

Mobiles Bedienkonzept für die Baggersteuerung von Morgen

S. Lorenz¹, V. Waurich², D. Ansorge³, I. Franke⁴, J. Krzywinski¹

Juniorprofessur Technisches Design, Technische Universität Dresden¹

Professur Baumaschinen, Technische Universität Dresden²

Liebherr Hydraulikbagger AG³

Professur für Mediengestaltung, Technische Universität Dresden⁴

Zusammenfassung

Für die Bedienung von Baggern hat sich die Steuerung durch zwei Joysticks etabliert. Diese stellt einerseits hohe motorische und koordinatorische Anforderungen an die Bediener und kommt andererseits angesichts neuer komplexerer Werkzeuge an die Grenzen der mit ihr realisierbaren und kontrollierbaren Freiheitsgrade. Das Bedienkonzept „Mobile HMI“ formuliert einen funktionalen und gestalterischen Ansatz einer mobilen handgestenbasierten Fernsteuerung für Hydraulikbagger. Anstatt einer Eins-zu-eins-Umsetzung der Joystickfunktionen nutzt der interaktive Prototyp bestehend aus zwei Handfernbedienungen, Bewegungsanalogien zwischen Hand- und Werkzeugbewegungen mit dem Anspruch, ein intuitives und leichter zu erlernendes Bedienen zu ermöglichen. Wesentlicher Teil des Projektes war die Umsetzung des Konzeptes in einen physischen Funktionsprototyp. Zusammen mit einer grafischen Simulationsumgebung, die den Bagger mit seinen Funktionen und ein Einsatzumfeld abbilden, gestattet dieses physische digitale Testszenario eine realitätsnahe Interaktion und Untersuchung des neuen Bedienkonzeptes. Erste Testdurchläufe mit Laien und Experten konnten das Interesse für dieses Konzept wecken.

1 Einleitung

Im Projektformat „Interdisziplinäres Sommerprojekt“ an der Technischen Universität Dresden sind die Teilnehmer gefordert, in interdisziplinären Teams zusammenzuarbeiten und die fachspezifischen Blickwinkel auf Probleme sowie mögliche Lösungen zu verknüpfen. Im Ergebnis werden die nutzer- und anwendungsorientierten Lösungsansätze mithilfe von Augmented-Reality- und Virtual-Reality-Technologien (AR, VR) in interaktive und aktiv erlebbare Demonstratoren umgesetzt. Im Jahr 2016 widmete sich das Projektformat mit Studierenden der Fachrichtungen Informatik (Mediengestaltung), Baumaschinentechnik und Industriedesign zusammen mit der Firma Liebherr AG neuen Bedienkonzepten für die

Steuerung von Erdbewegungsmaschinen. Zentraler Aspekt der Aufgabenstellung ist die Fragestellung wie sich neue Interaktionstechnologien und computergestützte Bedienumgebungen nutzen lassen, um die Bedienung von Baggern effizienter und sicherer zu gestalten. Als eines von vier Bedienkonzepten thematisiert „Mobile-HMI“ den Schwerpunkt einer intuitiven Bedienung im Anwendungsszenario einer Fernsteuerung für Hydraulikbagger. Es adressiert damit einen vielversprechenden Ansatz, die physisch und kognitiv anspruchsvolle Arbeit auf einem Bagger flexibler und sicherer zu machen.

2 Status Quo Herausforderung Baggersteuerung

Hydraulikbagger werden hauptsächlich auf Baustellen, beispielsweise zur Erneuerung oder dem Abriss von Straßen und Brücken, dem Errichten neuer Gebäude oder landschaftlichen Gestaltungsmaßnahmen eingesetzt. Diese Anwendungen erfordern die Bewegung großer Erdmassen in gleichem Maße, wie das präzise Bewegen von Materialien oder Freilegen von unterirdischen Objekten. Für die Erfüllung dieser Aufgaben können die Maschinen mit den unterschiedlichsten Werkzeugen, wie Löffel in unterschiedlichen Größen, Greifwerkzeugen, Zangen, Planiergeräten oder Abrisshammer, ausgestattet werden. Diese Werkzeuge werden über einen beweglichen Arm positioniert. Dieser besteht in der Regel aus einem Ausleger und dem Stiel, welche sich unabhängig voneinander bewegen und damit das Werkzeug in horizontaler und vertikaler Richtung positionieren lassen. Weitere Freiheitsgrade sind dabei das Drehen des Oberwagens und das Bewegen des gesamten Fahrzeuges. Die Bewegungen werden durch hydraulische Systeme angetrieben, die einerseits hohe Kraftübertragung und ein präzises Ansteuern erlauben. Abbildung 1 zeigt die übliche Bedienumgebung in der Kabine eines Baggers. Für die Steuerung dieses technischen Systems werden in aktuellen Maschinen eine Kombination aus Pedalerie, Lenkrad, Joysticks und Bedienkonsolen verwendet. Die Steuerung der Ausleger und der Oberwagendrehung über die Joysticks basiert dabei heute noch auf einer Bedienlogik der die direkte Steuerung der einzelnen Hydraulikkanäle zugrunde liegt (Kunze et al., 2002).

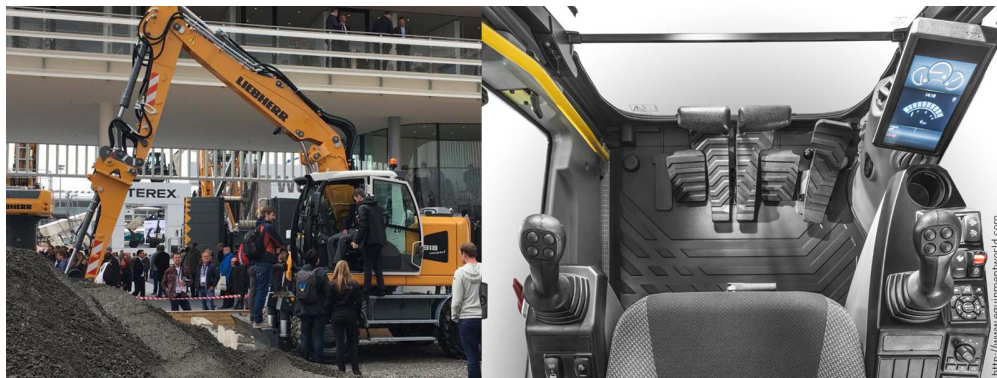


Abbildung 1: Baggerbesichtigung auf der Bauma 2016 und Kabineninnenansicht

Mit dem linken Joystick werden dabei die Drehung des Oberwagens und das Kippen des Werkzeuges gesteuert. Der rechte Joystick steuert die Neigung von Ausleger und Stiel an. Zusätzliche Funktionen, wie das Neigen oder das Rotieren des Werkzeuges oder werkzeugspezifische Funktionen, wie beispielsweise bei Presslufthammer oder Zange, werden durch Mini-Joysticks auf den Hauptbedienjoysticks realisiert. Mit weiteren Zusatz- und Schnellzugriff-Funktionen, um eine ununterbrochene Bedienung der Werkzeuge zu ermöglichen, die ebenfalls idealerweise am Joystick untergebracht werden, gelangt dieses Bedienkonzept zunehmend an seine Grenzen. Diese Art der Maschinensteuerung ist zudem schwer zu erlernen, da die Werkzeugposition indirekt über ein mindestens zweigliedriges Getriebe einzustellen ist. Für eine präzise und gleichzeitig schnelle Operation sind daher jahrelange Erfahrungen nötig. Insbesondere unter dem Aspekt des Fachkräftemangels in diesem Bereich (Bauwirtschaft-bw.de, 2015) stellt das ein Problem dar.

Im Einsatzspektrum eines Baggers gibt es zudem Aufgaben und Situationen in denen ein Arbeiten aus der Kabine heraus im besonderen Maße nicht optimal ist. Dazu kann zum Beispiel das Arbeiten in Gefahrensituationen, wie in schwer zu sichernden Umgebungen (Abbruch) oder mit Gefahrenstoffen zählen.



Abbildung 2: Baggereinsätze in gefährlichen Umständen (links) und in schlecht einsehbaren Bereichen (rechts)

Auch kritische Sichtverhältnisse auf das Arbeitsfeld oder die Umgebung, ein relevantes Thema auf engen Baustellen mit vielen Maschinen, Arbeitern und Bauschutt bedeuten Sicherheitsrisiken. Beispiele dafür sind in Abbildung 2 dargestellt. Letztlich kann auch die Kommunikation durch die räumlichen Gegebenheiten, wie das Arbeiten auf eine höher gelegene Ebene, erschwert werden. Des Weiteren gibt es viele Situationen, in denen das Arbeiten in der Baggerkabine eine erhöhte physische Beanspruchung für den Operanden bedeuten kann. Neben einer unveränderten Sitzhaltung in langen Schichten erschweren Positionen der Maschine in Schräglage, die, sobald sie der Sitz nicht mehr ausgleichen kann, den Körper in unnatürliche Haltungen zwingen. Zudem beeinträchtigen Belastungen durch dauerhafte Vibration von Maschine und Werkzeug das Arbeiten in der Kabine. (Kunze et al., 2002/König, 2005)

In diesen Fällen kann das Verwenden einer Fernsteuerung helfen, Kollisionen zu vermeiden oder das Werkzeug präziser zu führen. Mit einem Fernsteuerungssystem kann der Fahrer Positionen einnehmen, die eine bessere Sicht und Kommunikationsmöglichkeiten mit dem Umfeld ermöglichen. Vor allem die freie Entscheidungsgewalt über eine sitzende oder stehende Arbeitsposition ist ein bedeutsamer Gewinn für die Ergonomie und das Erleben der Arbeitsumgebung. Hersteller, wie Palfinger und Remoquip (Remoquip Remote Control System 2017), bieten dafür modulare und zum Teil mit herkömmlichen Baggern kompatible Fernsteuerungseinheiten an. Abbildung 3 zeigt eine Fernsteuerlösung des Herstellers Caterpillar in Kooperation mit der Firma RemoteTask (Equipmentworld, 2015). Das Spiegeln der stationären Dauerbedienung verfehlt dabei die Möglichkeit, die neu gewonnene Flexibilität der Arbeitsposition zu nutzen. Die Bedienung ist aufgrund des Gewichts und der Handhabung außerdem weder ergonomisch, noch intuitiv. Die ohnehin schwierige Steuerung der Werkzeuge stellt außerhalb der Kabine nochmals höhere Anforderungen an den Bediener, da die wenigen Richtungsanalogien der herkömmlichen Steuerung nicht mehr gelten.



Abbildung 3: Herkömmliche Fernbedienungs-Lösungen für mobile Arbeitsmaschinen

3 Mobile HMI - ein physisch-digitales Bedienkonzept

Konzept

Das Bedienkonzept „Mobile HMI“ thematisiert in diesem Kontext die Frage, wie sich komplexe Bedieneraufgaben auf einer mobilen Bedienumgebung abbilden lassen. Anspruch an die Entwicklung des Bedienkonzeptes war, es eine intuitivere und leichtere Bedienlösung für die Arbeitsfunktionen des Baggers zu realisieren. Mithilfe neuer Interaktionstechnologien soll dabei sowohl die Bedienung einfacher und das Feedback differenzierter gestaltet werden. Zentraler Aspekt des Konzeptes ist der Ansatz Bewegungsanalogien zwischen Handbewegungen und der Bewegung der Funktionskomponenten zu nutzen. Abbildung 4 (links) zeigt, wie das für die Steuerung von Ausleger und Stiel aussehen könnte und schließlich auch umgesetzt wurde. Auf der rechten Seite der Abbildung sind erste explorative Darstellungen zu sehen, die untersuchen, wie ein dafür erforderliches Bediengerät aussehen kann. Um einen hohen Funktionsumfang abbilden zu können, sieht das Konzept zwei

Handfernbedienungen vor und soll einen beliebigen Körper und Armhaltung erlauben, um Ermüdung zu vermeiden und Feedbackfunktionen für die Steuerung zu realisieren.



Abbildung 4: Zugrundeliegendes Prinzip der Handgestenanalyse und Konzeptdarstellungen der Handbedienung

3.1 Neue Interaktionstechnologien/Referenzen

Mit den Konzepten „Tele - Operation System“ (Yokokohji et al., 2001) und „Haptically Enhanced Operational Concept“ (Hayn & Schwarzmann, 2012) gibt es bereits Arbeiten zur gestenbezogenen Steuerung von Baggern. Diese nutzen die Erfassung der Armbewegung durch verschiedene Sensoren zur Steuerung des Auslegers, des Stiels (Armbewegung hoch und runter), des Löffels (Finger öffnen und schließen) und des Schwenkens des Oberwagens (Arm schwenken). Im Rahmen der Arbeiten durchgeführte Usability-Tests belegen das Potential einer solchen Steuerung. Fehlendes haptisches Feedback und eine schwierige Dauerhaltung des Arms zeigen Verbesserungspotential. Dazu liefern der „GloveOne“ VR-Handschuh (Neurodigital Technologies, S.L., 2017) des Herstellers NeuroDigital oder das auf Ultraschallaktoren basierende Gerät von Ultrahaptics neue Ansätze.

3.2 Handgestenbasierte Baggersteuerung

Anders als herkömmliche Fernbedienungen nutzt das „Mobile HMI“-Konzept zwei kleinere Handfernbedienungen. Die Zuordnung der Bedienfunktionen auf die linke und die rechte Hand sind dabei weiterhin analog zur Kabinenlösung. Der wesentliche Unterschied besteht in den Bedienbewegungen. Hier nutzt das Konzept konsequent Analogien zwischen der realen Bewegung und Handgesten. Über das linke Gerät werden die Drehung des Oberwagens und des Löffels gesteuert. Da die Steuerung des Arbeitsgeräts eine gewisse Genauigkeit erfordert, wurde die Bedienung über eine Wippe realisiert. Das Prinzip der gegenläufigen Bewegung unterstützt das Gefühl für die Ansteuerung maßgeblich und lässt dem Bediener kleinste Positionsunterschiede spüren. Das rechte Handgerät steuert die Bewegung des Auslegers und des Stiels und folgt dem Ansatz Greifgesten als Abbild der Baggerbewegung, wie in Abbildung 3 (links) dargestellt. Um dabei die erforderlichen Freiheitsgrade abbilden zu können, wird das Handgerät mit einem Armband an dem rechten Unterarm verbunden. Damit

lassen sich neben den Fingerbewegungen auch das Beugen der Hand erfassen. Mit den Fingern wird eine Wippe bedient, über die der Stiel gesteuert wird. Die Verbindung zwischen Handgerät und Arm misst den Abstand zwischen den beiden Komponenten, worüber die Neigung des Auslegers gesteuert wird. Die noch freien Daumen liegen an den Oberseiten der Geräte auf Multifunktionstouchpads, die bei den Prototypen als Mini-Joysticks ausgeführt wurden. Auf der rechten Seite wird mit der horizontalen Daumenbewegung das Schwenken des Oberwagens ausgelöst. Die vertikale Richtung blieb frei, um entweder individuelle Daumenpositionen und -bewegungen auszugleichen oder um eventuell Möglichkeiten für die Belegung mit Sonderfunktionen offenzuhalten. Das linke Pad ist für Werkzeug-Zusatzfunktionen wie die Tilt-Rotation vorgesehen. Somit sind, betrachtet man die reinen Steuerfunktionen in ihrer Gesamtheit, Werkzeug (links) und Oberwagen mit Baggerarm (rechts) logisch klar zwischen den Händen aufgeteilt.

Der Steuervorgang wird freigeschaltet, sobald beide Daumen auf den Pads aufliegen und ein beidseitiger Druck als bewusste Aktion des Bedieners den Arbeitsmodus startet. Eine doppelte Sicherheitsabfrage hilft Fehlbedienungen zu verhindern, die beispielsweise durch versehentliches Fallenlassen passieren würden.

3.3 Prototyping

Die Erzeugung von form- und physisch-digitalen Funktionsprototypen über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg ist ein wichtiges Arbeitsmittel, um beispielsweise ergonomische Passfähigkeit und die generelle Funktionalität zu erforschen und zu überprüfen (Bordegoni et al., 2011). Dazu muss der Prototyp nicht nur eine physische Repräsentation der Bedienelemente bereitstellen. Die Abbildung des zu bedienenden Gerätes und die Möglichkeit wesentliche Funktionen auch tatsächlich steuern zu können, sind maßgeblich, um das Bedienkonzept verstehen und bewerten zu können. Dies wird zusätzlich noch durch die Darstellung eines Anwendungsszenarios unterstützt. Abbildung 5 zeigt die verschiedenen, entstandenen Prototypen.

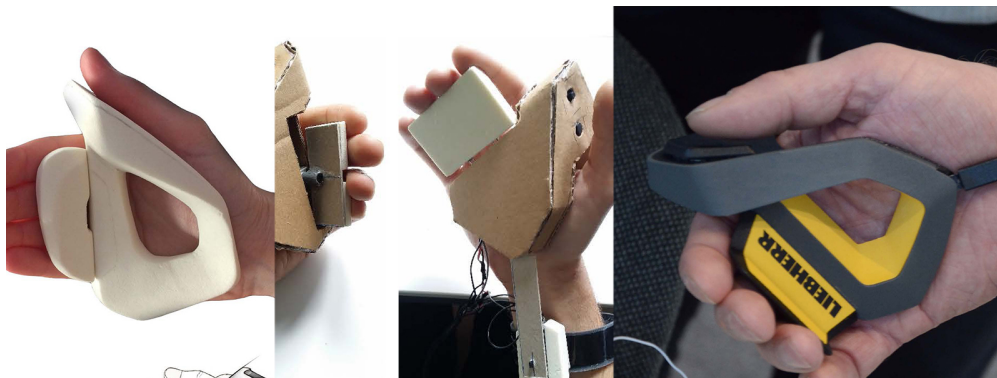


Abbildung 5: verschiedene Form- und Funktionsprototypen der „Mobile HMI“-Handfernbedienungen

Für die Erzeugung der physischen Komponenten wurden Schaum, Pappe und 3d-gedruckte Kunststoffteile verwendet. Die technische Grundlage für die interaktiven Bedienfunktionen liefert dabei die Low-Cost-Entwicklungsplattform Arduino (Arduino, 2017). Die Plattform, dargestellt in Abbildung 6 (links), erlaubt die Verarbeitung analoger und digitaler Sensorsignale auf einem Mikroprozessor unter Einsatz kostengünstiger, elektronischer Bauelementen und einer simplen und übersichtlichen Entwicklungsumgebung. Die Auswahl der Bauteile für die Bewegungssensorik umfasst dabei einfache Drehpotentiometer, Taster, und Schiebepotentiometer. Das Setup ergänzen RGB-LEDs für die Visualisierung der Betriebszustände und kleine Mini-Vibrationsmotoren für beide Fernbedienungen.

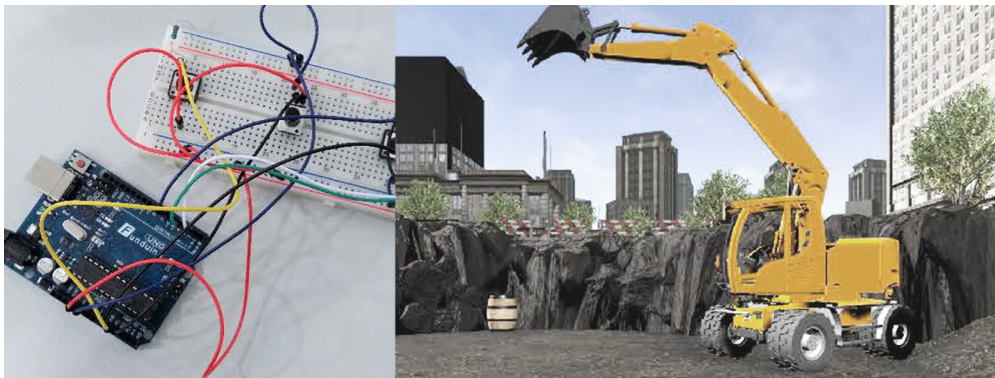


Abbildung 6: Mit Sensoren verkabelter Arduino-Controller im Testaufbau und virtuelle Szene in der Unreal Engine

Um eine wirkliche Interaktion zu ermöglichen, nutzte das Prototyp-Setup die in Abbildung 5 (rechts) dargestellte virtuelle Simulation einer Baugrube im innerstädtischen Bereich. Die virtuelle Umgebung basiert auf der 3d-Gaming-Engine „Unreal Engine“ (Epic Studios Inc., 2017). Dieses Framework besteht aus leistungsfähigen Editoren für die Materialbearbeitung, Mesh-Import und Anpassung sowie Scripting-Funktionalität, die es ermöglichen eine statische 3d-Szene interaktiv zu erzeugen. Für verschiedene Geräte (bspw. Trackinghardware) stehen diverse Plug-ins zur Verfügung. Auch können eigene benutzerdefinierte Plug-ins erstellt werden. Es bietet sich mit Unreal Engine die Möglichkeit, C++-Code zu integrieren und vorhandene Frameworks wiederzuverwenden, beispielsweise mittels Wrapper, die Zugriff auf die Kernfunktionalität von der Engine erlauben.

Die Steuersignale des Arduino-Controllers werden mittels COM-Schnittstelle (Microsoft Corporation, 2017) in die Simulationsumgebung übertragen. Das ermöglicht die Steuerung des in die Simulationsumgebung implementierten Modells eines Mobilbaggers durch die beiden physischen Handbedienungen.

Um die Flexibilität des Bedienkonzepts auch auf den Demonstrator zu übertragen, wurde frühzeitig nach Möglichkeiten der kabellosen Kommunikation zwischen Arduino-Board und Rechner (PC), an dem die VR-Umgebung läuft, gesucht. Das Bluetooth-Modul HC-05 eignet

sich mit seiner kompakten Größe hervorragend. Ein 9V-Batterieblock dient dabei als transportable Stromversorgung.

4 Ergebnis und Ausblick

4.1 Interaktive Handfernbedienungen im digitalen Szenario

Im Ergebnis wurde das Bedienkonzept in ein interaktives Bedienszenario umgesetzt, welches physische Komponenten mit einer digitalen Anwendung verbindet. Alle Hebel, Schalter und Tasten der beiden physischen Fernbedienungsprototypen sind funktionsfähig und liefern Steuersignale, die von der Simulationsumgebung ausgelesen werden können. Mit der Bewegung des digitalen Baggermodells lässt sich eine unmittelbare visuelle Rückmeldung auf die vorgenommenen Interaktionen an den Fernbedienungen erzeugen. Diese besitzen zudem Vibrationsmotoren und LED-Leuchten zur Erzeugung von weiteren vibratorischen und visuellen Feedbacksignalen, um eine möglichst reale und immersive Bedienumgebung zu schaffen. Die erzeugten Prototypen stellen einen Kompromiss aus technischen Möglichkeiten und den für das Projekt zur Verfügung stehenden Ressourcen dar. Sie sollen zeigen, wie durch die Verbindung einfacher Sensor- und Steuertechnik mit digitalen Simulationsumgebungen leistungsfähige Testprototypen entstehen. Abbildung 7 (links) zeigt die fertigen Prototypen beim Ausprobieren.

Wie in Abbildung 7 (rechts) zu sehen, wurde das virtuelle Szenario im Rahmen der Ergebnispräsentation durch eine großflächige Projektion visualisiert. Der Nutzer kann eine lockere, beliebige Haltung annehmen, die Steuerungseinheiten schränken diese nicht ein. Da für die Steuerfunktionen nur die Handgelenk- und Fingerbewegungen erfasst werden, muss auf die Positionierung der Arme bei der Steuerung nicht geachtet werden.



Abbildung 7: verschiedene Form- und Funktionsprototypen der „Mobile HMI“-Handfernbedienungen

In mehreren Testrunden hat sich gezeigt, dass die Steuerungselemente gut in der Hand liegen und sich intuitiv bedienen lassen. Alle Beteiligten konnten nach einer kurzen Einweisung den virtuellen Bagger steuern. Es hat sich auch gezeigt, dass diejenigen, die bereits Erfahrung in der Baggerführung hatten, größeren Erfolg in der Simulation verzeichneten. Dies ist auf eine allgemeine, hohe Sensibilität und gutes Feingefühl gegenüber Steuerungsmechaniken zurückzuführen und bedeutet auch, dass Fahrer mit der Anwendung des neuen Konzepts auf ihre erlernten Fähigkeiten zurückgreifen können und dass die Kontrolle sowie das Gefühl über die Arbeitsmaschine erhalten bleiben.

Mit dem funktionsfähigen Prototyp lässt sich diese neue Art der Bedienung anwendungsintegriert erleben. Dies stellt unserer Meinung nach besonders im konservativen Bereich der Baumaschinen einen wichtigen Schritt zur Auseinandersetzung mit innovativen Bedienlösungen dar. Denn die Bediener sind seit Jahren auf die herkömmlichen Bedienlösungen eingestellt. Der Leistungsdruck und die systemspezifische Erfahrungsprägung führen in der Branche zu einem generell skeptischen Blick auf neue Lösungen. Bereits bei der Abschlusspräsentation hat sich gezeigt, dass die ausgearbeitete Lösung durch ihre tiefe Auseinandersetzung mit der Materie in Kombination mit der Möglichkeit, das Konzept händisch zu erleben, die Tester vom Potential dieser Lösung überzeugen konnte. Die Diskussion mit den Probanden half Schwachstellen des Prototyps, wie beispielsweise zu wenig sensitives Feedback, zu identifizieren. Ohne diese Testumgebung aus greifbaren Prototypen und computergestützten Funktionen und Anwendungsszenario wäre eine Auseinandersetzung mit diesem Thema wahrscheinlich nicht möglich gewesen. Es zeigt damit im praktischen Versuch, wie sich ein Zusammenführen objektgebundener Bedienkonzepte mit digitalen Technologien nutzen lassen, um die Entwicklung und Kommunikation neuer Ansätze zu unterstützen und voranzutreiben.

4.1 Ausblick

Nachdem die Anbindung der Fernsteuerungen an die digitale Simulationsumgebung das zugrundeliegende Bedienprinzip zeigen konnte, arbeiten wir nun daran, die Steuerung mit einem realen Hydraulikbagger zu testen. Die erzeugten Handfernbedienungen lassen sich direkt für die Steuerung eines Baggers einsetzen, da lediglich die Joysticksignale der elektrischen Vorsteuerung der Maschine ausgetauscht werden müssen. Anstelle der Simulationsumgebung wird eine Software die Steuersignale der Fernbedienung in CAN-Nachrichten für das Bordsteuernetz des Baggers umwandeln. Dies erlaubt den Einsatz der Design-Prototypen an der realen Maschine und ein Evaluationsszenario im wirklichen Einsatz.

Bereits der existierende Prototyp ermöglicht es uns, nachfolgend konkrete Aspekte in der Interaktion zu untersuchen. Mit dieser Evaluationsumgebung werden weiterführend Untersuchungen zur Usability des Systems und Erhebungen zur spezifischen User-Experience durchgeführt. Vergleichende Studien mit herkömmlichen Fernbedienungslösungen und traditionellen kabinengebundenen Bedienumgebungen sind geplant.

Literaturverzeichnis

- Arduino, LLC. (2017). *Vertriebswebsite*. [Zugriff am 06.07.2017]. Verfügbar unter: <https://www.arduino.cc/>
- Bauforum24.biz (2008). *Diskussionsforum, Topic: Fuchssteuerung vs. Eurosteuerung*. [Zugriff am 06.07.2017]. Verfügbar unter: <https://www.bauforum24.biz/forums/topic/29029-baggersteuerung-fuchssteuerung-vs-eurosteuerung/?page=2>
- Bauwirtschaft-bw.de (2015). *Größtes Problem für Baubetriebe ist derzeit der Fachkräftemangel*. [Zugriff am 06.07.2017]. Verfügbar unter: http://bauwirtschaft-bw.de/2015/09/10/Groesstes_Problem_fuer_Baubetriebe_ist_derzeit_der_Fachkraeftemangel/5825,11
- Bordegoni, M.; Ferrise, F.; Lizaranzu, J. (2011): *Einsatz von interaktiven virtuellen Prototypen, Produkt-Design-Vorgaben zu definieren: eine Pilotstudie zu Consumer-Produkte*. In: Proc. ISVRI 2011, s. 11-18. IEEE, New York
- Epic Games, Inc. (2017). *Produktwebsite Unreal Engine*. [Zugriff am 06.07.2017]. Verfügbar unter: www.unrealengine.com
- Equipmentworld, (2015). *Caterpillar intros RemoteTask: a more precise, lag-free remote control for skid steers, compact loaders*. [Zugriff am 06.07.2017]. Verfügbar unter: <http://www.equipmentworld.com/caterpillar-intros-remotetask-a-more-precise-lag-free-remote-control-for-skid-steers-compact-loaders-photos/>
- Hayn, H. and Schwarzmann, D. (2012). *Development of a haptically enhanced operational concept for hydraulic excavators*, Schriftenreihe der Arbeitsgruppe Mess- und Regelungstechnik - Mechatronik, Department Maschinenbau, Band 1
- König, H. (2005). *Maschinen im Baubetrieb*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag
- Kunze, G., Göhring, H., Jacob, K. (2002). *Baumaschinen*. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden
- Microsoft Corporation, (2017). *Was ist eine COM-Schnittstelle?*. [Zugriff am 06.07.2017]. Verfügbar unter: [https://msdn.microsoft.com/de-de/library/windows/desktop/ff485850\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/de-de/library/windows/desktop/ff485850(v=vs.85).aspx)
- Neurodigital Technologies, S.L., (2017). *Produkt-Website „GloveOne“*. [Zugriff am 06.07.2017]. Verfügbar unter: <https://www.neurodigital.es/gloveone/>
- Remoquip Remote Control System (2017). *Herstellerwebsite Remoquip*. [Zugriff am 06.07.2017]. Verfügbar unter: <http://remoquip.com/>
- Thalmic Labs Inc.: *Produkt-Website „MYO“-Armband*, [Zugriff am 06.07.2017]. Verfügbar unter: <https://www.myo.com/>
- Yokokohji, Y., Iida, Y. and Yoshikawa, T. (2003). 'Toy Problem' as the Benchmark Test for Teleoperation Systems, in *Advanced Robotics*, Vol.17, No.3, pp.253 – 273

Autoren



Lorenz, Sebastian

Sebastian Lorenz ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Junior-Professur für Technisches Design an der Technischen Universität Dresden. Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen und angewandten Forschungsarbeit ist das Entwickeln von Bedienkonzepten für komplexe und hoch-technisierte Anwendungen, vorrangig im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen.



Franke, Ingmar S.

Ingmar S. Franke studierte Architektur an der Hochschule Magdeburg sowie Computational Visualistics an der Otto-von-Guericke-Universität und promovierte an der Fakultät Informatik der Technischen Universität Dresden. Er forschte am Fraunhofer Institut für Fabrikplanung und Fabrikautomatisierung in Magdeburg sowie am Institut für Software- und Multimediatechnik in Dresden. Seine Forschungsarbeit wurde von der DFG und Mitteln des ESF der EU gefördert und beschäftigt sich mit der Optimierung von computergrafischen Abbildungsvorschriften – motiviert "alte" Vorschriften aus der Malerei wiederzuentdecken und für moderne Visualisierungstechnologien aufzuarbeiten. Ingmar S. Franke ist Gründer und Geschäftsführer der Gesellschaft für Technische Visualistik.



Krzywinski, Jens

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Jens Krzywinski, ist Inhaber der Junior-Professur für Technisches Design der TU Dresden. Er forscht, lehrt und entwickelt vorrangig zu Projekten im Investitionsgütersektor insbesondere stationären und mobilen Maschinen. Promoviert zu Designkonzepten im Transportation Design liegt der aktuelle Forschungsschwerpunkt seiner Arbeit auf dem Transfer durch Design und Designmethoden in technischen Anwendungsbereichen. Jun.-Prof. Krzywinski ist u.a. Aufsichtsrat beim Kreativwirtschaftsverband wir-gestalten-dresden und Beirat des Fachinformationsdienstes Kunst-Fotografie-Design der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Er war selbst bereits Gewinner beim Mia Seeger Preis und 2016 auch beim Focus Open.