

Datenbrillengestützte Checklisten in der Fahrzeugmontage

Alexander Stocker, Michael Spitzer, Christian Kaiser, Manfred Rosenberger und Michael Fellmann

Zusammenfassung

Im Kontext der „Industrie 4.0“ werden Datenbrillen häufig als innovative Endgeräte angeführt, weil sie große Potenziale besitzen, die Informationsversorgung bei der Arbeit zu verbessern, ohne den Produktionsmitarbeiter in seiner Bewegungsfähigkeit einzuschränken. So können Datenbrillen dazu genutzt werden, Checklisten und Arbeitsanweisungen direkt an der Maschine oder am Werkstück digital abzuarbeiten bzw. auszuführen, ohne dabei die Hände zur Eingabe an einer Tastatur zu benutzen. In aktuellen Projekten ist dabei beabsichtigt, aus dem Consumer-Bereich stammende leistungsfähige und dabei vergleichsweise kostengünstige Datenbrillen im Produktions- bzw. Serviceumfeld zu verwenden. Doch derzeit existieren nur wenige empirische Studien, bei denen diesbezüglich entwickelte Demonstratoren systematisch mit Nutzern evaluiert wurden, um empirisch überprüfbare Erkenntnisse hinsichtlich Anwendungspotenzial und Akzeptanz von Datenbrillen zu gewinnen. Vor diesem Hintergrund wurde eine Datenbrillen-gestützte Checkliste für die Fahrzeugmontage als Demonstrator entwickelt und gemeinsam mit Fachexperten aus der Automotive-Domäne empirisch untersucht. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass Datenbrillen durchaus über ein Nutzenpotenzial verfügen, wenngleich ihr Einsatz gegenwärtig noch mit bedeutenden Nachteilen aus Sicht der Nutzer verbunden ist. Der Beitrag leitet eine Reihe an Nutzeranforderungen ab, um Nutzungsmöglichkeiten von Datenbrillen weiter zu verbessern.

Einleitung und Motivation

Die Wirtschaftsinformatik versteht ein System nicht nur aus technischer Perspektive, sondern betrachtet es immer im Kontext des betrieblichen Umfelds mitsamt den zugehörigen Arbeitsabläufen und den involvierten Menschen [9]. Für die gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik ist von besonderem Interesse, durch welche neuartigen Informationssysteme ein Mensch als Wissensarbeiter unterstützt werden kann. Daher kann die Wirtschaftsinformatik in der aktuell stattfindenden Diskussion zur „Industrie 4.0“ [10] einen wesentlichen Beitrag leisten, indem sie nach Lösungen für die Unterstützung von Produktionsmitarbeitern der Zukunft sucht. Diese sollen durch neue Informationssysteme an Autonomie und Kompetenz gewinnen, womit der Abwechslungsreichtum der Arbeit gesteigert werden kann und damit einhergehend auch die Verbundenheit mit der Arbeit zunimmt [14]. In diesem Kontext wird aktuell über das Potenzial neuartiger Datenbrillen aus dem Consumer-Bereich in Fertigungsstraßen diskutiert, um Produktionsmitarbeiter besser in ihren Arbeitspraktiken zu unterstützen. Diesen Datenbrillen liegt im Vergleich zu Tablets oder herkömmlichen Desktop-PCs das Potenzial zugrunde, dass sie Produktionsmitarbeiter etwa darin unterstützen können, im Sichtfeld der Brille dargestellte Checklisten oder Arbeitsanweisungen abzuarbeiten, ohne dabei ihre eigenen Hände zu benutzen. Darüber hinaus können digitale Inhalte beispielsweise in Kombination mit Elementen der sog. *Erweiterten Realität* (Augmented Reality) kontextuell zur Umgebung direkt über erkannten Objekten eingeblendet werden, etwa über einer Maschine oder über ein Werkstück. Ein sogenannter *Augmented Operator* [17] stellt dabei einen besonders interessanten Anwendungsfall dar. Dieser wird in aktuellen Forschungsprojekten im Themenfeld „Human-centred Manufacturing“, wie beispielsweise im EU-Projekt FACTS4WORKERS¹ [14, 17], einer genaueren Analyse unterzogen. Im Vergleich zu den in der Vergangenheit bereits entwickelten sogenannten „Head-Mounted Displays“, die im Bereich der Virtuellen oder Erweiterten Realität eingesetzt wurden, zeichnen sich moderne Datenbrillen durch eine erhebliche Gewichtsreduktionen sowie verbesserte Nutzerschnittstellen zur Datenerfassung aus – bei gleichzeitiger Steigerung der Datenverarbeitungskapazität in der Brille. Die einschlägige wissenschaftliche Literatur stellt bisher noch kaum empirische Untersuchungen zur Verfügung, um Anwendungs- und Nutzenpotenzial sowie Nutzerakzeptanz aktueller Datenbrillen aus dem Consumer-Bereich im Kontext der Produktion und Erbringung von Dienstleistungen besser abschätzen zu können. Vor diesem Hintergrund wurde ein Datenbrillen-gestützter Demonstrator zu einem aus der Sicht von Praktikern besonders relevanten Anwendungsfall in der Montage entwickelt. Dieser Demonstrator sollte als empirisch zu

¹ <http://facts4workers.eu/>

überprüfendes Artefakt gemeinsam mit Experten aus der Fachdomäne evaluiert werden. Die forschungsleitende Fragestellung entspricht der einer „solution-driven investigation“ [19], bei der eine bestehende Technologie (Datenbrille) zur Lösung eines realen Problems in der Produktion (Unterstützung bei der Fahrzeugmontage in der Fertigungsstraße) herangezogen wird. Dabei stand speziell die Frage im Fokus, wie Fachexperten die Nutzung und Nutzbarkeit des Demonstrators wahrnehmen und bewerten, vor allem in Bezug auf die im Demonstrator implementierten unterschiedlichen Interaktionsmechanismen.

Der restliche Beitrag ist wie folgt gegliedert. Im nachfolgenden Abschnitt wird die relevante wissenschaftliche Literatur zu Datenbrillen im Kontext moderner und unter dem Terminus der „Industrie 4.0“ diskutierten Produktionsprozesse analysiert. Nach der Beschreibung von Zielsetzung und Methodik folgen die Vorstellung des entwickelten Demonstrators, einer Datenbrillen-gestützten Checkliste für die Montage von Fahrzeugen, sowie dessen quantitative und qualitative Evaluierung mit Fachexperten aus der Automotive-Domäne. Eine Diskussion der Evaluierungsergebnisse und der daraus gewonnenen Erkenntnisse über Potenziale und Fallstricke beim Einsatz von Datenbrillen aus Sicht der Nutzenden runden den Beitrag ab.

Der Einsatz von Datenbrillen im Kontext der „Industrie 4.0“

Mit dem Einzug des Internet der Daten, Dienste und Dinge – kurz des „Internet of Everything“ [8] – in die Produktion bricht ein neues industrielles Zeitalter an. Dieses ist durch eine zunehmende „Informatisierung“ gekennzeichnet, die sich nicht nur auf einzelne Fabriken, sondern gesamte Wertschöpfungsnetzwerke bezieht. Diese „vierte industrielle Revolution“ wird im deutschsprachigen Raum unter dem Terminus „Industrie 4.0“ diskutiert [10]. Durch den Einzug moderner Informations- und Kommunikationstechnologien in physische Produkte und in ihre Produktionsstätten werden Maschinen intelligenter und vernetzter. Aus mechatronischen Produkten entstehen vernetzte cyber-physikalische Systeme (CPS), und Produktionssysteme transformieren zu cyber-physikalischen Produktionssystemen (CPPS). Beide Systeme, CPS und CPPS, bedienen sich einer Vielzahl unterschiedlicher Sensoren, um Daten aus der physischen Welt zu verarbeiten und Aktuatoren, um Vorgänge in der physischen Welt zu beeinflussen, wobei sie Informationen in der virtuellen Welt, dem Cyberspace, sowohl nutzen als auch generieren [7].

Abseits dieser technokratischen Perspektive rund um eine „Automatisierung der Automatisierung“ (AoA) durch vernetzte Maschinen findet eine zweite Diskussion statt, bei der es stärker um die zukünftige Rolle des Menschen in der Produktion geht [16], welcher als flexibelstes Element des Produktionssystems auch einen größtmöglichen Beitrag zur Flexibilität der Produktion insgesamt leisten kann und soll [17]. Diese Rolle des Menschen in der Produktion und dahingehend der neue Bedarf an IKT-Unterstützung zur Gewinnung von Flexibilität und „Empowerment“ werden auch von Richter et al. [14] diskutiert, die eine umfangreiche Analyse bisheriger europäischer Forschungsprojekte durchgeführt haben.

Gerade Produktionsmitarbeiter können durch das Nutzenpotenzial neuer Technologien profitieren, etwa wenn zeitaufwändige und unkomfortable alte Lösungen ersetzt werden. Einigen Presseinformationen, beispielsweise von Audi [1] und BMW [3], zufolge ist die Automobilindustrie besonders daran interessiert, das Potenzial von Datenbrillen aus dem Consumer-Bereich im Bereich der Produktion, beispielsweise bei der Fahrzeugmontage, zu untersuchen. Szenarien für Datenbrillen in der Produktion wurden zwar bereits vor der Jahrtausendwende vorgestellt [15] (damals noch unter dem Terminus der *Head-Mounted Displays*). Allerdings hat sich diese Technologie im industriellen Umfeld bisher nicht durchgesetzt, was nicht zuletzt an der umständlichen Handhabung der damals verfügbaren Geräte, der Bewegungseinschränkung, welche die damals dafür notwendige Hardware mit sich brachte, sowie der hohen Kosten lag [2]. Aufgrund erheblicher Fortschritte der aktuellen Datenbrillen in Bezug auf alle diese Kriterien erreicht das Anwendungsfeld „Datenbrillen in der Produktion“ eine neue Relevanz und wird zunehmend (wieder) in wissenschaftlichen Arbeiten diskutiert. So stellen Brandl et al. [5] die kontextspezifische Bereitstellung von Informationen an Produktions- und Servicemitarbeiter in den Vordergrund und verweisen auf zwei Anwendungsfälle aus dem Forschungsprojekt „Assist 4.0“² für Datenbrillen-gestützte Assistenzsysteme: die Behebung von Störfällen mit Hilfe augmentierter Anleitungen und das kontextbezogene Lernen für Service-Trainees. Brandl et al. [6] setzen diese Arbeit fort und stellen in einem weiteren Beitrag das Konzept eines mobilen Wissensmanagement-Systems vor, welches unter anderem die sichere Authentifizierung mittels Datenbrille und verschlüsselten, signierten QR-Code beinhaltet. Rauh et al. [13] stellen einen mit Hilfe eines menschenzentrierten Entwurfsprozesses nach ISO 9241-210 entwickelten Demonstrator für Google Glass vor, der die Fahrzeugenkontrolle in der Audi-A8-Produktion unterstützen soll, indem er die papierbasierte Dokumentation ersetzt. Quint und Loch [12] stellen in ihrem Beitrag einen Demonstrator für Google Glass zur Dokumentation und zum Austausch von Wissen über den

² <http://www.evolaris.net/de/project/assist-4-0/>

Wartungsprozess von Produktionsanlagen als Ergebnisse aus dem Projekt „AmbiWise“³ vor. Allen Beiträgen gemeinsam ist, dass eine empirische Überprüfung der Anwendungspotenziale und der Akzeptanz des Datenbrilleneinsatzes bisher noch nicht erfolgt ist. Dies stellt folglich eine Forschungslücke dar, die dieser Beitrag adressiert.

Autoren	Inhalt (Methode)	Ergebnisse
Brandl et al. [5]	Assistenzsysteme für Datenbrillen (Konzeptbeitrag)	Zwei Anwendungsfälle: Störfallbehebung mit augmentierter Anleitung, kontextbezogenes Lernen für Service-Trainees
Brandl et al. [6]	Mobiles Wissensmanagement für Industrie 4.0 (Konzeptbeitrag)	Konzept eines Wissensmanagement-Systems aus dem „Assist 4.0“-Projekt mit sicherer Authentifizierung
Quint und Loch [12]	Google Glass im Wartungsprozess (Demonstrator)	Prototypische Implementierung für Google Glass aus dem „AmbiWise“-Projekt, Unterstützung von Dokumentation und Wissensaustausch
Rauh et al. [13]	Google Glass in der Fahrzeug-Endkontrolle (Demonstrator)	Prototypische Implementierung für Google Glass, Anleitung zur Ausführung periodisch zu wiederholender Kalibrierungsaufgaben in der Endkontrolle der Fahrzeugproduktion
Stocker et al. [17]	Mensch-zentrierte IKT im „Industrie 4.0“-Kontext (Konzeptbeitrag)	Eignung von Datenbrillen im Kontext der „Industrie 4.0“ in den Anwendungsfällen <i>assistierter Bediener, Produktions-Wissensmanagement</i> und des <i>Lernens</i>

Tabelle 1: Beiträge zum Einsatz aktueller Datenbrillen im „Industrie 4.0“-Kontext.

Zielsetzung und Methodik

Ausgehend von einem sehr praxisnahen Anwendungsfall in der Fahrzeugmontage bestand das Ziel der im Beitrag vorgestellten Forschungsarbeit darin, in agiler Vorgehensweise einen Demonstrator einer Datenbrillengestützten Montagecheckliste für ein aktuelles Modell einer Datenbrille zu entwickeln und diesen gemeinsam mit Anwendern empirisch zu untersuchen. Daher handelt es sich bei dem zu entwickelnden Artefakt um eine „objective-centred solution“ nach Pfeffers et al. [11]. Die Motivation für diesen Anwendungsfall resultiert aus der von den Verantwortlichen als verbesserungswürdig wahrgenommenen IKT-Unterstützung bei der Montage von Fahrzeugen. Durch ein Datenbrillen-gestütztes Assistenzsystem würde sich ein Montagearbeiter in der Zukunft zahlreiche Wegstrecken zwischen Fahrzeug und Dokumentationsmedium (beispielsweise einem Desktop-PC, der neben der Fertigungsstraße steht) ersparen, was zu messbaren Verbesserungen in Bezug auf die Kriterien *Zeitbedarf* und *Ergebnisqualität* im Montageprozess führen kann.

Mit dem Demonstrator sollte ein besseres Verständnis darüber gewonnen werden, wie Endanwender mit Datenbrillen im Allgemeinen und mit den unterschiedlichen Interaktionsmöglichkeiten im Speziellen umgehen. Im Fokus dieser Forschungsarbeit standen dabei die Anwendungspotenziale, Nutzungsarten und die Nutzerakzeptanz. Die Datenbrille ist zentraler Bestandteil des entwickelten Demonstrators, der verschiedene Interaktionsmöglichkeiten wie Steuerung über Funktionstasten, Sprach- und Handgestensteuerung abdeckt. Die der Evaluierung zugrundeliegende forschungsleitende Frage lautet:

Wie gut sind gegenwärtig Datenbrillen geeignet, die Fahrzeugmontage zu unterstützen, und wie bewerten Fachexperten aus der Automotive-Domäne deren Nutzung?

Der entwickelte Demonstrator wurde gemeinsam mit Fachexperten aus der Automotive-Domäne in einer Laborsituation quantitativ und qualitativ evaluiert. Dazu wurde ein entsprechender Versuchsaufbau geschaffen, um Benutzbarkeit und Nutzen der Datenbrille empirisch zu untersuchen. Während die quantitative Evaluierung misst, wie lange Probanden für die Ausführung eines Tasks mit Hilfe des Demonstrators benötigen, zielt die qualitative Evaluation stärker darauf ab, welche Gedanken und Empfindungen die Probanden während der Evaluierung verspüren. In der qualitativen Evaluierung wurde auf das aus der Usability-Forschung bekannte

³ <http://www.ambiwise.de/>

Instrument des *Thinking Aloud* zurückgegriffen. Hierzu wurden die Tonspuren aller Tests mit Einwilligung der Probanden aufgezeichnet und danach die einzelnen Kommentare der Probandentranskribiert. Die emotionale Färbung der Probandenkommentare wurde von zwei Autoren jeweils unabhängig voneinander in Kategorien positiv, neutral und negativ bewertet. Bei Unterschieden in der Bewertung wurde so lange diskutiert, bis man sich auf eine einheitliche Bewertung einigen konnte.

Beschreibung des Demonstrators

Obwohl Datenbrillen eine Technologie mit hohem Potenzial darstellen, wurden bisher noch kaum Demonstratoren für realistische produktionsnahe Einsatzbereiche geschaffen, die empirisch überprüfbare Aussagen zulassen. Daher wurde eine Datenbrillen-gestützte Checkliste für die Fahrzeugmontage als Software-Demonstrator umgesetzt, bei der Mitarbeiter aus der Fahrzeugproduktion einzelne Kontrollpunkte in der Checkliste nacheinander an- bzw. abwählen können und so interaktiv durch den Montageprozess geführt werden. Die Auswahl der Hardware fiel auf das Modell *Vuzix M100 Smart Glasses*, welches zum Zeitpunkt der Beschaffung im Juli 2014 als einziges Modell aus dem Consumer-Bereich erhältlich war. Die *Vuzix M100* ist eine Android-basierte Datenbrille mit einer monokularen Anzeige. Die Anzeige erfolgt über ein 24-Bit-WQVGA-Farbdisplay mit einer Auflösung von 240x432 Bildpunkten bzw. einem Seitenverhältnis von 16:9 und ist sowohl für das rechte als auch für das linke Auge verwendbar [18].

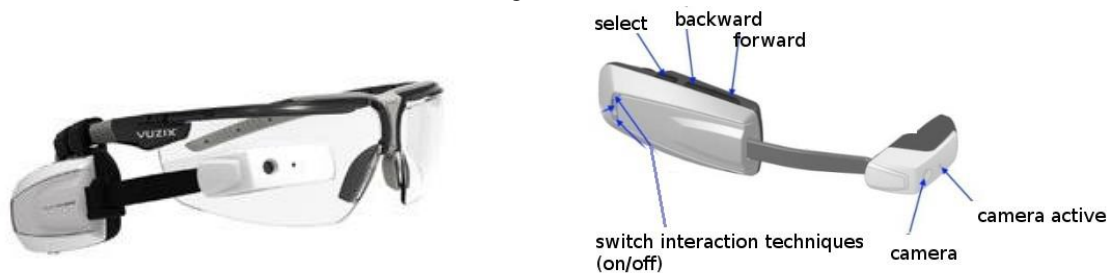


Abb. 1 Die *Vuzix M100 Smart Glasses*-Datenbrille

Der Demonstrator ist als Web-Applikation implementiert. In Konzeption und Entwicklung flossen rund 50 Personentage ein, davon rund die Hälfte für Analyse, Evaluierung und Integration externer Bibliotheken und Frameworks, um weitere Steuerungsmöglichkeiten für die Datenbrille zu erhalten. Als Entwicklungsumgebung wurde *Android Studio* zusammen mit dem *Android Development Toolkit* eingesetzt und durch verschiedene Bibliotheken für die Steuerung der Datenbrille erweitert. Um die Portier- und Skalierbarkeit dieser Applikation auf andere Betriebssysteme zu verbessern, wurde der Demonstrator nach dem Konzept einer MVVM-Architektur aufgebaut und es wurde sowohl HTML5 als auch *AngularJS* (ein Open-Source-Rahmenwerk für JavaScript) genutzt. Um zusätzlich zur Tastensteuerung weitere Steuerungsmöglichkeiten zu erhalten, wurden die beiden Bibliotheken *Pocketsphinx* (Spracherkennung für Android) und *Handwave* (Gestenerkennung für Android) ausgewählt. Die Applikation wurde letztendlich mit dem *Android SDK* (Java-basiert) kompiliert.

Der Demonstrator kann über die Funktionstasten der Datenbrille selbst, mittels Sprachsteuerung, mittels Gestensteuerung sowie über ein zusätzliches Android-Gerät via Bluetooth bedient werden. Die im Demonstrator verwendete Checkliste besteht aus fünf Themen mit jeweils zwei bis fünf Einträgen für zu überprüfende Sachverhalte. Die Navigation durch die Liste erfolgt entweder mit Hilfe der Funktionstasten, „vorwärts“ und „zurück“, um zwischen den Themen zu wechseln, bzw. mittels der Funktionstaste „select“ zum Aus- bzw. Abwählen eines Listeneintrags. Alternativ erfolgt die Bedienung der Liste über die Sprachsteuerung mittels der Befehle „right“, „left“ und „check“. Bei der Gestensteuerung wurden die Gesten „Handbewegung nach links“ bzw. „Handbewegung nach rechts“ für die Navigation zwischen den Themen und das „Ballen einer Faust“ für das Abhaken eines Listeneintrags verwendet. Nachfolgende Abbildung zeigt das Navigationskonzept des Demonstrators gefolgt von einem Bildschirmfoto:

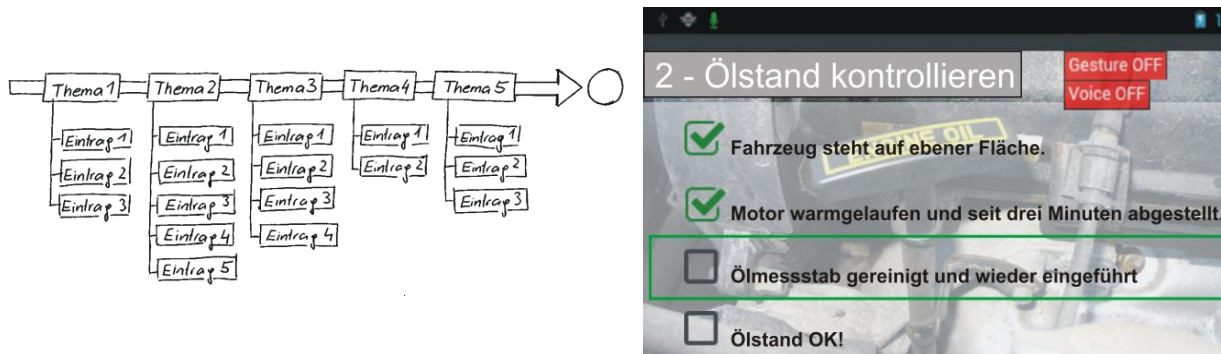


Abb. 2 Navigationskonzept und Demonstrator-GUI

Evaluierung des Demonstrators

Die Evaluierung wurde gemeinsam mit neun Personen aus der Automotive-Domäne durchgeführt, die aufgrund ihres Know-hows als Fachexperten eingestuft wurden und damit geeignete Probanden darstellten. Die Evaluierung umfasste sowohl einen quantitativen als auch einen qualitativen Teil. Zu Beginn der Evaluierung fand eine Eingewöhnungsphase statt, bei der Probanden die einzelnen Steuerungsmöglichkeiten der Datenbrille erproben konnten. Dabei wurden die jeweils erwartete sowie die tatsächliche Dauer gemessen. Erst danach begann das eigentliche Experiment, bei dem die Probanden konkrete Aufgaben im Demonstrator ausführen mussten, beispielsweise zu einem bestimmten Thema in der Montagecheckliste wechseln um dort zwei Einträge zu bestätigen. Die Probanden wurden angewiesen, alle Interaktionsmöglichkeiten zu testen, wobei die Dauer jeweils gemessen wurde.

Im quantitativen Teil wurde von den Probanden zuerst die eigene Eingewöhnungszeit in die Interaktion mit dem Demonstrator für jede Aufgabe jeweils geschätzt und dann das Schätzergebnis jeweils mit den tatsächlichen Eingewöhnungszeiten verglichen. Dazu mussten die Probanden so lange durch die Checklistenthemen navigieren und Einträge an- bzw. abwählen, bis sie sich zutrauten, mit der eigentlichen Evaluierung zu beginnen. Dabei ist auffallend, dass die erwarteten durchschnittlichen Eingewöhnungszeiten bei Tastensteuerung (2 Minuten) und Gestensteuerung (3 Minuten) in der Realität deutlich unterboten wurden (Tastensteuerung: 1,5 Minuten; Gestensteuerung: 2 Minuten), während die erwartete durchschnittliche Eingewöhnungszeit bei der Sprachsteuerung (3 Minuten) unter der tatsächlichen durchschnittlichen Eingewöhnungszeit blieb (4 Minuten).

Im zweiten Teil der quantitativen Evaluierung wurde von den Probanden verlangt, zum dritten Thema in der Kontrollliste zu wechseln und die ersten beiden Kontrolllisteneinträge abzuhaken. Wiederum wurde die entsprechende Dauer gemessen. Der Test wurde unter Berücksichtigung einzelner Aspekte einer realen Arbeitsumgebung in der Fertigungsstraße mehrmals wiederholt: Tasten- und Gestensteuerung mit Arbeitshandschuhen, Sprachsteuerung bei lärmendem Hintergrundgeräusch und Gestensteuerung bei abgedunkeltem Raum. Bei normalen Testbedingungen war die Nutzung der Interaktionsmöglichkeiten nach Schnelligkeit wie folgt gereiht: Tastensteuerung (durchschnittlich 8 Sekunden) vor Sprachsteuerung (durchschnittlich 35 Sekunden, ein Abbruch) und Gestensteuerung (durchschnittlich 48 Sekunden). Mit Arbeitshandschuhen waren die Probanden bei der Gestensteuerung sogar schneller (durchschnittlich 36 Sekunden), als ohne. Bei der Tastensteuerung mit Handschuhen waren die Probanden nur unwesentlich langsamer, als ohne. Bei Lärm benötigten die Probanden bei Nutzung der Sprachsteuerung durchschnittlich 80 Sekunden, wobei 4 Probanden (44,44 %) diese Evaluierung abgebrochen haben.

Im qualitativen Teil der Evaluierung wurden von den Probanden im Rahmen der Think-Aloud-Methode insgesamt 147 Aussagen aufgenommen, davon 39 positive, 42 neutrale und 66 negative Aussagen. Neutrale Aussagen waren fast immer solche, die konkrete zusätzliche Anforderungen im Hinblick auf die dem Demonstrator zugrundeliegende Hardware geliefert haben. Ein großer Teil dieser Aussagen widmete sich der Wahrnehmung der Darstellung der Montagecheckliste im kleinen Bildschirm der Datenbrille. Fast alle Personen empfanden Schwierigkeiten dabei, das dargestellte Bild mit dem Auge zu fokussieren, um dort mit der Montagecheckliste interagieren zu können. „Ich sehe das Menü schlecht, kann man das [die Datenbrille] irgendwie biegen?“ (P1). Auch die Stelle des kleinen Displays hat die Handhabung der Datenbrille nicht besonders gut unterstützt. „Es wäre besser, wenn das Display nicht vor der Pupille wäre, sondern ein bisschen nach oben versetzt“ (P4). Dadurch hat die Lesbarkeit der Informationen im Display besonders stark gelitten. „Es ist schwer zu lesen, weil manches sehr unscharf ist“ (P5). Auch die niedrige Auflösung des Bildschirms

erschwert die Lesbarkeit der Checkliste. „*Feedback war für mich schwer zu lesen. Es war zu klein, und die Auflösung war zu gering*“ (P7). Ein Proband äußerte sich überhaupt besonders kritisch zum Designkonzept der Datenbrille: „*Ich möchte keinen kleinen Bildschirm vor meinen Augen haben*“ (P5).

Die wenigsten Herausforderungen verspürten Probanden mit der nativen Steuerung der Datenbrille über die am Gerät eingebauten Funktionstasten. „*Mir hat die Tastensteuerung am besten gefallen, weil sie am besten funktioniert hat*“ (P3). Die Gestensteuerung blieb unter den Erwartungen der Probanden, weil die Erkennungsgenauigkeit der Gesten ihnen zu gering war. Hier wurde unter anderem eine Visualisierung der erkannten Gesten im Bildschirm gefordert. „*Bei den Gesten hätte ich gerne eine Gestenvisualisierung, weil man dann sieht, was passiert. Man weiß nicht, was erkannt worden ist*“ (P4). Ein weiterer umfassender Teil der Nutzerkommentare bezog sich auf die als unzureichend empfundene Sprachsteuerung: „*Wenn ich es dreimal hintereinander sage, dann macht er es meistens erst*“ (P2). Auch die Sinnhaftigkeit der Nutzung von Sprachsteuerung in der Fahrzeugmontage wurde hinterfragt. „*Ich finde die Sprachsteuerung macht am wenigsten Sinn, denn in Bereichen wo es laut ist, kann man sie sowieso vergessen*“ (P4). Generell ist die Zuverlässigkeit der Steuerung der Datenbrille ein Kritikpunkt: „*Ich würde mir eine bessere Zuverlässigkeit bei der Sprach- und Gestensteuerung wünschen*“ (P4).

Auch der Tragekomfort der Datenbrille wird insgesamt als verbesserungswürdig empfunden. „*Das Device selbst ist gar nicht so blöd, aber man kann es nicht sauber am Kopf tragen, und es drückt ständig am Ohr*“ (P6). Die Brillenhalterung der Datenbrille ist beim verwendeten Modell labil und verliert dadurch die Position, wenn Probanden Aktionen mit der Tastensteuerung ausführen. „*Mit einem ordentlichen Brillengestell könnte man viel abfangen, nur wenn ich drei Übungen mache, verstellt sich das Ding komplett*“ (P6). Die Datenbrille ist nicht gut austariert, da sich die gesamte Rechneinheit sowie der Akku auf derselben Seite befinden. „*Das rechte Ohr wird warm und die Brille ist relativ schwer. Bei der Nase war sie auch ein bisschen unangenehm*“ (P3).

Manche Probanden klagen bereits während der sehr kurzen Nutzungszeit über Ermüdungserscheinungen. „*Der Ermüdungsfaktor ist schon hoch*“ (P2). Zur Ermüdung tragen der kleine Bildschirm und die damit verbundene eingeschränkte Lesbarkeit der Informationen bei. „*Das Fokussieren ist sehr ermüdend*“ (P8). Der Komfort wird stark durch die spezielle Art der Augmentierung digitaler Informationen eingeschränkt. „*Man muss recht konzentriert auf den Bildschirm schauen. Ich habe eher gedacht, dass es unauffällig ist, aber man muss schon sehr genau hinschauen. Ich habe gedacht es ist transparenter*“ (P8). Die Nutzung der Brille kann zu unerwünschten Nebenwirkungen und Ermüdung führen. „*Ein bisschen Kopfweh bekomme ich von der Brille*“ (P9). Auch die Gestensteuerung wurde als anstrengend empfunden. „*Ich hatte Augenschmerzen – und die Gesten strengen auf Dauer an*“ (P5).

Eine intensivere Nutzung stellt die Probanden sicherlich vor größere Herausforderungen, was das Konzept der Datenbrillen insgesamt und das evaluierte Modell speziell betrifft. Ein wesentlicher Teil der Kritik bezieht sich direkt auf das ausgewählte Modell. „*Eigentlich könnte ich mich schon daran gewöhnen, aber nicht mit diesem Modell*“ (P13). „*Ich kann mir vorstellen, diese 8 Stunden zu tragen, wenn man sie wegklappen kann*“ (P2). Ein Proband kann sich überhaupt nicht vorstellen, dieses Modell zu nutzen. „*Ich würde es maximal aushalten, 5 Minuten in das Ding zu schauen*“ (P5). Abschließend konnte beobachtet werden, dass sich während der Nutzungsphase ein Lernprozess etabliert, wodurch die Handhabung der Datenbrille immer leichter fällt, je weiter die Evaluierung fortgeschritten ist. „*Es ist ein gewisser Lernprozess, dann ist der Task einfacher*“ (P7).

In der nachfolgenden Tabelle 2 werden in einer Übersicht zu jedem der 9 Probanden das Alter, die Gesamtanzahl an getätigten qualitativen Kommentaren inklusive der Aufteilung dieser in positive, neutrale oder negative Kommentare, sowie der Hauptkontext der Nutzerkommentare angegeben.

Proband	Alter	Anzahl der Nutzerkommentare mit positiver, neutraler und negativer Meinung	Hauptkontexte der Nutzerkommentare
P1	31	6+, 2, 8- (16 Kommentare)	Lesbarkeit und Sprachsteuerung
P2	27	2+, 3, 4- (9 Kommentare)	Sprachsteuerung und Lesbarkeit
P3	39	7+, 5, 11- (23 Kommentare)	Interaktionsmöglichkeiten, Komfortansprüche
P4	37	2+, 7, 6- (15 Kommentare)	Interaktionsmöglichkeiten, nützliche Hinweise, Komfortansprüche
P5	35	3+, 4, 15- (22 Kommentare)	Lesbarkeit, Sprachsteuerung, Komfortansprüche
P6	43	3+, 8, 7- (18 Kommentare)	Lesbarkeit, Komfortansprüche
P7	33	9+,3, 7- (19 Kommentare)	Interaktionsmöglichkeiten, Lesbarkeit
P8	40	5+, 8, 4- (17 Kommentare)	Lesbarkeit, Gestensteuerung
P9	30	2+, 2, 4- (8 Kommentare)	Komfortansprüche

Tabelle 2: Übersicht über Hauptkontexte der Nutzerkommentare.

Diskussion

Die quantitative Evaluierung hat gezeigt, dass die Eingewöhnungszeit für die Interaktion mit der Datenbrille bei Tastensteuerung und Gestensteuerung länger und bei Sprachsteuerung kürzer eingeschätzt wurde, als tatsächlich gemessen worden war. Dennoch empfanden die Probanden vor allem bei der Sprachsteuerung die meisten Herausforderungen. Die Gestensteuerung zeigte bei der Verwendung von Arbeitshandschuhen völlig unerwartet sogar eine bessere Erkennungsrate. Am schnellsten waren die Probanden dennoch mit der Steuerung über Funktionstasten, obwohl gerade die beiden anderen Interaktionsmöglichkeiten der Sprach- und Gestensteuerung für ein interessanteres Nutzererlebnis im Sinne eines echten „Hands-Free“-Operators sprechen würden.

Vor allem die qualitative Evaluierung hat zahlreiche interessante Aspekte ans Tageslicht gebracht, was Anwendungspotenzial, Benutzbarkeit und Nutzen betrifft. Auffallend ist, dass sich fast alle Nutzerkommentare auf das Gesamtsystem bestehend aus der Datenbrille und der Montagecheckliste bezogen – selten auf Letztere alleine. Somit kann eine Unzufriedenheit mit dem Konzept der Datenbrille im Allgemeinen und mit dem getesteten Modell *Vuzix M100* im Speziellen vermutet werden, vor allem in Bezug auf die Verarbeitung sowie die Erkennung von Sprache und Gestik. In den Nutzerkommentaren hat sich gezeigt, dass der Reifegrad der Hardware, auf welcher der Software-Teil des Demonstrators implementiert wurde, noch viel zu gering ist, um bei der Nutzerevaluierung das Software-Artefakt in den Vordergrund zu rücken. Während die Evaluierung die konkrete Datenbrille *Vuzix M100* als besonders unkomfortabel „abgestraft“ hat, stellt sich für die weiterführende Forschung die Frage, welche Nutzerkommentare für das Konzept einer Datenbrille insgesamt Gültigkeit besitzen, denn auch *Google Glass* basiert auf einem vergleichbaren Konzept mit einem kleinen Bildschirm vor dem Auge. Es gilt beispielsweise zu evaluieren, ob die auf einem anderen Konzept basierende *Microsoft HoloLens* diese Problematik besser lösen kann. Die empirische Untersuchung hat jedenfalls gezeigt, dass eine hohe Auflösung sowie die zuverlässige Gesten- und Spracherkennung aus Sicht der Nutzer Mindestanforderungen an die Technologie darstellen und dass diese Kriterien weitgehend unabhängig von einem bestimmten Datenbrillenmodell oder einem Einsatzzweck sind.

Im Hinblick auf die Beschränkung von Gültigkeit und Generalisierbarkeit der Forschungsergebnisse ist eine Reihe an Aspekten anzuführen: Die gewonnenen Ergebnisse sind in großem Maße abhängig von der verwendeten Datenbrille vom Typ *Vuzix M100*. Es ist jedoch davon auszugehen, dass viele Erkenntnisse auch auf andere Datenbrillen-Modelle übertragen werden können, die einem ähnlichen Grundkonzept folgen. Die Evaluierung wurde in einer Laborumgebung mit Fachexperten aus dem Automotive-Kontext durchgeführt, jedoch nicht mit Mitarbeitern aus einer Produktionslinie. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Probanden hinsichtlich der Methodenkompetenz im Umgang mit neuen Technologien zu denen von Produktionsmitarbeitern unterscheiden können. Eine Evaluierung mit Probanden aus der Fahrzeugmontage hätte daher zu anderen Ergebnissen führen können. Auch hat das Studiendesign den Lerneffekt beim Umgang mit Datenbrillen vernachlässigt. Daher ist es möglich, dass eine andere Reihung der Interaktionsaufgaben zu anderen Ergebnissen geführt hätte.

Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein Demonstrator einer Datenbrillen-gestützten Checkliste für die Fahrzeugmontage für das Datenbrillen-Modell *Vuzix M100* vorgestellt, welcher gemeinsam mit Fachexperten aus der Automotive-Domäne empirisch hinsichtlich der zentralen Aspekte *Anwendungspotenzial* und *Akzeptanz* untersucht wurde. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass das getestete Modell hinsichtlich Verarbeitung, Komfort und Steuerung als unzureichend empfunden wurde. Dennoch lassen sich viele Erkenntnisse aus der Evaluierung auch auf andere Datenbrillen-Modelle übertragen, die einem ähnlichen Grundkonzept folgen. Zusammenfassend konnten anhand eines Demonstrators erste Erfahrungen zum praktischen Einsatz moderner Datenbrillen gesammelt werden, die eine Standortbestimmung dieser Technologie in Bezug auf ihre Verwendung in einem Produktionskontext erlauben. Trotz der zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch durchwachsenen Resultate ist erkennbar, dass bei einer Verbesserung vor allem der Ergonomie der Hardware (Tragekomfort, Displaydarstellung) und der Erkennungsraten von Nutzereingaben Datenbrillen durchaus ein großes Anwendungspotenzial zur Verbesserung der Produktion besitzen. Diese Annahme wird durch die Beobachtung gestützt, dass sich die weit überwiegende Anzahl an negativen Kommentaren sehr stark auf die unmittelbare Interaktion mit der Brille als Eingabegerät von Befehlen bezog, weniger auf die Bedienung der Software und das Szenario der arbeitsbegleitenden Brillennutzung an sich.

Die Autoren beabsichtigen die Durchführung einer Evaluierung im größeren Umfang mit einer größeren Anzahl von Datenbrillen auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse. Dabei wird auch das Studiendesign in Bezug auf die methodische Rigorosität weiter verbessert werden, um robustere Erkenntnisse zu gewinnen und die Auswirkungen von Lerneffekten zu neutralisieren.

Danksagung

Diese Arbeit entstand am VIRTUAL VEHICLE Research Center in Graz, Österreich. Die Autoren bedanken sich für die Förderung im Rahmen des COMET K2 - Competence Centers for Excellent Technologies Programms des Österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit), des Österreichischen Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (bmwfw), der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), des Landes Steiermark sowie der Steirischen Wirtschaftsförderung (SFG).

Literatur

1. Audi (2015) Audi Production Lab: Reise in die Zukunft, <https://www.audi-mediacycenter.com/de/pressemitteilungen/audi-production-lab-reise-in-die-zukunft-4419>, letzter Zugriff am 13.11.2015
2. Bauernhansl T, ten Hompel M und Vogel-Heuser B (2014) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Springer-Verlag Wiesbaden, ISBN: 978-3-658-04681-1
3. BMW (2014) Sichtprüfung mit Gedächtnis: BMW Group testet Datenbrille zur Qualitätssicherung in der Produktion, BMW Pressemeldung, http://www.pressrelations.de/new/standard/result_main.cfm?r=581427&aktion=jour_pm, letzter Zugriff am 12.11.2015
4. Baumann H und Lawo M (2011) Evaluation grafischer Benutzerschnittstellen für die Kommissionierung unter Verwendung von Head Mounted Displays, BAuA Workshop: Datenbrillen - Aktueller Stand von Forschung und Umsetzung sowie zukünftiger Entwicklungsrichtungen, ePublication. ISBN: 978-3-88261-146-5
5. Brandl P, Michalczyk R, Stelzer P, Bergles K, Aldrian A, Poggenburg J und Sandtner K (2014) Assist 4.0 - Datenbrillen -Assistenzsysteme im Praxiseinsatz, Mensch & Computer Workshopband 2014, pp 259-264

6. Brandl P, Aschbacher H und Hörsch S (2015) Mobiles Wissensmanagement in der Industrie 4.0, Mensch und Computer Workshopband 2015, pp 225-232
7. Denger A, Fritz J, Denger D, Priller P, Kaiser C und Stocker A (2014) Organisationaler Wandel durch die Emergenz Cyber-Physikalischer Systeme: Die Fallstudie AVL List GmbH, HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, Volume 51, Issue 6, pp 827-837
8. Evans D (2012) The Internet of Everything. How more Relevant and Valuable Connections Will Change the World, www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoE.pdf, letzter Zugriff am 17.11.2015
9. Hansen HR, Mendling J und Neumann G (2015) Wirtschaftsinformatik. 11. Auflage. De Gruyter, Berlin. ISBN: 978-3-110-33529-3.
10. Kagermann H, Lukas WD und Wahlster W (2011) Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution, VDI Nachrichten, Berlin
11. Pfeffers K, Tuunanen T, Rothenberger M und Chatterjee S (2008) A Design Science Research Methodology for Information Systems Research, Journal of Management Information Systems, Volume 24 Issue 3, Number 3, pp 45-77
12. Quint F und Loch F (2015) Using Smart Glasses to Document Maintenance Processes, Mensch und Computer Workshopband 2015, pp 203-208
13. Rauh S, Zsebedits D, Tamplon E, Bolch S und Meixner G (2015) Using Google Glass for mobile maintenance and calibration tasks in the AUDI A8 production line, Proc. of the 20th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Luxembourg, pp 1-4
14. Richter A, Heinrich P, Stocker A und Unzeitig W (2015) Der Mensch im Mittelpunkt der Fabrik von morgen, HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, pp 690-712
15. Schlick C, Daude R, Luczak H, Weck M und Springer J (1997) Head-mounted display for supervisory control in autonomous production cells, Displays, Volume 17, Issues 3–4, pp 199-206
16. Spath D, Ganschar O, Gerlach S, Hämmerle M, Krause T und Schlund S (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation
17. Stocker A, Brandl P, Michalczyk R und Rosenberger M (2014) Mensch-zentrierte IKT-Lösungen in einer Smart Factory, e & i Elektrotechnik und Informationstechnik, Volume 131, Issue 7, pp 207-211
18. Vuzix (2015) M100 Smart Glasses – Enterprise, http://www.vuzix.com/consumer/products_m100, letzter Zugriff am 03.09.2015
19. Wieringa R (2009) Design Science as nested problem solving, DESRIST '09 Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology, pp 1-12