

Kontextabhängige Modellierung der Mensch-Maschine-Interaktion in Mehrbenutzersystemen - eine explorative Untersuchung

Nikolaj Borisov¹, Benjamin Weyers², Annette Kluge³ und Wolfram Luther⁴

Abteilung Informatik und Kognitionswissenschaft, Universität Duisburg-Essen

¹nikolaj.borisov@uni-due.de, ²weyers@inf.uni-due.de, ³annette.kluge@uni-due.de, ⁴luther@inf.uni-due.de

Abstract: In der vorliegenden Arbeit geht es um die Betrachtung von computergestützten Systemen im Hinblick auf die Modellierung von kognitiven Prozessen im Bereich des Mensch-Maschinen-Dialogs für Mehrbenutzersysteme. Dazu werden Formalismen betrachtet, mit denen Prozesse modelliert werden können und Aspekte, wie Benutzerrollen und Berechtigungen in der Prozessbeschreibung unterstützt werden. Ein wesentlicher Schwerpunkt dieser Benutzermodelle stellt die adaptive und kontextabhängige Anpassung des Dialogs dar. Des Weiteren werden Modelle vorgestellt, die abstrakte Benutzerschnittstellen auf multimodalen Plattformen abbilden.

Keywords: Benutzerschnittstellenentwurf, Mehrbenutzersysteme, kontextabhängige Prozessmodellierung, Referenznetze

1. EINFÜHRUNG

Das erst kürzlich initiierte interdisziplinäre Promotionskolleg „Teamworx by Wire“ fördert die Entwicklung von neuen Formen computergestützter Teamarbeit. Individualisierbare Benutzerschnittstellen sind ein wichtiger Teil unseres täglichen Lebens und sollen uns bei verschiedenen beruflichen und private Aufgaben unterstützen. Die klassische textbasierte Kommunikation wird zunehmend durch neue multimodale Interaktionsformen wie Sprache-, Gestik- und Stift-basierte Eingabeformen sowie anspruchsvolle Video- und Audio-Ausgaben verdrängt. Die Vielfalt der Möglichkeiten und des technologischen Fortschritts stellt große Herausforderungen an die Ingenieure und Entwickler im Bereich der Mensch-Maschine-Kommunikation. Eine der Aufgabenstellungen befasst sich mit der Verständigung zwischen den Menschen und der zu kontrollierenden Maschine in der realen Welt oder einem computerbasierten Modell des realen Prozesses. Im Blickpunkt stehen die Vielfalt von physikalischen Ein- und Ausgabeelementen sowie der Mensch und seine kognitiven Fähigkeiten, Informationen aufzunehmen, zu verarbeiten und daraus Schlüsse für zukünftige Aktionen zu ziehen. Aus der Kombination dieser beider Aspekte resultiert die Notwendigkeit einer Betrachtung ergonomischer Fragestellungen und der Diskussion von Human Factors (Wilson, 2000), welche für die Benutzerinteraktion relevant sind. Vielschichtiger wird die gesamte Problematik weiterhin durch die Betrachtung von Mehrbenutzersystemen, bei denen nicht allein ein Benutzer mit dem technischen System interagiert, sondern Mehrbenutzerinteraktion die Steuerung eines Prozesses realisiert oder Benutzer in ihren zugewiesenen Rollen und Aufgabenbereichen mit der Maschine getrennt aber parallel interagieren.

Im Rahmen einer anstehenden Promotionsarbeit wurde eine explorative Untersuchung in Form von Beobachtung eines Prüfprozesses und Interviews der in diesem Prozess beschäftigten Mitarbeiter/-innen bei einem Automobilhersteller in Deutschland in der elektronischen Inbetriebnahme durchgeführt und Probleme der Kontextabhängigkeit, Mehrbenutzeraspekte wie auch Kooperation in einem bestehenden Prüfsystem beschrieben und untersucht. In diesem Beitrag möchten wir einen Verbesserungsansatz vorschlagen, um anhand der Nutzung einer kontextabhängigen Modellierung von Benutzerschnittstellen mit Einbezug von Mehrbenutzer- und kognitiven Aspekten die Effektivität und Effizienz in der Qualitätssicherung des Prüfprozesses zu steigern. Dazu soll eine vorhandene formale Modellierungsmethode (Weyers, 2012) verwendet werden, die zum einen ausreichend flexibel im Entwurf von Benutzerschnittstellen ist, sowie Werkzeuge zur Ausführung und zur Rekonfiguration dieser Benutzerschnittstelle zur Verfügung stellt. Zum anderen sollen neue Werkzeuge eingeführt werden, um die Maschine um neue kognitive Unterstützungselemente zu erweitern:

1. Anpassung an die Umgebung anhand von Lernen durch Unterstützung des Anpassungsprozesses durch den Benutzer.
2. Gestaltung der Auswahllogik für verschiedene Modalitäten.
3. Nutzung von Benutzermodellen, um passend zur Arbeitsbelastung, die durch Sensoren und Daten erhoben werden können, sinnvolle Rekonfigurationen an der Benutzerschnittstelle vorzunehmen.

2. ARBEITEN, AUF DENEN AUFEGBAUT WIRD

Ein zentraler Bestandteil dieser Arbeit besteht darin, bereits modellierte und damit existente Benutzerschnittstellen im Rahmen kontextspezifischer Daten eines aus einer gegebenen Aufgabenspezifikation resultierenden Prüfprozesses mit Hilfe einer formalen Beschreibung anzupassen und dann in der Praxis zu rekonfigurieren. Dabei wird auf die Vorarbeiten von Weyers (2012) aufgebaut und das in der Arbeit beschriebene Rahmenwerk erweitert. In diesem wird eine formale Modellierung visueller Benutzerschnittstellen auf Basis einer formalen Modellierungssprache und Petri Netzen (Baumgarten, 1996) vorgestellt und durch die Verwendung von Graphtransformationssystemen unter Nutzung der Arbeiten von Ehrig et al. (2006) eingeführt. Neben dieser Arbeit existieren weitere Ansätze zur formalen Modellierung von Benutzerschnittstellen, die jedoch unter speziellen Anforderungen andere Lösungen und eine weniger ganzheitliche Betrachtung anstreben. Der Rückgriff auf alternative Softwarelösungen zum Aufbau einer flexiblen Rekonfigurations- und Simulationssoftware hat sich als nicht oder nur zum Teil realisierbar erwiesen.

Eine relevante Arbeit ist die von Navarre et al. (2008a), in der die Autoren zur Anpassung einer Benutzerschnittstelle einen sprachbasierten Interactive Cooperative Objects (ICO) Ansatz vorstellen, dabei von verschiedenen bereits vorhandenen Konfigurationen einer Schnittstelle ausgehen und die Ersetzung einzelner Elemente in einem Meta-System definieren. Eine weitere Arbeit von Navarre et al. (2008b), zieht die Erkennung von Fehlern mit in die Anpassung von Benutzerschnittstellen auf Basis des zuvor beschriebenen Ersetzungsprozesses ein.

Weitere aktuelle Arbeiten beschäftigen sich mit Design und Rekonfiguration von Benutzerschnittstellen in verschiedenen Szenarien. Ein Beispiel hierfür ist die Arbeit von England et al. (2009), welche die Implementierung eines Systems zur Generierung von Benutzerschnittstellen zur Laufzeit auf der Basis des Situationskalküls beschreibt, die im Rahmen eines e-health Systems Anwendung finden. Dabei handelt es sich um ein Post-operatives System, welches zur Entscheidungsfindung bei der nötigen Weiterbehandlung des Patienten den verantwortlichen Arzt unterstützen soll.

Ein Beispiel einer logikbasierten Schnittstellenadaption beschreibt Bihler et al. (2008). Ziel ist es hier, konditionale Regeln auf allgemeine „semantische“ Benutzerschnittstellenbeschreibungen anzuwenden, um Schnittstellen an die jeweiligen Geräte im Rahmen von Web-Applikationen anzupassen. Anpassungen der Benutzerschnittstelle erfolgen zum Beispiel auch in bestehenden Prozessen, welche vergleichbare Eigenschaften wie klassische Wirtschafts- und Produktionsprozesse aufweisen.

3. EXPLORATIVE UNTERSUCHUNG

Der hier explorativ untersuchte Prüfprozess bei der elektronischen Inbetriebnahme eines deutschen Automobilherstellers stellt die abschließende Qualitätsprüfung eines Fahrzeugs dar, bei dem die verbaute Elektronik im Fahrzeug vor der Auslieferung an die Kunden auf ihre Funktionen hin geprüft wird.

Die fehlerfreie Zusammenarbeit zwischen den Mitarbeitern/-innen und dem Prüfsystem mit den eingesetzten Prüfgeräten in der Arbeitsumgebung ist daher sehr wichtig. In der elektronischen Inbetriebnahme werden derzeit zwei über Software gekoppelte mobile Prüfgeräte eingesetzt: Ein Handterminal und ein größeres Multifunktionstestgerät. Das Letztere wird vor der Prüfung am Lenkrad befestigt und mit dem Fahrzeug über Datenkabel verbunden. Beide visualisieren im Prüfprozess zum jeweiligen Prüfschritt identische Informationen. Die einzelnen Prüfschritte im elektronischen Inbetriebnahmeprozess können in drei Kategorien eingeteilt werden: Autonomer Systemtest, Sensorgestützte Erkennung, und Sichtprüfung. Beim autonomen Systemtest führt das System im Hintergrund benutzerunabhängig einprogrammierte Prüfschritte parallel zu anderen Prüfschritten aus. Die Mitarbeiter/-innen können diese anhand von eingeblendeten Statusmeldungen am Prüfgerät zwar beobachten, aber selber nicht eingreifen. Zudem gibt es die auf sensorgestützte Erkennung basierenden Prüfschritte. Die Mitarbeiter/-innen bekommen eine Anweisung am Prüfgerät mitgeteilt und müssen z.B. eine bestimmte Tür öffnen oder schließen, oder einen Schalter betätigen. Das Prüfsystem erkennt die Eingabe am Fahrzeug und geht zum nächsten Prüfschritt über. Schließlich erfordert der Prüfprozess auch Sichtprüfungen, deren Ausführen mit einer OK-Taste an einem der beiden mobilen Geräte quittiert werden muss. Die Sichtprüfungen sind von der Konzentration und Aufmerksamkeit der Mitarbeiter/-innen, und ihren visuellen und motorischen Fähigkeiten abhängig, da für diese Prüfschritte keine Sensoren im Fahrzeug verbaut sind, und deshalb vom Prüfsystem selbst nicht wahrgenommen werden können. In der Regel wird bei einer Sichtprüfung im Fahrzeug die Hilfsbeleuchtung an unterschiedlichen Anzeigegeräten und Schaltern überprüft. Daher unterscheidet sich die Benutzerinteraktion von den anderen beiden Kategorien darin, dass die Mitarbeiter/-innen einen solchen Prüfschritt durch positive oder negative Quittierung bestätigen müssen. Bei der negativen Quittierung kann gegebenenfalls manuell ein passender Fehlercode aus der am Prüfgerät angezeigten Liste ausgewählt werden.

Im Fokus der Untersuchungen standen für uns drei wesentliche Aspekte der elektronischen Inbetriebnahme, um aus den gemachten Beobachtungen und Interviews Schlussfolgerungen ziehen zu können bzgl. möglicher Verbesserungen für ein zukünftiges Benutzerschnittstellendesign:

1. Eine Human Factors Analyse der Arbeitsprozesse im Umfeld der elektronischen Inbetriebnahme,
2. das Design der Benutzerschnittstellen sowie
3. die Ideenfindung zu einer innovativen Mensch-Maschine Interaktion unter verschiedenen Optimierungskriterien.

Die Vorgehensweise der Fallstudie erfolgte explorativ, anhand von halb strukturierten Verfahren wie Interviews und Beobachtungen, die uns ermöglichen den Betrachtungsgegenstand zunächst möglichst umfassend und reichhaltig zu erfassen und zu verstehen. Die Interviews und Beobachtungen wurden an zwei Produktionsstandorten durchgeführt.

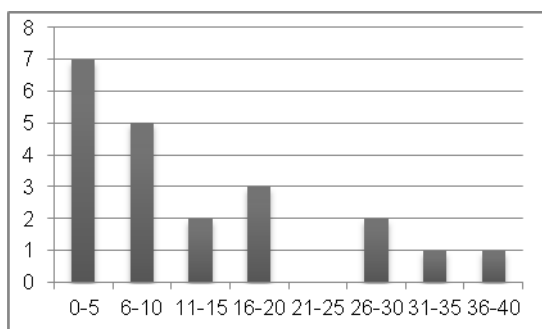


Abb. 1. Berufserfahrung der Mitarbeiter/-innen

Erste Ergebnisse Am ersten Standort wurden 14, und am zweiten insgesamt 22 Mitarbeiter/-innen in der Rolle als Benutzer des verwendeten Prüfsystems interviewt, die gerade in einem Prüfprozess der elektronischen Inbetriebnahme tätig waren. Die Mitarbeiter/-innen hatten zwischen 2 Tagen und über 30 Jahre Berufserfahrung (s. Abbildung 1), wobei Berufserfahrung nicht gleichzusetzen ist mit ihrer Tätigkeit im Rahmen der elektronischen Inbetriebnahme. Die Prüfungen werden demnach gleichermaßen von Neulingen wie erfahrenen Mitarbeitern vorgenommen. Die Arbeit erfolgt nach dem Schichtmuster aus insgesamt drei Arbeitsschichten pro Tag. In jeder Arbeitsschicht gibt es eine eindeutige Rollenverteilung, bestehend aus einem Gruppensprecher und mehreren Mitarbeiter/-innen. Der Gruppensprecher hat die Aufgabe die Mitarbeiter/-innen zu koordinieren und den Arbeitsplan aufzustellen, bei Problemen zu helfen oder selbst in den Prüfprozess einzuspringen.

Für die Interviews wurden fünf Themenbereiche in Bezug auf die drei vorher erwähnten fokussierten Schwerpunkte ausgewählt und für jeden Themenbereich bestimmte Fragen definiert. Insgesamt bestand der Interviewbogen aus 23 Fragen zu folgenden Themenbereichen:

1. *Beurteilung der Prüfgerätehardware in Bezug auf eine sinnvolle Erfüllung der Prüfaufgaben*
2. *Beurteilung des Designs der Ein- und Ausgabeschnittstelle in Hinblick auf Funktionalität, Sicherheit und Nutzbarkeit*
3. *Multimodalität, Hilfe, Unterstützungen, Adaptivität, Individualisierung, Usability der Benutzerschnittstelle*
4. *Einsatz innovativer Benutzerschnittstellenkonzepte*
5. *Gestaltung des Prozessablaufes.*

Im Rahmen dieses Artikels sind die folgend diskutierten Fragen von besonderer Relevanz, da der Schwerpunkt des diskutierten Lösungsansatzes im folgenden Abschnitt auf dem Entwurf einer multimodalen Benutzerschnittstelle im Kontext von Mehrbenutzersystemen liegt. Die Beantwortung der Fragen wurde mit einer fünfstufigen Skala von -2 bis 2 vorgenommen. In Diagrammen sind die Bewertungspunkte farblich ausgezeichnet. Ein dunkles Rot stellt dabei nicht zustimmende/nicht befürwortende Antworten (-2) dar, wo hingegen ein dunkles Grün zustimmende/befürwortende Antworten (2)

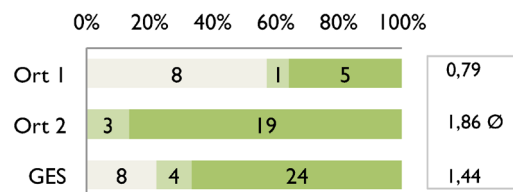


Abb. 2. Inwieweit würde es Ihnen helfen, wenn Bilder oder Zeichnungen am Bildschirm gezeigt werden?

repräsentiert. Falls jemand unentschlossen oder neutral geantwortet hatte, wurde der Wert 0 vergeben. Im Diagramm wird diese Wertung durch eine graue Farbe gekennzeichnet.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden folgende Fragen aus dem Themenbereich *Multimodalität, Hilfe, Unterstützung, Adaptivität, Individualisierung, Usability der Benutzerschnittstelle* ausgewählt:

1. „Inwieweit würde es Ihnen helfen, wenn Bilder oder Zeichnungen am Bildschirm gezeigt werden?“ (s. Abbildung 2)

Auswertung

Standort 1 43% der Mitarbeiter/-innen würden es (sehr) hilfreich finden, wenn zumindest für Anfänger oder bei der Einführung eines neuen Fahrzeugs bzw. geänderter Ausstattung grafische Abbildungen vom jeweiligen Objekt am Bildschirm mit angezeigt werden. Ebenso wurde die Idee, die Einstellungen personenbezogen oder selektiv anpassbar zu gestalten, befürwortet.

Standort 2 100% der Befragten finden die Einblendung von bildhaften Inhalten zur Illustration von neuen Fahrzeugelementen als (sehr) hilfreich.

2. „Was halten Sie von zusätzlichen sprachbasierten Ansagen, wie z.B. bei einer Navigationsanlage?“ (s. Abbildung 3)

Auswertung

Standort 1 Eine zusätzliche Unterstützung in Form von Sprachausgaben durch Headset empfanden alle befragten Mitarbeiter/-innen (100%) als eher störend und nicht akzeptabel, weil keine Gegenstände am Körper erwünscht seien.

Standort 2 Auch hier fiel das Ergebnis ähnlich ablehnend aus. 86% der Befragten haben die Idee als sehr negativ bewertet. Nur ein einziger Mitarbeiter/-in hat die Idee positiv bewertet, weil die Art der Technik hilfreich für Mitarbeiter/-

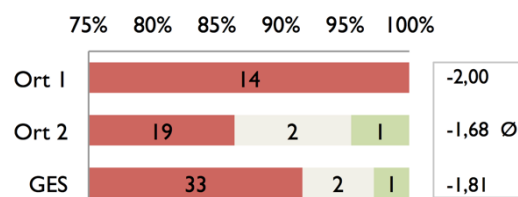


Abb. 3. Was halten Sie von zusätzlichen sprachbasierten Ansagen, wie z.B. bei einer Navigationsanlage?

innen mit Sehhilfe wäre. Des Weiteren haben 2 Mitarbeiter/-innen die Frage mit weder-noch bewertet, weil sie der Meinung waren, dass diese Technik erst im Feld ausprobiert werden sollte.

Des Weiteren wurden Fälle beobachtet, die aus den verschiedenen Prüfsystemen im Einsatz resultierten. Der größte Unterschied besteht darin, dass bei bestimmten Fahrzeugmodellen im Prüfprozess keine Handterminals eingesetzt werden, sondern nur das große, schwere Multifunktionstestgerät, dass am Prüfgegenstand befestigt wird. Das heißt für die Mitarbeiter/-innen, dass sie die Position im und rund um das Fahrzeug wechseln müssen, um Anweisungen zu quittieren und/oder neue zu lesen. Ein anderer interessanter Fall war, dass während eines lang andauernden autonomen Prüfprozess, noch bevor das Gerät mit der Qualitätsprüfung begann, die erfahrenen Mitarbeiter/-innen alle erforderlichen bzw. bekannten Sichtprüfungen getätigt und die Ergebnisse sich im Gedächtnis gemerkt haben. Anschließend wurden diese dann im Laufe des Prüfprozesses bei entsprechenden Anweisungen in das System eingegeben. Dadurch sparten sie sich Zeit für kommende Prüfungen.

Es zeigt sich zudem, dass die Mitarbeiter/-innen übereinstimmend Verbesserungen in der Ergonomie, konfigurierbar ergänzende Bestandteile in der Informationsdarstellung und die Möglichkeit einer Korrektur der Eingabe wünschen, dem Einsatz von Sprache und Gestik sowie der Verwendung von Benutzerschnittstellen am Körper jedoch skeptisch gegenüber stehen. Dies liegt ggf. darin begründet, dass oft in einer lauten und heißen Umgebung gearbeitet wird, Gesten eindeutig erkannt und zugeordnet werden müssen und Geräte am Körper auf Vorbehalte hinsichtlich der Hygiene stoßen. Zugleich wurde beobachtet, dass die Mitarbeiter/-innen die Prüfprozesse nicht einzeln, sondern in einem gemeinsamen zeitlichen Zusammenhang sehen. Sie versuchen sich einander zu helfen und Zeit einzusparen, wenn der nachfolgende Prüfprozess aufwändiger ist. Um diesen Aspekt jedoch untersuchen zu können, ist ein Mehrbenutzermodell des Prüfprozesses erforderlich.

Die Prozesse wechseln in Abhängigkeit vom Prüfgegenstand und sind Gegenstand unvorhersehbarer Änderungen durch Einschub neuer oder Umstellung bekannter Prüfschritte. Dies deutet darauf hin, dass adaptive Benutzerschnittstellen, die in Abhängigkeit vom Kontext rekonfigurierbar sind, aus Human Factors Perspektive von hohem Nutzen sein könnten. Dabei könnten unerfahrene Mitarbeiter/-innen zusätzliche Informationselemente einblenden, während erfahrene Mitarbeiter/-innen gewisse Sichtprüfungen vorziehen, wenn längere Systemprüfungen ablaufen, ohne das in der Zeit eine Interaktion der Mitarbeiter/-innen benötigt wird.

In der Regel werden diese die besagten mobilen Geräte und die Gestaltung der jeweiligen Benutzerschnittstellen von Drittherstellern oder nach Vorgaben des Auftraggebers (in gewissen Grenzen) für spezifische Prozesse erstellt und vermarktet. Dabei gestalten die Hersteller die Benutzerschnittstellen ohne Einbeziehen der eigentlichen Nutzer, daher den Mitarbeiter/-innen in die Entwicklung, und nach eigenen Kriterien. Ein- und Ausgabeelemente auf den Bildschirmen wer-

den eher beliebig platziert, Texte und Nachrichten nutzen keine eindeutigen Abkürzungen und selten Abbildungen. Es werden für Mitarbeiter/-innen auch unnötige Statusmeldungen auf dem Bildschirm der Prüfgeräte schnell abwechselnd eingeblendet, die aufgrund der geringen Größe der mobilen Geräte klein und damit unlesbar erscheinen, so dass wichtige Informationen ggf. leicht übersehen werden. Einige Prozessschritte benötigen eine Benutzerinteraktion, andere laufen wiederum parallel und autonom ab. Es konnte von den Autoren/-innen keine transparente Hierarchie in Bezug auf Abhängigkeiten erkannt werden, die der Gestaltung der Interaktion zugrunde liegt.

Des Weiteren fiel auf, dass der zeitliche Abstand zwischen den Dialogschritten nicht durch die Mitarbeiter/-innen beeinflusst werden kann, es gibt keine Wiederholmöglichkeit eines Prozessschritts zur Korrektur von fehlerhaften Eingaben/Aktionen, und es fehlt eine Anzeige, die den Prüfprozessfortschritt sichtbar macht.

Die eingesetzten Prüfgeräte scheinen zwar sehr vielseitig und haben verschiedene Funktionen wie Barcodelesen, Texteingabe, Anforderung eines Quittungsdrucks, Prüfprozessabläufe positiv oder negativ quittieren, die aber weder in Bezug auf das physikalische Design der Eingabe- und Ausgabeelemente noch in Hinblick auf die elektronische Inbetriebnahme optimal nach Human Factors Gesichtspunkten umgesetzt sind. Diese Prüfgeräte werden mit ihrem ca. 3kg Gesamttragengewicht (Multifunktionstestgerät ca. 2kg und das Handterminal je nach Standort 650g und 850g) durch eine 8 Stunden Schicht hinweg als (zu) schwer bewertet. Außerdem behindert das Tragen eines Handterminals die Mitarbeiter/-innen beim Inspizieren des Fahrzeugs von außen, wenn sie beide Hände für die Sichtprüfung benötigen und deshalb das Gerät aus der Hand legen müssen.

4. LÖSUNGSANSATZ

In diesem Abschnitt werden die von uns erarbeiteten Lösungsansätze für die erkannten Optimierungspotenziale, die Berücksichtigung der Kontextabhängigkeit und der Mehrbenutzeraspekt in der Fallstudie im Rahmen der Thematik kognitive Systeme (Strohner, 1995) behandelt. Die Lösung der Problematik der Kontextabhängigkeit kann durch Multimodalität und Adaptivität der mobilen Benutzerschnittstelle realisiert werden. Inspiriert von Design Spaces aus der Arbeit von Ballagas et al. (2008) kann bei Multimodalität anhand von unterschiedlichen Parametern, wie z.B. der Umgebung und Position der Benutzer etc. die sinnvolle Wahl der Modalität und der passenden Interaktionstechnik getroffen werden. Wenn die Umgebung laut ist, so sollten bspw. die benutzerrelevanten Informationen durch Visualisierungstechniken vermittelt werden. Hingegen werden bei einer leisen Umgebung benutzerrelevanten Informationen sprachbasiert an die Benutzer kommuniziert. Mit der kontextabhängigen Adaptivität der Benutzerschnittstelle in Bezug auf die Benutzer und die aktuelle Situation soll erreicht werden, dass die Benutzer sich nur auf die relevanten Informationen im Prüfsystem, dargestellt auf der Benutzerschnittstelle, konzentrieren und keine unnötigen Informationen wahrnehmen. Des Weiteren kann der Mehrbenutzeraspekt durch Unterstützung unterschiedli-

cher Rollen wie Experten, erfahrene Benutzer, Novizen und andere hierarchische Ränge in einem Unternehmen gelöst werden. In der Fallstudie kamen Benutzer in den Rollen von erfahrenen und unerfahrenen Mitarbeiter/-innen, Gruppenleitern und Nacharbeitern vor.

Die Nutzung des UIEditor Rahmenwerks (s. Abbildung 4) ist ein möglicher Ansatz zur Bewältigung der eingangs vorgestellten Optimierungspotenziale, um ein für die Aufgabenstellung geeignetes Modell des Rekonfigurationsprozesses von Benutzerschnittstellen zu entwickeln. Durch eine Erweiterung des UIEditor Rahmenwerks, welche im Realisierungsteil noch ausführlicher behandelt wird, sollen relativ einfache und effektive Anpassungen der Benutzerschnittstelle ermöglicht werden. In einem visuellen Editor als Bestandteil des UIEditor Rahmenwerks kann die Interaktionslogik mit Hilfe der formalen Modellierungssprache FILL modelliert und mit Hilfe weiterer Komponente des Rahmenwerks ausgeführt und rekonfiguriert werden. Dieser Ansatz beruht auf einer groben Unterteilung einer Benutzerschnittstelle in zwei Schichten, wobei die erste Schicht die physikalische Repräsentation und die zweite Schicht die Interaktionslogik beschreibt. Die Interaktionslogik umfasst dabei alle Operationen, die Benutzeraktionen in Daten für das steuernde System umwandeln. Analog werden die Daten, die von dem zu steuernden Prüfsystem erzeugt werden von der Interaktionslogik verarbeitet, um diese für den Benutzer auf der physikalischen Schicht darzustellen oder in anderer Form zu vermitteln. Weiterhin enthält die Interaktionslogik Strukturen für die Definition des Mensch-Maschine-Diagrams und beschreibt damit unter anderem auch Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Interaktionselementen der physikalischen Repräsentation. Sie definiert damit, wann welche Interaktionselemente in Abhängigkeit des Systemzustands dem Benutzer zur Verfügung stehen. Die physikalische Repräsentationsfläche umfasst dabei verschiedene visuelle Elemente, wie Schaltflächen, Textfelder, Graphen, etc. und künftig auch nicht visuelle Interaktionselemente, die anhand von äußeren oder internen Ereignissen im System aktiviert oder ausgelöst werden können.

Für die Ausführung der Interaktionslogik wird deren FILL-basierte Darstellung in Referenznetze (Kummer, 2002) überführt, welche eine spezielle Form von Petri Netzen repräsentieren. Die Nutzung von Referenznetzen erlaubt es, Instanzen von Netzen mit Hilfe von Tokens in einer übergeordneten Netzinstanz im Sinne einer objektorientierten Datenstruktur zu referenzieren. Durch diesen Referenzierungsmechanismus wird es möglich, hierarchische Strukturen in einem referenznetz-basierten Modell formal abzubilden und Modelle ineinander zu kapseln. Mit Hilfe der Unterstützung von synchronen Kanälen können verschiedene Netzinstanzen miteinander kommunizieren und Daten austauschen. Der Vorteil dieses Formalismus liegt dabei in der Wiederverwendbarkeit der einzelnen Teilgraphen und deren Austauschbarkeit. Mittels Spezifikation von Hierarchien und Kapselung durch Teilgraphen können die Rollen- und Berechtigungsaspekte im Prüfprozess, und die Modellierung von multimodalen Interaktionen zwischen den Benutzern und dem Prüfsystem abgebildet werden. Für die Realisierung solch eines flexiblen Modells unter Verwendung von Referenznetzen besteht ferner die

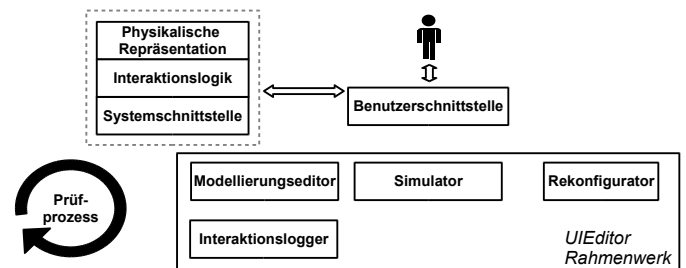


Abb. 4. UIEditor Rahmenwerk

Möglichkeit, mit Hilfe des Rekonfigurators aus dem UIEditor-Rahmenwerk kontextabhängige Anpassungen an der Interaktionslogik und der physikalischen Schicht der Benutzerschnittstelle durchzuführen.

4.1 Erweiterung des UIEditor Rahmenwerks

In diesem Abschnitt führen wir ein erweitertes Modell des UIEditor Rahmenwerks ein, das einen neuen Benutzerschnittstellengenerierungsprozess (BGP) in das Rahmenwerk integriert und die oben genannten Schwerpunkte Kontextabhängigkeit, Mehrbenutzerfähigkeit und Diagnose- und Analysewerkzeuge in Form eines Hintergrundprozesses einbezieht. Der BGP besteht aus zusätzlichen sieben Komponenten, welche in Abbildung 5 gestrichelt eingerahmt sind. Die erste Komponente befindet sich auf der interaktionslogischen Schicht. Sie empfängt die Eingabesignale der Benutzer, interpretiert diese anhand der formal entworfenen Interaktionslogik und leitet sie an die angebundene Systemschnittstelle im UIEditor-Rahmenwerk und an die zweite Komponente zur Diagnose weiter. Hierbei bindet die Systemschnittstelle das Prüfsystem an, welches den Prüfprozess ausführt und die Aufforderungen für die Prüfung an die Benutzerschnittstelle, hier an die Interaktionslogik weiterleitet. Auf der gleichen Ebene werden aus den Benutzerinteraktionen der jeweilige Interaktionsverlauf und aus dem Systemzustand der jeweilige Systemzustandsverlauf durch die Protokollierung der aufgetretenen Interaktionsoperationen und Systemzustände generiert.

Die Diagnosekomponente wertet die aufgezeichneten Daten des jeweiligen Benutzers aus und untersucht sie anhand der vorherigen und aktuellen Interaktionsverläufen, unter Zuhilfenahme von zur Verfügung stehenden Parametern der Systemschnittstelle z.B. Messwerten zum aktuellen Systemzustand hin auf bestimmte Interaktionsmuster, die in der Evaluationsphase der Benutzerschnittstelle von Experten aus Erfahrungswissen abgeleitet oder mit den Analysewerkzeugen fest- und bereitgestellt wurden. Als Ergebnis dieser Untersuchung wird ein Bewertungsprofil erstellt. Dieses Bewertungsprofil wird an die Verbundschnittstelle (s. Abbildung 5, Kreiselement mit Pluszeichen) im BGP weitergereicht. Das Vorhaben befindet sich noch in der Anfangsphase und es fehlen noch dazu passende Datenstrukturen für den Datenfluss zwischen den neuen Komponenten, wie z.B. für ein Bewertungsprofil. Diese werden in künftig geplanten Arbeiten noch formal festgelegt.

In der Verbundschnittstelle laufen die drei Komponenten Bewertungsprofil, Hintergrundprozess und die von Experten definierten Produktionsregeln zusammen. Der Hintergrundprozess ist eine nebenläufige Komponente und unterstützt die Benutzer bei ihren Aufgaben. In unserem Fallbeispiel könnten die Benutzer bestimmte Prüfschritte in Form von Aktionen losgelöst vom Kontext durchführen. Die Maschine würde dies erkennen und sie nicht sofort an das Prüfsystem weiterleiten, sondern zunächst unabhängig von der aktuellen Aufgabe im Hintergrundprozess zum jeweiligen Prüfschritt vermerken. Sobald der Prüfschritt an der Reihe ist, wird dieser vom Hintergrundprozess automatisch mit den vermerkten Benutzereingaben auf der Benutzerschnittstelle ausgeführt. Eine weitere wichtige Unterstützungsform soll anhand von angelernten Fehlermustern durch Experten und vor allem durch Benutzer selbst anderen Benutzern dabei helfen in Fehlersituationen effizienter zu agieren. Hierbei werden mögliche Vorgehensweisen zur aktuellen Situation an die Benutzer kommuniziert. In diesem Fall reagiert der Hintergrundprozess nach einem von Experten vordefinierten abgelaufenen Zeitraum, in dem ein Mitarbeiter/-in nicht interagiert hat und greift in den Prüfprozess aktiv ein, indem der Hintergrundprozess dem Mitarbeiter/-in mögliche angelernte Lösungsmöglichkeiten für ein weiteres Vorgehen vorschlägt. Analog können Benutzer selbst jederzeit eine Hilfestellung durch Interaktion mit dem Hintergrundprozess einholen. Im Falle einer erfolgreichen Bewältigung der fehlerhaften Situation können die Mitarbeiter/-innen dem Hintergrundprozess über die Benutzerschnittstelle die gewählte Lösungsmöglichkeit mitteilen und somit die Unterstützungsfunktion ständig verbessern.

Des Weiteren werden in der Verbundschnittstelle anhand des Bewertungsprofils und der Produktionsregeln in Form eines regelbasierten Systems zur Situation passende abstrakte Dialogelemente unabhängig vom Ausgabegerät für die Benutzerschnittstelle selektiert. Die Dialogelemente beschreiben, welche Informationen an die Benutzerschnittstelle weitergegeben werden müssen. Für geeignete Dialogelemente werden beispielsweise gemäß den Benutzerspezifikationen wie Muttersprache, Erfahrung, bevorzugte Modalität und Unterstützungsgrad die entsprechenden und landesspezifischen Symbole, Farben, Texte und Textabkürzungen in visuellen oder akustischen Repräsentationen festgelegt. Die einzelnen Dialogelemente können zudem über verschiedene Dringlichkeitsstufen verfügen, um an Ausgabegeräten eine Visualisierung in anderer Form wie auch Signaltöne oder Spracheausgabe mit deutlich wahrnehmbarer Lautstärke zu erzwingen. Im obigen Fallbeispiel könnten somit bei mobilen Interaktionsgeräten Störungen wie z.B. ein kritischer Batteriestatus oder andere Ereignisse in dieser Form behandelt werden. Mit Hilfe von Produktionsregeln in der WENN – DANN – Form wird die Informationsweitergabe an Benutzerspezifikationen wie Rollen, Berechtigungen und optionale Unterstützungsfunktionen angepasst. Das heißt, dass bestimmte Dialogelemente, beispielsweise im Falle zusätzlicher Unterstützungsfunktionen hinzugefügt oder aus der Dialogbeschreibung entfernt werden können.

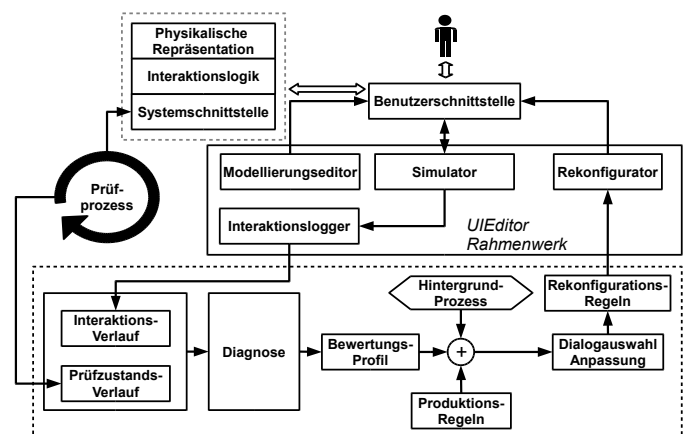


Abb. 5. Erweitertes UIEditor Rahmenwerk zur Umsetzung der prozessspezifischen Benutzerschnittstelle

In der sechsten Komponente werden aus den abstrakten Dialogelementen und dem aktuellen Benutzerdialog eines Ein- und Ausgabegeräts passende Rekonfigurationsregeln für einen neuen hardwarespezifischen Benutzerdialog zusammengestellt und an die existierende Rekonfigurationskomponente im UIEditor Rahmenwerk weitergereicht. Die Änderung der physikalischen Repräsentationsschicht schließt eine entsprechende Anpassung der Interaktionslogik nicht aus, erfordert sie im Gegenteil sogar, um beispielsweise bestimmte Interaktionselemente in der Benutzerschnittstelle im aktuellen Kontext zu (de-)aktivieren.

Durch diese Abstrahierung ist es möglich, dass Benutzer mehrere verschiedene Ein- und Ausgabegeräte, je nach aktuellem Kontext nutzen können, die von einer zentralen Einheit verwaltet und den Benutzern zu Beginn des Prozesses oder beim Austausch z.B. bei Ausfall eines Geräts übergeben werden. Analog wird eine Benutzeranmeldung am dafür vorgesehenen Softwaremodul vorgesehen, um im Falle eines Wechsels den Benutzer mit seinem Profil auf dem neuen Gerät anzumelden. Zudem können Benutzer Geräte anderer Benutzer übernehmen. Für die Unterstützung von verschiedenen multimodalen Ein- und Ausgabegeräten müssen für jede Art Gerät eine passende Benutzerschnittstelle entworfen werden, die beispielsweise durch Visualisierung am Bildschirm Systemausgaben abbilden oder auch eine möglicherweise vorhandene Audioausgabe am Gerät verwendet. In einer einfachen Beispielskonstellation der Fallstudie könnten während eines Prüfprozesses zwei Geräte benutzt werden, eines für die Eingabe und eines für die Ausgabe, die Software-seitig über die Interaktionslogik miteinander gekoppelt sind. Die so verbundenen Geräte kennen stets den Benutzer und damit auch, um im Fallbeispiel zu bleiben, das jeweilige Prüffahrzeug und den Prüfprozessfortschritt durch die Anbindung der Interaktionslogik über die Systemschnittstelle an die Computer-basierte Ausführung des Prüfprozesses.

6. AUSBLICK

Durch die Auswertung der Ergebnisse einer interviewten Stichprobe von Mitarbeiter/-innen eines Prüfprozesses in der Automobilproduktion versuchen wir auf der einen Seite, ein sinnvolles Konzept für die geplante Weiterentwicklung des

UIEditor Rahmenwerks auszuarbeiten, und auf Anwenderseite für eine umfangreiche Anzahl von computergestützten Prozessen Alternativen für verbesserte Benutzerschnittstellenkonzepte in Zusammenarbeit mit den beteiligten Benutzern zu entwickeln. Dabei wurden aus den Befragungsergebnissen Anforderungen an Flexibilität, Mobilität, Multimodalität und die Konfigurierbarkeit für verschiedene Benutzergruppen abgeleitet. Einer der wichtigen Punkte besteht im Entwurf einer neuen praktischen und vielseitigen mobilen Benutzerschnittstelle, die über mindestens die gleiche Funktionalität verfügt wie bereits vorhanden, aber mit strukturiertem Design die Informationsdarstellung zum Lesen und die Interaktionselemente zum Ausführen von Aktionen voneinander trennt. Es stehen verschiedene Typen von Ein- und Ausgabegeräten in diesem Zusammenhang zur Diskussion, wie bspw. Handterminals, Head-Mounted-Displays oder Geräte, die Benutzerschnittstellen auf sichtbare Fläche projizieren und somit teilweise eine immaterielle Ein- und Ausgabe ermöglichen. Die Benutzer sollen während der Ausführung ihrer Arbeit unterstützt oder von Aufgabe zu Aufgabe auf Wunsch mit passenden Hinweisen geführt werden. Im Fallbeispiel kann dazu anhand der Nutzung der im Fahrzeug vorhandenen Sensorik oder anderes im aktuellen Kontext verfügbares Wissen ermöglicht werden, die Position der Benutzer zu ermitteln und die Benutzerschnittstelle entsprechend zu rekonfigurieren.

Von der in der Realisierungsphase vorgestellten Diagnosekomponente wird ein Bewertungsprofil über den aktuellen Kontext aus dem Interaktions- und dem Systemverlauf erstellt, das bei der Veränderung der physikalischen und der interaktionslogischen Schicht eine zentrale Rolle spielt. Ferner steht zur Diskussion, inwiefern auch Richtlinien und Musterdesigns der physikalischen Schicht der Benutzerschnittstelle(n) unter Berücksichtigung benutzerspezifischer Aspekte wie verwendete Interaktionsgeräte, Sprache, Barrierefreiheit und Akzeptanz, und mit Hilfe von anerkannten Heuristiken, Gestaltungsrichtlinien (ISO 9241-110, 2006; 9241-210, 2011) und Dialogmustern auf Grundlage eines Anforderungsprofils und eines neuen zu entwickelnden Bewertungssystems realisiert werden können. Hierzu soll ein zusätzliches Werkzeug entwickelt werden, um die Heuristik und die gestalterischen Dialogregeln für die Bewertung der Benutzerschnittstelle zu spezifizieren. Derartige Gestaltungsrichtlinien einer Benutzerschnittstelle hätten auch zukünftig den Vorteil, die Experten bereits beim Entwurf von neuen oder beim Verändern von existierenden Benutzerschnittstellen zu unterstützen.

LITERATUR

Baumgarten, B. (1996). *Petri Netze. Grundlagen und Anwendungen*. Spektrum Akademischer Verlag.

Bihler, P., M. Fotsing, G. Kniesel and C. Joffroy (2008). Using Conditional Transformations for Semantic User Interface Adaptation. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*, iiWAS'08, 677-680, Linz, Österreich.

DIN EN ISO 9241-110 (2006). *Grundsätze der Dialoggestaltung*, Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 9241-210 (2011). *Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme*.

Ehrig, H., K. Hoffmann and J. Padberg (2006). Transformation of Petri Nets. In: *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 148(1), 151-172.

England, D., M. Randles und A. Taleb-Bandiab (2009). Runtime User Interface Design and Adaptation. In: *Proceedings of the 23rd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Celebrating People and Technology*, BCS HCI'09, 463-470, Cambridge, UK.

Kummer, O. (2002). *Referenznetze*. Dissertation, Universität Hamburg, Logos Verlag Berlin.

Navarre, D., P. Palanque und S. Basnyat (2008a). A Formal Approach for User Interaction Reconfiguration of Safety Critical Interactive Systems. In: *Proceedings of International Conference on Computer Safety, Reliability and Security*, SAFECOMP'08, 373-386, Newcastle upon Tyne, UK.

Navarre D., P. Palanque, J.-F. Ladry und S. Basnyat (2008b). An Architecture and a Formal Description Technique for the Design and Implementation of Reconfigurable User Interfaces. In: *Interactive Systems. Design, Specification, and Verification*, LNCS 5136, 208-224. Springer, Berlin, Heidelberg.

Strohner, H. (1995). *Kognitive Systeme*. Opladen: Westdeutscher Verlag.

Teamworx By Wire (2012). <http://teamworx-bywire.de>, zuletzt besucht am 31.08.2012.

Weyers, B (2012). *Adaptive User Interface Design for Controlling and Observing Human-Machine Systems*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen, Dr. Hut Verlag, 2012.

Wilson, John R. (2000). Fundamentals of ergonomics in theory and practice. In: *Applied Ergonomics* 31, 557-567.