

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle als Schlüsselement für VR/AR-Anwendungen

Kunz, A.¹; Wegener, K.¹

¹ ETH Zürich, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung

Abstract

Im Zuge der „Industrie 4.0“-Initiative sollen digitale und reale Welten ein cyberphysisches Produkt (oder auch eine cyberphysische Produktion) bilden, in das ebenfalls der Mensch integriert werden soll. Insbesondere bei der Integration des Menschen in eine virtuelle Welt bestehen aber noch erhebliche Probleme im Hinblick auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle, die derzeit einen Einsatz in einem produktiven Umfeld verhindern. Dieser Beitrag zeigt die bestehenden Probleme auf sowie neue Ansätze in der Forschung, die Interaktion des Menschen mit der digitalen Welt natürlicher zu gestalten.

1 Einleitung

In Produktentwicklung und Produktion existieren neben den physischen Objekten auch digitale Repräsentationen. Bei der zunehmenden Durchdringung von realen und virtuellen Objekten und damit von Entwicklungs- und Produktionsprozessen spricht man in Europa von einer vierten industriellen Revolution (I 4.0) [15].

Die Wechselwirkung von realen und virtuellen Objekten wird auch als cyberphysisches System (CPS) bezeichnet. Anders als bei früheren Ansätzen beinhalten diese cyberphysischen Systeme auch die explizite Integration des Menschen in die jeweiligen Prozesse. Durch den Zugriff auf Daten des Entwicklungs- und Produktionsprozesses kann der Mensch seine Fähigkeiten erweitern. Dies stellt allerdings hohe und grundlegend neue Anforderungen an Maschinen, Anlagen und die IT-Infrastruktur [14], wenn ein effizientes Zusammenwirken erzielt werden soll. Nach Zamfirescu et al. [35] soll eine Integration des Menschen wie folgt aussehen (siehe Bild 1).

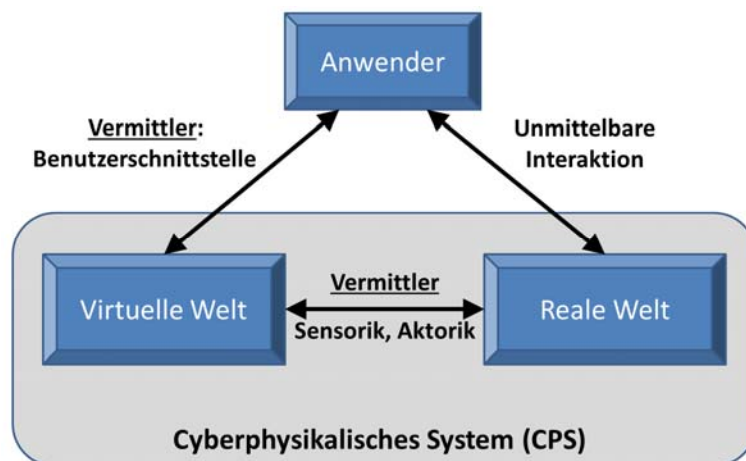


Bild 1: Die Integration des Menschen in ein CPS [10]

Da der Mensch insbesondere zu den virtuellen Komponenten keinen direkten Zugang hat, sind hier geeignete Schnittstellen erforderlich, welche als Vermittler funktionieren. Für eine intuitive Interaktion mit der digitalen Datenwelt müssen insbesondere die visuelle, akustische und haptische Wahrnehmung angesprochen werden.

2 Stand der Forschung

Um dem Menschen die Handlungsanweisungen oder andere Informationen zu übermitteln, werden typischerweise visuelle Darstellungen verwendet. Im Wesentlichen werden hier drei Visualisierungstechnologien eingesetzt: Datenhelme (Head-mounted Displays, HMD), tragbare Geräte (Handhelds) sowie Projektionstechnologien [22]

Die Unterstützung des Arbeiters durch geeignete Ausgabegeräte wird seit den 1990er Jahren erforscht. Mit unter den ersten waren Feiner et al. [9], welche einen HMD nutzten, um für die Reparatur von Druckern und Kopiergeräten dem Techniker zusätzliche Informationen einzublenden. Allerdings war zu der damaligen Zeit lediglich eine Wireframe-Darstellung möglich. Da die zusätzlichen graphischen Informationen exakt über das physische Objekt gelegt werden mussten, wurde weiterhin ein akustisches Trackingsystem eingesetzt. Aufgrund der damals verfügbaren Technologie war allerdings die Graphikleistung begrenzt und es entstanden merkliche Latenzen zwischen der Kopfbewegung des Anwenders und der Aktualisierung der graphischen Ausgabe.

Auch Boeing setzte ein HMD zur Unterstützung des Anwenders bei der Erstellung von Kabelbäumen ein [5]. Zur Formgebung von Kabelbäumen wurden die Kabel zunächst in einer Schablone vorgeformt. Die Schablone wurde durch das Einsetzen von Stiften konfiguriert. Das HMD zeigte hierfür dem Arbeiter an, wo er die Stifte einzusetzen hat. Neben dem großen Gewicht stellte auch die Tatsache ein Problem dar, dass das HMD über ein Kabel mit dem Rechner verbunden war. Wie von Regenbrecht et al. [27] dargestellt, wird eine ähnliche Technologie auch eingesetzt, um Kabelbäume in Lastwagen zu verlegen.

Wie von Klinker et al. [18] beschrieben, lässt sich Augmented Reality auch im Service einsetzen. In ihrer Anwendung wird die Blickrichtung des Anwenders durch ein optisches Trackingsystem erfasst, um ihm anschließend an der richtigen Stelle im Sichtfeld die Arbeitsanweisung einzublenden. Auch hier wird ein kabelgebundenes HMD eingesetzt, welches dem Anwender nur einen kleinen Aktionsradius erlaubte.

Ähnliche Ansätze wurden auch von den beiden Projekten ARVIKA [4] und ARTESAS [3] verfolgt. Auch hier wurden in HMD zusätzliche Informationen eingeblendet, welche den Arbeiter bei der Durchführung des nächsten Arbeitsschrittes unterstützen sollten. Das Ziel war hier, dass Augmented Reality das herkömmliche Montagehandbuch bei Airbus ersetzen sollte. Allerdings wurde der HMD nicht realisiert.

Alle HMD-basierten Systeme weisen allerdings den Nachteil auf, dass der das HMD über ein Kabel an den Graphikrechner angeschlossen ist, wodurch einerseits das System nicht mobil ist, und andererseits der Anwender in seinem Aktionsraum merklich eingeschränkt ist.

Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit von Tablets und Smartphones werden diese zunehmend auch in der Forschung verwendet, um Informationen aus dem Cyberspace darzustellen [11], [31], [34]. Eine typische Applikation hierzu wurde von Kahn et al. [16] vorgestellt. In ihrer Applikation wurde ein Tablet-PC verwendet, um zusätzliche Informationen über den momentanen Betriebszustand eines Systems auszugeben, welche der Arbeiter dann in seine Entscheidungen einfließen lassen kann. Serván et al. [29] stellte eine Montagesimulation bei Airbus vor, in der der Monteur über die Montageposition eines Bauteils informiert wurde.

Neben der unmittelbaren Unterstützung der Montage- und Serviceprozesse durch die Bereitstellung vorwiegend geometrischer virtueller Daten werden vermehrt im I 4.0-Umfeld auch Augmented Reality-Systeme eingesetzt, um Logistikdaten oder Informationen über den Produktionsprozess bereitzustellen. In dem Projekt „CyP-ros“ [7] werden neue Assistenzsysteme erforscht, welche Informationen zu Produkten, Prozessen und Systemen in Echtzeit bereitstellen können. In dem Projekt wird ein Tablet-Computer mit einem optischen Trackingsystem verwendet, um diese zusätzlichen Informationen bereitzustellen.

Die Verfügbarkeit von Maschinen und damit auch die Kapazitätsplanung von Anlagen werden in dem Projekt „KapaflexCy“ [17] untersucht, und die Ergebnisse sollen

auch hier auf mobilen Geräten dargestellt werden. Um vor Ort eine Instandhaltung zu unterstützen, werden im Projekt „SCPS“ [28] in einem sogenannten „Ressourcen Cockpit“ die Datenströme von Produkt und Produktionsressourcen zusammengeführt und auf einem Tablet-PC dargestellt.

Die oben aufgeführten Projekte setzen sogenannte Handheld-Devices ein wie beispielsweise Smartphones. Diese weisen jedoch den Nachteil auf, dass einerseits die Hände nicht mehr für die eigentliche Arbeit zur Verfügung stehen, andererseits eine Bedienung dieser Geräte nicht immer möglich ist, wie z.B. mit Arbeitshandschuhen.

Wie man aus den obigen Beispielen entnehmen kann, bedarf es typischerweise dedizierte Interfaces, um mit der virtuellen Welt zu interagieren. Nach dem heutigen Stand der Technik werden für die Informationsausgabe HMDs oder Tablets verwendet, während die Informationseingabe heute nahezu ausschließlich über die interaktiven Oberflächen von Tablets, Smartphones oder Screens erfolgt. Wenngleich hierdurch schon sehr viele industrielle Anwendungen, z.B. in Logistik und Maintenance abgedeckt werden können, so verbleiben doch Situationen, für welche die derzeitigen Interfaces nicht geeignet sind. In diesem Beitrag sollen daher neue Ansätze der Forschung aufgezeigt werden, mit denen Interfaces noch besser an die jeweiligen Anforderungen in VR/AR angepasst werden können.

3 Erweiterung der sogenannten "Natural User Interfaces"

Der Bereich der "Natural User Interfaces" (NUI) wird im Wesentlichen charakterisiert durch berührungsempfindliche Oberflächen, welche auf unterschiedlichen Techniken beruhen. Erste Versionen der interaktiven Flächen werteten einfach ein Kamerasignal aus, wie beispielsweise der "DigitalDesk" [33]. Andere Technologien basieren auf optischer Erkennung infraroten Lichtes, einerseits basierend auf der Störung der Totalreflexion in einem Medium wie beispielsweise in Jeff Hans FTIR-System [12], oder aber auch basierend auf direkter Reflexion des infraroten Lichtes [13]. Auch kapazitive Systeme kommen zum Einsatz, wie beispielsweise in MS Surface Hub [21].

NUIs reduzieren sich aber nicht nur auf die Eingabe über Touchscreens, sondern hierzu müssen ebenfalls auch Interfaces für andere natürliche Bewegungsmodalitäten gezählt werden, wie beispielsweise das Laufen oder das Verwenden von Gesten. Das Bewegen durch virtuelle Welten geschieht häufig mit Hilfe manueller Eingabegeräte wie z.B. einer Spacemouse. Während dies noch nicht zu den NUIs gezählt werden kann, werden hingegen die Laufinterfaces wie z.B. die Omnidirectional Treadmill [8] oder Virtuix Omni [32] in diese Klasse gehören.

Aber auch diese Beispiele zeigen auf, dass die Interfaces noch nicht vollständig in der Lage sind, die natürliche Interaktion mit der Anwendung zu unterstützen. Das Zeigen oder Navigieren auf Touchscreens reduziert ebenso die Immersion wie das stimulierte Laufen auf Laufbändern oder Gleitelementen. Noch sind diese Interfaces ein merklicher Vermittler zwischen dem Menschen und der virtuellen Welt (siehe Bild 1), aber das Ziel sollte es sein, dass sie unmerklich eine unmittelbare Interaktion mit der virtuellen Welt ermöglichen. Insbesondere getrieben durch die Spieleindustrie sind in jüngster Zeit Komponenten auf dem Markt verfügbar, welche für eine Weiterentwicklung dieser NUI genutzt werden können, sowohl im VR- als auch AR-Bereich. Einige dieser Weiterentwicklungen sollen in den folgenden Kapiteln aufgezeigt werden.

3.1 Erleben virtueller Welten durch wirkliches Laufen

Wie oben dargestellt, versuchen Lauf-Interfaces dem Nutzer das Gefühl echten Laufens zu vermitteln, obgleich er physisch an derselben Stelle bleibt. Dies ist nur möglich durch "Zurückziehen" des Anwenders auf einem Förderband oder aber durch ein Zurückgleiten. Da dieses Zurückziehen des Anwenders von diesem aber wahrgenommen wird, verfolgen neuer Forschungsarbeiten das Ziel, den Anwender tatsächlich laufen zu lassen. Schnell würde dieser aber bei großen virtuellen Welten an die physischen Grenzen des realen Raumes stoßen, würde er nicht auf einer Kreisbahn geführt. Ausgenutzt wird hierbei die visio-haptische Dominanz, nach der die visuelle Wahrnehmung den stärkeren Sinneseindruck hinterlässt als die haptische Wahrnehmung.

Dieser Ansatz wurde erstmals von Razzaque et al. Vorgestellt [26], aber erst in jüngerer Zeit weiterverfolgt, beispielsweise von Steinicke et al. [30] oder Nescher & Kunz [23] konsequent weiter verfolgt. Bei letzteren war in Kombination mit einem hochauflösenden HMD (Oculus Rift II) und einer komplett portablen Installation erstmals ein echtes Laufen in einer virtuellen Welt möglich (siehe Bild 2).



Bild 2: Das ReWaVE-System

Bei diesem System erlauben die Prädiktion der künftigen Lauftrajektorie und die Auswahl einer geeigneten Redirektionstechnik durch den Controller, auch grössere virtuelle Welten hochimmersiv zu erleben. Systeme dieser Art werden künftig auch eingesetzt werden können, um beispielsweise virtuell geplante Fabriken auch tatsächlich begehen zu können, um so eventuelle Planungsfehler zu erkennen. Andere Einsatzgebiete können aber zum Beispiel auch in einer komplett digitalen und um echtes Laufen erweiterten MTM (Methods-Time Measurement) liegen, mit der frühzeitig eine produktionsoptimierende Planung durchgeführt werden kann.

3.2 Erkennen von Gesten

Ein nächster wichtiger Schritt in diesen Kontext wird die Erweiterung auf mehrere Anwender sein, um so beispielsweise eine gemeinsame Fabrikbegehung durchzuführen und im Team die Probleme bereits am virtuellen Objekt zu diskutieren. Während dies für die Prädiktion und den Controller zunächst einmal eine deutlich höhere Rechenleistung erfordert, werden zudem auch andere wichtige NUI benötigt. Das gemeinsame Erörtern von Sachverhalten ist typischerweise gestützt auf sogenannte deiktische Gesten, die nur zusammen mit einem gesprochenen Wort einen Sinn ergeben. Da aber die Anwender bei der Begehung der virtuellen Welt ein HMD tragen, können sie ihre eigenen Gesten und damit die Korrektheit der Zeigerichtung nicht erkennen. Es besteht somit die Notwendigkeit, diese Gesten zuverlässig zu erkennen und latenzfrei in der virtuellen Welt darzustellen. Da deiktische Gesten aber nicht nur aus Zeigegesten bestehen müssen, ist es nicht ausreichend, nur eine Armbewegung zu erkennen, sondern es sollten auch die jeweiligen Finger einer Hand erkannt werden können.

Zwar existieren bereits seit vielen Jahren Datenhandschuhe wie beispielsweise der Cyberglove [6], jedoch benötigt die Anpassung dieses Handschuhs an die jeweilige Anatomie des Anwenders einen erheblichen Zeitaufwand. Es existieren daher Ansätze, optische infrarot-basierte Sensoren zur Erkennung der Finger einzusetzen, wie beispielsweise von Alavi & Kunz [1] dargelegt. Um die Genauigkeit des eingesetzten LEAP-Sensors zu erhöhen, wurde den Sensordaten ein Skelettmodell zugrunde gelegt, welches wiederum die Basis für ein Hidden-Markov-Modell bildete. So konnte trotz der teilweisen Verdeckungen (Teilobservierbarkeit) eine stabile Erkennung der Finger erreicht werden.

Das Erkennen von deiktischen Gesten ist aber nicht nur bei der kollaborativen Erkundung virtueller Welten notwendig, sondern ebenso auch in dem für die Industrie wichtigen Bereich der Ideenfindung. Wie bereits von Kunz & Wegener [20] dargestellt, ist diese Ideenfindung für die Produktentwicklung und Produktionsplanung ein wichtiger Aspekt. Die Ideenfindung wird üblicherweise im Team durchgeführt und erfordert bislang die physische Präsenz aller Teilnehmer, weil auch hier die deiktischen Gesten als Informationsträger nicht über das Netzwerk übertragen werden

können. Anhand einer Mindmap-Anwendung wurde von Kunz et al. [19] gezeigt, dass auch hier die Gesten erfasst und übertragen werden können (siehe Bild 3).

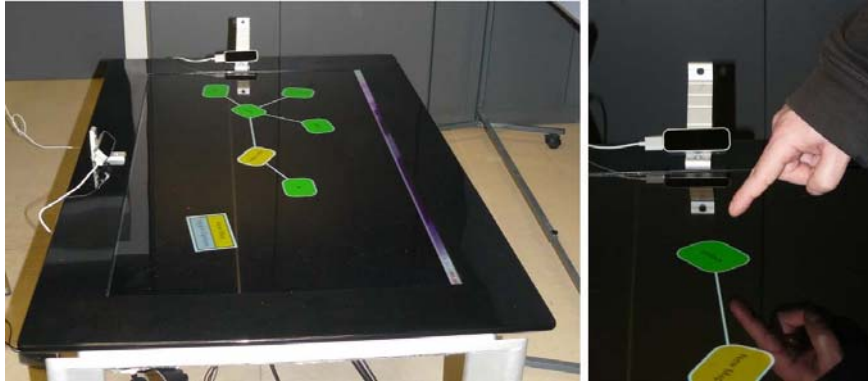


Bild 3: Sensoren an einem PixelseNSE zur Erfassung von Zeigegesten

Es wurde anschließend von Alavi & Kunz [2] nachgewiesen, dass durch das Übertragen der Zeigegesten und die Darstellung dieser durch ein Hervorheben des relevanten Zielpunktes bei der Gegenstation die Zeit zur Bearbeitung einer Aufgabe signifikant verkürzt werden konnte.

4 Zukünftige Entwicklungen

Wie die obigen Beispiele aufzeigen sollten, ist derzeit bei den Anwender-Interfaces ein Trend zu Geräten zu verzeichnen, die nicht mehr direkt vom Anwender getragen werden. Gleichsam der Tendenz des "Disappearing Computers" entwickeln sich nun auch die VR/AR-Interfaces zu "Disappearing Interfaces". Die Interfaces werden somit auch geeigneter für Industrie 4.0-Anwendungen, da hierdurch auch eine "hands-free"-Bedienung möglich wird. Da das VR/AR-System automatisch das Verhalten des Anwenders erkennt und interpretiert, entfällt aufwändiges Anbringen der Interfaces am Anwender, was häufig auch mit entsprechenden Akzeptanzproblemen verbunden war.

Von diesem Trend ausgenommen sind die Headmounted Displays, welche zwischenzeitlich durch das Abdecken eines weiten Gesichtsfeldes, ihr geringes Gewicht, ihren hohen Tragekomfort und durch die hohe Auflösung eine hohe Akzeptanz bei den Anwendern haben. Momentan sind Geräte wie der Oculus Rift allerdings nur für VR-Anwendungen geeignet, doch schon jetzt sind neue Produkte wie die Microsoft Hololens angekündigt und in Kürze erhältlich, welche dann auch ein neues Interface für den AR-Bereich darstellen.

Sowohl für VR als auch AR relevant sind auch die zu erwartenden neuen Tracking-systeme und –algorithmen, welche in Zukunft die Präparation des Raums für Trackingausgaben überflüssig machen könnten. Neue Ansätze semi-autonomer Trackingsysteme [36] oder optischer Trackingsysteme (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) [24] sowie erste Produkte auf dem Markt [25] werden hierfür in weitere Forschungsarbeiten integriert werden.

Literaturangaben

- [1] Alavi, A.; Kunz, A.: „In-Air Eyes-Free Text Entry: A Work in Progress“; in: *Proceedings of the 4th IUI Workshop on Interacting with Smart Objects*; pp.24 - 27; 2015
- [2] Alavi, A.; Kunz, A.: „Tracking Deictic Gestures ober Large Interaktive Surfaces“; in: *Journal of Computer Supported Cooperative Work*; pp. 109 - 119; 2015
- [3] Artesas; <http://www.artesas.de> (aufgerufen am 19.4.2015)
- [4] Arvika; <http://arvika.de> (aufgerufen am 19.4.2015)
- [5] Cardell, T. P.; Mizell, D. W.: „Augmented Reality: An Application of Head-up Display Technology in Manual Manufacturing Processes“; in: *Proceedings of the IEEE Hawaii International Conference on Systems Sciences*; 1992
- [6] Cyberglove Systems; <http://www.cyberglovesystems.com> (aufgerufen am 22.10.2015)
- [7] CyPros; <http://www.produktionsforschung.de/projekt/cypros> (aufgerufen am 19.9.2015)
- [8] Darken, R.; Cockayne, W.; Carmein, D.: „The Omni-Directional Treadmill: A Locomotion Device for Virtual Worlds“; in: *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*; pp. 213 - 221; 1997
- [9] Feiner, S.; MacIntyre, B.; Seligman, D.: „Knowledge-based Augmented Reality“; in: *Communications of the ACM* 36(7); pp. 52 – 62; 1993
- [10] Gorecky, D.; Schmitt, M.; Loskyll, M.: „Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter“; in: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*; pp 525-542; 2014
- [11] Hakkarainen, M.; Woodward, C.; Billinghurst, M.: „Augmented Assembly Using a Mobile Phone“; in: *Proceedings of the 7th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*; pp. 167-168; 2008

- [12] Han, J.: „Low Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection“; in: *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*; pp. 115 – 118; 2005
- [13] Hofer, R.; Kunz, A.; Kaplan, P.: „MightyTrace: Multiuser Tracking Technology on LC-Displays“; in: *Proceedings of the 26th Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*; pp. 215 – 218; 2008
- [14] *Industrie 4.0 – Innovationen für die Produktion von morgen*; http://www.bmbf.de/pub/broschuere_Industrie-4.0-gesamt.pdf (aufgerufen am 5.10.2015)
- [15] *Umsatzempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht*; http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf (aufgerufen am 25.10.2015)
- [16] Kahn, S.; Olbrich, M.; Engelke, T.; Keil, J.; Riess, P.; Webel, S.; Graf, H.; Bockolt, U.; Picinbono, G.: „Beyond 3D ‚as built‘ Information: Using Mobile AR Enhancing the Building Lifecycle Management“; in: *Proceedings of the International Conference on Cyberworlds*; pp. 29-36; 2012
- [17] Projekt „KapaflexCy“; <http://www.kapaflexcy.de> (aufgerufen am 20.9.2015)
- [18] Klinker, G.; Creighton, O.; Dutpolt, A.; Kobylinski, A.; Vilsmeier, C.; Brügge, B.: „Augmented Maintenance AG Powerplants: A Prototyping Case Study of a Mobile AR System“; in: *Proceedings of ISMAR*; pp. 124 - 133; 2001
- [19] Kunz, A.; Schnelle-Walka, D.; Alavi, A.; Pölzer, S.; Mühlhäuser, M.; Miesenberger, K.: „Making Tabletop Interaction Accessible for Blind Users“; in: *Proceedings of Interactive Tabletops and Surfaces*; pp.327 - 332; 2014
- [20] Kunz, A.; Wegener, K.: „Towards Natural User Interfaces in VR/AR for Design and Manufacturing“; in: *2. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien an der Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik der TU Chemnitz*; pp.23 - 34; 2013
- [21] *Microsoft Surface Hub*; <https://www.microsoft.com/microsoft-surface-hub/de-ch> (aufgerufen am 28.10.2015)
- [22] Nee, A.; Onk, S.; Chryssolouris, G.; Mourtzis, D.: „Augmented Reality Applications in Design and Manufacturing“; in: *CIRP Annals Manufacturing Technology*; pp. 657 – 679; 2012
- [23] Nescher, T.; Kunz, A.: „Using Head Tracking Data for Robust Short Term Path Prediction of Human Locomotion“; in: *Transactions in Computational Science*; Vol. XVIII; pp.172 - 191; 2013
- [24] Nüchter, A.: „3D Robotic Mapping - The Simultaneous Localization and Mapping Problem with Six Degrees of Freedom“; Springer-Verlag GmbH, Berlin 2009, ISBN 978-3540898832

- [25] Projekt „Google Tango“; <https://www.google.com/atap/project-tango/> (aufgerufen am 28.10.2015)
- [26] Razzaque, S.; Kohn, Z.; Whitton, M. C.: „Redirected Walking“; in: *Proceedings of Eurographics*; 2001
- [27] Regenbrecht, H.; Baratoff, G.; Wilke, W.: „Augmented Reality Projects in the Automotive and Aerospace Industry“; in: *IEEE Computer Graphics Applications* 25(6); pp. 48 – 56; 2005
- [28] Projekt „SCPS“; <http://www.produktionsforschung.de/projekt/scps> (aufgerufen am 20.9.2015)
- [29] Serván, J.; Rubio, J. M.; Mas, F.; Gómez, A.; Rios, J.: „Augmented Reality Using Laser Projection for the Airbus A400M Wing Assembly“; in: *Proceedings of the 29th International Manufacturing Conference*; pp. 154 – 162; 2011
- [30] Steinicke, F.; Bruder, G.; Kohli, L.; Jerald, J.; Hinrichs, K.: „Taxonomy and Implementation of Redirection Techniques for Ubiquitous Passive Haptic Feedback“; in: *Proceedings of the 2008 International Conference in Cyberworlds*; pp. 217 - 223; 2008
- [31] Stutzmann, B.; Nilsen, D.; Brodewick, T.; Neubert, J.: „MARTI: Mobile Augmented Reality Tool for Industry“; in: *Proceedings of 2009 World Congress on Computer Science and Information Engineering (CSIE)*; pp. 425-429; 2009
- [32] Virtuix Omni; <http://virtuix.com> (aufgerufen am 25.10.2015)
- [33] Wellner, P.: "Interacting with Paper on the DigitalDesk"; in: *Communications of the ACM - Special Issue on Computer Augmented Environments: Back to the Real World*"; Vol. 36, Issue 7; pp. 87 - 96; 1993
- [34] Xin, M.; Sharlin, E.; Sousa, M.: „Napkin Sketch – Handheld Mixed Reality 3D Sketching“; in: *Proceedings of the 15th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*; pp. 223-226; 2008
- [35] Zamfirescu, C. B.; Pirvu, B. C.; Schlick, J.; Zühlke, D.: "Preliminary Insides for an Anthropocentric Cyber-Physical Reference Architecture of the Smart Factory"; in: *Studies in Informatics and Control*, Vol. 22, No. 3; 2013
- [36] Zank, M.; Nescher, T.; Kunz, A.: „Tracking Human Locomotion by Relative Positional Feet Tracking“; in: *Proceedings of IEEE Virtual Reality*; pp. 317 – 318; 2015