

Bräker, Julia; Osterbrink, Anna; Wiesche, Manuel; Semmann, Martin

Article — Published Version

Anforderungen sicherheitskritischer Dienste an Augmented Reality-Lösungen – Wassertiefenmessung in einem Seehafen

HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik

Provided in Cooperation with:

Springer Nature

Suggested Citation: Bräker, Julia; Osterbrink, Anna; Wiesche, Manuel; Semmann, Martin (2021) : Anforderungen sicherheitskritischer Dienste an Augmented Reality-Lösungen – Wassertiefenmessung in einem Seehafen, HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, ISSN 2198-2775, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, Vol. 59, Iss. 1, pp. 411-423, <https://doi.org/10.1365/s40702-021-00829-6>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/287629>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Anforderungen sicherheitskritischer Dienste an Augmented Reality-Lösungen – Wassertiefenmessung in einem Seehafen

Julia Bräker · Anna Osterbrink · Manuel Wiesche · Martin Semmann 

Eingegangen: 20. Juli 2021 / Angenommen: 17. November 2021 / Online publiziert: 16. Dezember 2021
© Der/die Autor(en) 2021

Zusammenfassung Augmented Reality ist eine zunehmend weiter verbreitete Technologie. Die Potenziale in Bereichen außergewöhnlich hoher kognitiver Anforderungen in sicherheitskritischen Kontexten sind bisher allerdings wenig untersucht. Insbesondere Dienstleistungen, die umfassendes Fachwissen voraussetzen, sicherheitskritisch sind und parallel auszuführende Aufgaben erfordern, können durch den Einsatz von Augmented Reality in ihrer Ausführung unterstützt werden. In solchen Dienstleistungen ermöglicht Augmented Reality eine nahtlose Integration wesentlicher Informationen in das Sichtfeld der Nutzenden. Beim Einsatz von Head-Mounted Displays kann zudem eine freihändige Interaktion erfolgen. Diese Arbeit untersucht die nutzerzentrierten Anforderungen an Augmented Reality-Lösungen in einem sicherheitskritischen Bereich im Betrieb eines großen europäischen Seehafens. Konkret geht es um Wassertiefenmessung des gesamten Hafengebiets zur Instandhaltung der Hafeninfrastruktur. Basierend auf elf Think-Aloud-Sitzungen während der Messfahrten, zwei Experteninterviews und zwei Expertenworkshops, wurden fünf Anforderungen an Augmented Reality bei der Wassertiefenmessung abgeleitet, die

Julia Bräker · Martin Semmann (✉)
Department of Informatics, University of Hamburg, Vogt-Kölln-Str. 30, 22527 Hamburg,
Deutschland
E-Mail: Martin.Semmann@uni-hamburg.de

Julia Bräker
E-Mail: Julia.Braecker@uni-hamburg.de

Anna Osterbrink · Manuel Wiesche
Department of Business and Economics, TU Dortmund Business School,
Martin-Schmeißer-Weg 12, 44227 Dortmund, Deutschland

Anna Osterbrink
E-Mail: Anna.Osterbrink@tu-dortmund.de

Manuel Wiesche
E-Mail: Manuel.Wiesche@tu-dortmund.de

eine Lösung zur Unterstützung der Dienstleistung erfüllen sollte. Unseres Wissens nach präsentieren wir damit die erste Studie zur Anwendbarkeit und Umsetzbarkeit von Augmented Reality in der maritimen Industrie und identifizieren Anforderungen, die sich auf die weitere Forschung zum Einsatz von Augmented Reality in sicherheitskritischen Umgebungen übertragen lassen.

Schlüsselwörter Mixed Reality · Dienstleistungsengineering · Anforderungsanalyse · Thinking Aloud · Fallstudienforschung

Requirements of Safety-Critical Services for Augmented Reality Solutions – Water Depth Management in a Seaport

Abstract Augmented reality is an increasingly widespread technology. However, the potentials in areas with extraordinarily high cognitive requirements in safety-critical environments have received little attention so far. Services that necessitate extensive expertise, are safety-critical, and require the completion of concurrent tasks can be supported using augmented reality. In such cases, augmented reality enables the augmentation of service provision by giving seamless integration of information directly into the field of view while permitting for hands-free interaction in the case of head-mounted displays. This research investigates the user-centered requirements for augmented reality solutions in a safety-critical area in the operations of a large European seaport. It specifically addresses the measurement of water depths throughout the entire port area for maintenance of port infrastructure. Based on eleven think-aloud sessions during the process of water depth management, two expert interviews and two expert workshops, five requirements for augmented reality were derived that solution should fulfil to support the service. As a result, we present the first study on the applicability and practicability of augmented reality in the marine industry and provide the foundation for future research on the use of augmented reality in safety-critical contexts.

Keywords Mixed Reality · Service Engineering · Requirements · Thinking Aloud · Case Study

1 Einleitung

Die Bedeutung von Augmented und Virtual Reality nimmt immer weiter zu. Als innovative Technologien sind sie Treiber von Veränderungen in der Wertschöpfung von Organisationen, insbesondere von Dienstleistungen (Jessen et al. 2020). Diesen Effekt spiegelt auch die Nutzung von Augmented Reality (AR) mit Hilfe von Head-Mounted Displays wider, die es ermöglichen bisher ungenutzte Potenziale auszuschöpfen, indem sie Informationen direkt in das Sichtfeld der Nutzenden, unter freihändiger Interaktion und ohne Medienbrüche, projizieren. Daher haben Head-Mounted Displays ein hohes Potenzial zur Unterstützung und Verbesserung von Dienstleistungen, wie z. B. dem technischen Kundendienst (Niemöller et al. 2017) und Logistikdiensten (Rauschnabel und Ro 2016).

Bisherige Studien haben sich auf Dienstleistungen fokussiert, die einzelne Aufgaben zum Gegenstand haben. Bisher ist wenig erforscht, welchen Einfluss AR auf die Ausführung von zwei separaten, parallelen Aufgaben haben kann. Ein derartiges Szenario häufig wechselnder Aufgaben und hoher kognitiver Arbeitsintensität liegt im Anwendungsfall der Wassertiefenmessung vor. Im Rahmen dieser Tätigkeit müssen Schiffsführende zur Messung der Wassertiefe gleichzeitig ein Schiff exakt navigieren und sich dem Verkehr im Gewässer anpassen. Da Fehler oder Ungenauigkeiten in der Ausführung beider Aufgaben schwerwiegende Folgen nach sich ziehen können, handelt es sich bei dem Anwendungsfall um einen sicherheitskritischen Dienst. Aus diesem Grund ist eine effektive Unterstützung und Verbesserung der Wassertiefenmessung enorm wichtig. Die Wassertiefenmessung ist eine entscheidende Dienstleistung zur Wahrung der Verkehrssicherheit innerhalb der Seehafeninfrastruktur, die durch Gezeiten und Veränderungen des Hafengebiets konstanten Änderungen unterliegt. Zu diesen hohen Anforderungen an die Dienstleistung generell kommen besondere Anforderungen an eine AR-Anwendung hinzu. Im Gegensatz zu bereits erfolgreich eingesetzten Implementierungen von AR beim Rad- oder Autofahren, gibt es bei Schiffen eine weitere Bewegungsdimension, ausgehend von der Wasseroberfläche. Vor diesem Hintergrund wird unsere Forschung von der Frage geleitet (*FF*) *Was sind die Anforderungen an AR-Lösungen zur Verbesserung der Wassertiefenmessung?*

Um die Forschungsfrage zu beantworten, haben wir eine Fallstudie bei einem großen europäischen Hafenbetreiber durchgeführt. Mit Hilfe von Experteninterviews, Workshops und Prozessverfolgungen mittels Think-Aloud-Sitzungen, haben wir spezifische Anforderungen für die Entwicklung einer AR-Lösung zur Unterstützung der Wassertiefenmessung erhoben. In einem nutzerzentrierten Ansatz, im direkten Austausch mit der Nutzergruppe, zielen wir darauf ab, neue praxisrelevante Erkenntnisse für den Einsatz von AR im maritimen Umfeld zu erlangen. Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Zunächst geben wir einen Überblick über den Einsatz von AR-Lösungen in verschiedenen Dienstleistungen. Anschließend stellen wir die Methodik dar und beschreiben den Anwendungsfall der Wassertiefenmessung. Daraufhin leiten wir die nutzerzentrierten Anforderungen an eine AR-Lösung für die Dienstleistung der Wassertiefenmessung ab und zeigen einen möglichen Lösungsraum zur Erfüllung der Anforderungen auf. Der Beitrag endet mit einem zusammenfassenden Fazit.

2 Grundlagen

Dienstleistungen zeichnen sich durch eine hohe Innovationskraft aus, die jedoch, um in der Praxis eingesetzt zu werden, kontextualisiert werden muss, damit kontextspezifische Anforderungen erfüllt werden (Bräker und Semmann 2021; Jessen et al. 2020).

Eine Technologie mit einem besonders hohen Potenzial für Dienstleistungsinnovationen ist AR. Potenzielle Anwendungsfelder für AR lassen sich durch den Grad an Dynamik unterscheiden. Statische Anwendungsfelder mit wenig Dynamik lassen sich dadurch charakterisieren, dass sich die Umgebung der Nutzenden nicht verändert. Es findet keine freie Bewegung in der Umgebung statt und die Interaktion mit

der Technologie ist auf ein festgelegtes Areal begrenzt. Zudem haben Objekte, wie bspw. Maschinen, einen festen Platz im Raum. In diesen Szenarien gibt es bereits Erkenntnisse über Anwendungen von AR. So wurden bspw. Head-Mounted Displays zur Kostenreduktion und Effizienzsteigerung im Umfeld von Wartungen und Reparaturen eingesetzt (Huck-Fries et al. 2017).

Dynamische Anwendungsfälle im Kontext mobiler Umgebungen sind hingegen bisher kaum Gegenstand der Forschung. Diese Umgebungen lassen sich dadurch charakterisieren, dass sie räumlich nicht begrenzt sind und Objekte nicht zwangsläufig feste Positionen haben. Ein Beispiel für einen Anwendungsfall, der durch wenig oder langsame Bewegungen geprägt ist, ist die Unterstützung von Museumsführungen mittels audiovisueller Erweiterungen per Head-Mounted Displays (Miyashita et al. 2008). Im Hinblick auf AR-Anwendungen im Kontext schnellerer Bewegungen kann die Studie von Berkemeier et al. (2018) genannt werden, in der Anforderungen an ein Head-Mounted Display-basiertes Informationssystem zur Unterstützung von Radfahrenden beim Training identifiziert werden. Ziel der Studie war es, Informationen wie Geschwindigkeit oder Routendetails in das Sichtfeld des Radfahrenden zu projizieren, um die Verkehrssicherheit zu fördern. Im Gegensatz zu diesen Anwendungsfällen, die auf einem festen Untergrund (z. B. einer Straße) stattfinden, zeichnet sich die Anwendung auf Gewässern durch eine höhere Dynamik aus, da vom Wasser selbst zusätzliche Bewegungen ausgehen. Eine Studie von Wisernig et al. (2015) hat sich im Zuge dessen mit der Implementierung einer AR-Lösung für kleine Segelboote beschäftigt, bei der Daten bzgl. Navigation und Umgebung im Sichtfeld des Schiffsführenden visualisiert werden, um diesen zu entlasten und das Risiko von Fehler zu verringern. Die Erkenntnisse geben erste Hinweise darauf, dass auch AR im Anwendungsfall der Wassertiefenmessung eine hilfreiche Unterstützung sein kann.

Neben der der Eigenschaft der hohen Dynamik ist unser Anwendungsfall enorm sicherheitskritisch. Im Bereich der sicherheitskritischen Dienstleistungen gibt es bereits einige Untersuchungen über das Unterstützungspotenzial und den Einsatz von AR. So wurde z. B. der Einsatz von AR in einer innovativen Flughafenleitstelle untersucht, wobei das Lotsenpersonal im Flugverkehrskontrollturm mit vollständigen Head-up-Informationen versorgt wurde (Bagassi et al. 2020). Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass sich die Unterstützung positiv auf das Situationsbewusstsein und die wahrgenommene Arbeitsbelastung auswirkt. Diese Aspekte sind auch in unserem Anwendungsfall von hoher Relevanz.

3 Methodik

Um die Anforderungen an eine nutzerzentrierte AR-Lösung für sicherheitskritische Dienste im maritimen Bereich zu untersuchen, haben wir eine umfassende Fallstudie durchgeführt (Yin 2009). Der von uns untersuchte Anwendungsfall ist die Dienstleistung der Wassertiefenmessung in einer Hafenumgebung, die während der Navigation auf einem Schiff durchgeführt wird. Als Grundlage für die Analyse dient zunächst ein Werbevideo eines europäischen Hafenbetreibers, durch das wir ein kontextuelles Verständnis der Wassertiefenmessung erlangen konnten. In einem

zweiten Schritt haben wir zwei semistrukturierte Interviews und zwei Workshops mit Geschäfts- und IT-Experten desselben Hafenbetreibers durchgeführt (s. zusätzliches Online-Material), um den Prozess besser nachvollziehen zu können und erste Einblicke auf mögliche Herausforderungen und Probleme sowie Anforderungen an AR-Lösungen für die Dienstleistung der Wassertiefenmessung zu erhalten. Sowohl die Interviews als auch die Workshops wurden per Videoaufzeichnung dokumentiert. Zudem wurden detailliertere Unterlagen zum Anwendungsfall von den Teilnehmenden zur Verfügung gestellt und während der Interview- und Workshop-Sitzungen Notizen angefertigt. Da wir den Fokus auf die Identifikation nutzerzentrierter Anforderungen legen, haben wir in einem dritten Schritt zusätzlich Daten mit drei Schiffsführenden erhoben, die die Dienstleistung der Wassertiefenmessung täglich durchführen.

Für die Analyse, welche nutzerzentrierten Anforderungen eine AR-Lösung erfüllen muss, um die Dienstleistung zu unterstützen, haben wir die Methode der Prozessverfolgung (Todd und Benbasat 1987) mittels Think Alouds (Someren et al. 1994) eingesetzt, bei der die Schiffsführenden gebeten wurden, „laut zu denken“ und alles zu erklären, was sie tun, während sie gleichzeitig die Wassertiefenmessung durchführen. Da die situativen Eigenschaften des Dienstes entscheidend sind, erweiterten wir die traditionelle Umsetzung der Methode, indem wir Videos aus verschiedenen Perspektiven aufnahmen. Dazu brachten wir zum Nachvollziehen des Blickfeldes eine Kamera an der Stirn der Schiffsführenden an, sowie eine zusätzliche Kamera am Display, mit Hilfe dessen wir die Schiffsführenden direkt beobachten konnten.

Für die Analyse der Videoaufzeichnungen und der verbalen Protokolle der Think-Aloud-Sitzungen haben wir die Scanning-Methode verwendet (Bouwman 1983). Wir führten keine wortwörtliche Transkription des Gesagten durch, da die Beobachtung der Schiffsführenden der primäre Untersuchungsgegenstand war, den wir für unsere Analyse verwendeten. Stattdessen dienten die Aussagen der Schiffsführenden dazu, das Beobachtete zu ergänzen und zu erklären. Für die identifizierten Videosequenzen, in denen beobachtete Verhaltensweisen auf Herausforderungen hinwiesen, transkribierten wir das Gesagte, um die Beobachtung festzuhalten. Wir analysierten das Video- und Audiomaterial mit drei unabhängigen Forschenden und konzentrierten uns zunächst auf bestehende Herausforderungen und Probleme in der Dienstleistung der Wassertiefenmessung. Nachdem wir alle Schwierigkeiten im Prozess identifiziert hatten, entfernten wir Duplikate, gruppieren ähnliche Herausforderungen und leiteten Problemkategorien ab. Basierend auf diesen Problemkategorien leiteten wir schließlich die nachfolgend beschriebenen Anforderungen ab.

4 Wassertiefenmessung in einem Seehafen

4.1 Der Anwendungsfall

Der gewählte Anwendungsfall der Dienstleistung der Wassertiefenmessung findet in einem großen europäischen Seehafen statt. Das Hafpersonal muss die Veränderung der Wassertiefe aufgrund von Sedimentation und Erosion kontinuierlich überwachen.

Um die Sicherheit des Schiffsverkehrs zu gewährleisten und die Infrastruktur aufrecht zu erhalten, muss eine kontinuierliche Wassertiefenmessung erfolgen, die das Auffinden und Erkennen nautisch kritischer Hindernisse auf dem Gewässergrund (z. B. Fahrräder) ermöglicht. Dazu werden spezielle Schiffe eingesetzt, die über die technische Ausstattung verfügen, um die Wassertiefe zu überwachen und in Echtzeit an Bord ein digitales Landschaftsmodell des Gewässerbodens zu erstellen.

Die Aufgabe der Wassertiefenmessung ist eine besondere Herausforderung: Die Schiffsführenden messen mit Echoloten die Wassertiefen im Hafen, während sie gleichzeitig auf den Schiffsverkehr achten und eine Vielzahl von Informationen zur Messung auf Displays im Auge behalten müssen, sodass sie permanent zwischen den Displays und dem Blick aus dem Fenster wechseln müssen. Dies kann zu einer eingeschränkten Sicherheit im Schiffsverkehr, zu extremer Erschöpfung durch den ständigen Wechsel der Sicht und des Kontextes sowie zu verschiedenen gesundheitlichen Problemen führen. Diese Nebenwirkungen des ständigen Perspektivwechsels sind auch bei anderen sicherheitskritischen Diensten zu beobachten, wie z. B. bei der Flugsicherung im Kontrollturm eines Flughafens (Bagassi et al. 2020). Zusätzlich zur gleichzeitigen Navigation des Schiffes und der Messung von Daten müssen die Schiffsführenden mit Messingenieuren interagieren, die für die Qualitätskontrolle der Messdaten verantwortlich sind und sich entweder ebenfalls auf dem Schiff befinden oder per Fernzugriff zugeschaltet sind.

Es gab bereits mehrere Versuche das Problem des erschöpfenden und sicherheitskritischen Perspektivwechsels zu lösen. Die Platzierung des Displays auf Augenhöhe der Schiffsführenden, sodass diese nicht mehr nach unten schauen müssen, führte z. B. dazu, dass das Display wichtige Objekte wie andere Schiffe auf dem Wasser verdeckte. Der Versuch ein kleineres Display einzusetzen, um die Überlagerung von realen Objekten zu vermeiden, hat wiederum dazu geführt, dass die Ansicht der dargestellten Informationen und Daten zu klein und schlecht erkennbar war. Da es wichtig ist, Informationen im Sichtfeld der Schiffsführenden anzuzeigen, ein



Abb. 1 Beispielhafte Anwendung von AR im Schiff

Display vor der Windschutzscheibe aber wichtige reale Objekte überlagert, scheint die Anwendung von AR sehr vielversprechend zu sein, um das Problem zu lösen. Eine Analyse des Prozesses aus theoretischer Sicht bestätigt diese Annahme (blinded). Abb. 1 zeigt, wie die Anwendung von AR im Sichtfeld der Schiffsführenden aussehen könnte.

4.2 Anforderungen an AR-Lösungen

Basierend auf den Herausforderungen und Problemen, die wir in den Think-Aloud-Sitzungen beobachtet und analysiert haben, konnten wir fünf Anforderungen für die Gestaltung von AR-Lösungen für Dienstleistungen wie die Wassertiefenmessung identifizieren, die wir gemeinsam mit den Fachleuten und Schiffsführenden des Hafenbetreibers spezifiziert haben. Die identifizierten Anforderungen sind (1) *Echtzeit-Überlagerung*, (2) *Vielfalt in der Darstellung von Informationen*, (3) *mehrdimensionales Tracking*, (4) *Kollaboration* und (5) *Interaktion*.

Echtzeit-Überlagerung In allen durchgeführten Think-Aloud-Sitzungen wurde festgestellt, dass die Schiffsführenden während der Wassertiefenmessung eine Reihe von Faktoren beachten müssen, die die Navigation und die Messung beeinflussen können, wie z.B. Strömungen, der aktuelle Wasserstand im Messbereich, Hindernisse im Wasser, allgemeiner Verkehr und die Datenqualität der Messung. Da einige Informationen nur mit Hilfe von Sensoren erfasst werden können und schnell wechselnde Bedingungen vorherrschen, ist die Visualisierung von Echtzeitinformationen eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass die Schiffsführenden ihr Schiff sicher navigieren können und bspw. nicht die Gefahr besteht, auf Grund zu laufen oder mit einem Hindernis zu kollidieren.

Während der Wassertiefenmessung an einem Ufer im ersten Think Aloud erklärte der Schiffsführer: „[...] ich [schaue] zu 80 % hier auf den Monitor und vielleicht ein wenig aus dem Fenster“. Eine weitere Herausforderung, die die Verkehrssicherheit beeinträchtigt und zu gesundheitlichen Problemen führen kann, ist der ständige Wechsel der Aufmerksamkeit der Schiffsführenden zwischen dem Schiffsfenster, um den Verkehr im Auge zu behalten, und ihren Displays, um die Qualität der Messdaten sicherzustellen. Um diese Herausforderung zu bewältigen, ist die Beseitigung von Medienbrüchen durch Einblendung von Informationen direkt in das Sichtfeld der Nutzenden erforderlich.

Die Anforderung an eine Echtzeit-Überlagerung ergibt sich daher aus der Notwendigkeit, Informationen in Echtzeit anzuzeigen und diese Anzeige im Sichtfeld der Schiffsführenden zu überlagern, um die Sicherheit des Schiffsverkehrs zu gewährleisten, Gesundheitsprobleme zu vermeiden und die kognitive Belastung zu reduzieren.

Vielfalt in der Darstellung von Informationen Zusätzlich zu den häufigen Blickwechseln zwischen dem Schiffsfenster und den Displays, wird eine Vielzahl von Sensorinformationen und Daten über das Messgebiet auf verschiedenen Displays angezeigt, was zu einem zusätzlichen ständigen Wechsel zwischen den verschiedenen Displays führt, um die Qualität der Messung zu gewährleisten. Dadurch wird der

verfügbare Platz der Displays nicht optimal genutzt und teilweise werden redundante Informationen angezeigt. Um die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern und damit den Schiffsführenden eine effiziente Durchführung der Messung zu ermöglichen, benötigen diese bestimmte Mehrfachsensorinformationen gleichzeitig, wie z. B. verschiedene Ebenen oder Perspektiven des Bereichs der Wassertiefenmessung, ohne Informationsverlust oder redundante Darstellungen.

Eine weitere Schwierigkeit, die zum derzeitigen Einsatz von mehreren Displays führt, besteht darin, dass Informationen über den Wasserstand sowie zur Datenqualität und -dichte der gemessenen Bereiche, im derzeitigen IT-System nicht überlagert werden können, jedoch beide für die Verkehrssicherheit und die Messqualität benötigt werden. Eine wesentliche Anforderung an die Informationsdarstellung ist daher, dass verschiedene Ansichten und Darstellungsmöglichkeiten der Informationen unterscheidbar sein sollten. In diesem Zusammenhang haben wir in den verschiedenen Think-Aloud-Sitzungen festgestellt, dass es z. B. sinnvoll ist, unterschiedliche Zoomstufen für die Kartendarstellungen zu haben.

Die Anforderung an die Vielfalt bei der Darstellung von Informationen ergibt sich daher aus der Notwendigkeit, bei Bedarf verschiedene Darstellungsmöglichkeiten der anzuzeigenden Informationen wählen zu können, um die Benutzerfreundlichkeit und Verkehrssicherheit zu verbessern sowie die Qualität der Messung zu gewährleisten.

Mehrdimensionales Tracking Im Vergleich zum Rad- und Autofahren, kommt beim Schiff eine weitere Bewegungsdimension hinzu. Zusätzlich zur Bewegung des Nutzens und der Bewegung der Umgebung, muss die Bewegung der Wasseroberfläche, verursacht durch bspw. Strömungen oder Wellen, berücksichtigt werden. Während bereits die Anwendung von AR in Fällen mit zwei Bewegungsdimensionen anspruchsvoll zu realisieren ist, stellt die Anwendung von AR auf einem Schiff mit dieser zusätzlichen Bewegungsdimension eine besondere Herausforderung an das Tracking dar. Für die Navigation des Schiffes während der Wassertiefenmessung ist es eine wesentliche Voraussetzung, die exakte Position des Schiffes in Bezug auf die Umgebung zu verfolgen. Zum einen kann eine ungenaue Positionsbestimmung zu Messlücken und damit zu einer verminderten Datenqualität führen, zum anderen kann die Verkehrssicherheit durch eine falsche Positionierung beeinträchtigt werden, da z. B. Abstände zu Hindernissen oder anderen Schiffen nicht mehr korrekt angezeigt werden können. Die Verfolgung der Schiffposition wird zudem dadurch erschwert, dass sich die Schiffsführenden im Inneren des Schiffes befinden und die Außenwelt durch Glasfenster wahrnehmen, wodurch es schwierig ist, direkte Sonneneinstrahlung und Reflexionen zu vermeiden. Dementsprechend benötigen die Schiffsführenden ein Tracking, das resistent gegen Sonneneinstrahlung und Reflexionen ist.

Die Anforderung des mehrdimensionalen Trackings ergibt sich daher aus der Tatsache, dass die Schiffsführenden eine exakte Positionierung des Schiffes benötigen, um die Verkehrssicherheit und die Qualität der Messdaten zu gewährleisten.

Kollaboration Während der Wassertiefenmessung müssen die Schiffsführenden häufig mit anderen Personen kommunizieren, um die Verkehrssicherheit und die

Qualität der Messung sicherzustellen. Sowohl im Hinblick auf die Verkehrssicherheit als auch auf die Messung müssen sie in einigen Situationen mit anderen Schiffen über Funk kommunizieren. Hinsichtlich der Qualität der Messung ist vor allem die Zusammenarbeit mit den Messingenieuren wichtig, die für die technische Umsetzung der Wassertiefenmessung, wie z.B. die Konfiguration der Echolote, verantwortlich sind. Vor und während der Messung müssen sich die Schiffsführenden und Messingenieure kontinuierlich abstimmen, welche Bereiche wie und wann gemessen werden sollen und wann die Messgeräte aktiviert oder deaktiviert werden müssen. Sie müssen dies unter Berücksichtigung verschiedener Rahmenbedingungen, wie z.B. des aktuellen Wasserstandes, durchführen. Ist der Wasserstand zu niedrig, besteht die Gefahr des Auflaufens, ist der Wasserstand zu hoch, kann bspw. nicht mehr jede Brücke passiert werden. Insbesondere ist die ständige Kommunikation über die Beobachtung der Echtzeit-Messwerte und die flexible Anpassung des Kurses an diese von großer Bedeutung, da bei unzureichender Datenqualität Bereiche erneut gemessen werden müssen. Eine Aussage eines Schiffsführers fasst die Bedeutung der Zusammenarbeit zwischen ihm und dem Messingenieur bei der Wassertiefenmessung sehr gut zusammen: „Wenn ich mich nicht mit ihm synchronisiere, funktioniert nichts“.

Die Anforderung an die Kollaboration ergibt sich daher aus der Tatsache, dass die Schiffsführenden mit anderen Schiffen kommunizieren und insbesondere viel mit den Messingenieuren zusammenarbeiten müssen, um sowohl die Verkehrssicherheit als auch die Qualität der Messdaten zu gewährleisten.

Interaktion Die Anforderung der Interaktion geht einher mit der oben erwähnten Anforderung der Anzeige von Informationen. Derzeit können die Schiffsführenden nicht mit dem System interagieren und sind nur in der Lage, Informationen zu konsumieren. Während mehrerer Think-Aloud-Sitzungen haben wir beobachtet, dass die Schiffsführenden die Ansichten auf dem Monitor ändern wollten. Da sie nicht in der Lage sind, selbst mit dem System zu interagieren, mussten sie die notwendigen Änderungen den Messingenieuren erklären, die dann die Anpassungen vornehmen konnten. So ist es den Schiffsführenden z.B. nicht möglich, Informationen ein- oder auszublenden oder in eine Karte zu zoomen, um eine detaillierte Ansicht zu erhalten, wenn sie dies benötigen, um z.B. Hindernissen sicher auszuweichen oder Messlücken zu schließen. Um die Navigation und Messung sicherer und effizienter durchführen zu können, benötigen die Schiffsführenden eine geeignete Möglichkeit, mit dem System zu interagieren.

Die Anforderung an die Interaktion ergibt sich daher aus der Tatsache, dass die Schiffsführenden wichtige Informationen ein- oder ausblenden oder Detailansichten auswählen müssen, um die Verkehrssicherheit und Vollständigkeit der Messdaten zu gewährleisten.

5 Lösungsraum für sicherheitskritische Dienste

Ausgehend von den identifizierten Anforderungen ist die Herausforderung, diese im Kontext der Wassertiefenmessung zu erfüllen. Zur Erfüllung der Anforderun-

gen werden nun initiale Ideen für Lösungen skizziert, die die Grundlage für eine Erprobung der AR-Lösung im Seehafen bildet. Im Rahmen der Anforderung der (1) *Echtzeit-Überlagerung* von Informationen, die zur Sicherheit bei der Navigation des Schiffes beiträgt, können die notwendigen Echtzeitinformationen, z. B. die Position und Fahrtrichtung anderer Schiffe, über das automatische Identifikationssystem (AIS) an Board des Schiffes empfangen werden. Dabei können die Daten, die bisher auf Displays visualisiert wurden direkt in das Sichtfeld des Schiffsführenden, z. B. mittels Head-Mounted Display, projiziert werden. Es müssen die perspektivische Korrektheit und der Bezug zur Position des Schiffsführenden sichergestellt werden. Hinsichtlich Anforderung (2) *Vielfalt in der Darstellung von Informationen*, ist deutlich geworden, dass verschiedene Repräsentationsformen von Inhalten hilfreich sind. So ist es bspw. sinnvoll, unterschiedliche Zoomstufen für die Kartendarstellungen zu ermöglichen, da die Schiffsführenden z. B. bei Messungen in engen Uferbereichen mehr Details benötigen, um ihr Schiff präzise zu navigieren, als in breiteren Wasserbereichen, wo sie einen größeren Überblick benötigen. Entsprechend müssen kontextualisierte Informationen so visualisiert werden, dass die Schiffsführenden in ihren Abläufen optimal unterstützt werden. Für ein (3) *Mehrdimensionales Tracking* muss sichergestellt werden, dass das Tracking der Head-Mounted Displays auf dem Schiff exakt erfolgt. Dies muss mittels in das Schiff integrierter 3D-Tracking Lösungen erfolgen, da die Schiffsführenden sich während der Messeinsätze an Bord des Schiffes bewegen und verschiedene Steuerelemente an verschiedenen Positionen im Schiff bedienen müssen. Für die Anforderung nach (4) *Kollaboration*, um die Zusammenarbeit zu unterstützen, benötigen die Schiffsführenden und Messingenieure dieselbe Visualisierung der Messbereiche, wobei eine zusätzliche Hervorhebung von bestimmten Bereichen sinnvoll ist. Insbesondere, wenn die Messingenieure im Homeoffice arbeiten, ist es nicht trivial zu verstehen, worüber die andere Person spricht. Außerdem ist eine Freisprechkommunikation, d. h. ohne zum Telefon greifen zu müssen, sowohl mit anderen Schiffen als auch mit den Messingenieuren erforderlich, damit die Schiffsführenden die Hände für die Navigation des Schiffes frei haben und somit die Sicherheit gewährleistet ist. Hinsichtlich der Anforderung nach (5) *Interaktion* ist aufgrund der hohen Komplexität des Anwendungsfalls der mögliche Lösungsraum nur grob zu definieren. Die Schiffsführenden müssen jederzeit in der Lage sein, das Schiff zu steuern. Daher ist es nicht trivial weitere Interaktionen zur Manipulation angezeigter Informationen zu integrieren. Unter Nutzung von Head-Mounted Displays erstrecken sich mögliche Eingabeformen von Sprachsteuerung über Gestensteuerung bis hin zum Tracking von Augen- oder Kopfbewegungen. In diesem Spannungsfeld sollten in enger Abstimmung mit den Schiffsführenden verschiedene Interaktionsformen erprobt werden, um sicherzustellen, dass eine nutzbare Version realisiert wird, die gleichzeitig keinerlei negative Auswirkungen auf das Führen des Schiffes hat. Zudem sollte die Interaktionsform die kognitive Belastung nicht unnötig erhöhen und ein freihändiges Arbeiten unterstützen.

Neben diesen fünf Kriterien kristallisieren sich drei allgemeine Grundanforderungen aus den Bereichen Verkehrssicherheit, Gesundheit und Nutzerfreundlichkeit heraus, die in allen fünf Anforderungsbereichen enthalten sind. Im Vergleich zu den Anforderungen an AR-Lösungen für das Radfahrtraining gibt es einige Gemeinsam-

keiten, da in all diesen Fällen eine AR-Lösung in einer mobilen Umgebung eingesetzt werden muss und die Nutzenden in einer Verkehrssituation agieren. Sowohl ein Fehler im Straßen- als auch im Schiffsverkehr kann schwerwiegende Folgen haben. Im Gegensatz zum Rad- oder Autofahren findet unser Anwendungsfall in einer Umgebung statt, in der es eine weitere Bewegungsdimension und damit mehr Freiheitsgrade gibt. Daher stellt die mehrdimensionale Tracking-Anforderung eine noch größere Herausforderung an bestehende AR-Hardware dar als im Fall des Straßenverkehrs. Gerade die Wassertiefenmessung erfolgt auf engem Raum bzw. bei hohem Verkehrsaufkommen. Daher ist ein exaktes Tracking unerlässlich. Dies gilt nicht nur für die zur Messung eingesetzten Schiffe, sondern auch für alle anderen Schiffstypen, wobei die Fehlertoleranz mit der Annäherung an enge oder eingeschränkte Fahrrinnen und zunehmender Verkehrsdichte abnimmt (Gardenier 1981).

Darüber hinaus gewinnt der Anwendungsfall an Komplexität, da die Nutzenden das Schiff navigieren und gleichzeitig die Wassertiefenmessung zur Instandhaltung der Hafeninfrasturktur und zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit für andere Schiffe durchführen müssen. Durch die Untermauerung der Think-Aloud-Methode mit Videomaterial aus verschiedenen Perspektiven konnten wir ein bestmögliches Verständnis für die räumlichen Implikationen und Anforderungen an AR gewinnen.

Unser Ansatz ist jedoch nicht frei von Limitationen. Da ein spezifischer Anwendungsfall im Fokus steht und wir zur Ableitung der Anforderungen nur den Prozess der Wassertiefenmessung betrachtet haben, sind unsere Ergebnisse kontextabhängig. Dennoch gehen wir von einer guten Übertragbarkeit aus. Dazu könnten für zukünftige Forschung bspw. Anwendungsfälle in der maritimen Industrie in Betracht kommen. Ein möglicher Fall ist die Baggerei, die für die Anpassung und Vertiefung von Gewässern zuständig ist. Darüber hinaus könnten Anwendungsfälle im Bereich des Lotsendienstes in Betracht gezogen werden. Des Weiteren sollte zukünftige Forschung daran ansetzen, die Ergebnisse prototypisch in einer AR-Lösung umzusetzen, die alle Anforderungen gleichzeitig adressiert, und diese in einer Nutzerstudie mit den Schiffsführenden zu evaluieren.

6 Fazit

Bislang wurde wenig über Anforderungen an AR-Lösungen im Allgemeinen, aber insbesondere auch im sicherheitskritischen Umfeld geforscht. Da der gewählte Anwendungsfall noch komplexer ist als die bisherigen Arbeiten zu Einsatzgebieten von AR, leisten wir einen Beitrag zum Stand der Forschung. Da die Wassertiefenmessung ein komplexer Anwendungsfall aus der Praxis ist und somit keine Laborbedingungen vorliegen, ist die Implementierung einer AR-Lösung eine große Herausforderung, die allerdings große Potenziale zur Unterstützung und Verbesserung der gelebten Praxis bietet. Zudem können die gewonnenen Erkenntnisse für weitere Anwendungsfälle der maritimen Industrie, aber auch generell für komplexe Assistenzsysteme insbesondere im Verkehr genutzt werden. In Kenntnis des Erweiterungspotenzials haben wir die Forschungsfrage (*FF*) *Was sind die Anforderungen an AR-Lösungen zur Verbesserung der Wassertiefenmessung?* beantwortet, indem wir fünf nutzerzentrierte Anforderungen abgeleitet haben, die für die Aufgabe des

Schiffsführenden erfüllt werden müssen. Diese entsprechen den Ergebnissen der bisherigen Forschung zu AR-Anwendungen im Straßenverkehr. Allerdings wurde bisher kein so komplexer Vorgang wie die Wassertiefenmessung untersucht, so dass wir an dieser Stelle einen Beitrag zur Forschung leisten. Einerseits stellt das sich bewegende Fahrzeug in Kombination mit den sich bewegenden Nutzenden im Inneren des Fahrzeugs eine große Herausforderung in Bezug auf die mehrdimensionalen Tracking-Möglichkeiten dar. Andererseits handelt es sich um einen wissensintensiven Prozess, der Multitasking erfordert, d.h. einen ständigen Wechsel zwischen der Navigation des Schiffes und der Messung der Wassertiefe sowie die Zusammenarbeit mit den Messingenieuren. Außerdem unterliegt der Prozess enormen sicherheitskritischen Anforderungen, die zusätzlich berücksichtigt werden müssen. Im Rahmen des Beitrages haben wir exemplarisch den Lösungsraum zur Erfüllung der Anforderungen umrissen. Darauf aufbauend können weitere Anwendungen in vergleichbaren Szenarien untersucht werden, um die Potenziale von AR zur Steigerung der Sicherheit und Verbesserung der Ergonomie zu realisieren.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

This work has been partly funded by the Federal Ministry of Education and Research of Germany (BMBF) under grant no. 02K18D180 and 02K18D181 („WizARd – Wissensvernetzung und Kollaboration durch Anwendung erweiterter Realität in produktionsnahen Dienstleistungen“).

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Bagassi S, De Crescenzo F, Piastra S, Persiani CA, Ellejmi M, Groskreutz AR, Higuera J (2020) Human-in-the-loop evaluation of an augmented reality based interface for the airport control tower. *Comput Ind* 123:103291
- Berkemeier L, Menzel L, Remark F, Thomas O (2018) Acceptance by design: Towards an acceptable smart glasses-based information system based on the example of cycling training. In: MKWI
- Bouwman MJ (1983) Human diagnostic reasoning by computer: an illustration from financial analysis. *Manage Sci* 29(6):653–672
- Bräker J, Semmann M (2021) How does business process modeling reflect augmented reality-based processes? In: Twenty-Fifth Pacific Asia Conference on Information Systems
- Gardenier JS (1981) Ship navigational failure detection and diagnosis. In: Human detection and diagnosis of system failures. Springer, , S 49–74
- Huck-Fries V, Wiegand F, Klinker K, Wiesche M, Krcmar H (2017) Datenbrillen in der Wartung. In: INFORMATIK 2017

- Jessen A, Hilken T, Chylinski M, Mahr D, Heller J, Keeling DI, de Ruyter K (2020) The playground effect: How augmented reality drives creative customer engagement. *J Bus Res* 116:85–98
- Miyashita T, Meier P, Tachikawa T, Orlic S, Eble T, Scholz V, Gapel A, Gerl O, Arnaudov S, Lieberknecht S (2008) An augmented reality museum guide. In: 2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, S 103–106
- Niemöller C, Metzger D, Thomas O (2017) Design and evaluation of a smart-glasses-based service support system
- Rauschnabel PA, Ro YK (2016) Augmented reality smart glasses: an investigation of technology acceptance drivers. *Int J Technol Mark* 11(2):123–148
- Someren MWV, Barnard YF, Sandberg JAC (1994) The think aloud method
- Todd P, Benbasat I (1987) Process tracing methods in decision support systems research: exploring the black box. *MISQ* 11(4):493–512
- Wisernig E, Sadhu T, Zilinski C, Wyvill B, Albu AB, Hoeberechts M (2015) Augmented reality visualization for sailboats (ARVS). In: 2015 International Conference on Cyberworlds (CW), S 61–68
- Yin RK (2009) Case study research: design and methods Bd. 5. SAGE,