

# Nutzung eines Smartphones als virtuelle Sonde im medizinischen Ultraschalltraining: Six-Degrees-of-Freedom-Tracking mittels ARCore

Use of a Smartphone as Virtual Probe for Medical Ultrasound Training: Six Degrees of Freedom Tracking with ARCore

Florian Jann, Sascha Reinhold and Michael Teistler

CIVU – Center for Interaction, Visualization and Usability Hochschule Flensburg Deutschland  
florian.jann@stud.fh-flensburg.de, {sascha.reinhold, teistler}@hs-flensburg.de

## ABSTRACT

**English** - Six Degrees of Freedom (6DoF) controllers are usually expensive and/or complex to set up. A smartphone as 6DoF controller could be a cost-effective and simple alternative. Within the scope of this research, the application context of medical ultrasound training is addressed, in which the smartphone could be used to control a virtual probe. For this purpose, the difference in rotation and position tracking has been examined between an HTC Vive Tracker as an established reference system and a smartphone using ARCore. Additionally, the usability of the smartphone for controlling a virtual ultrasound probe has been qualitatively evaluated by nine subjects using a simplified test system. ARCore's 6DoF tracking is generally less reliable and accurate than the HTC Vive tracker. However, both the characteristics of the measured tracking errors and the qualitative evaluation show that an ARCore-based 6DoF tracking can be used as a simple and acceptable solution for controlling a virtual ultrasound probe.

**Deutsch** - Six-Degrees-of-Freedom (6DoF)-Controller sind meist teuer und aufwändig bei der Einrichtung. Das Smartphone als 6DoF-Controller kann eine kostengünstige und unkomplizierte Alternative sein. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Anwendungskontext des medizinischen Ultraschalltrainings adressiert, in dem das Smartphone zur Steuerung einer virtuellen Sonde genutzt werden könnte. Dafür wurde zum einen der quantitative Unterschied des 6DoF-Trackings zwischen einem HTC Vive Tracker als bewährtem Referenzsystem und einem Smartphone unter Verwendung von ARCore untersucht. Zum anderen wurde die Nutzbarkeit des Smartphones zur Steuerung einer virtuellen Ultraschallsonde mit Hilfe eines vereinfachten Testsystems von Probanden qualitativ bewertet. Das Tracking von ARCore ist

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

*MuC '19, September 8–11, 2019, Hamburg, Germany*

© 2019 Copyright is held by the owner/author(s).

Publication rights licensed to ACM. ACM ISBN 978-1-4503-7198-8/19/09...\$15.00  
<https://doi.org/10.1145/3340764.3344904>

weniger zuverlässig und präzise als das des HTC Vive Trackers. Die Art der auftretenden Fehler und die qualitative Evaluation lassen aber den Schluss zu, dass es dennoch als einfache und akzeptable Lösung genutzt werden kann, um ein leicht zugängliches simulationsbasiertes Ultraschalltraining zu realisieren.

## CCS CONCEPTS

• Human-centered computing → Smartphones • Human-centered computing → Mixed / augmented reality • Applied computing → Interactive learning environments

## KEYWORDS

6DoF tracking, smartphone, ARCore, virtual ultrasound probe, computer based training, simulation

## ACM Reference Format:

Florian Jann, Sascha Reinhold and Michael Teistler. 2019. Nutzung eines Smartphones als virtuelle Sonde im medizinischen Ultraschalltraining: Six-Degrees-of-Freedom-Tracking mittels ARCore. In *Mensch und Computer 2019 (MuC'19), September 8–11, 2019, Hamburg, Germany*. ACM, New York, NY, USA, 5 pages. <https://doi.org/10.1145/3340764.3344904>

## 1 Motivation

Simulationsbasiertes Ultraschalltraining<sup>1</sup> kann bei der Ausbildung von angehenden Ärzten eingesetzt werden, um insbesondere das räumliche Verständnis für Schnittbilder zu vermitteln. Dafür wird in der Regel ein Six-Degrees-of-Freedom (6DoF)-Controller als Pendant für eine Ultraschallsonde eingesetzt. Derartige Controller benötigen meist ein zusätzliches Setup, das vor der Nutzung zunächst aufgebaut und eingerichtet werden muss. Zusätzlich ist der Anschaffungspreis relativ hoch. Aus diesen Gründen ist die Einstiegshürde für Software, die 6DoF-Controller nutzt, relativ hoch.

Sowohl Apple mit ARKit [1] als auch Google mit ARCore [2] haben Frameworks veröffentlicht, die es ermöglichen, dass das Smartphone seine relative Position und Orientierung im Raum mit Hilfe der Kamera und den Sensoren der Inertial Measurement Unit (IMU) ermitteln kann. Diese primär für Augmented Reality-

<sup>1</sup> siehe zum Beispiel: <http://www.sonogame.info>

Anwendungen gedachte Technologie kann auch dazu verwendet werden, um das Smartphone als 6DoF-Controller zu nutzen. In der Vergangenheit wurden diverse Arbeiten veröffentlicht, bei denen zum Beispiel IMU-Sensoren, Touchdisplay und Kamera des Smartphones in verschiedenen Kontexten als Eingabegerät für einen Computer genutzt wurden. Die meisten Arbeiten beschränken sich dabei allerdings auf die Nutzung von Touch-Display und IMU. Der vermutlich erste Artikel zum Thema kamerabasiertem Tracking wurde 1998 veröffentlicht [3]. Das Tracking basiert dabei auf 2D-Markern. Auch bei Mossel *et al.* [4] und Marzo *et al.* [5] wurde mit Tracking basierend auf 2D-Markern gearbeitet. Die Arbeiten befassen sich mit der Interaktion mit 3D-Objekten im Augmented Reality Kontext. Babic *et al.* [6] nutzen Apples ARKit, um das iPhone als 6DoF-Controller zu nutzen. Dabei werden verschiedene Usability-Aspekte untersucht, es steht aber kein konkreter Anwendungsfall im Vordergrund. Bis auf die Arbeit von Babic *et al.* ermöglicht keine der erwähnten Arbeiten ein 6DoF-Tracking ohne zusätzliche Marker.

In dieser Forschungsarbeit soll untersucht werden, inwieweit sich mit Hilfe von ARCore ein Smartphone zur Steuerung einer virtuellen Ultraschallsonde für simulationsbasiertes Training eignet. Dabei handelt es sich um ein Nutzungsszenario, in dem das Smartphone relativ kontinuierlich und langsam, in der Regel auf einer Oberfläche entlang, bewegt wird.

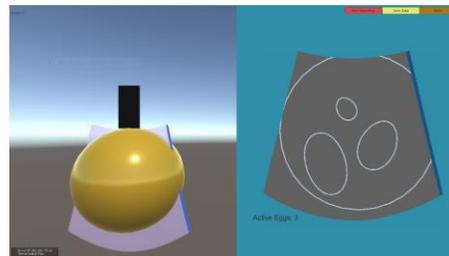
## 2 Methodik

Zunächst wurde überprüft, ob signifikante Unterschiede beim 6DoF-Tracking mittels ARCore auf einem Smartphone und einem HTC Vive Tracker<sup>2</sup> als bewährtes Referenzsystem zu beobachten sind (quantitative Evaluation). Danach wurde in zwei qualitativen Evaluationen die Nutzbarkeit des Smartphones als 6DoF-Controller zur Steuerung einer virtuellen Ultraschallsonde aus Sicht von Probanden bewertet. Für alle Evaluationen wurde ein Testsystem implementiert, bei der die Anwender ultraschallartige Aufgaben durchzuführen hatten. Alle Evaluationen wurden jeweils mit denselben neun Probanden im Alter zwischen 24 und 49 Jahren durchgeführt.

### 2.1 Testsystem aus Anwendersicht

Bei den verschiedenen Evaluationen wurde den Probanden prinzipiell die gleiche Aufgabe gestellt. Eine virtuelle Ultraschallsonde, deren Position und Orientierung mit dem Smartphone gesteuert wurde, sollte jeweils nacheinander so ausgerichtet werden, dass das dazugehörige Ultraschallschnittbild drei virtuelle eiförmige Objekte längs in ungefähr gleiche Hälften schneidet. Für das Lösen der Aufgabe ist für die Probanden am Monitor auf der linken Bildschirmhälfte in einer 3D-Ansicht eine solide Kugel sichtbar (Abb. 1, links). In dieser Kugel befinden sich die virtuellen zu findenden Objekte. Die 3D-Ansicht zeigt ebenfalls ein Modell der virtuellen Ultraschallsonde und das daran gekoppelte Schnittbild im räumlichen Kontext. Auf der rechten

Bildschirmhälfte (Abb. 1, rechts) sehen die Probanden in einer 2D-Ansicht das generierte Schnittbild der Kugel und den Objekten im Inneren.



**Abbildung 1: Screenshot der Testsoftware (Desktop-Computer)**

Gelingt es dem Probanden den Controller für ein virtuelles Objekt richtig auszurichten, ertönt ein akustisches Signal und das Objekt verschwindet aus dem Bild. Sobald alle drei Objekte verschwunden sind, gilt die Aufgabe als gelöst. Jeder Proband hat also pro Versuchsdurchlauf jedes der drei Objekte einmal gefunden. Beim Lösen dieser Aufgabe muss der Controller ähnlich bewegt werden wie ein Ultraschallgerät bei einer Untersuchung. Kleine, langsame und präzise Bewegungen sind notwendig, um erfolgreich zu sein.

### 2.2 Technische Grundlagen

Smartphone und Desktop-Computer kommunizieren via WLAN. In jedem Frame sendet das Smartphone die von ARCore ermittelte Position und Rotation an den Desktop-Computer.

Für den Vergleich von ARCore und Vive werden außerdem die Positions- und Rotationsdaten von dem Vive Tracker ausgelesen. Sowohl die Smartphone Applikation als auch die Desktopanwendung wurden mit Unity (Version 2017.4.23f1) erstellt. Als Smartphone wurde ein Pixel 2 von Google verwendet.

### 2.3 Quantitative Evaluation

Für die Untersuchung der Genauigkeit des ARCore-Ansatzes wurden Smartphone und Vive Tracker aneinander fixiert (Abb. 2) und von den Probanden die in Abschnitt 2.1 erläuterte Aufgabe durchgeführt. Über den zeitlichen Verlauf des Tests sind Positions- und Rotationsdaten von beiden Systemen aufgezeichnet und anschließend ausgewertet worden.

<sup>2</sup> [www.vive.com/de/vive-tracker](http://www.vive.com/de/vive-tracker)



Abbildung 2: Smartphone inklusive befestigtem Vive Tracker. Rechts: Zuordnung der Achsen: X (rot), Y (grün), Z (blau)

### 2.4 Qualitative Evaluationen

In beiden qualitativen Evaluationen wurde nur das Smartphone (ohne zusätzlichen Tracker) genutzt. Die erste Evaluation hatte im Sinne eines Vortests das Ziel, mit Hilfe von Beobachtungen, einer System Usability Scale (SUS) Befragung [7] und offenen Fragen nach aufgetretenen Problemen die grundlegende Handhabung des Smartphones als virtuelle Ultraschallsonde und des Testsystems zu überprüfen. Auf Basis der dabei entdeckten Probleme wurden Änderungen an dem Testsystem und der Testdurchführung vorgenommen und eine zweite qualitative Evaluation mit denselben Probanden durchgeführt, bei der die Probanden zur Ergonomie und technischen Auffälligkeiten beim Agieren mit dem Smartphone befragt worden sind und ebenfalls eine SUS-Befragung durchgeführt wurde.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Quantitative Evaluation: Vergleich Vive Tracker und ARCore

Abb. 3 zeigt die Unterschiede bei den berechneten Positionen des Vive Trackers und ARCore in einem Histogramm, Abb. 4 die entsprechenden Unterschiede bei den berechneten Winkeln. Dieser Auswertung liegen 117715 einzelne Messungen zugrunde, die für insgesamt ca. 32 Minuten bei 60 Frames/Sekunde erfasst wurden. Dabei haben neun Probanden das Testsystem genutzt, ausgewertet wurden aber nur die Daten von acht Probanden, da es bei einem Probanden zu größeren technischen Problemen kam und die Messdaten keinerlei sinnvolle Aussage zuließen.

Es ergab sich eine durchschnittliche Distanz von 4.69 cm. Wenn man die Raumachsen einzeln betrachtet (Zuordnung siehe Abb. 2, rechts), betrug die durchschnittliche Distanz auf der X-Achse 3.00 cm, auf der Y-Achse 1.10 cm und auf der Z-Achse 2.52 cm. Die durchschnittliche Abweichung der Winkel liegt bei 6.4 Grad, für die X-Achse bei 3.8 Grad, die Y-Achse bei 2.8 Grad und die Z-Achse bei 3.3 Grad.

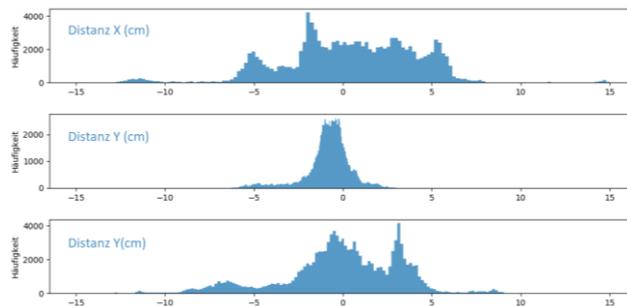


Abbildung 3: Differenzen in der Positionsmessung zwischen ARCore und Vive Tracker als Histogramm

Diese zusammenfassenden Darstellungen und Werte geben einen Aufschluss über die Größenordnung der entstehenden Differenzen, sagen aber für die einzelnen anwendungsrelevanten Fehler wenig aus. Abbildungen 5 und 6 zeigen deshalb exemplarisch anhand der Daten aus einem Experiment den Verlauf der gemessenen Positionen und Winkel für jede Achse. Man kann erkennen, dass oft Messabweichungen zwischen Vive Tracker und ARCore im Sinne eines Offsets entstanden sind, die relativ stabil über einen längeren Zeitraum beibehalten werden. Dieses Phänomen lässt sich zum Beispiel sowohl für die Position als auch für den Winkel auf der X-Achse von circa Sekunde 110 bis 190 ablesen. Diese Beobachtung trifft auch auf die anderen Testdurchläufe zu.

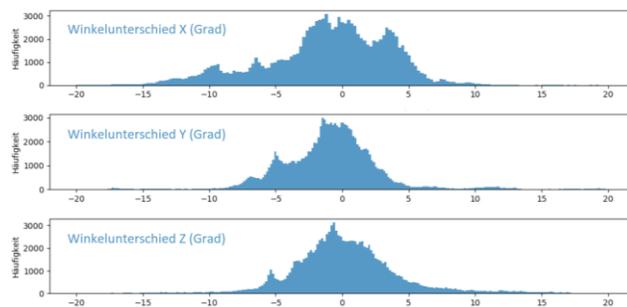


Abbildung 4: Differenzen in der Winkelmessung zwischen ARCore und Vive Tracker als Histogramm

### 3.3 Qualitative Evaluation

In der ersten qualitativen Evaluation haben sieben von insgesamt neun Probanden Probleme mit der Ergonomie des Smartphones geäußert. Die ungewohnte Haltung des Smartphones während der Durchführung der Tests wurde als „nicht intuitiv“ und anstrengend bewertet. Besonders stark ausgeprägt waren diese Probleme bei Probanden mit verhältnismäßig kleinen Händen. Die Probanden haben das Smartphone im Wesentlichen in einer Hand, den Bildschirm zum Nutzer gerichtet, gehalten und versucht mit den Fingern das ganze Smartphone zu umschließen. Die zweite Hand haben vier der Probanden zur Unterstützung dazu genommen. Vier der Probanden bemängelten, dass die virtuelle Sonde nicht gut genug auf ihre Bewegung reagiere. Dies

resultierte daraus, dass ARCore unzuverlässig arbeitete, wenn die Smartphonekamera zu stark auf den Tisch ausgerichtet wurde, der einfarbig war und keine optischen Merkmale für das kamera-basierte Tracking bot. Auch schnelle Bewegungen führten zu Aussetzern bei ARCore. Sobald das Tracking wieder funktionierte, war es oft der Fall, dass die Ausrichtung der virtuellen Sonde und des Smartphones nicht mehr übereinstimmten.

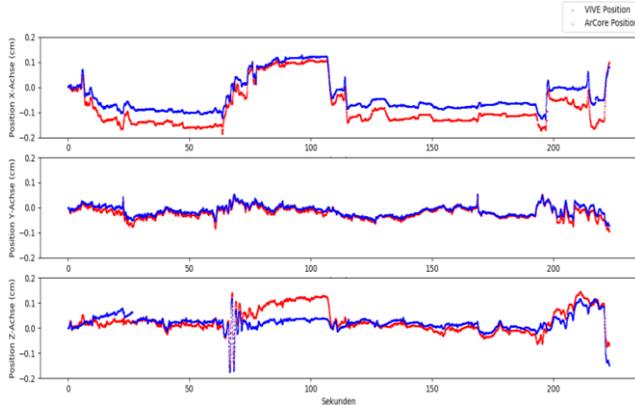


Abbildung 5: Positionsmessungen eines beispielhaften Testdurchlaufs (rot: Smartphone, blau: Vive-Tracker als Referenzsystem).

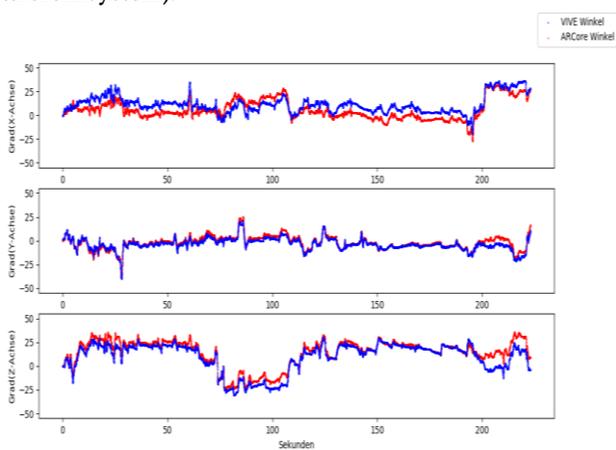


Abbildung 6: Winkelmessung eines beispielhaften Testdurchlaufs (rot: Smartphone, blau: Vive-Tracker als Referenzsystem).

Außerdem bemängelten vier der Probanden, dass ihre Erwartungen von Position und Rotation der auf dem Bildschirm dargestellten Sonde nicht erfüllt wurden. Diese Umstände erschwerten den Probanden die gestellte Aufgabe auffallend und führten zu Unzufriedenheit. Drei Probanden bemerkten, dass ein reales Objekt auf dem Tisch zur Orientierung hilfreich sei. Der durchschnittliche SUS Score lag bei der ersten qualitativen Evaluation bei 63.3 Punkten (schlechteste Bewertung 32.5, beste Bewertung 87.5). Aus diesen Erfahrungen wurden Optimierung beim Testsystem und bei der Instruktion der Anwender vorgenommen, die in Tab. 1 zusammengefasst sind.

Problem	Maßnahme
---------	----------

ARCore-Abhängigkeit von guten Aufnahmen der Smartphonekamera	Instruktion: Kamera nicht verdecken, keine ruckartigen Drehungen o. Bewegungen, Kamera nicht für längere Zeit auf einfarbige Fläche ausrichten
Orientierung in Bezug auf das zu untersuchende Objekt schwierig (Realität vs. virtuelle Szene)	Nutzung eines Mauspads zur Illustration des Arbeitsbereichs
Nach Trackingproblemen starke Verschiebung zwischen Smartphone und virtueller Sonde	Reset-Option: Der Nutzer kann jederzeit die virtuelle Sonde auf die Ausgangsposition und Orientierung zurücksetzen
Unzufriedenheit durch temporäre (dem Anwender nicht bewusste) ARCore-Trackingprobleme	Während temporärer Trackingprobleme Hinweis des Systems an den Nutzer mit der Empfehlung, das Smartphone anders zu halten
Ergonomie des Smartphones als Sonde ungünstig	Instruktion: Smartphone anders halten, um 90 Grad um die Y-Achse rotiert

Tabelle 1: Verbesserung des Testsystems und der Anwenderinstruktion auf Basis der ersten qualitativen Evaluation

Bei der zweiten qualitativen Evaluation hat sich die Bewertung der Ergonomie des Smartphones als Sonde stark verbessert, nachdem die Probanden angewiesen wurden, das Smartphone um 90 Grad um die Y-Achse zu rotieren. Mehrere der Probanden äußerten im Gespräch, dass durch die angepasste Haltung mehr Bewegungsfreiheit im Handgelenk vorhanden sei und dadurch mehr Präzision mit der Sonde erreicht wird. Ein Teilnehmer verglich das Hantieren mit dem Smartphone mit der angepassten Haltung mit einem Joystick.

Bei der abschließenden Durchführung des Tests ist es bei zwei der Probanden zu Aussetzern beim Tracking von ARCore gekommen. Beide konnten das Problem ausfindig machen und von sich aus fortfahren. Zwei der neun Probanden haben das Mauspad auf dem Tisch zur besseren Einschätzung der Größe des zu untersuchenden Objekts genutzt und sich intensiv daran orientiert. Die Möglichkeit, die virtuelle Sonde auf den Ausgangspunkt zurücksetzen zu können, ist von allen Probanden genutzt worden. Alle Probanden waren sich einig, dass dieses Feature eine große Verbesserung darstellt, da so Inkonsistenzen beim Tracking von ARCore umgangen werden können.

Der erneute SUS-Test ergab nun einen Gesamtwert von 82.5 Punkten (schlechteste Bewertung 72.5, beste Bewertung 90.0) und damit ein Ergebnis im akzeptierten Bereich.

#### 4 Diskussion

Da die Differenz zwischen den Positionen und den Winkeln von Vive und ARCore über längere Zeit relativ konstant ist, schränken die relativ großen durchschnittlichen Abweichungen die Probanden beim Lösen der Aufgabe nicht signifikant ein. Zusätzlich hilft den Probanden die Möglichkeit, die Sonde jederzeit manuell auf den Nullpunkt zurücksetzen zu können.

Würde der Fehler beim Winkel und bei der Distanz nicht über längere Zeit relativ konstant bleiben, würde dies das Smartphone als virtuelle Ultraschallsonde stark einschränken. Dadurch, dass

sich die virtuelle Sonde zwar gelegentlich unvorhersehbar verschiebt oder dreht, sie aber ansonsten relativ zuverlässig den Bewegungen des Smartphones folgt, können die Nutzer sich eher auf die Messfehler einstellen und entsprechend reagieren. Im Kontext des Ultraschalltrainings könnten diese spontanen Fehler als Bewegung des Patienten interpretiert werden: Der Untersuchungsgegenstand wird ohne eigenen Einfluss verschoben bzw. rotiert, kann danach aber wieder relativ zuverlässig untersucht werden. Weniger nutzbar wäre das ARCore-basierte Tracking, wenn die Messfehler zufälliger und weniger kontrollierbar auftreten würden. Wichtig ist auch die Einführung in die technischen Besonderheiten von ARCore, die jeder Proband erhalten hatte. Durch das Verständnis der Funktionsweise von ARCore konnten die Probanden selbständig dafür sorgen, dass deutlich weniger Abbrüche des Trackings stattgefunden haben bzw. das erneute Funktionieren schnell sicherstellen.

### 4.3 Fazit

Mittels ARCore kann auf Basis von Standardhardware (PC und Smartphone) ein simulationsbasiertes Ultraschalltraining einem großen potentiellen Nutzerkreis ohne größere Einstiegshürde zur Verfügung gestellt werden. Die auftretenden Ungenauigkeiten erscheinen in diesem Nutzungskontext akzeptabel.

### Literaturverzeichnis

- [1] Apple Inc., ARKit - Apple Developer, <https://developer.apple.com/arkit>.
- [2] Google LLC, ARCore - Google Developers, <https://developers.google.com/ar>.
- [3] J Rekimoto (1998). Matrix: a realtime object identification and registration method for augmented reality. Proceedings of the Third Asian Pacific Computer and Human Interaction (APCHI '98). IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 63-68.
- [4] A Mossel, B Venditti, H Kaufmann (2013). 3DTouch and HOMER-S. Proceedings of the Virtual Reality International Conference: Laval Virtual (VRIC '13). ACM, New York, NY, USA, Article 12, 10 pages.
- [5] A Marzo, B Bossavit, M Hachet (2014). Combining multi-touch input and device movement for 3D manipulations in mobile augmented reality environments. Proceedings of the 2nd Symposium on Spatial User Interaction (SUI '14). ACM, New York, NY, USA, 13-16.
- [6] T Babic, H Reiterer, M Haller (2018). Pocket6. A 6DoF Controller Based On A Simple Smartphone Application. Proceedings of the Symposium on Spatial User Interaction (SUI '18). ACM, New York, NY, USA, 2-10.
- [7] J Brooke: SUS: a quick and dirty usability scale. Usability Evaluation in Industry. London: Taylor and Francis, 1996, 189-194.