

Ein monitorbasiertes AR-System als eine Instandhaltungsanleitung

Vesna Nikolic, Peter F. Elzer

Institut für Prozess- und Produktionsleittechnik (IPP)
Technische Universität Clausthal (TUC)
Julius-Albert-Str. 6
38678 Clausthal-Zellerfeld
nikolic@ipp.tu-clausthal.de
elzer@ipp.tu-clausthal.de

Abstract: Am IPP wurde ein monitorbasiertes AR-System als Hilfsmittel für die Instandhaltung entwickelt. Der Grobentwurf des Systems folgte den in der Praxis bewährten Richtlinien für die Gestaltung von Instandhaltungsanleitungen, die u.a. aus den Erkenntnissen der kognitiven Psychologie resultieren. Das System wurde durch eine Reihe von Benutzertests erprobt und eine insgesamt niedrige Fehlerrate in den Versuchen bestätigte die Zweckmäßigkeit der gewählten Ansätze.

A monitor-based AR system as a support tool for industrial maintenance has been developed at the IPP. Its overall design was done according to the code of practice for the design of maintenance manuals, which is partly based on results of cognitive research. A series of experiments was conducted in order to verify the usability of the system. Very low error rates confirmed the fitness of the approach chosen for the intended purpose.

1 Die Rolle einer Instandhaltungsanleitung

Eine wirtschaftliche Führung von Industrieanlagen ist gewährleistet, wenn der zu erzielende Erzeugnispreis dem Markt angepasst und durch die Vermeidung von Anlagenstillständen möglichst abgesichert ist. Dementsprechend kommt der Instandhaltung (IH) der Gesamtproduktionsstätte eine zentrale Rolle zu, da sie die Verfügbarkeit der Anlagen und somit das Ergebnis des Unternehmens beeinflusst. Jährlich werden beträchtliche Summen für die IH vorhandener Anlagen ausgegeben. Aber die Kosten für eine genaue Einhaltung der vorgeschriebenen Wartungsintervalle und/oder für eine zustandsorientierte IH sind eigentlich extrem gering, wenn man sie mit dem Verlust vergleicht, der durch den Ausfall einer Produktionseinheit entstehen kann.

IH-Arbeiten sollten also fachgerecht durch dafür geschultes Personal und in einem möglichst kurzen Zeitraum durchgeführt werden. Das IH-Personal muss fähig sein, Arbeiten auf Grund von schriftlichen Anweisungen, Skizzen und Zeichnungen auszuführen, und zwar im Einklang mit der fortschreitenden Entwicklung der Produktionseinrichtungen.

Eine herkömmliche Qualifikation reicht kaum mehr aus, und eine stetige Fortbildung des eingesetzten Personals ist unumgänglich, um den ständig wachsenden Bedarf an hoch qualifizierten und erfahrenen Instandhaltern zu decken.

Teilweise wird das Problem des Bedarfs an detailliertem Wissen durch eine präzise, vollständige und gut ausgestattete IH-Dokumentation gelöst. Zu diesen Unterlagen gehören u.a. auch die IH-Anleitungen. Dies sind schriftliche Unterlagen, die befähigen sollen, alle notwendigen und erforderlichen Handlungen und Aktivitäten in ausreichender Qualität vorzubereiten, durchzuführen und auszuwerten. Die Dokumentation muss darüber hinaus aber auch das bisher gesammelte Erfahrungspotential um das Verhalten der Maschinen und Anlagen festhalten. Sie darf also nicht eine bloße Sammlung von technischen Daten darstellen, sondern soll nach der Logik der Instandhalter strukturiert werden [Ju92]. Allgemein gilt, dass fehlende Informationen im entscheidenden Moment Verzögerungen und somit Verlust (Kosten) bedeuten. Im umgekehrten Fall, d.h. bei zu vielen, nicht erwartungs- und erfahrungsgemäß systematisierten Daten, geht zu viel Zeit damit verloren, die richtige Information zu finden.

Eine IH-Anleitung ist so zu gestalten, dass der Benutzer von den zu erfüllenden Aufgaben so viele wie möglich regelbasiert, und nicht wissensbasiert¹ [Ra86], erledigen kann. Denn die IH-Arbeit kann nicht als effizient betrachtet werden, falls die IH-Dokumentation nur deklaratives Wissen, also Fakten über eine Anlage vermittelt, und damit wissensbasiertes Verhalten erfordert. In diesem Fall muss der Ausführende vor Ort die Anleitung durchblättern und den Ablauf seiner Arbeit (die einzelnen Arbeitsschritte) selbst definieren. Die Hauptrolle einer IH-Anleitung ist, das zum Handeln auffordernde prozedurale Wissen bereitzustellen [Kö92]. Sie muss ermöglichen, das Gerät/die Anlage gründlich zu verstehen und genau zu wissen, was oder was nicht zu tun ist, wie es zu tun ist, wann oder bis wann es zu tun ist und wie lange es dauern kann [We87].

2 Augmented Reality in der IH

Augmented Reality (AR) ist eine Technik, die dem Benutzer situationsgerechte (kontextabhängig und in Echtzeit), rechnergenerierte Informationen anbietet und ihm erlaubt, diese Informationen gemeinsam mit der realen Umgebung und der momentanen Situation wahrzunehmen, mit dem Ziel, das menschliche Wirken in der realen Welt zu verbessern.

Die Analyse der Relevanz unterschiedlicher optischer Informationen (reale/virtuelle/abstrakte Bilder, Text, Augmentierung) für verschiedene Arbeitsprozesse in Produktions- und Fertigungsanlagen zeigt ein sehr großes Potential der Augmentierung der Realität gerade bei der IH [EBS01]: ein Instandhalter wird nicht nur durch eine Anweisung und ein Bild in der Ausführung seiner Aufgabe unterstützt, sondern ihm wird mittels der AR auch die räumliche Lage der zu wartenden Komponenten gezeigt.

¹) Der Begriff "wissensbasiert" wird im Zusammenhang dieser Darstellung in dem Sinne verwendet, wie er in den Kognitions- und Arbeitswissenschaften üblich ist. Seine Bedeutung unterscheidet sich also etwas von der in der "künstlichen Intelligenz".

Die Forschung auf diesem Gebiet wirft eine Menge von Fragen auf. Bisher betreffen diese vor allem die sehr hohen Beschaffungs- und Authoring- (Engineering-)Kosten, aber auch die beteiligten kognitiven Prozesse beim Umgang mit einem AR-System, sowie den Nutzen des Einsatzes in der industriellen IH. Die gewonnenen Untersuchungsergebnisse zeigen zusammen mit den Anwendungserfahrungen anderer Forschungsarbeiten, dass die Umsetzung der Labor-Prototypen in kommerziell verfügbare AR-Systeme noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird. Die benötigte Hardware, nämlich Tracking-Systeme, Head Mounted-Displays (HMDs) und tragbare Rechner, erfüllen im Moment nicht die ergonomischen und technischen Mindestanforderungen für einen industriellen Einsatz. Auf dem Markt befindliche Tracking-Systeme zeigen meistens eine Wechselwirkung mit der Industrieumgebung, so dass sie die Tracking-Daten nicht mit erforderlicher Zuverlässigkeit liefern können. Heutige HMDs werden nicht vom Benutzer akzeptiert. Die Untersuchungen zeigen, dass sie sogar die Gesundheit ihrer Benutzer beeinträchtigen können [REH04].

2.1 Ein monitorbasiertes AR-System für die IH

Die aufgeführten Probleme machen letztlich den Bedarf deutlich, konzeptuell einfachere und kostengünstigere AR-Lösungen zu entwerfen. Deswegen wurde am IPP ein gebrauchstaugliches, monitorbasiertes AR-System als Unterstützungsmittel für die IH entwickelt [Ni06]. Der Prototyp wurde CARIHBA, als eine Abkürzung von **Computer Augmented Reality für Instandhaltungs- und BedienungsAnleitungen**, genannt. Er besitzt kein Tracking-System und kein HMD und besteht aus einem herkömmlichen Rechner, einer steuerbaren Kamera und einem Monitor. Die Kamera wird an einem vorgeplanten Punkt im Raum befestigt. Mit ihr wird die Realität (im vorliegenden Fall die zu wartende Anlage) aufgenommen und auf dem Monitor präsentiert. Zusätzlich erscheinen auf diesem Live-Video-Bild auch virtuelle Objekte, die den realen Objekten räumlich zugeordnet sind und diese weiter beschreiben. Sicher ist deshalb eine gewisse Vorbereitung des Umfeldes notwendig, und die Anwendung von CARIHBA setzt eine sorgfältige Auswahl der mit dem System auszuführenden IH-Aufgaben voraus. Im Vergleich zu dem Aufwand, der beim Einsatz heute üblicher AR-Systeme im Zusammenhang mit der Positionssensorik getrieben werden muss, erscheint der, der beim Einsatz von CARIHBA notwendig ist, jedoch relativ gering.

Da CARIHBA ein System für die Erzeugung und Präsentation von Instandhaltungsanleitungen ist, wurden in der Grobentwurfsphase der Entwicklung einige sehr wichtige Kriterien für die Gestaltung von IH-Dokumentation berücksichtigt.

3 Umsetzung einiger Gestaltungsrichtlinien für IH-Anleitungen

3.1 IH-Dokumentation als externalisiertes Wissen

Aus praktischen, sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Gründen ist die Informationsgewinnung einer der Erfolgsfaktoren in der IH. Die Informationssammlung über

Maschinen oder Apparate in der Industrie wird in einer IH-Dokumentation über das jeweilige Gerät zusammengesetzt. Sie bildet das externalisierte verfügbare Wissen [No89] des Instandhalters. Er nimmt dieses Wissen bei Bedarf auf, verarbeitet, verknüpft und reflektiert es und formt es dadurch in individuell verfügbares Wissen um [Mü99].

Die IH-Dokumentation stellt deklaratives und prozedurales, externalisiertes Wissen dar. Im Fall der Instandhaltung besteht das deklarative Wissen aus Informationen über das zu wartende Gerät (Beschreibung, Funktionsweise usw.). Das prozedurale Wissen umfasst die Beschreibung der durchzuführenden Handlungen. Diese Erkenntnisse wurden bei CARIHBA so umgesetzt, dass die Software über zwei Modi verfügt: der Übersichtsmodus enthält das Wissen über die zu wartende Anlage und dient der allgemeinen Orientierung und Gewinnung von erforderlichen oder gewünschten Informationen (Abb. 1).

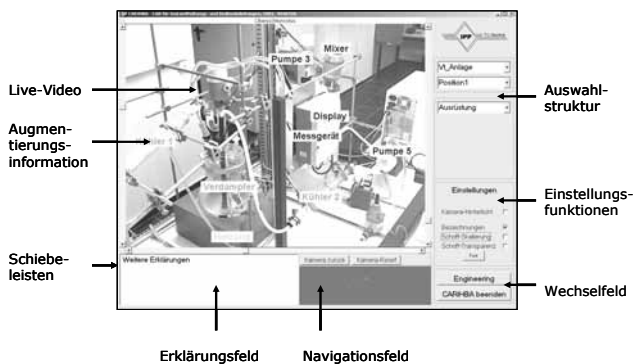


Abbildung 1: Das Interface des Übersichtsmodus von CARIHBA

Der Szenariomodus (Abb. 2) gibt explizite Anweisungen über die vorgeschriebenen Handlungen bei der IH-Arbeit. Er ermöglicht, die erforderlichen Handlungen aufeinander aufbauend schrittweise darzustellen, da es nachgewiesen ist, dass ein Ziel schneller erreicht wird, wenn Sequenzen gebildet werden, d.h. wenn es in Teilziele zerlegt wird, die dann in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht sind [He04].

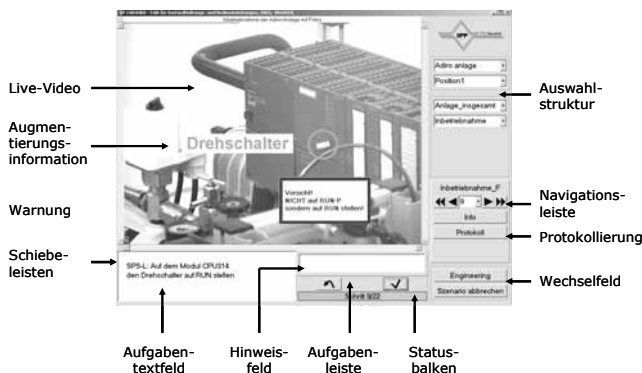


Abbildung 2: Das Interface des Szenariomodus von CARIHBA

3.2 Die wichtigste Frage: Wer ist der Benutzer?

Es lassen sich fünf Stufen der Expertise unterscheiden, denen sich ein Benutzer zuordnen lässt: Stufe des Anfängers, des fortgeschrittenen Anfängers, der Kompetenz, der Gewandtheit und die Stufe der Expertise [DD87]. Das Wissen eines Anfängers ist regelorientiert. Der fortgeschrittene Anfänger benutzt bereits situationale Regeln. Bei einer kompetenten Person lässt sich die Verwendung hierarchisch geordneter Entscheidungsprozeduren beobachten. Auf der Stufe der Gewandtheit werden die Entscheidungen nicht mehr durch das analytische Denken, sondern unbewusst durch die Erinnerung an ähnliche Situationen getroffen. Völlig automatisiert sind die Handlungen von Experten.

Eine IH-Dokumentation sollte für unterschiedliche Benutzergruppen deren Wissensstand entsprechend einen unterschiedlichen Umfang sowie unterschiedliche Darstellungsformen der Informationen anbieten. Sie müssen so im System gespeichert werden, dass einem bestimmten Benutzer nur diejenigen dargestellt werden, an denen er Interesse oder Bedarf hat. Deswegen wird der Benutzer nach dem Programmaufruf von CARIHBA auf der ersten Benutzungsoberfläche aufgefordert, Name (oder Chiffre) und Passwort einzugeben. Daraufhin werden die Informationen ausgewählt und präsentiert, die für die Benutzergruppe vorbereitet wurden, zu der der momentane Benutzer gehört.

3.3 Die Informationsarten

Um die Übermittlung notwendiger Informationen in einer IH-Anleitung zu erreichen, genügen vier Informationsarten: inventarische, operationale, räumliche und kontextuelle [BG84]. Zu den inventarischen Informationen gehören die Beschreibung von Objekten in Form von Namen oder Adjektiven. Die operationalen Informationen veranlassen eine Handlung. Mittels räumlicher Informationen werden Auskünfte über Ort, Richtung oder Raumaufteilung eines Objektes gegeben. Eine grobe Orientierung in den angebotenen Informationen wird durch die kontextuellen Informationen gegeben.

Diese Informationen können in Form von Bildern (hier ist der Begriff „Bild“ sehr breit zu verstehen: Video, Foto, Grafik, Zeichnung, Skizze usw.) oder Texten präsentiert werden. Es ist empfehlenswert, beide Medien zu kombinieren. Bisherige Forschungsarbeiten zeigen, dass eine besonders schnelle Aufnahme von operationalen und räumlichen Informationen aus Bildern erfolgt und dass eine besonders niedrige Fehlerrate resultiert, wenn räumliche Informationen als Text präsentiert werden [BG86]. Da in der Instandhaltung sowohl Schnelligkeit als auch Fehlerfreiheit von großer Bedeutung sind, können räumliche Informationen redundant im Bild und im Text erscheinen, was andererseits aber zu einer Erhöhung der Erstellungskosten der Dokumentation führt. Darüber hinaus ist zu entscheiden, welches der beiden Medien als Leitmedium benutzt wird. Das Hilfsmittel soll unter dem Leitmedium platziert werden.

Alle diese Empfehlungen wurden bei CARIHBA wie folgt umgesetzt:

- 1) Sowohl Bild als auch Text sind als Formen in CARIHBA präsent.
- 2) Das Leitmedium ist das Bild und ist oben links auf dem Bildschirm platziert.
- 3) Der Text, der das Bild erklärt, befindet sich direkt unter dem Bild.
- 4) Die inventarischen Informationen können z. B. durch die Benutzung der Auswahl-

struktur aus dem Informationssystem aufgerufen werden.

- 5) Die räumlichen Informationen sind durch das Bild selbst gegeben, welches als Live-Video-Bild oder als realistisches Foto vorliegt; die Gegenstände im Bild werden zusätzlich mit Bezeichnungen versehen, so dass die Informationsaufnahme sehr schnell stattfindet.
- 6) Die operationalen Informationen können sowohl im Text als auch auf dem Bild dargestellt werden.
- 7) Die kontextuellen Informationen wurden zweifach eingefügt: einmal als globale Orientierung in der Anleitung durch die Auswahlstruktur und andererseits als lokale Orientierung innerhalb eines Szenarios durch eine Navigationsleiste.

3.4 Das Situationsbewusstsein des Benutzers

Die Erhöhung des Situationsbewusstseins des Benutzers [En88] durch ein fachgerechtes Interface führt u.a. zu einer niedrigeren Fehlerrate bei der Aufgabenausführung. Die Umsetzung der Anforderungen nach Erkennung einer IH-Umgebung in ihren räumlichen Eigenschaften und ihrer Dynamik, nach dem Verständnis ihrer Bedeutung und nach der Projektion ihres Zustand in die nahe Zukunft wurde bei CARIHBA in folgender Weise durchgeführt:

- Eine direkte Darstellung der Daten, die für das Verständnis der Situation nötig sind, wurde realisiert durch: a) die mögliche Auswahl der darzustellenden Informationen für bestimmte Benutzergruppen, b) eine auflösbare erweiterte Sicht auf die Realität und den Immersionseffekt, den die AR-Technik bietet (Abb. 3), c) die automatische Bewegung der Kamera zu der Position, aus welcher der nächste Handlungsschritt zu sehen ist, d) multimedial gestaltete Warnungen, die situationsgerecht und schnell wahrgenommen werden können und e) akustische Rückmeldungen des Systems.



Abbildung 3: Der Immersionseffekt mit CARIHBA

- Eine direkte Darstellung der Daten, die für die Projektion der Situation in die nahe Zukunft gebraucht werden, wird mittels einer einfachen Navigation durch eine Aufgabe angeboten. Der Instandhalter kann jederzeit während seiner Arbeit die nächststehenden Arbeitsschritte anschauen und damit die Auswirkungen seiner momentanen Handlung besser verstehen. Außerdem kann er seinen Fortschritt bei

- der Ausführung der Aufgabe auf einem Statusbalken verfolgen.
- Die Darstellungen sind zielorientiert, da sie die erforderlichen Handlungsanweisungen, also externalisiertes prozedurales Wissen bieten.
- Ein Menü liefert einen zielorientierten Situationsüberblick. Es enthält die Informationen über die aktuelle Auswahl der zu wartenden Baugruppe sowie über die IH-Aufgabe und ihre Anordnung im Informationssystem.
- Die Auswahlstruktur bietet außerdem die Möglichkeit, das Ziel zu ändern bzw. die nächste Aufgabe leicht zu wählen.
- Eine Reduzierung der Daten, die in keinem Zusammenhang mit der momentanen Situation stehen, wurde durch die Gesamtgestaltung der Benutzungsoberflächen erreicht, die nur die benötigten Daten darstellen.
- Die parallele Verarbeitung der Informationen durch den Benutzer wird durch die Bezeichnungen der Objekte auf dem Live-Video-Bild unterstützt.

3.5 Vorkehrungen gegen Fehlbedienung des CARIHBA-Systems

Beim Grobentwurf wurde auch überlegt, wie eine eventuelle Fehlbedienung von CARIHBA zu verhindern ist, welche Mittel dem Benutzer zur Verfügung stehen, um sie zu korrigieren und wie das System auf solche Fehleingaben antworten soll. Als wichtigste Softwarefunktion wird in diesem Zusammenhang die automatische Speicherung wichtiger Daten bei einer nicht geplanten Programmbeendigung angesehen. Diese Daten beziehen sich v.a. auf die Protokolle der erledigten Arbeit. Sobald der Benutzer das Programm wieder aufruft und seine Anmeldung vorgenommen hat, bietet das System automatisch die Möglichkeit, die unterbrochene Arbeit fortzusetzen.

Weiterhin hat der Instandhalter die Möglichkeit, seine letzte Aktion zu widerrufen. Im Übersichtsmodus ist dies durch die Funktion „Kamera zurück“, und im Szenariomodus durch die Funktion „Schritt zurück“ realisiert. Auf einer globalen Ebene, d.h. in der Auswahlstruktur, werden bei erneuter Auswahl in einem höheren Feld automatisch alle darunter liegenden Menüs ausgeblendet und die passenden weiteren Möglichkeiten angeboten. Die insgesamt niedrige Fehleranfälligkeit des Systems resultiert auch aus der Auslegung der Interfaces, da auf diesen nur kontextabhängige, also für die momentane Situation relevante Informationen und Bedienmöglichkeiten dargestellt werden.

4 Fazit

In der Literatur sind zahlreiche Gestaltungsrichtlinien für IH-Anleitungen zu finden. Sie basieren u.a. auf den Erkenntnissen der kognitiven Psychologie. Die Berücksichtigung dieser Empfehlungen ermöglicht die Erzeugung von benutzergerechten Arbeitsanweisungen, die bei der Ausführung der Aufgaben in der IH Zeit sparen und zu einer niedrigen Fehlerrate führen können. Sie sind auch bei der Gestaltung von rechnerbasierter IH-Dokumentation zu befolgen.

Die Einsatztauglichkeit von CARIHBA wurde durch Benutzertests überprüft. Mittels CARIHBA dargestellte Bedienungsanleitungen wurden mit drei inhaltsgleichen Instruk-

tionsarten verglichen. Die insgesamt vier Hilfsmittel unterschieden sich im Medium für die Informationsdarstellung und den Interaktions- und Immersionsmöglichkeiten. Sechzehn Probanden führten vier praxisähnliche Aufgaben (eine Demontage, eine Inspektion, ein Hochfahren und eine Montage) an zwei Versuchsanlagen im Prozessrechnerlabor des IPP aus. Die Auswertung der Versuche erfolgte an Hand von Interviews, Beobachtungs- und Fehlerprotokollen sowie Zeitmessungen. Die insgesamt sehr niedrige Fehlerrate (ca. 5 %) bestätigte die sachgerechte Gestaltung von angebotenen Anleitungen, insbesondere von CARIHBA, was die Versuchspersonen auch bei der Beurteilung des Schwierigkeitsgrades und der Verständlichkeit der Versuchsaufgaben bestätigten.

Literaturverzeichnis

- [BG84] Bieger, G.R.; Glock, M.D.: The Information Content of Picture-Text Instructions. In: Journal of Experimental Education 53, 1984; S. 68-76.
- [BG86] Bieger, G.R.; Glock, M.D.: Comprehending Spatial and Contextual Information in Picture-Text Instructions. In: Journal of Experimental Education 54 (4), 1986; S. 181-188.
- [DD87] Dreyfus, H.L.; Dreyfus, S.E.: Künstliche Intelligenz: Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition. Reinbeck, 1987.
- [EBS01] Elzer, P.; Behnke, R.; Simon, A.: New Techniques for the Support of Maintenance and Training in Technical Systems. 8th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems IFAC HMS 2001, Editor: G. Johansen, Kassel, GMA; S. 517-521.
- [En88] Endsley, M.R.: Design and evaluation for situation awareness enhancement. In: Proceedings of the Human Factors Society, 32nd Annual Meeting. Santa Monica, CA, Human Factors Society, 1988; S. 97-101.
- [He04] Heiser, J.; Phan, D.; Agrawala M.; Tversky, B.; Hanrahan, P.: Identification and Validation of Cognitive Design Principles for Automated Generation of Assembly Instructions. In: AVI04. Gallipoli, Italy; 2004.
- [Ju92] Jungeblut, R.: Facharbeiter in der Instandhaltung – Eine soziologische Studie unter besonderer Berücksichtigung der Fehlersuche als Spezifikum betrieblicher Instandhaltungsfacharbeit. IT+B-Arbeitspapiere Nr. 37, Institut Technik + Bildung, Universität Bremen, 1992.
- [Kö92] Köster, B.: Gebrauchsanleitungen richtig und sicher gestalten. Forkel-Verlag, Wiesbaden, 1992.
- [Mü99] Mündemann, B.M.: Wissen teilen und gemeinsam weiterentwickeln. Wissensmanagement Magazin, Heft 1, W. Bertelsmann Verlag GmbH & Co KG, 1999.
- [Ni06] Nikolic, V.: Einsatz der Computer Augmented Reality in der Instandhaltung: eine alternative gebrauchstaugliche und kostengünstige Systemlösung. Dissertation TU Clausthal, 26.10.2005 (in press).
- [No89] Norman, D.A.: Dinge des Alltags: gutes Design und Psychologie für Gebrauchsgegenstände. Campus Verlag, Frankfurt/Main, 1989.
- [Ra86] Rasmussen, J.: Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering. North Holland Publications, Amsterdam, 1986.
- [REH04] Rottenkolber, B.; Edelmann, M.; Höller, F.: Gestaltungsempfehlungen für Head Mounted Displays. In (Luczak, H.; Schmidt, L.; Koller, F., Hrsg.): Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented-Reality-Systemen. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 22 Nr. 17, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2004.
- [We87] Werner, G.-W.: Bedienungs- und Instandhaltungsanleitungen: Inhalt – Form – Gestaltung. VEB Verlag Technik, Berlin, 1987.