronik und Software unterstützt.

### Einordnung des Forschungsfeldes Smart Hybrid Prototyping

Das hier eingeführte Konzept des *Smart Hybrid Prototyping* integriert Konzepte und Technologien verschiedener Forschungsfelder. Hierzu zählen insbesondere Virtual, Mixed und Augmented Reality (VR, MR, AR), Digital Mock-Up, Simulation und Mensch-Maschine-Interaktion (vgl. Abb. 3).

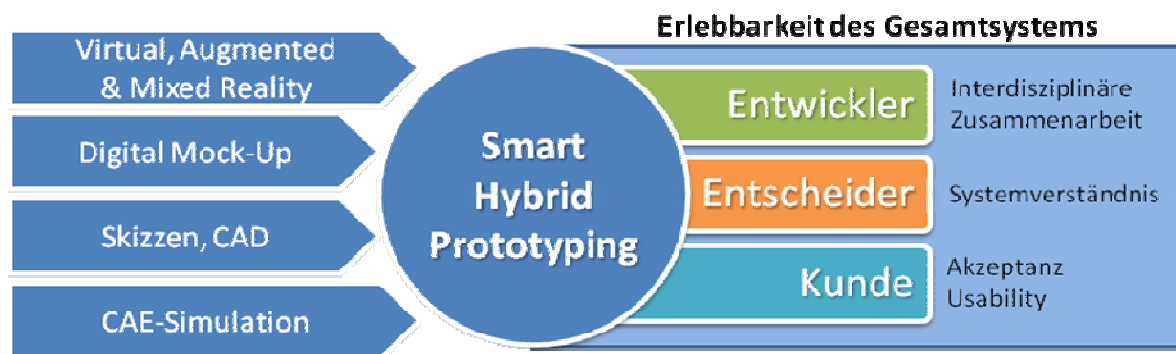


Abb. 3: Smart Hybrid Prototyping zur multimodalen Erlebbarekeit virtueller Prototypen

SHP stellt auf Entwicklerebene eine domainübergreifende Plattform bereit und erleichtert ganzheitliche Lösungen bei Interdomainkonflikten. So wird die Zusammenarbeit von Experten verschiedener Fachbereiche gefördert und die interdisziplinäre Lösungsfindung unterstützt.

Auf Managementebene kann das durch SHP verbesserte Produktverständnis Führungskräften bei Budgetentscheidungen unterstützen, indem Potenziale besser erkannt und gezielt gefördert werden können. Da durch heutige Technologien keine erlebbare Simulation des Gesamtprodukts möglich ist, müssen sich Entscheider ein mentales Modell des Gesamtprodukts mit Hilfe

von Fachwissen und Teilsimulationen bilden. Dies kann jedoch auf Grund der zunehmenden Komplexität mechatronischer Produkte nicht mehr hinreichend geleistet werden.

Des Weiteren können Kunden in einer frühen Projektphase in den Entwicklungsprozess eingebunden werden, um Produktakzeptanz-, Ergonomie- und Usability-Untersuchungen frühzeitig durchzuführen und somit die Produktqualität zu verbessern.

### **Augmented, Mixed und Virtual Reality**

Der Ansatz, virtuelle und reale/physische Szeneninhalte zu kombinieren, ist im Forschungsfeld Virtual Reality fest verwurzelt (Bowman, 2005; Paul Milgram & Colquhoun, 1999). Ziel ist die optimale Aufteilung zwischen physischen und realen Systemelementen hinsichtlich der funktionalen und interaktiven Systemeigenschaften (Hurtienne, Israel, & Weber, 2008).

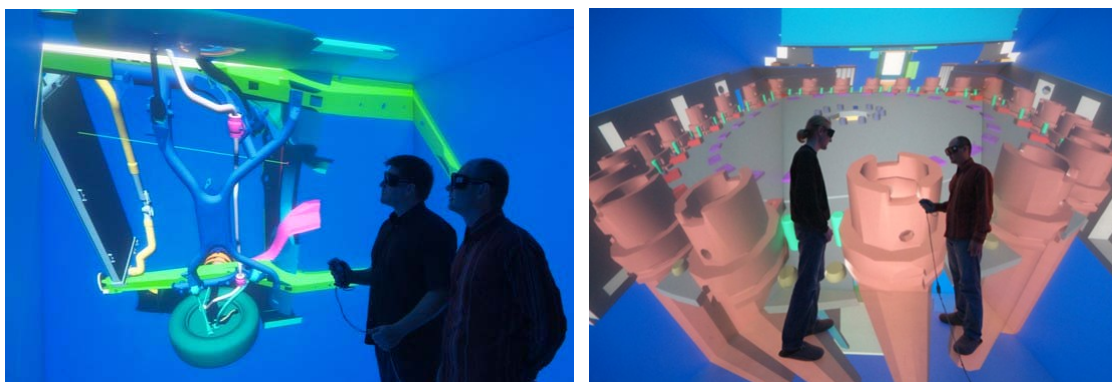


Abb. 4: Immersive Ein-/Ausbauuntersuchung (links); virtuelle Begutachtung (rechts)

Um Systeme hinsichtlich verschiedener Auslegung ihrer physischen und virtuellen Anteilen differenzieren zu können, führten Milgram und Kishino (P. Milgram & Kishino, 1994) ein Kontinuum der Virtualität ein, an dessen Polen reale und virtuelle Umgebungen stehen. Milgram und Kishino unterscheiden Physikalität und Virtualität dahingehend, ob im System physische oder simulierte Objekte sichtbar sind, ob insbesondere die realen Objekte direkt sichtbar sind oder projiziert werden, und ob die Objekte am Ort der Lichtemission wahrgenommen werden oder eine räumliche Projektion erfolgt (vgl. Abb. 4). Reale Umgebungen, in die virtuelle Objekte bspw. mittels Projektion eingebracht werden, lassen sich dem zufolge als (um digitale Informationen) angereicherte Realität (engl. Augmented Reality, AR) bezeichnen. Virtuelle Umgebungen, in die reale, physische Objekte eingebracht werden bezeichnen Milgram und Kishino dagegen als (um physische Objekte) angereicherte Virtualität (engl. Augmented Virtuality, AV). Die Übergänge zwischen den Polen sind fließend. Sobald sowohl physische als auch virtuelle Objekte in einer Umgebung zusammengebracht werden, sprechen Milgram und Kishino von gemischter Realität (engl. Mixed Reality, MR).

Das Konzept des Smart Hybrid Prototyping ordnet sich in das Kontinuum zwischen Augmented Reality und Augmented Virtuality ein und erweitert es um eine funktionale Dimension, die eine intuitive Interaktion mit dem Gesamtsystem ermöglicht.

### **Digital Mock-Up**

„Im Allgemeinen wird ein DMU als virtuelle Attrappe definiert, welche die Produktstruktur und die Produktgeometrie repräsentiert. Diese sind Teil der virtuellen Produktentwicklung und stellen die wirklichkeitsgetreue Beschreibung eines Produkts in digitaler Form dar“ (F.-L. Krause et al., 2007). Da DMUs weitgehend auf die Integration der Geometrie beschränkt sind und ein Bedarf der funktionalen Integration besteht, wurde am Fraunhofer IGD ein Industrieworkshop mit Beteiligung führender Industrieunternehmen durchgeführt. Ziel ist die Erweiterung von DMU um funktionale Aspekte hin zu einem *Functional Digital Mock-Up (FDMU)*.

Hierfür werden Softwarewerkzeuge und Methoden zur frühzeitigen funktionalen Integration virtueller mechatronischer Produkte, deren Verhalten sich durch die Kombination und Wechselwirkung des Verhaltens der Teilsysteme definiert, entwickelt (Fraunhofer, 2006).

Der Mehrwert der Smart Hybrid Prototyping Technologie im Vergleich zu DMU/FDMU ist die Möglichkeit, das Produkt und seine Funktionalität in den frühen Phasen der Entstehung zu erleben. So sollten die funktionalen und emotionalen Gebrauchseigenschaften eines Produkts nicht getrennt voneinander betrachtet werden. Die multimodale Darstellung des Prototyps ist ein wesentlicher Bestandteil der SHP-Technologie. Hierdurch entsteht nicht nur ein technologischer Zugewinn, sondern erweitert auch dessen Erkenntnisziel hin zu den emotionalen ganzheitlichen Erlebnisaspekten des Produkts.

## **Mensch-Maschine-Interaktion**

Das gleichzeitige Ansprechen möglichst vieler Wahrnehmungsebenen des Benutzers ist für die Qualität der Interaktion und den Grad der Immersion von entscheidender Bedeutung. Virtual Reality Anwendungen beschränken sich normalerweise auf die Visualisierung und auf akustische Effekte. Indes trägt die haptische Interaktion einen bedeutenden Teil zur Aufstellung kognitiver Modelle und zur visuellen Vorstellung bei (Goldstein, 1997). Ziel des SHP ist es deshalb, zusätzlich zum visuellen und akustischen auch den haptischen Sinn in die Interaktion mit einzubeziehen. Bei diesem multimodalen Ansatz werden die Sinnesorgane mit jeweils speziell dafür entwickelten Geräten stimuliert.

Die Computerhaptik ist ein relativ junges Gebiet der Computerwissenschaften, für das nur einige wenige praxistaugliche Anwendungen existieren. Dies ist vor allem auf die hohen Anforderungen des haptischen Sinns und auf seine hohe Sensibilität zurückzuführen. Auch beim heutigen Stand der Technik stellt die Integration der Computerhaptik in den Produktentstehungsprozess eine Herausforderung dar.

## **Anwendungsfälle des Smart Hybrid Prototyping**

Das Konzept des Smart Hybrid Prototyping lässt sich auf eine Vielzahl industrieller Anwendungsfälle übertragen.



Abb. 5: Anwendungsszenario „Drehwippkran-Simulator“

Ein Beispiel aus der Automobilindustrie ist die Entwicklung von Pkw-Heckklappen. Durch die mechanische Konstruktion im CAD-System werden viele ergonomische Eigenschaften maßgeblich bestimmt, jedoch fehlt in dieser Phase die Möglichkeit, ergonomische Untersuchungen mit Endkunden durchzuführen. Dies ist lediglich durch den kostenintensiven Bau eines Prototyps möglich. Um dies zu umgehen und dem Entwickler eine unmittelbarere Rückmeldung zu bieten, kann die SHP-Technologie eine Lösung darstellen. Hierzu wird das CAD mit einem MKS-Modell gekoppelt um die Trajektorie und Kräfteverlauf realitätsnah simulieren

zu können. Diese digitalen Modelle können beispielsweise mit Hilfe von haptischen Interaktionswerkzeugen in eine kinästhetische Simulation umgesetzt werden (F. Krause, Israel, Neumann, & Beckmann-Dobrev, 2005).

Ein weiteres Anwendungsszenario ist ein interaktiver Fahrsimulator, der durch hochauflösende, immersive Projektion in Verbindung mit einer Motionplattform ein realitätsnahes Fahrerlebnis vermitteln kann. Damit wären beispielsweise Sichtbarkeitsüberprüfungen, das Testen von Fahrerassistenzsystemen oder die Evaluation der Fahrdynamik möglich (vgl. Abb. 5).

VR-basierte Simulatoren ermöglichen die Simulation mehrerer verschiedener Maschinenvarianten bis hin zu unterschiedlichen Anwendungsbereichen auf einem System. Die Vorort-Arbeitsbedingungen eines Bedieners können realistischer simuliert werden, was ein Höchstmaß an Wiedererkennung der vermittelten Trainingsinhalte bei der späteren Steuerung der realen Maschinen zur Folge hat. Die Kosten für Bedientraining und -ausbildung sinken drastisch, weil die realen Maschinen des Kunden produktiv bleiben. Darüber hinaus kann der Simulator als Produktentwicklungswerkzeug für eine Evaluation noch nicht existenter Produkte (Virtual Testing) genutzt werden.

Smart Hybrid Prototyping gibt dem Entwickler, Entscheider und Kunden die Gelegenheit, das Produkt in der frühen Phase seiner Entstehung funktional zu erleben.

## Literatur

- Bowman, D. A. (2005). *3D user interfaces*. Boston, Mass.: Addison-Wesley.
- Cross, N. (2008). *Engineering design methods : strategies for product design* (4. ed. ed.). Chichester: Wiley.
- Fraunhofer. (2006). Functional DMU. from <http://www.igd.fhg.de/igd-a2/fdmu/>
- Goldstein, E. B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie : eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl.
- Hurtienne, J., Israel, J. H., & Weber, K. (2008). *Cooking up Real World Business Applications Combining Physicality, Digitality, and Image Schemas*. Paper presented at the TEI'08 Second International Conference on Tangible and Embedded Interaction, Bonn.
- Krause, F.-L., Franke, H. J., & Gausemeier, J. (2007). *Innovationspotenziale in der Produktentwicklung* (1. Aufl. ed.). München [u.a.]: Hanser.
- Krause, F., Israel, J., Neumann, J., & Beckmann-Dobrev, B. (2005). *A 6-DOF user interface for grasping in VR-based computer aided styling and design*. Paper presented at the VRST '05: Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, Monterey, CA, USA.
- Milgram, P., & Colquhoun, H. (1999). A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information Systems, E77-D*(12).
- Pahl, G., E Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2005). *Konstruktionslehre : Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung; Methoden und Anwendung* (6. Aufl. ed.). Berlin: Springer.
- Sachse, P. (2002). *Idea materialis: Entwurfsdenken und Darstellungshandeln. Über die allmähliche Verfertigung der Gedanken beim Skizzieren und Modellieren*. Berlin: Logos Verlag.
- Spur, G., & Krause, F.-L. (1997). *Das virtuelle Produkt : Management der CAD-Technik*. München: Hanser.
- Uhlmann, J. (2005). *Die Vorgehensplanung Designprozess für Objekte der Technik*. Dresden: TUDpress.
- VDI. (2004). *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme* (Vol. 2206). Berlin: Beuth Verlag.

