

Tangible XR für die Exploration und Gestaltung von Mensch-Technik-Systemen in hybriden Arbeitswelten

Frank FLEMISCH^{1,2}, Konrad BIELECKI², Michael PREUTENBORBECK¹,
Nicolas HERZBERGER¹, Marcel BALTZER², Joscha WASSER², Katja SEGLER²

*¹ Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen
Eilfschornvsteinstraße 18, D-52062 Aachen*

² Fraunhofer FKIE, Fraunhoferstraße 20, D-53343 Wachtberg

Kurzfassung: Mehr und mehr Arbeitswelten werden mit Extended Reality (XR) als Überbegriff für virtuelle oder augmentierte Realitäten (VR, AR) exploriert, gestaltet und überprüft. Während bisher vor allem der visuelle und der akustische Kanal dominierten, bildet Tangible XR auch die haptische Interaktion nach, womit die virtuellen oder augmentierten Welten begreifbarer werden. Tangible XR kann auch für die Exploration von Mensch-Technik-Systemen in hybriden Arbeitswelten Vorteile bieten. Der Beitrag führt in das Thema ein und skizziert den theoretischen Hintergrund der Tangible XR. Als Beispiel werden die Exploration einer Autotür im DFG-Exzellenzcluster Internet of Production am IAW der RWTH Aachen, sowie von Fahrzeuginnenräumen am Fraunhofer FKIE beschrieben.

Schlüsselwörter: Human Systems Integration, Human Systems Exploration, Haptik, XR, VR, AR

1. Einführung

Durch technologischen Fortschritt wie breitbandigere und echtzeitfähigere Vernetzung, höhere Rechenleistung und leistungsfähigere Mensch-Maschine-Schnittstellen werden zunehmend hybride Arbeitswelten möglich. Neben großen Chancen kann dies auch Risiken oder Nachteile für Menschen und Organisationen mit sich bringen. Ein Teil der Hybridisierung wird durch Methoden und Technik der virtuellen, augmentierten oder erweiterten Realität (Extended Reality XR) erreicht. Eine vergleichbare Fragestellung gibt es bei der computerunterstützten Gestaltung von Arbeitswelten, die mit virtuellen und realen Prototypen stattfinden kann. Ein Teil dieser Arbeitsgestaltung erfolgt bereits hybrid, d.h. in einer Mischung aus physischer Präsenz, z.B. von Personen in einem Labor, und virtueller Präsenz, z.B. von Personen, die über Videokonferenz und/oder Kollaborations-Software zugeschaltet sind.

Während in dieser Virtualisierung visuelle und akustische Interaktion vergleichsweise gut unterstützt ist, werden andere Sinneskanäle oft zu wenig berücksichtigt. Insbesondere der haptische Kanal spielt für die Immersion und für die Begreifbarkeit von geometrisch kodierten Sachverhalten eine nicht zu unterschätzende Rolle. Diese Lücke füllt Tangible XR: Visuelle und akustische Sachverhalte werden bei dieser Methode virtuell z.B. über HMDs (Head-Mounted Displays) dargestellt, während gleichzeitig die relevanten haptischen Komponenten über physische Aufbauten und/oder haptisch aktive Mensch-Maschine-Schnittstellen nachgebildet werden. Ein Beispiel dafür sind haptisch aktive Handschuhe, die z.B. haptische Widerstände fühlbar machen. Ein anderes Beispiel sind Mockups, bei denen

Raum und Tür in der virtuellen Darstellung sichtbar sind, sowie haptisch relevante Elemente wie Türklinken, welche mit dem haptischen Aufbau begreifbar werden.

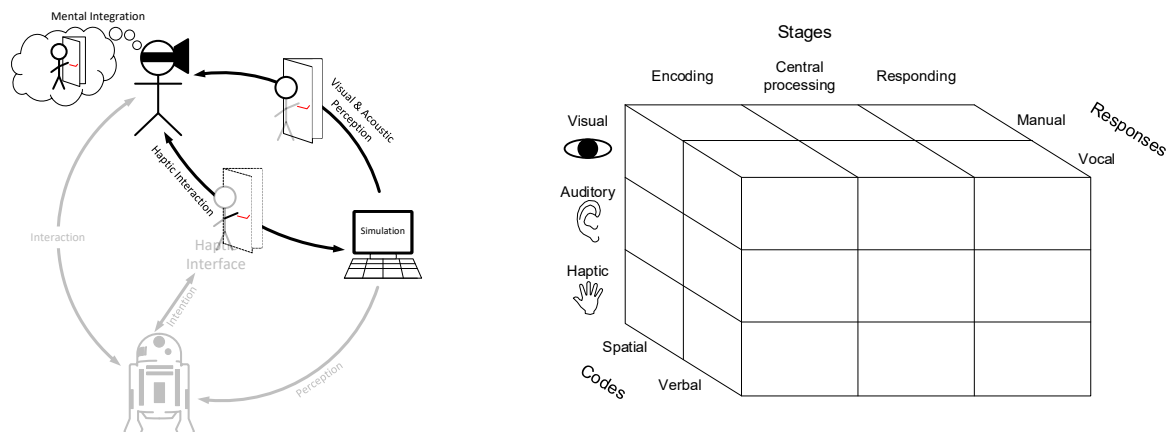


Abbildung 1: Systemmodell für Tangible XR (oben) sowie Tangible AI (unten) (Flemisch et al 2020)

Abbildung 2: Multiples Ressourcenmodell, (Wickens 2008) erweitert durch (Flemisch et al. 2012)

2. Theoretischer Hintergrund von Tangible XR

Abbildung 1 (rechts) zeigt ein Systemmodell für Tangible XR: Ein Ausschnitt der Welt wird hierbei entweder mittels einer Simulation erzeugt oder remote übertragen, was sowohl über den visuellen und akustischen Interaktionskanal als auch mittels ein oder mehrerer greifbarer Objekte über den haptischen Kanal wahrgenommen werden kann. Bei einer idealen Umsetzung der Tangible XR, kann der Mensch somit alle Interaktionen mental integrieren. Dieses Modell kann auch auf eine AR-Anwendung übertragen werden, bei der ein Teil der Interaktion mit der realen Welt und ein anderer Teil über eine Augmentierung erfolgt, welche auch KI-basiert sein kann (Flemisch et al. 2020).

Einen entscheidenden Hinweis auf das Zusammenwirken von tangiblen und nicht-tangiblen Interaktionsanteilen gibt die Theorie der multiplen Ressourcen. Hiernach können zwei Aufgaben nur dann gleichzeitig ausgeführt werden, wenn sie sich nicht dieselbe Interaktionsressource teilen müssen. Die ursprüngliche Theorie von Wickens et al. (2008) beschreibt visuelle und akustische Ressourcen, deutete aber bereits in frühen Veröffentlichungen an, dass das Zusammenspiel mit Haptik ein interessantes Forschungsfeld sein könnte. Flemisch et al. (2012) entwickelten daher das multiple Ressourcenmodell zum erweiterten Wickens-Würfel (Abbildung 2) weiter, welcher zusätzlich die Haptik als Interaktionsressource berücksichtigt. In der detaillierten Forschung zur haptisch-multimodalen Kopplung (Altendorf et al. 2016), wurde der Vorteil der parallelen Verarbeitung von visuellen, akustischen und haptischen Ressourcen gezeigt, was die Erweiterung der Theorie der multiplen Ressourcen auf drei oder mehr Kanäle rechtfertigt. Eine der Erkenntnisse aus der Theorie der multiplen Ressourcen ist, dass Aufgaben zuverlässiger ausgeführt werden, wenn sie unterschiedliche Ressourcen nutzen. In der Human Systems Integration HSI, insbesondere beim Zusammenspiel von Automatisierung oder KI mit dem Menschen und bei einer Mischung aus Augmented und Virtual Reality, kann die Hinzunahme haptischer Interaktionen, kombiniert mit visuellen und akustischen Elementen zu einer ausgewogenen multimodalen Interaktion führen. Dies kann zu deutlichen Unterschieden hinsichtlich Akzeptanz, Leistung und Sicherheit des Gesamtsystems

führen. So kann beispielsweise beim Führen eines Fahrzeugs die Fahraufgabe effizienter ausgeführt werden, wenn zusätzliche Informationen, wie z.B. über das Verhalten eines Assistenz- oder Automationssystems über weniger gesättigte Kanäle übermittelt werden.

3. Erste Tangible XR-Ansätze in der Forschungsgemeinschaft

Tangible XR wird bereits beim Rapid Prototyping von Mensch-Technik-Systemen eingesetzt. Einen konkreten Anwendungsfall für Mixed Reality beschrieben Stark et al. (2010). Sie nutzen die Integration von Mixed Reality-Elementen im Zuge von Smart Hybrid Prototyping (SHP). SHP dient als Konzept, virtuelle Prototypen multimodal und domänenübergreifend in frühen Phasen der Produktentwicklung zu bewerten. Dies erfolgt mittels Mixed Reality und erweitert diese um mechatronische Eingabegeräte als Brücke zwischen physischer und virtueller Realität.

Carulli et al. (2013) entwickelten einen multimodalen, virtuellen Prototyp zur Erfassung von Nutzerbewertungen. Als Use-Case diente dabei ein neues User Interface einer Waschmaschine. Potenzielle Kunden konnten das Interface dabei direkt durch Interaktion mit dem virtuellen Prototyp anpassen und ihre Änderungen in Echtzeit sehen und bewerten. Diese Methoden zur Designexploration sowie zu Nutzerbewertungen wurden bereits in so genannten Exploroscopes (Flemisch et al. 2013) und (Flemisch et al. 2019) angewandt. Hierbei entwickelten und bewerteten Experten und Nutzer neue Ideen und Interaktionsmethoden auf spielerische und kreative Weise. Das Paradigma der Exploration kann somit eine Lösung für einen agileren Entwicklungs- und Produktbewertungsprozess sein und auch im Kontext von hybrider Arbeit angewendet und dahingehend weiterentwickelt werden. Mehr zur Exploration in Flemisch et al. (2022).

4. Beispiel: Tangible XR für eine Autotür im Internet of Production am IAW

Im DFG-Exzellenzcluster „Internet of Production (IoP)“ der RWTH Aachen werden im Teilprojekt Product Development am IAW hybride Explorationen mittels Tangible XR durchgeführt. Der Anwendungsfall besteht im Rahmen einer agilen, auf dem IoP basierenden Fabrik darin, auf eine schnelle Änderungsanforderung an die Gestaltung einer Autotür so zu reagieren, dass auch die haptische Qualität des Öffnungsmechanismus angemessen adressiert wird. Die haptische Qualität des Öffnungsmechanismus wird dabei über objektive Maße wie Kraft- und Geschwindigkeitsverläufe, sowie subjektive Maße wie Gebrauchstauglichkeit (Usability) oder die haptische Wertigkeit der Tür ausgedrückt. Teil des explorativen Vorgehens ist die Gestaltung und Bewertung der haptischen Eindrücke durch verschiedene Stakeholder, z.B. durch potenzielle Nutzer. Diese Bewertung dient dazu, die optimalen Einstellparameter, z.B. Kräfte und Widerstände, für die Autotür zu identifizieren.

Wie in Abbildung 3 dargestellt, enthält Tangible XR sowohl virtuelle als auch physische Komponenten. Im Beispiel der Autotür besteht der Explorationsaufbau aus einem Rahmen aus Aluminiumprofilen, der zu einem Mock-Up in Form einer Autotür montiert wurde. Das Mock-Up ist mit einem Aktuator verbunden, der über eine Achse Drehmomente auf die Tür überträgt. Die Kräfte des Aktuators werden vom Nutzer beim

Öffnen der Autotür als passive Widerstände wahrgenommen. Zusätzlich zu dem haptischen Eindruck nimmt der Nutzer über eine Virtual-Reality-Umgebung eine augmentierte Version der Autotür visuell wahr. Die Übertragung des Verhaltens des Mock-Ups in die virtuelle Realität erfolgt über ein Linux/Ubuntu-basiertes System, das Kraft- und Winkeldaten des Aktuators an eine ROS-Schnittstelle (Robot Operating System) liefert, die Daten an ein Windows-basiertes und mittels Unity implementiertes System sendet, das die Virtual-Reality-Umgebung mit der Augmentation der Autotür bereitstellt (Meyer et al. 2021).

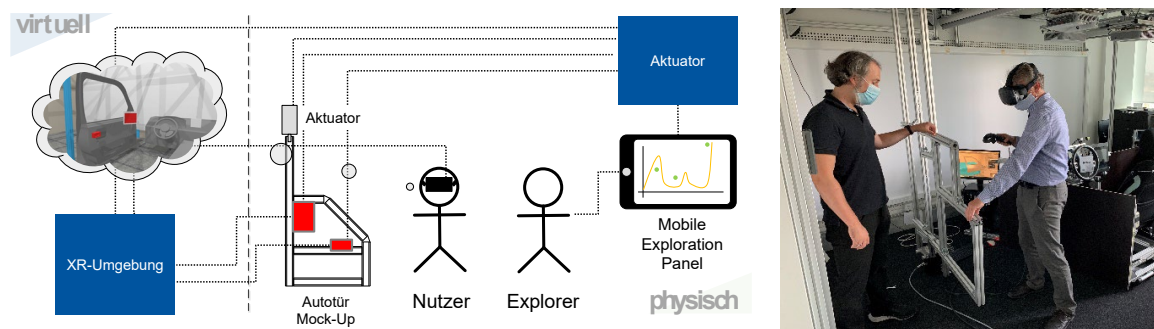


Abbildung 3: Tangible XR zur hybriden Exploration der haptischen Qualität einer Autotür (Meyer et al. 2021)

Die Intensität und der Widerstand können durch die Manipulation von Kraftprofilen auf einem mobilen Endgerät, einem so genannten "Exploration Panel", verändert werden. Das bedeutet, dass weitere Experten aus der Entfernung an der Exploration teilnehmen, hybride mitdiskutieren und unter Nutzung des Exploration Panels sogar aktiv Einstellgrößen des Versuchs manipulieren können.

5. Beispiel: Tangible XR für Fahrzeuginnenräume in sicherheitskritischen Anwendungen am Fraunhofer FKIE

Fahrzeuginnenräume sind durch ihren individuellen Aufbau und ergonomischen Anspruch eine besondere Herausforderung in jedem Entwicklungsprozess, gerade wenn sich die Modellphasen immer weiter verkürzen und die Projektteams international verteilt sind. Dabei bietet die Gestaltung eines solchen Innenraums eine Vielzahl an Möglichkeiten, welche sich von Form über haptisches Feedback bis hin zu Lage im Raum erstrecken können. Gleichzeitig ist ein Fahrzeug-Innenraum der Ort, an dem der Nutzer den intensivsten Kontakt mit dem Produkt hat und ist so der ideale Ort, um ein positives Nutzererlebnis und Alleinstellungsmerkmal zu gestalten. Eine Implementierung des Konzeptes Tangible XR, diesen Prozess der Innenraum-Gestaltung unter Einbindung aller Entscheider und dem zukünftigen Nutzer selbst, schnell und kostengünstig in einer XR-Simulationsumgebung durchführen zu können, wurde am Fraunhofer FKIE implementiert (López et al. 2020). Dabei wurde als Musterbeispiel der Arbeitsraum eines gepanzerten Fahrzeuges der deutschen Bundeswehr komplett in einer Simulation nachgebildet. Wichtige haptische Elemente, mit dem der Anwender interagiert, wurden physisch nachgebildet, ein Teil der Komponenteneinem 3D-Drucker nachgebildet. Die einzelnen Komponenten waren mit Sensorik und Aktorik ausgestattet, sodass eine Veränderung der einzelnen Komponente zu einer Veränderung in der Simulation führt. Der Anwender selbst trägt eine VR-Brille und nimmt diese Veränderung in der Simulation wahr, gleichzeitig können

die Entwickler von verschiedenen Standorten aus den Prozess virtuell verfolgen. Dank der Integration in die Simulation lassen sich Komponenten im Arbeitsraum schnell austauschen bzw. an eine andere Position im Raum anpassen. Ebenso lassen sich so in der Simulation Szenarien kreieren, die in der Realität nur schwer umsetzbar sind.



Abbildung 4: *Tangible XR für Fahrzeuginnenräume von gepanzerten Fahrzeugen; rechts: Simulation, links: Realität (Meyer et al. 2021)*

Der Ansatz Tangible XR kann auch für komplexere Interaktion von Nutzer mit Fahrzeugen verwendet werden. So wurde bei der Entwicklung eines fahrerlosen Nahverkehrsfahrzeug der Einstieg in das Fahrzeug simuliert. Für die Bewertung des Ein- und Ausstiegs wurden alle Handgriffe wie z.B. die an der Fahrzeugdecke verlaufenden Handläufe physisch im Simulator nachgestellt, womit auch die Positionierung überprüft werden konnte (Wasser et al. 2020).



Abbildung 5: *Proband bei der Erprobung des Einstiegs in ein tangible XR/Mixed Reality Mockup; (Wasser et al. 2020)*

6. Ausblick und Forschungsbedarf

XR in seinen Ausprägungsformen AR und VR, und insbesondere Tangible XR haben das Potential, das Gestalten und die Gestaltung von Arbeitswelten, insbesondere hybriden Arbeitswelten massiv zu verändern. Bei aller Euphorie gibt es noch eine Reihe von Forschungsfragen. So ist insbesondere die realistische Nachbildung von haptischem Empfinden noch deutlich teurer als visuelle und akustische Interaktion. Wieviel Haptik reicht aus, um die Vorteile der Methode bereits nutzen zu können? Kann schwächere Haptik durch zusätzliche visuelle Elemente verstärkt werden, wie dies die Kunst, z.B. in „Prière de toucher - Der Tastsinn der Kunst« (Museum Tinguely Basel 2016) bereits ausgelotet hat? Welche zeitlichen oder räumlichen Diskrepanzen zwischen haptischen und visuellen Eindrücken sind noch akzeptabel? Lassen sich haptische Stellteile ebenso generisch bereitstellen wie z.B.

Bildschirme oder Datenbrillen? Insbesondere die Spieleindustrie verspricht hier weitere Durchbrüche in der Verfügbarkeit haptischer Technologien. Halten wir dafür die Augen auf ... und lassen uns von dieser faszinierenden Technik berühren.

7. Literatur

- Altendorf E, Baltzer M, Heesen M, Kienle M, Weißgerber T, Flemisch F (2016) H-Mode, a Haptic-Multimodal Interaction Concept for Cooperative Guidance and Control of Partially and Highly Automated Vehicles. Springer International Publishing. Switzerland.
- CEN, European Committee for Standardization (2007) Safety of machinery, Human physical performance. Part 5: Risk assessment for repetitive handling at high frequency. EN 1005-05.
- Carulli M, Bordegoni M, Cugini U (2013) An approach for capturing the voice of the customer based on virtual prototyping. *J. Intell. Manuf.* 24(5), 887–903.
- Flemisch F, Abbink D, Itho M, Pacaux-Lemoine MP, Wessel G (2019) Joining the blunt and the pointy end of the spear: towards a common framework of joint action, human machine cooperation, cooperative guidance and control, shared, traded and supervisory control. *Cognition, Technology & Work*, Springer.
- Flemisch F, Baltzer M, Altendorf E, Maier S (2012) Balanced Human Systems Integration (lecture script). RWTH Aachen University, Aachen.
- Flemisch F, Baltzer M, Sadeghian S, Meyer R, Lopez Hernandez D, Baier R (2019) Making HSI more intelligent: Human Systems Exploration versus Experiment for the Integration of Humans and Artificial Cognitive Systems; 2nd conference on Intelligent Human Systems Integration IHSI San Diego.
- Flemisch F, Bielecki K, Hernández DL, Meyer R, Baier R, Herzberger ND, Wasser J (2020) Let's Get in Touch Again: Tangible AI and Tangible XR for a More Tangible, Balanced Human Systems Integration. In: International Conference on Intelligent Human Systems Integration. Springer, Cham, 1007-1013
- Flemisch F, Preutenborbeck M, Kehl C, Grünwald C, Wasser J, Baltzer M, Dahlmann A (2022) Human Systems Exploration for Ideation and Innovation in potentially disruptive Defense and Security Systems: Disruption, Ideation and Innovation for Defence and Security for Springer Nature, Springer.
- Flemisch F, Preutenborbeck M, Wasser J, Herzberger N, Baltzer M, Usai M, Segler K, Vorst D (2022) Human Systems Exploration: Mensch-Technik Exploration versus Experiment in hybriden Arbeitswelten, GfA.
- Flemisch F, Semling C, Heesen M, Meier S, Baltzer M, Krasni A, Schieben A (2013) Towards a balanced Human Systems Integration beyond time and space: Exploroscopes for a structured exploration of human-machine design spaces; HFM-231 SYMPOSIUM On 'Beyond Time and Space'; NATO-STO Human Factors and Medicine Panel; Orlando.
- Herzberger ND, Meyer NR, Flemisch FO (2020) Systemergonomie für kooperativ interagierende Automobile: Nachvollziehbarkeit des Automationsverhaltens und Eingriffsmöglichkeiten des Menschen. *IAW Spectrum* 15(1), 8-9.
- López-Hernández D, Bloch M, Bielecki K, Schmidt R, Baltzer M C, Flemisch F (2020, July) Tangible VR Multi-user Simulation Methodology for a Balanced Human System Integration. In: International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham, 183-189.
- Meyer R, Preutenborbeck M, Usai M, Biele K, Witzel A, Flemisch FO (2021) Increasing Agility: A Tangible XR for Rapid Prototype Development, Design Exploration and Usability Assessment. In: International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham, 85-91.
- Stark R, Krause FL, Kind C, Rothenburg U, Müller P, Hayka H, Stöckert H (2010) Competing in engineering design—The role of Virtual Product Creation. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 3(3), 175-184.
- Wasser J, Parkes A, Diels C, Tovey M, Baxendale A (2020) Human Centred Design of First and Last Mile Mobility Vehicles. 10.13140/RG.2.2.21586.58560.
- Wickens CD (2008) Multiple resources and mental workload. *Human factors*, 50(3), 449-455.

Danksagung: „Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC-2023 Internet of Production – 390621612“, sowie durch BAAINBw.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

GfA-Press

Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022

Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2022

ISBN 978-3-936804-31-7

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de