

3D-Skizzieren in virtuellen Umgebungen – Neue Wege für kreatives Problemlösen

Eva Wiese, Johann H. Israel, Christian Zöllner, Magdalena Mateescu und Rainer Stark

Schlüsselwörter: 3D-Skizzieren, Immersion, Virtual Reality, Design-Problemlösen, Userstudie

Zusammenfassung

Die Entwicklung eines Produktes aus einer Menge gegebener Zustandsvariablen und Funktionen erfordert komplexe Informationsverarbeitungsprozesse und die Anwendung verschiedener Problemlösestrategien. Diesen komplexen Anforderungen an die Problemlösefähigkeiten des Designers stehen jedoch Kapazitätsbegrenzungen des menschlichen Arbeitsgedächtnisses gegenüber. Die Überwindung dieser Einschränkungen und die Förderung innovativer Produktentwicklungsprozesse kann durch die Implementierung geeigneter Unterstützungsfunktionen zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses im Designprozess realisiert werden. Die meisten Unterstützungssysteme konzentrieren sich bisher allerdings auf die späten Phasen der Produktentwicklung und bieten somit keine ausreichende Unterstützung des umfassenden Designzyklus. Überdies sind bestehende Systeme meist auf 3D-Desktop-Visualisierungen beschränkt und erlauben keine realistische, größen-, kontext- und maßstabsgetreue Darstellung von Entwürfen. Ziel der beschriebenen Fallstudie ist die Identifikation des Unterstützungspotenzials immersiver, Virtual-Reality basierter Skizzierumgebungen für die Ideenfindung in den frühen Phasen der Produktentwicklung. Weiterhin sollen Möglichkeiten für eine vollständig digitale Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses gefunden werden. Die Ergebnisse unterstreichen besonders den ideenfördernden Charakter der immersiven Skizzierumgebung. Als problematisch stellt sich dagegen die Schwierigkeit der Linienführung und Objektlokalisierung im dreidimensionalen Raum heraus.

To develop a physical, three-dimensional product out of a set of given variables and operators, complex information processing and the application of problem-solving strategies is needed. As the humans' cognitive and creative capabilities are restricted by working-memory capacity, suitable support functions and tools are needed in the design process. Although a variety of digital support systems exists, their empirical examination and evaluation is still in short supply. Additionally, most support systems rely on desktop-based systems and do not provide realistic images of the product in terms of size and scale, three-dimensional appearance and context. Furthermore, most supporting systems are intended for later stages of product development, leaving out the early, product-defining design stages. In particular, systems which provide immersive spatial modelling experiences are not established in industrial practice and product development cycles yet. This paper presents a case study of a design approach which integrates Virtual Reality (VR), CAD and Rapid Prototyping. The results show that immersive 3D-sketching and CAD modelling provide complementary functionalities in terms of scale, interactivity and shape generation.

Einleitung

Betrachtet man die Praxis der industriellen Produktentwicklung stellt man fest, dass produzierende Unternehmen mit sich rasch ändernden Anforderungen, wachsendem Kosten- und Innovationsdruck und stets kürzer werdenden Entwicklungszyklen, bei gleichzeitig steigendem Qualitätsanspruch konfrontiert sind. Diesem steigenden Anspruch an Flexibilität, Effizienz und Innovation der Produktentwicklung steht ein komplexer und häufig unflexibler Entwicklungsprozess gegenüber. Aufgrund des steigenden Innovationsdrucks werden Unterstützungsmöglichkeiten zur Beschleunigung der aufwändigen Entwicklungsarbeit benötigt (Krause & Stark,

2008). In diesem Beitrag werden immersive virtuelle Umgebungen als eine Unterstützungsmöglichkeit am Beispiel des immersiven Skizzierens diskutiert.

Das Forschungsziel dieses Beitrags konzentriert sich darauf, wie solche externen Unterstützungsformen beschaffen sein müssen. Insbesondere stellt sich die Frage, in welchen Phasen des Produktentwicklungsprozesses ihr Einsatz am effizientesten ist, so dass bei hohen Qualitätsansprüchen Effizienzsteigerungen gewährleistet werden können. Um dieses Ziel erreichen zu können, ist eine ingenieurwissenschaftliche Weiterentwicklung bestehender Unterstützungssysteme in enger Verzahnung mit deren psychologischer Evaluation und Anpassung an Nutzerfähigkeiten und -bedürfnisse unabdingbar.

Skizzieren als komplexes Problemlösen

Im Verlauf eines Entwurfsprozesses findet ein ständiger Wechsel zwischen internen Denk-, Beurteilungs- und Entscheidungsschritten und externen Schreib-, Zeichen- und Sprechschritten statt (Sachse et al., 1999). Durch diesen Wechsel aus Synthese und Analyse werden interne, kognitive und externe, motorische Aktionen miteinander kombiniert (Galperin, 1966). Um diese komplexe und flexible Handlungsstruktur des Entwicklungsprozesses geeignet organisieren zu können, ist eine Unterstützung sensumotorischer Art sinnvoll (Hacker & Lindemann, 2000; Tversky, 2003). Eine solche Stütze können Skizzen oder Modelle bieten, da sie mentale und motorische Anteile miteinander verbinden und auf diese Weise zu einer Externalisierung der Problemrepräsentation beitragen. Entscheidend ist dabei die Tatsache, dass das Externalisieren neben der Fixierung und Vergegenständlichung mental gefasster Lösungsideen auch der Erzeugung und Weiterentwicklung von Lösungen dient. Es ermöglicht eine rückwirkende Differenzierung, Korrektur und Kontrolle der internen Repräsentation und trägt als externer Speicher zu einer Entlastung des Arbeitsgedächtnisses bei (*reflection-in-action*, Schön, 1983). Durch die Einbindung externer Repräsentationen in den Problemlöseprozess findet die Lösungssuche dadurch nicht mehr nur auf der Basis interner, kognitiver Ressourcen, sondern auch mittels externer Visualisierungen statt, mit denen der Problemlöser perzeptiv und motorisch interagieren kann. Auf diese Weise kann die Belastung des Arbeitsgedächtnisses reduziert und Kapazitäten für effiziente und kreative Problembearbeitungsschritte freigemacht werden.

Neben herkömmlichen Skizziermethoden mit Papier und Bleistift, etablieren sich zur Unterstützung des Designprozesses in letzter Zeit auch immersive 3D-Skizziertechniken in virtuellen Umgebungen. Im Gegensatz zu herkömmlichen CAD-basierten Skizziersystemen besteht für den Designer bei 3D-Skizziertechniken die Möglichkeit, aktiv mit der Skizze zu interagieren und intuitiv benutzbare 3D-Werkzeuge zur Erzeugung von Freiformflächen einzusetzen. Überdies kann die Evaluation der erstellten Skizzen in einer eins-zu-eins Proportionalität erfolgen, wodurch die Überprüfung bestimmter Basisfunktionalitäten und räumlicher Eigenschaften ermöglicht wird (Israel et al., 2008). Durch das hohe Immersionserleben in virtuellen Umgebungen kann zusätzlich die Geschwindigkeit und Genauigkeit bei räumlichen Schlussfolgerungsprozessen erhöht, das Erkennen von Entwurfsfehlern gefördert und das Verständnis komplexer räumlicher Strukturen im Vergleich mit 2D-Zeichentechniken gesteigert werden (Schuchardt & Bowman, 2007). Deshalb werden immersive VR-Systeme neben der Erstellung von 3D-Skizzen insbesondere auch für die Evaluation von Produktentwürfen im Rahmen von Design-Reviews eingesetzt. Neben funktionalen Aspekten bietet immersives 3D-Skizzieren zusätzlich auch hedonische Vorteile, die sich positiv auf die Kreativität des Entwurfes und die Qualität des Design-Problemlösens auswirken können (Israel et al., 2008, 2009).

Nutzerstudie – Integriertes Design mit VR- und CAD-basierten Systemen

Der folgende Abschnitt beschreibt die Ergebnisse einer Nutzerstudie mit Designstudenten. Ihre Aufgabe bestand darin, eine Deckenlampe mit Hilfe von VR- und CAD-Unterstützungswerk-

zeugen zu entwerfen. Ziel der Untersuchung war es, den Einfluss immersiven 3D-Skizzierens und immersiver Design-Reviews in virtuellen Umgebungen auf das Ergebnis des Designprozesses zu untersuchen.

Versuchspersonen

Die Studie wurde mit 14 Designstudenten (10 männlich, 4 weiblich, Durchschnittsalter: 25.21, SD= 3.56) der Universität der Künste Berlin durchgeführt. Die Versuchsteilnehmer teilten sich auf die Studiengänge Industriedesign (8), Architektur (4) und Produktdesign (2) auf und befanden sich zum Zeitpunkt der Studiendurchführung im Durchschnitt im 6. Semester. 53.9% der Studenten verwendeten jede Woche Papier-und-Bleistift-Skizzen, darunter 30.1% jeden Tag. 50.1% der Teilnehmer verwendeten täglich 3D-CAD-Software, 42.9% mindestens einmal pro Woche. 2D-CAD-Software wurde dagegen seltener benutzt: 35.7% verwendeten derartige Programme täglich, 28.6% immerhin mehrmals pro Woche. 78.6% der Studenten hatten bislang keine Erfahrung mit 3D-Skizzieren in virtuellen Umgebungen, wohingegen 7.1% der Teilnehmer VR-Umgebungen gelegentlich zur Unterstützung des Designprozesses benutzten.

Fragebögen und Protokolle

Vor Versuchsdurchführung erfolgte die Beantwortung eines demographischen Fragebogens, in dem Angaben zur Person, Skizziererfahrung und Erfahrung mit CAD- und VR-Systemen erfasst wurden. Ein weiterer Fragebogen wurde verwendet, um die subjektive Erfahrung mit dem 3D-Skizziermedium während des Versuchs zu erfragen. Die verwendeten Items wurden aus den von Buxton (2007) aufgestellten Eigenschaften des Skizzierens im Produktdesign abgeleitet. Zum Abschluss der Nutzerstudie wurde ein dritter Fragebogen eingesetzt, in dem die Versuchsteilnehmer ihren Gesamteindruck von der kombinierten Produktentwicklung mit VR- und CAD-Systemen wiedergeben konnten.

Versuchsumgebung und Material

Die Nutzerstudie wurde als Laborstudie umgesetzt: 3D-Skizzieren und Design-Review wurden im Virtual-Reality-Labor des Fraunhofer Instituts IPK Berlin durchgeführt; Interviews und Fragebogenuntersuchung erfolgten in einem an das VR-Labor angrenzenden Besprechungsraum. Die Bearbeitung der 3D-Skizzen wurde von den Studenten mit ihren eigenen CAD-Programmen vorgenommen und fand in den Räumen der Universität der Künste Berlin statt. Die immersive, virtuelle Umgebung wurde durch ein VR-Cave-System realisiert, das aus fünf Projektionswänden mit jeweils 2,5 m Kantenlänge bestand. Die stereoskopische Projektion wurde mit einem aktiven Shutterverfahren realisiert, durch magnetisches Tracking wurde ein freies Bewegen im 3D-Raum ermöglicht. Für die direkte Erzeugung von 3D-Geometrien wurden zwei verschiedene Werkzeuge verwendet, ein Stift für das Zeichnen von Freihandkurven und ein Bezier-Werkzeug für das Erzeugen von Flächen und gekrümmten Oberflächen. Die einzelnen Skizzier- und Evaluationsschritte wurden mit Hilfe einer Videokamera aufgezeichnet.

Versuchsdesign und Vorgehen

Aufgabe der Studenten war es, mit Hilfe digitaler Unterstützungsmedien eine Deckenlampe zu entwerfen. Die Studiendurchführung dauerte insgesamt eine Woche: Während des ersten Tages skizzierten die Teilnehmer ihre Designideen in der Cave in 3D. Einführend erhielten sie einen kurzen Überblick über den Ablauf der Studie und die Handhabung der VR-Werkzeuge, welche sie zehn Minuten lang aktiv ausprobieren konnten. In den darauffolgenden 20 Minuten sollte ein Konzeptentwurf für die Deckenlampe mit Hilfe der 3D-Werkzeuge erstellt werden (Abb. 1). Um die Designumgebung realistischer zu gestalten, wurde eine virtuelle Glühbirne an der

Decke der Cave aufgehängt, so dass die Studenten ihre Designentwürfe direkt um diese Glühbirne herum erzeugen konnten (Abb. 2). Jede angefertigte Skizze wurde anschließend im VRML-Format gespeichert.



Abb. 1: Immersiver Skizzierprozess und Überarbeitung der Entwürfe mittels Desktop-CAD.

Von Tag zwei bis vier der Studie verfeinerten die Studenten die Lampenentwürfe mit Hilfe von Desktop-basierten CAD-Programmen. Am häufigsten wurden die Software-Systeme Rhinoceros 4.0 und 3Dmax verwendet. Diese CAS/CAD-Programme erlauben einen direkten Import von VRML-Daten als Meshdaten und deren Weiterverarbeitung mittels der integrierten Modellierungsfunktionen. Während der Überarbeitung der Modelle wählten die Studenten die besten Skizzen und Freiformflächen aus und extrudierten Linien und Flächen um geschlossene 3D-Körper zu erhalten. Zusätzlich wurden Radii, Durchmesser und Positionen bestimmter Skizzenteile geändert und die skizzenhaften Linien geglättet. Die am häufigsten verwendeten Manipulationen waren das Skalieren, die Veränderung der Offsets von Kurven und Oberflächen, Copy & Paste, das Schließen von Lücken, sowie das Zusammenfügen und Neuausrichten von Kurven und Oberflächen.

Am fünften Tag der Versuchsdurchführung war es die Aufgabe der Studenten mit den er-

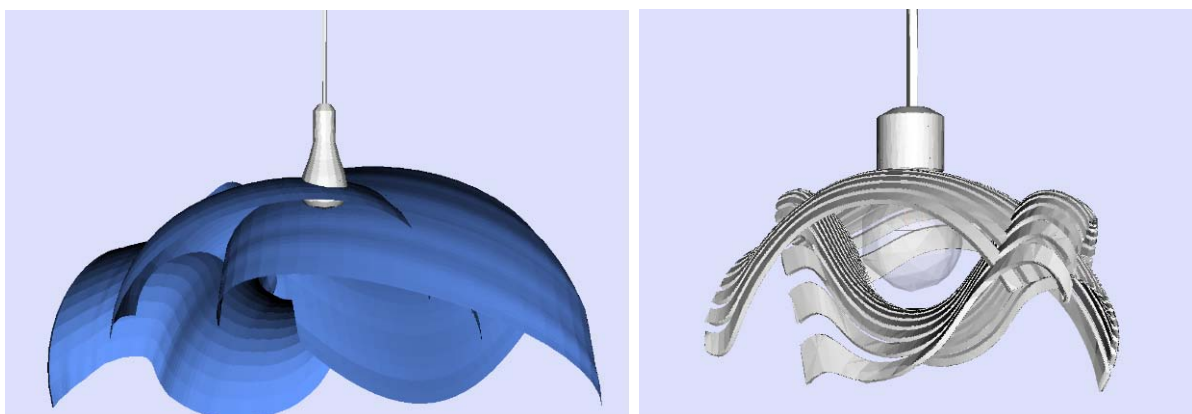


Abb.2: 3D-Skizze einer Deckenlampe (*links*), fertiges CAD-Lampenmodell (*rechts*).

zeugten Modellen einen Design-Review durchzuführen und den gegebenen Entwicklungsstand zu evaluieren. Zu diesem Zweck wurden die Lampenmodelle erneut in VRML-Format re-exportiert und in der Cave visualisiert (Abb. 3). Im Vergleich zu herkömmlichen Desktop-CAD-Systemen bietet die immersive Cave-Umgebung für diesen Prozess den Vorteil des Embodiment, d. h. die Möglichkeit, sich um die Modelle herum zu bewegen, sie aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten und sie in ihren räumlichen Relationen in Echtgröße zu erle-

ben. Im Anschluss an den digitalen Design-Review wurden die Lampenmodelle per Rapid-Proto-typing-Verfahren in physikalische Produktmodelle transformiert und einem weiteren Reviewprozess unterzogen.

Ergebnisse

Das Erleben während des 3D-Skizzierens wurde mit Hilfe einer 5-stufigen Skala nach Buxton (2007) als abhängige Variable erfasst. Für die Identifikation von positiven und negativen Effekten in den subjektiven Ratings der Studenten, wurden Median Splits durchgeführt: Items mit einem Median von mindestens 2.50 wurden als positive Bewertung, Items mit einem Median von weniger als 2.50 als negative Bewertung gewertet. Es zeigten sich positive Effekte für

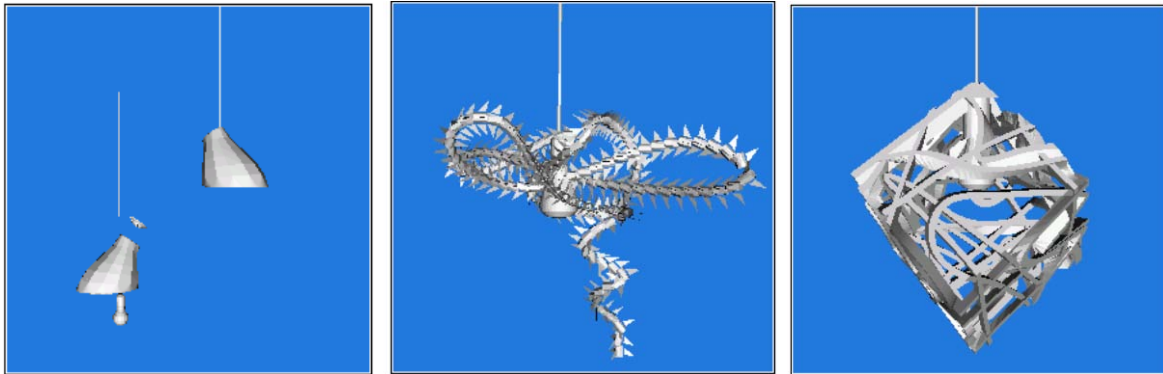


Abb.3: Überarbeitete Modelle im immersiven Design-Review.

kognitive Anstrengung (invertiert, $Median=2$, $IQR=1.00-2.75$), physische Anstrengung (invertiert, $Median=1.50$, $IQR=1.00-3.00$), Spaß ($Median=3$, $IQR=2.00-4.00$), Zufriedenheit ($Median=2.50$, $IQR=1.25-3.00$), Selbstkommunikation ($Median=2.50$, $IQR=2.00-3.75$), Gesamtanstrengung beim Skizziervorgang (invertiert, $Median=3$, $IQR=1.25-3.00$) und Ideengenerierung ($Median=3$, $IQR=1.00-3.00$). Negative Bewertungen fanden sich für die Items Ideenflüssigkeit ($Median=1.50$, $IQR=1.00-2.00$), Externalisierungsgeschwindigkeit ($Median=1.50$, $IQR=1.00-3.00$), Verfügbarkeit von Skizziertechniken ($Median=2.00$, $IQR=2.00-3.00$), Vertrautheit ($Median=1.50$, $IQR=1.00-2.00$), Einfachheit der Nutzung ($Median=2.00$, $IQR=1.00-3.00$) und Einfachheit der Externalisierung ($Median=2$, $IQR=1.00-2.00$). Bezüglich des Potentials von 3D-Skizziertechniken für konzeptuelles Design hoben die Studenten den experimentellen Charakter des 3D-Skizzierens (21.4%), die methodologische Unterstützung durch die 3D-Skizzier-tools für die Ideenbildung (21.4%) und die Vereinfachung des Skizzierprozesses durch die Verfügbarkeit von vielen Freiheitsgraden, durch die zusätzliche Innenansicht der Objekte und die Verfügbarkeit diverser Sichtwinkel und Perspektiven (50.0%) positiv hervor. Demgegenüber wurden die Ergonomie der Skizziertools (35.7%) und die sensumotorischen Behinderungen durch das VR-System (in der Tiefe zeichnen, Verbindungslinien und Schreiben) kritisiert (57.1%). Doch ungeachtet dieser Nachteile bevorzugten 78.6% der Studenten virtuelles 3D-Skizzieren gegenüber herkömmlichem Papier-und-Bleistift-Skizzieren für die Ausführung der vorgegebenen Aufgabe.

Zusätzlich zum virtuellen 3D-Skizzieren fertigten 90.9% der Studenten eine Papier-und-Bleistift-Zeichnung und 55.6% ein physisches Modell (Papier-Mock-Up) an. Dabei wurden pro Student im Mittel 7.29 ($SD=4.61$) Papier-und-Bleistift-Zeichnungen und 1.00 ($SD=1.83$) physische Modelle hergestellt. Auf einer 0-1 Skala hatten 3D-Zeichnungen den größten Einfluss auf die finale Entwurflösung ($z=0.79$, $SD=0.17$), gefolgt von Papier-und-Bleistift-Zeichnungen ($z=0.60$, $SD=0.38$) und physischen Modellen ($z=0.48$, $SD=0.18$). Die Studenten orientierten sich an Linien und Kurven, welche während des 3D-Skizzierens erstellt wurden, um die finale Form zu bestimmen. Ferner benannten die Studenten die eins-zu-eins Perspektive und die Proportionalität der virtuellen Objekte als hilfreiche Unterstützung des Designprozesses.

Diskussion und weiteres Vorgehen

Das integrierte Design-Problemlösen in VR- und CAD-Umgebungen wurde von den Studienteilnehmern sehr positiv bewertet. 3D-Skizzieren wurde als geeignete Unterstützung für Ideenbildung, Selbstkommunikation und das parallele Experimentieren mit verschiedenen Lösungsansätzen bewertet. Bedingt durch die technischen Einschränkungen verursachte das 3D-Skizzieren allerdings sensumotorische Störeffekte und war für die Anfertigung sehr detailreicher Entwürfe weniger geeignet. An dieser Stelle berichtet die Studie lediglich deskriptive Statistiken bezüglich Nutzerakzeptanz und wahrgenommener Vor- und Nachteile von integrierten Designansätzen. Als Anschlussstudien sind vergleichende Untersuchungen von 3D-Skizzieren mit gewöhnlichem Papier- und Bleistift-Skizzieren und CAD-unterstütztem Skizzieren geplant. Weiterhin wird beabsichtigt, die Ergebnisse an größeren Stichproben und Designern mit höherer Praxiserfahrung zu replizieren.

Literatur

- Buxton, W. (2007). *Sketching User Experiences*. Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Galperin, P.J. (1966). Die geistige Handlung als Grundlage für die Bildung von Gedanken und Vorstellungen. In: J. Lompscher (Hrsg.), *Probleme der Lerntheorie*. Berlin: Volk und Wissen.
- Hacker, W. & Lindemann, U. (2000). Virtual-Reality-Darstellungen – Hilfen beim Entwurfsdenken? *Konstruktion*, 54 (5), 58-64.
- Israel, J.H., Zöllner, C., Mateescu, M., Korkot, R., Bittersmann, G., Fischer, P.T., Neumann, J., & Stark, R. (2008). Investigating User Requirements and Usability of Immersive Three-dimensional Sketching for Early Conceptual Design. In: *Proceedings of SBIM'08*, Nancy, 127-134.
- Israel, J.H., Wiese, E., Mateescu, M., Zöllner, C., & Stark, R. (2009). Investigating three-dimensional sketching for early conceptual design—Results from expert discussions and user studies. *Computers & Graphics*, DOI: 10.1016/j.cag.2009.05.005, im Druck.
- Krause, F.-L. & Stark, R. (2008). Potentials and Future Innovation of Virtual Product Creation. In: *Proceedings of 53rd IWK*. Ilmenau, Technische Universität.
- Sachse, P., Leinert, S., Sundin, M. & Hacker, W. (1999). Funktionen des Prototyping im Konstruktionsprozess. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 4, 225-236.
- Schön, D.A. (1983). *The Reflective Practitioner. How professionals think in action*. Basic Books, New York.
- Schuchardt, P. & Bowman, D.A. (2007). The benefits of immersion for spatial understanding of complex underground cave systems. In: *Proceedings of ACM VRST 2007*, 121-124.
- Tversky B. (2003). Sketching for Design and Design of Sketches. In: Lindemann, U. (Hrsg.) *Human Behaviour in Design*, Berlin: Springer-Verlag, 79–86.