

## Beschreibung des Vorhabens – Projektanträge

Leon Urbas, Technische Universität Dresden, Professor, unbefristet

Sebastian Pannasch, Technische Universität Dresden, Professor, unbefristet

---

### Beschreibung des Vorhabens

#### 1 Stand der Forschung und eigene Vorarbeiten

##### *Einleitung*

Die Fehlerdiagnose in der Prozess- und Fertigungsindustrie ist eine hochgradig komplexe, kooperative Aufgabe (Lüdtke, Leuchter, & Urbas, 2007). Während die fast vollständige Automatisierung im Normalbetrieb für ein hohes Maß an Strukturierung sorgt, unterscheiden sich die notwendigen Lösungsschritte bei technischen Störungen von Fall zu Fall. Dadurch ist es nahezu unmöglich, auf gut geübte Arbeitsabläufe und Regeln zurückzugreifen. Anstatt dessen stehen die Operateure vor einer anspruchsvollen, komplexen Problemlöseaufgabe (vgl. Dörner, 1976): Der in weiten Teilen intransparente Zustand der Anlage wird vom Zusammenwirken einer Vielzahl miteinander vernetzter Variablen bestimmt. Das Gesamtsystem weist ein hohes Maß an Eigendynamik auf, so dass sich sein Zustand auch ohne den Eingriff der Mitarbeiter kontinuierlich und oftmals auf nichtlineare Weise verändert. Während der Diagnose und Behebung des Fehlers müssen mehrere, teilweise entgegengesetzte Ziele koordiniert und gewichtet werden. Die Rückmeldung über den Effekt der Eingriffe erfolgt oft verzögert und es können Fern- und Nebenwirkungen auftreten.

Fehlerdiagnoseaufgaben stellen somit hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter<sup>1</sup> und erfordern ein stark ausgeprägtes Situationsbewusstsein (Endsley, 1995). Die Mitarbeiter müssen den aktuellen Zustand der Anlage korrekt wahrnehmen, richtig interpretieren und aus diesem Wissen Vorhersagen für die Zukunft ableiten. Im Kontext der Prozess- und Fertigungsindustrie kommt erschwerend hinzu, dass die Problemlösung ein Zusammenwirken mehrerer Partner mit verteilten Rollen erfordert: In der Leitwarte befindet sich ein *Control Room Operator* (CRO), der mittels großflächiger Displays einen Überblick über die Leistungs- und Prozessparameter der gesamten Anlage hat. Im Fabrikgelände selbst sind mehrere *Field Operators* (FOs) für die Vor-Ort-Inspektion und für manuelle Eingriffe an den Maschinen zuständig. Eine prototypische Situation bei der kooperativen Fehlerdiagnose könnte folgendermaßen aussehen: Der CRO bemerkt in der Leitwarte einen Alarm, der auf eine mögliche Fehlfunktion in der Anlage hinweist. Ihm steht in der Leitwarte selbst jedoch nicht ausreichend Information zur Verfügung, um die Situation vollständig zu bewerten, den Fehler zu lokalisieren und seine Ursachen zu identifizieren. Daher vergibt er einen Auftrag ins Feld (z.B. ungewöhnlicher Druckabfall an X, bitte Überprüfung vor Ort). Ein FO nimmt diesen Auftrag an und begibt sich an den vermuteten Problemort. Dort kann er Schlüsse über den Zustand der Betriebsmittel ziehen (z.B. Austreten von Flüssigkeit als Hinweis auf ein undichtes Ventil), aber nur insofern sich diese Veränderungen in direkt wahrnehmbaren Abweichungen vom Normalzustand äußern. Da keiner der Partner in der Lage ist, das Problem allein zu lösen, nehmen sie eine gemeinsame Bewertung der Situation vor und stimmen hypothesenprüfende Vorgänge ab, um die Störquelle zu identifizieren. Im Rahmen dieses Prozesses tauschen sie die ihnen jeweils zur Verfügung stehenden Beobachtungen aus, die sich grundlegend voneinander unterscheiden (CRO: Messwerte, FO: direkte Beobachtung der Geräte).

Ein solcher kooperativer Problemlöseprozess erfordert ein hohes Maß an Koordination, um eine gemeinsame Repräsentation der Situation herstellen zu können. Die Partner müssen das gegenseitige Verständnis kontinuierlich überprüfen und aktualisieren, um eine gemeinsame Wissensbasis (*Common Ground*) herstellen und aufrechterhalten zu können (Clark & Brennan, 1991). Die dafür erforderliche Kommunikation ist zeitaufwändig und fehleranfällig. Ein wesentliches Problem besteht darin, dass der FO Information über die Auswirkungen seiner Handlungen an den Geräten nur über den CRO erhalten kann, da er die Prozessschaubilder in der Leitwarte nicht einsehen kann. Umgekehrt nimmt der CRO die Handlungen des FO häufig nur über deren Auswirkungen im Sinne einer Veränderung des messbaren Zustands der Anlage oder über mündliche Mitteilung wahr. Beide Informationsquellen sind jedoch indirekt und erlauben keinen eindeutigen Schluss auf die tatsächlich ausgeführte Handlung. Weiterhin muss eine Klärung von Mehrdeutigkeiten und Widersprüchen erfolgen. Die Partner müssen sich darüber verständigen, welche Messung oder welcher Ort gemeint ist. Erwähnt der CRO zum Beispiel die Temperatur am

---

<sup>1</sup> Aus Gründen der Vereinfachung wird hier und bei anderen Bezeichnungen (wie z.B. den Abkürzungen CRO und FO) ausschließlich die männliche Form verwendet. Personen weiblichen und männlichen Geschlechts sind darin gleichermaßen eingeschlossen.

Reaktor, so ist unklar, welche Temperatur gemeint ist – von Reaktorvolumen, Zulauf, Ablauf, Heiz- oder Kühlmittelstrom? Genau so schwierig ist es, zu klären, welches Aggregat der FO meint, wenn er lediglich „das Aggregat“ sagt – und was bedeutet es, wenn er auf „das daneben“ verweist? Zusätzlich erschwert wird der Verständigungsprozess zwischen CRO und FO dadurch, dass die Darstellung der jeweils verfügbaren Information oftmals sogar gegensätzlich ist (z.B. "unten" auf dem Funktionsdisplay des CRO ist nicht gleich "unten" an der Maschine, die der FO vor sich sieht).

Eine Auflösung solcher Mehrdeutigkeiten erfolgt in der Face-to-Face-Kommunikation nur zum Teil über verbale Signale, hinzu kommen nonverbale Informationsquellen wie der Blick des Sprechers (Hanna & Brennan, 2007) oder Gesten und Handlungen (Clark & Krych, 2004). Im Gegensatz dazu kommunizieren CRO und FO jedoch fast ausschließlich über Sprechfunk. Diese rein verbale Interaktion ist der Face-to-Face Kommunikation im Hinblick auf den Erfolg und Prozess von gemeinsamen Problemlösungen unterlegen (Boyle, Anderson, & Newlands, 1994; Marshall & Novick, 1995) und Mehrdeutigkeiten müssen durch einen erhöhten verbalen Aufwand kompensiert werden (Doherty-Sneddon et al., 1997). Im Kontext der Prozessindustrie kann dies zu Schwierigkeiten beim Aufbau einer geteilten Lagerepräsentation führen (Anokhin, & Pleshakova, 2009; Crowl, 2007; Kaber & Endsley, 1998; Van Daele, 1993). Aus diesem Grund sollte die vermittelte Interaktion zwischen Leitwarten- und Feldmitarbeitern durch visuelle Information unterstützt werden. Unklar ist jedoch, wie diese Unterstützung zu gestalten ist.

### *Wirkmechanismen der visuellen Unterstützung vermittelter Interaktion*

Frühe Ansätze zielten darauf ab, den Partner mithilfe von Videokonferenzsystemen darzustellen oder sein Sichtfeld durch Kopfkameras zugänglich zu machen. Dies führte nur selten zu objektiven Leistungsverbesserungen (z.B. Fussell, Kraut, & Siegel, 2000, für einen Überblick siehe Whittaker, 1995) und auch die Verkaufszahlen und Nutzungsraten von Videosystemen deuten auf eine geringe Akzeptanz hin (Fish, Kraut, Root, & Rice, 1992). Als hilfreich erwiesen haben sich hingegen visuelle Darstellungen des gemeinsamen Arbeitsmaterials (*Shared Workspaces*, Bly, 1988; Doherty-Sneddon et al., 1997; Kohler, Pannasch & Velichkovsky, 2009; Kraut, Gergle, & Fussell, 2002; Whittaker, 1995, 2003; Whittaker, Brennan, & Clark, 1991). Eine solche Präsentation der gemeinsamen Arbeitsobjekte unterstützt den kooperativen Prozess auf drei Arten.

Erstens können die Handlungen des Partners an den Objekten und deren Auswirkungen direkt beobachtet werden. Dies erlaubt die Auswahl, Planung und zeitlich präzise Abstimmung adäquater eigener Handlungen. Zweitens liefern Arbeitsplatzdarstellungen sogenannte *implizite Evidenz* über das Verständnis des Partners (Clark & Brennan, 1991), was in diesem Fall bedeutet, dass aus der Visualisierung seiner Handlungen unmittelbar ersichtlich wird, ob und wie er auf eine Instruktion reagiert. Wie wichtig solche implizite Evidenz sein kann, zeigen neben kontrollierten Laborstudien auch die Analysen von Strategien zur Konfliktlösung in der Flugkontrolle (Späth, 2003). Hier wurde gefunden, dass Fluglotsen Steig- und Sinkanweisungen gegenüber Geschwindigkeitsänderungen bevorzugen, weil das Ausführen dieser Manöver durch die Piloten auf dem Radar besser sichtbar ist. Die Verfügbarkeit und Präsentation visueller Information kann also ausschlaggebend dafür sein, welche Problemlösehandlungen gewählt werden. Zudem ermöglicht die Verfügbarkeit impliziter Evidenz eine effizientere Konversation, weil aufwändige Erklärungen, Objektbeschreibungen und verbale Bestätigungsäußerungen eingespart werden können (Doherty-Sneddon, et al., 1997; Kraut, et al., 2002). Drittens werden Mehrdeutigkeiten vermieden, weil die visuelle Information den Kontext für die Interpretation von Äußerungen (die sogenannte referentielle Domäne) liefert: Anhand der sichtbaren und jeweils manipulierten Objekte können alle Beteiligten sofort verstehen, worauf sich der Partner bezieht. Umgekehrt erlaubt eine solche Eingrenzung der referentiellen Domäne die Verwendung unspezifizierter und damit einfacherer Sprachäußerungen (Tanenhaus, Chambers, & Hanna, 2004).

Alle drei Wirkmechanismen vereinfachen die Kommunikation zwischen räumlich getrennt arbeitenden Partnern und machen sie gleichzeitig zuverlässiger. Dies ist insbesondere im Kontext der Prozessindustrie relevant, weil die Menge und Qualität der Kommunikation einen wesentlichen Einfluss auf die Teamleistung haben (Idaszak, 1989; Sebok, 2000). Werden Änderungen und Abweichungen im System nicht hinreichend kommuniziert, kann es zu Leistungseinbußen bis hin zu schwerwiegenden Unfällen kommen. Visuelle Darstellungen der gemeinsamen Arbeitsobjekte verbessern aber nicht nur die Teamleistung und unterstützen kommunikative Prozesse, sondern führen auch zu einer Erhöhung von *Team Situation Awareness* (TSA). TSA bezeichnet den Grad, zu dem alle beteiligten Personen über das zur Lösung der gemeinsamen Aufgabe relevante Situationsbewusstsein verfügen, so dass sie ihren jeweiligen Verantwortungen nachkommen können (Endsley, Bolstad & Jones, 2003). Je stärker die Handlungen der Partner voneinander abhängig sind, umso wichtiger ist eine geteilte Lagerepräsentation.

Ein Großteil von Unfällen in der Prozessindustrie kann auf unvollständige oder ineffektive Kommunikation und gering ausgeprägte TSA zurückgeführt werden (Bullemer & Reising, 2013). Deshalb darf die Gestaltung von Konzepten zur vermittelten Kommunikation nicht nur auf einen einzigen Zielaspekt (z.B. Effi-

zizienzsteigerung) fokussieren, sondern muss alle drei Faktoren gleichermaßen berücksichtigen: Ein effektives Zusammenwirken als Team, eine einfache und eindeutige Kommunikation und die Ausbildung und Aufrechterhaltung eines hohen Grades an TSA.

#### *Displaykonzepte zur Förderung von Teaminteraktion, Kommunikation und TSA*

In vielen Studien zur technischen Unterstützung der Zusammenarbeit von Operateuren erfolgte die Visualisierung über *Shared Displays* (Bolstad & Endsley, 1999, 2000), zum Beispiel in Form sogenannter *Group View Displays* (z.B. Biehl, Czerwinski, Smith, & Robertson, 2007; Lai, Spitz, & Brzezinski, 2006; Parush et al., 2011; Roth et al., 1998). Dabei wird sämtliche Information auf einem großen, für alle Teilnehmer einsehbaren Bildschirm präsentiert. Der dadurch entstehende gemeinsame Referenzrahmen schafft die Voraussetzung für ein gemeinsames Verständnis des Anlagenzustandes, da alle Beteiligten direkt sehen wie ihre Handlungen die Prozessparameter beeinflussen und mit den Handlungen anderer Operateure zusammenwirken. Dadurch wird die Teamleistung verbessert, weil kritische Ereignisse und Fehler leichter identifiziert werden können und die erlebte mentale Belastung sinkt (Roth et al., 1998).

Bei der Identifikation, Diagnose und Behebung von Fehlern durch verteilte Teams in Leitwarte und Feld ist ein solches Konzept jedoch nicht umsetzbar, da die beteiligten Personen räumlich voneinander getrennt sind. Hinzu kommt, dass nur der CRO über großflächige Displays verfügt, während der FO auf ein deutlich kleineres mobiles Gerät angewiesen ist, so dass die Darstellung für beide Partner nicht auf identische Weise erfolgen kann. Viel wichtiger als diese praktischen Einschränkungen ist jedoch die Tatsache, dass sich neben den verschiedenen physischen Räumen vor allem auch die Tätigkeits- und Informationsräume der Partner grundlegend unterscheiden. Zwar arbeiten sie am gleichen Objekt (Fabrikanlage), führen aber sehr unterschiedliche Teilaufgaben aus und benötigen dafür entsprechend verschiedene Information: Während der CRO zur Überwachung und Steuerung der Anlage einen Überblick über sämtliche Prozessparameter benötigt, würde eine vergleichbare Präsentation für den FO zu einer Überlastung führen. Er hätte Schwierigkeiten bei der Identifikation und Selektion der Information, die für ihn und seine lokale Aufgabe relevant ist. Eine direkte Übertragung des Shared Workspace Konzeptes ist demnach nicht möglich, sondern die Konzeption der vermittelten Interaktion zwischen CRO und FO muss an den spezifischen Bedürfnissen der Partner ansetzen. Das Ziel dieses Projektes besteht darin, Unterstützungsstrategien zu entwickeln, um Teaminteraktion, Kommunikation und TSA zu fördern und die Ergebnisse empirisch zu überprüfen

#### **Eigene Vorarbeiten**

##### *Vorarbeiten der Professur für Prozessleittechnik (PLT)*

Die Professur für Prozessleittechnik erforscht Mittel und Methoden zur zielgerichteten Planung und Ausführung von Prozessführungsstrategien für den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb technischer Prozesse. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Berücksichtigung der verantwortlichen Personen in diesen Systemen sowohl im Feld als auch in der Leitwarte dar (Urbas, Ziegler, Doherr 2013). Im Rahmen der durch die VolkswagenStiftung geförderten Nachwuchsforschergruppe *Nutzermodelle in dynamischen Systemen* wurden Konzepte zum simulationsbasierten Situation-Awareness-Training für Teams entwickelt, die sich in die Prozessleittechnik übertragen lassen (Leuchter & Urbas, 2002). Im Rahmen des FP7 Projektes ComVantage (*Collaborative Manufacturing Network for Competitive Advantage*) wurden innovative Konzepte zur Informationsvernetzung und Nutzung von Mobilgeräten in industriellen Kontexten erarbeitet. Das dort entwickelte Prinzip der App-Orchestrierung ermöglicht die effiziente Zusammenschaltung von spezialisierten Apps zu einem App-Ensemble, das komplexe Aufgaben der Prozessführung unterstützt. Grundlage für die App-Orchestrierung sind Arbeitsablaufmodelle, z.B. Businessprozessmodelle in BPMN 2.0 (*Business Process Model and Notation*), sowie die semantische Beschreibung der Apps (Pfeffer et al., 2013). Es wurde zudem untersucht, wie Mobilgeräte in anspruchsvollen Arbeitsumgebungen eingesetzt werden können. Dabei wurde deutlich, dass die übliche Touch-Bedienung in der Industrie nicht immer gebrauchstauglich ist. Folglich wurden alternative Eingabemethoden wie Gestenerkennung, RFID-Lesegeräte (z.B. im Arbeitshandschuh) und andere industrietaugliche Eingabegeräte entwickelt und in industrienaher Umgebung evaluiert. Es wurde gefunden, dass mobile Unterstützungssysteme in Gestaltung, Bedienung und technischer Grundlage an den industriellen Nutzungskontext angepasst sein müssen, um gegenüber herkömmlichen Methoden (Telefon, Sprechfunk, Papier & Stift) echten Mehrwert zu schaffen (Ziegler, Pfeffer & Urbas, 2011). Die in den genannten Projekten erprobte Evaluationsumgebung (siehe *Abbildung 1*) wird im beantragten Vorhaben eingesetzt und weiterentwickelt.



Abbildung 1. Für örtlich verteilte Evaluationen steht eine in Vorarbeiten erprobte realistische Industrieumgebung aus Prozessanlage (l.) und Leitwarte (r.) zur Verfügung, die in ein Usability-Labor integriert ist.

### *Vorarbeiten der Professur für Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung (IP)*

Die Professur für Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung untersucht Prozesse der menschlichen Informationsverarbeitung im Umgang mit technischen Systemen mit dem Ziel, Interaktionsprozesse zwischen Mensch und Technik zu optimieren. Wesentliche Forschungsschwerpunkte liegen in der Analyse von visueller Aufmerksamkeit und Situationsbewusstseins in Mensch-Maschine-Systemen, der menschenzentrierten Schnittstellengestaltung und der technischen Unterstützung vermittelter Kommunikation zwischen räumlich getrennten Partnern.

Diese technische Unterstützung war Gegenstand einer Dissertationsarbeit (Müller, 2012). Es wurde untersucht, wie kommunikative Prozesse beim gemeinsamen Problemlösen durch visuelle Information über Handlungen und Aufmerksamkeitsfokus des Partners verändert werden. Im Rahmen eines Shared Workspace wurden zusätzlich zur Audiokommunikation manuelle Handlungen und Zeigegesten oder der Blickort des Partners übertragen. Durch Analysen der gemeinsamen Leistung, der verbalen Interaktionen und des Betrachtungsverhaltens wurden Potentiale und Schwierigkeiten der verschiedenen Kommunikationsmedien herausgestellt. Ein starker Fokus lag dabei auf der Berücksichtigung des jeweiligen Aufgabenkontextes. Es zeigte sich, dass keine Form der technischen Unterstützung uneingeschränkt vorteilhaft ist. Den kooperativen Prozess fördern nur solche Formen der visuellen Übertragung, die genau diejenige Information über die Aktivität des Partners bereitstellen, die das Gegenüber benötigt.

## **1.1 Projektbezogene Publikationen**

### **1.1.1 Veröffentlichte Arbeiten aus Publikationsorganen mit wissenschaftlicher Qualitätssicherung, Buchveröffentlichungen sowie bereits zur Veröffentlichung angenommene, aber noch nicht veröffentlichte Arbeiten.**

Leuchter, S., & Urbas, L. (2002). Simulation based situation awareness training for control of human-machine-systems. In IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Media and the Culture of Learning (S. 34–39). IEEE

Müller, R., Helmert, J. R., Pannasch, S., & Velichkovsky, B. M. (2013). Gaze transfer in remote cooperation: Is it always helpful to see what your partner is attending to? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(7), 1302–1316.

Müller, R., Helmert, J. R., & Pannasch, S. (2014). Limitations of gaze transfer: Without visual context, eye movements do not help to coordinate joint action, whereas mouse movements do. *Acta Psychologica*, 152(1), 19–28.

Pfeffer, J., Graube, M., Ziegler, J., & Urbas, L. (2013). Vernetzte Apps für komplexe Aufgaben in der Industrie. *atp edition – Automatisierungstechnische Praxis*, 55(3), 34–41

Urbas, L., Ziegler, J., Doherr, F. (2013). Produktergonomie in der Prozessautomatisierung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 66(2-3), 169-182

Ziegler, J., Pfeffer, J., & Urbas, L. (2011). A mobile system for industrial maintenance support based on embodied interaction. In Proceedings of the 5<sup>th</sup> international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction (S. 181–188). ACM

## **2 Ziele und Arbeitsprogramm**

### **2.1 Voraussichtliche Gesamtdauer des Projekts**

3 Jahre (36 Monate)

## 2.2 Ziele

Eine Besonderheit der vermittelten Interaktion zwischen Leitwarte und Feld besteht in den unterschiedlichen und teilweise komplementären Informationsräumen von CRO und FO. Beide verfügen über Information, die der jeweils andere Partner nicht hat und beiden fehlt Information, die sie für eine erfolgreiche Aufgabenlösung benötigen. Dies macht die technisch vermittelte Kommunikation fehleranfällig. Es wird angenommen, dass sich der kooperative Problemlöseprozess durch eine Anreicherung mit visuellem Material verbessern lässt, indem ein Teil des Handlungs- und Informationsraumes des jeweils anderen Partners übertragen wird. Die Ziele dieses Projektes bestehen darin, (1) zu ermitteln wie eine solche Übertragung organisiert und gestaltet werden sollte, (2) prototypische Lösungsansätze zu entwickeln und (3) deren Auswirkungen auf Teamleistung, Kommunikation und TSA empirisch zu überprüfen.

### Fragestellungen

Das erste Ziel lässt sich entsprechend der vorab beschriebenen Schwierigkeiten der vermittelten Kommunikation in drei Teilfragestellungen aufgliedern.

#### 1. *Disambiguierung*

Wie kann sichergestellt werden, dass CRO und FO über die gleichen Dinge sprechen? Wie kann der Aufwand minimiert werden, den die Partner dazu benötigen, dies zu prüfen und abzusichern? Wie können das Verständnis von Zusammenhängen und das Wechseln zwischen den unterschiedlichen Informationsinhalten (z.B. Funktions- vs. Ortsinformation) erleichtert werden?

#### 2. *Information des FO über die Effekte seiner Handlungen*

In welcher Form sollen dem FO die Auswirkungen seiner Handlungen auf die Prozessparameter zugänglich gemacht werden? Welche Parameter soll der FO sehen? Auf welchem Abstraktionslevel sollen die Parameter präsentiert werden? Welchen Einfluss soll der FO bzw. der CRO auf die Präsentationsform dieser Parameter haben?

#### 3. *Information des CRO über die Handlungen des FO*

Welche der Handlungen des FO sollen dem CRO zugänglich gemacht werden? Auf welche Weise sollen dem CRO diese Handlungen präsentiert werden? Auf welchem Abstraktionslevel soll der CRO diese Informationen sehen? Zu welchem Zeitpunkt und mit welcher zeitlichen Auflösung soll der CRO über die Handlungen des FO informiert werden? Welchen Einfluss soll der FO darauf haben, wie die Präsentation erfolgt? Wie kann eine Zusatzbelastung infolge der Kommunikation mit dem Partner reduziert werden?

### Variation des Interaktionskonzeptes

Zur Beantwortung dieser Fragen werden drei Interaktionskonzepte entwickelt und deren Auswirkungen auf den kooperativen Problemlöseprozess werden empirisch untersucht. Die Konzepte unterscheiden sich hinsichtlich der Regulierung der Kommunikation zwischen CRO und FO. Entsprechend dem zugrundeliegenden Interaktionsprinzip werden die Konzepte als *vollständige Übertragung*, *Kontrolle* und *Adaption* bezeichnet.

#### *Vollständige Übertragung*

Da beide Partner jeweils Information über die Sichtweise des anderen Partners benötigen, besteht eine Möglichkeit darin, möglichst viel der visuellen Information des Partners bereitzustellen. Derartige Lösungsansätze wurden bereits untersucht, zum Beispiel durch eine kontinuierliche Videoübertragung durch Kopfkameras (Fussel, Setlock & Kraut, 2003) oder durch Smartphones, welche den FO mit der gleichen Information über die Prozessparameter ausstatten, die auch dem CRO in der Leitwarte zur Verfügung steht (Skourup & Reigstad, 2002). Das zugrundeliegende Prinzip für den Informationsaustausch lässt sich folgendermaßen charakterisieren:

- *Beide Partner können den Arbeitsplatz des jeweils anderen ohne Beschränkungen einsehen*

Auf diese Weise wird die Belastung des CRO reduziert, weil sich der FO die benötigte Information selbst verschaffen und dadurch autonom handeln kann. Allerdings ergeben sich aus dieser vollständigen Informationsdarbietung zwei Probleme. Erstens müssen die Partner zusätzlich zu ihrem eigenen Informationsraum auch den des Partners überblicken, was besonders unter hoher Arbeitsbelastung die Teamleistung reduzieren kann (Bolstad & Endsley, 2000). In der Prozessindustrie wird dieses Problem besonders deutlich, da sich die Information beider Partner grundlegend unterscheidet. Insbesondere für den FO, der

beispielsweise an einer Maschine aktiv handeln muss, kann die Notwendigkeit zum Bewerten und Filtern problematisch sein, zumal nur ein geringer Teil der verfügbaren Information für die eigene Handlung relevant ist. Ebenso ist es für den CRO nicht immer von Bedeutung, welche genauen Teilhandlungen der FO ausführt. Damit ergibt sich für beide Partner die anspruchsvolle Aufgabe, aus der Menge der verfügbaren Information selbständig zu selektieren.

Das zweite Problem einer vollständigen Übertragung liegt in den Möglichkeiten, die dem FO durch die Verfügbarkeit von Information aus der Leitwarte eröffnet werden. Durch direktes Feedback über die Auswirkungen seiner Handlungen auf die Prozessparameter der Anlage kann er Diagnosehandlungen allein ausführen. Auf diese Weise wird der CRO zwar entlastet, ist aber gleichzeitig nicht mehr direkt in den Prozess eingebunden, wodurch sein Situationsbewusstsein gefährdet wird. Dies deckt sich mit Befunden zur Koordination verbaler Dialoge, die zeigen, dass passive Zuhörer Konversationen weniger gut verstehen als aktiv am Dialog beteiligte Personen (Schober & Clark, 1989). In eine ähnliche Richtung weisen auch Untersuchungen zur Interaktion von Menschen mit automatisierten Systemen: In der Rolle eines passiven Überwachers entwickeln Menschen ein geringes Maß an Situationsbewusstsein, erbringen schlechtere Leistungen im Erkennen und Interpretieren von Abweichungen und können auf Störungen weniger gut reagieren (Endsley, 1996).

Dem gegenüber stehen jedoch deutliche Vorteile einer vollständigen Informationsübertragung, die aus der Möglichkeit zum autonomen Handeln durch den FO resultieren. Die Frage lautet somit nicht, *ob* eine vollständige Übertragung hilfreich ist, sondern unter welchen Bedingungen sie die gemeinsame Leistung unterstützen kann, ohne sich dabei negativ auf die Kommunikation zwischen den Partnern und TSA auszuwirken.

### *Kontrolle*

Die mit einer vollständigen Übertragung verbundenen Risiken der Verringerung von Kommunikation und TSA bilden die Basis für eine entgegengesetzte Gestaltungsmöglichkeit. Unter der Annahme, dass ein kontinuierlicher Austausch zwischen CRO und FO wichtig ist, könnte dieser Austausch sichergestellt werden, indem er zur Voraussetzung für die Präsentation visueller Information gemacht wird.

- *Die Übertragung der Prozessparameter aus der Leitwarte an den FO erfolgt erst nach Freischaltung durch den CRO*
- *Diese Freischaltung führt der CRO nur in Reaktion auf einen festgelegten, expliziten Kommunikationsakt des FO aus (z.B. Bestätigung seiner aktuellen Position und Handlung)*

Der FO wird somit gezwungen, den CRO in Form von definierten Kommunikationsprotokollen – entweder verbal oder über ein mobiles Gerät – am Geschehen zu beteiligen. Je kleinschrittiger die Freischaltung erfolgt, desto detaillierter wird der CRO über die Handlungen des FO informiert. Alternativ kann auch die explizite Bestätigung der jeweils wahrgenommenen Information festgeschrieben werden, so dass erst ein Abgleich der jeweiligen Lagerepräsentation eine Freischaltung weiterer Information ermöglicht (Degani & Wiener, 1993). In beiden Fällen werden Hürden in Form von expliziten Kommunikationsakten eingeführt.

Der Verzicht auf die Flexibilität natürlicher Kommunikation birgt allerdings auch Risiken. Die Notwendigkeit, bereits einfache Handlungen explizit anzeigen zu müssen, führt zu großen Mengen überflüssiger Kommunikation. Außerdem unterscheidet sich ein Großteil der Fehlerdiagnoseprozesse von Fall zu Fall, so dass eine flexible Koordination nötig ist. Festgelegte Protokolle behindern verbale Anpassungen wie die spontane Abstimmung von Objektbeschreibungen, die für natürliche Dialoge typisch sind (*Conceptual Pacts*, Brennan & Clark, 1996). Eine Selektion von Konversationsinhalten entsprechend ihrer Relevanz wird verhindert. Da Dialogpartner Aufwand sparen wo immer dies möglich ist (*Principle of Least Collaborative Effort*, Clark & Wilkes-Gibbs, 1986), kann eine gezwungene Kommunikation zu mangelnder Compliance führen, so dass die Partner versuchen, die Kommunikationsprotokolle zu umgehen.

Diesen Risiken steht jedoch gegenüber, dass der Kontrollansatz eine kontinuierliche Kommunikation garantiert und somit die Ausbildung von TSA stark gefördert wird. Ebenso wie für den Ansatz der vollständigen Übertragung gilt daher auch hier, dass nicht pauschal über die Nützlichkeit dieses Interaktionskonzeptes entschieden werden kann. Seine Eignung zur Unterstützung der Interaktion von CRO und FO sowie die Balance der Vorteile und Risiken werden stark von den Erfordernissen der Situation abhängen.

### *Adaption*

Aus den vorangegangenen Betrachtungen ergibt sich ein Dilemma: Eine vollständige Übertragung birgt das Risiko, dass die Partner nicht mehr kommunizieren und somit den Aufbau von TSA verhindern. Der Kontrollansatz erzwingt Kommunikation, macht sie aber schwerfällig und unflexibel, wodurch die Effizienz der Teaminteraktion gefährdet wird. Daher zielt das dritte Interaktionskonzept auf eine Kombination der Potentiale der beiden vorangegangenen Ansätze ab. Es ergeben sich folgende Anforderungen:

- Beide Partner sollen kommunizieren und aktiv am Lösungsprozess beteiligt sein
- Die Kommunikation soll direkter Bestandteil des Problemlöseprozesses anstelle einer belastenden Zusatzpflicht sein
- Natürliche Kommunikation soll gefördert werden, inklusive der spontanen Anpassungen an die aktuelle Situation und die Bedürfnisse des Partners
- Beide Partner sollen nur tatsächlich benötigte Information bekommen und weitergeben

Aus diesen Anforderungen folgt ein Interaktionskonzept, bei dem beide Partner ihre spezifischen Fähigkeiten in die Konversation einbringen und genau diejenige Information erhalten, die sie zur Lösung ihrer Aufgabe brauchen. Die visuelle Darstellung erfolgt vermittelt über die aktive Beteiligung des Partners entsprechend seiner Kompetenzen. Eine Übersicht befindet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Information von CRO und FO und die sich daraus ergebende Aufgabenteilung im Rahmen des Adoptionsansatzes.

	<b>CRO</b>	<b>FO</b>
<b>Informationsquellen</b>	Displays in der Leitwarte Kontakt nach außen	Betriebsmittel und die davon ausgehenden wahrnehmbaren Reize (z.B. visuell, auditiv, taktil)  Planung und Beobachtung eigener Handlungen
<b>Verfügbare Information, die dem anderen Partner fehlt</b>	Übersicht über die Funktionen der Anlage  Feedback über die indirekten Handlungseffekte des FO (Auswirkung auf messbare Werte)	Sensorisch wahrnehmbarer Anlagenzustand  Art der selbst ausgeführten Handlungen (z.B. Ort, benutztes Gerät, Dauer)  Sensorisch wahrnehmbare Effekte eigener Handlungen (z.B. Anlaufen einer Pumpe)
<b>Resultierende Aufgabe</b>	Auswahl der zu präsentierenden technischen Parameter für den FO	Auswahl der zu präsentierenden Information über eigene Handlungen für den CRO

Der stationäre Arbeitskontext der Leitwarte erlaubt dem CRO eine effektive Unterstützung des FO in der mobilen Arbeitssituation, da der CRO die Übersicht über die Funktion der Anlage hat. Daher übernimmt er die Selektion der relevanten Information über Prozessparameter und indirekte Handlungseffekte (Veränderungen des Systems), die an den FO übertragen wird. Um die passende Information auswählen zu können, muss der CRO am Prozess beteiligt sein und diesen gut verstehen. Da eine solche Selektion nicht planbar und daher auch nicht automatisierbar ist, bildet die Auswahl durch den CRO eine in der Aufgabe selbst begründete Notwendigkeit. Dieses Vorgehen reduziert auch das Problem der begrenzten Darstellungsmöglichkeiten auf dem kleinen, mobilen Gerät des FO. Wenn der CRO die relevante Information für die Anzeige vorselektiert, verringert sich die Notwendigkeit zum Scrollen, Suchen und Navigieren. Die erwartete Nützlichkeit einer solchen Selektionsstrategie deckt sich mit Befunden, die Verbesserungen der Teamleistung infolge einer abstrahierten Darstellung des Partner-Displays nachweisen, die nur unmittelbar relevante Information anzeigt (Bolstad & Endsley, 2000).

Auf der anderen Seite muss der CRO die Handlungen des FO verstehen können, nicht nur über deren indirekte Folgen einer Veränderung der Systemparameter. Dies ist notwendig, um ein hohes Maß an TSA zu gewährleisten und bildet im Rahmen des Adoptionsansatzes einen direkt in den Lösungsprozess integrierten Kommunikationsbaustein: Der CRO kann die für den FO nützlichen Parameter nur dann zur Anzeige auswählen, wenn er weiß, was der FO gerade tut. Damit verschafft es dem FO selbst einen Vorteil, den CRO über seine Handlung zu informieren. Die Auswahl der zu kommunizierenden Einzelhandlungen erfolgt durch den FO selbst, da dieser die Intention und Bedeutung seiner eigenen Handlungen am besten beurteilen kann. Die Adaption lässt sich damit folgendermaßen zusammenfassen:

- *Der CRO wählt die aktuell für den FO relevanten Prozessparameter aus der Leitwarte aus und stellt ihm diese zur Verfügung*
- *Der FO übermittelt dem CRO diejenige Information über seine aktuellen Handlungen, die der CRO braucht, um die Handlung des FO zu verstehen*

Auch dieses Interaktionskonzept ist jedoch mit Risiken verbunden, die sich aus dem hohen zusätzlichen Aufwand zur Abstimmung und Selektion ergeben. Wenn die Partner Funktions- und Handlungsinformati-

on explizit bereitstellen müssen, kann dies eine Mehrbelastung zur Folge haben. Dies betrifft nicht nur die Anzahl der auszuführenden Einzelhandlungen (z.B. Eingaben auf dem mobilen Gerät), sondern ist auch kognitiver Natur. Die hohe Flexibilität des Adoptionsansatzes bedeutet schließlich auch, dass die Partner selbständig entscheiden können und müssen, wann welche Information auf welche Weise dargeboten wird. Ein Teil dieser Schwierigkeiten kann über die Konzeption der technischen Unterstützung und die Funktionsallokation auf Mensch und Gerät abgefangen werden. Eine situationsangepasste Selektion kann teilautomatisiert und zum Beispiel über sinnvolle Standardeinstellungen oder Vorlagen erleichtert werden. Zusätzlich sollte der Detailgrad der Informationsdarstellung von den Partnern konfigurierbar und die Präsentationsform variierbar sein. Je nachdem ob der Partner nur eine kurze Information über das Vorhandensein einer Handlung benötigt (z.B. *Aktion abgeschlossen*) oder auf präzise Weise über deren Verlauf in Kenntnis gesetzt werden muss, sollte das Gerät die entsprechende Information mit geringem Aufwand auswählen lassen. Adaption heißt hier also Anpassung an die aktuellen Bedürfnisse auf drei Ebenen:

- *Selektion der relevanten Parameter*
- *Situationsangemessene Festlegung des Detailgrades*
- *Bedürfnisangemessene Auswahl der Präsentationsform*

Aber auch wenn der Selektionsaufwand durch das Gerät reduziert wird, so liegt dennoch ein wesentlicher Teil der Verantwortung für die Ausgestaltung der Interaktion bei den beteiligten Partnern. Somit besteht die Gefahr, dass die Variabilität, die den Kern des Adoptionsansatzes bildet, neue Probleme aufwirft, indem sie mentale Belastung erhöht und Aufmerksamkeit von der Primäraufgabe abzieht. Dieses Risiko besteht vor allem dann, wenn eine Vielzahl von Prozessparametern überwacht, auf Alarme eingegangen und entsprechend gegengesteuert werden muss. Gleichzeitig ist jedoch gerade bei einer hohen Informationsdichte anzunehmen, dass der Empfänger der Information von einer Vorselektion profitieren kann. Insofern stehen sich zwei Risiken gegenüber: eine Überlastung des Empfängers, wenn dieser sämtliche Information ungefiltert erhält, und andererseits eine Überlastung des Senders durch die Zusatzaufgabe der Selektion. Wie die Balance dieser Risiken sich auf Teamleistung, Kommunikation und TSA auswirkt ist eine empirische Frage, die im Rahmen des experimentellen Projektteils zu beantworten ist.

#### *Zusammenfassung der Interaktionskonzepte*

Die Kooperation zwischen CRO und FO ist ein komplexer und nur begrenzt planbarer Prozess, der ein hohes Maß an Koordination und ein gemeinsames Verständnis der Situation erfordert. Dementsprechend setzen die drei Interaktionskonzepte an unterschiedlichen Punkten des Kontinuums zwischen Freistellen und Sicherstellen der Kommunikation an. Die *vollständige Übertragung* ermöglicht dem FO eine maximale Autonomie, wobei der CRO lediglich als Beobachter fungiert, so dass sämtliche Kommunikation im Ermessen der Partner liegt. Im Gegensatz dazu wird im Rahmen des *Kontrollansatzes* durch Protokoll und Informationsdeprivation eine stetige Kommunikation erzwungen, die dafür sorgt, dass beide Partner aktiv am Prozess beteiligt sind und eine gemeinsame Repräsentation der Situation aufbauen. Der Ansatz der *Adaption* versetzt die Partner in einen kontinuierlichen Dialog, wobei jedoch nur diejenige Information zur Verfügung gestellt wird, die der Partner benötigt. Alle drei Ansätze haben gemeinsam, dass der FO mit Information aus der Leitwarte und der CRO mit Information aus dem Feld versorgt wird. Der Unterschied besteht darin, wie die Präsentation dieser Information in den Kommunikationsprozess eingebunden ist: Entweder steht sie losgelöst von der Kommunikation zur Verfügung (vollständige Übertragung), ist komplett eingebunden und nur durch explizite Kommunikation abrufbar (Kontrolle) oder sie ist auf flexible Weise durch die Kommunikation bedingt (Adaption).

Alle drei Interaktionskonzepte bieten Vorteile und sind gleichzeitig mit ernstzunehmenden Risiken verbunden. Diese Vorteile und Risiken sind komplementär, so dass die Stärken eines Konzeptes gleichzeitig die Schwächen eines anderen sind. Die Konzeption der drei Ansätze resultiert aus mehreren gleichzeitig vorhandenen aber entgegengesetzten Anforderungen an die Interaktion zwischen CRO und FO, weswegen kein Ansatz sämtliche Vorteile in sich vereinen und sämtliche Nachteile ausschließen kann. Was zum Beispiel im Kontext des Adoptionsansatzes an Flexibilität gewonnen wird, kommt als kognitiver Aufwand infolge der Notwendigkeit zur aktiven Auswahl und Entscheidung hinzu. Insofern wird keine generelle Überlegenheit eines einzelnen Interaktionskonzeptes erwartet, vielmehr soll der jeweilige Nutzen im Zusammenhang mit den Eigenschaften und Anforderungen der spezifischen Aufgabensituation untersucht werden.

#### **Variation der Aufgabenanforderungen: Komplexität**

Eine besonders interessante Variable, die den relativen Nutzen der drei Interaktionskonzepte beeinflussen kann, ist die *Komplexität der Problemlösesituation*. In Anlehnung an Dörner (1976) sind komplexe



Probleme charakterisiert durch eine große Anzahl von beeinflussenden Variablen und das Vorhandensein von Beziehungen zwischen diesen Variablen, die zumindest teilweise intransparent sind. Weiterhin weist das System ein hohes Maß an Eigendynamik auf, wobei Veränderungen auf nichtlineare Weise erfolgen und oft nur über indirekte oder verzögerte Rückmeldung ersichtlich sind. Der Problemlöser muss mehrere und teilweise entgegengesetzte Ziele zugleich koordinieren. Aufgrund der begrenzten kognitiven Kapazität können Personen in komplexen Aufgabensituationen selten eine erschöpfende Evaluation aller möglichen Handlungsoptionen und ihrer Konsequenzen vornehmen. Entscheidungen müssen stattdessen auf einer vereinfachenden Strategie basieren, die nur einen Teil der Information nutzt und eine reduzierte Anzahl an Berechnungen erfordert (Fischer, Greif & Funke, 2012). Übertragen auf den Kontext der Prozessindustrie werden nachfolgend ein komplexes und ein weniger komplexes Problem beispielhaft skizziert:

*Komplexes Problem:* Während einer Umbauarbeit wird ein Überdruckventil an einem Tank ausgelöst. Der Druckanstieg kann aufgrund der physikalischen Kopplung aus verschiedenen Wirkmechanismen resultieren. Die Diagnose erfordert die Berücksichtigung einer Vielzahl situationsrelevanter technischer Bauteile sowie offene, versteckte und zeitlich variierende Verknüpfungen. Erschwert wird die Problemlösung durch Verzögerungszeiten, nichtlineare funktionale Zusammenhänge und potentielle nicht bekannte technische Störungen. Ein direkter Ursache-Wirkungsschluss ist deshalb üblicherweise nicht möglich, vielmehr sind aktive Problemlösestrategien gefordert. Dafür erforderlich ist eine situationsspezifische Verzahnung von Informationsgewinnung und -bewertung, Zielelaboration und -gewichtung, Handlungsplanung sowie Selbstmanagement (Fischer, Greiff, Funke 2012). Alle vier Aspekte erfordern Kommunikation und Abstimmung zwischen CRO und FO.

*Weniger komplexes Problem:* Eine Pumpe fällt aus, der CRO wird mit einem Alarm über die verringerte Durchflussmenge informiert und schickt den FO zum Umfahren auf die Ersatzpumpe ins Feld. Der FO kann die stehende Pumpe vor Ort eindeutig identifizieren, weil diese stillsteht und die lokale Anzeige ihre Inaktivität bestätigt. Er muss die alte Pumpe abschalten, einige Ventile betätigen (z.B. Zulauf der alten Pumpe schließen, Zulauf der neuen Pumpe freigeben) und die Ersatzpumpe einschalten. Der CRO erkennt die Handlungsausführung des FO an den Anzeigen zur Pumpenaktivität und des anschließenden Volumenstroms im Normbereich. Das Einsatzgebiet ist lokal begrenzt, das Ziel klar definiert und die Anzahl der involvierten Bauteile gering.

Für die empirische Evaluation ist die Komplexität der Aufgabe vor allem deshalb interessant, weil sie über die relative Eignung der drei Interaktionskonzepte bestimmen kann. Wie bereits skizziert sind es vor allem komplexe Probleme, die eine gut funktionierende und flexible Kommunikation zwischen CRO und FO nötig machen und gleichzeitig die Herausbildung von TSA erschweren. Insofern wurde der Adaptionsansatz für genau diese Art von Situationen konzipiert, weil er das Potential eines speziell an die aktuellen Bedürfnisse angepassten Informationsaustausches bietet. Würde man die drei Interaktionskonzepte jedoch nur in hoch komplexen Situationen vergleichen, so könnte der Eindruck einer generellen Überlegenheit einer solchen Adaption entstehen. Dies ist jedoch nicht gerechtfertigt, sondern eine kritische Prüfung der Potentiale und Grenzen dieses Ansatzes muss auch Situationen einschließen, in denen weniger aufwändige oder strikter geregelte Formen der Kommunikation vorteilhaft sein könnten.

## Empirische Evaluation

Das Ziel des empirischen Teils besteht darin, die Auswirkungen der drei Interaktionskonzepte auf den Prozess und das Ergebnis der Interaktion zwischen Leitwarte und Feld experimentell zu prüfen. Zu diesem Zweck wird ein 3 x 2 Design gewählt, in dem die drei Interaktionskonzepte in Kombination mit dem zweifach gestuften Faktor Aufgabenkomplexität variiert werden<sup>2</sup>. Die vorrangig interessierende Analyseeinheit bildet das Zweier-Team von CRO und FO. Da die Aufgaben grundlegend kooperative Situationen abbilden, kann es jedoch zu einer Kompensation von Unterschieden zwischen den Partnern in den Ausprägungen der abhängigen Variablen kommen (z.B. kann ein geringes Maß an verbaler Kommunikation seitens des FO mit häufigeren Nachfragen und Erklärungen des CRO einhergehen). Um genauer zu verstehen wie sich die Gestaltungsansätze auf die Handlungs- und Kommunikationsschritte der einzelnen Partner auswirken, erfolgt deswegen eine zusätzliche gesonderte Betrachtung der Partner.

Auf Basis der theoretischen Vorüberlegungen lassen sich Hypothesen über die Auswirkungen von Interaktionskonzept und Aufgabenkomplexität auf verschiedene abhängige Variablen ableiten (für einen Überblick siehe Abschnitt 2.3.4). Aufgrund der geringen Sensitivität und hohen Varianz in Lösungsqualität

---

<sup>2</sup> Zusätzlich kann eine Anzahl weiterer Variablen einen Einfluss auf die Ergebnisse ausüben. Ein besonders wichtiger Faktor in diesem Zusammenhang ist die unterschiedliche Erfahrung der Studienteilnehmer im Umgang mit Anlagen der Prozessindustrie oder mit mobilen Geräten. Um Ergebnisverzerrungen entgegenzuwirken, wird die Erfahrung als Kovariate erhoben, um eine statistische Kontrolle dieses Einflusses zu erlauben.

und Fehlerraten werden in diesen Maßen keine Unterschiede zwischen den Interaktionskonzepten erwartet. Zentral sind hingegen (1) die *benötigte Zeit zur Aufgabenlösung* als ein Maß für die Teamleistung, (2) die *Menge an verbaler Kommunikation* und (3) die *Herausbildung von TSA*. Zudem sind Einflüsse der Interaktionskonzepte auf die *Art und Anzahl der vorgenommenen Einzelhandlungen*, die *Qualität des Zusammenwirkens als Team* und die *subjektive Bewertung* der Nutzer anzunehmen. Diese sollen im Rahmen der empirischen Evaluation ergänzend mittels qualitativ-quantitativer Methodik erfasst und explorativ ausgewertet werden. Neben dem Haupteffekt der Komplexität (komplexe Aufgaben sollten generell mit höherer Lösungszeit, mehr Kommunikation und geringerer TSA assoziiert sein), sind besonders die Wechselwirkungen von Interaktionskonzept und Komplexität von Interesse (siehe Abbildung 2).

### *Lösungszeit*

Die Lösungszeit wird sowohl über die gesamte Bearbeitungszeit der Aufgabe als auch in höherer Auflösung über die Dauer von beobachtbaren Einzelhandlungen definiert.

*Vollständige Übertragung.* Für wenig komplexe Aufgaben werden im Vergleich zu den anderen Interaktionskonzepten die geringsten Lösungszeiten erwartet, weil der FO autonom agieren und damit vor allem einfache Handlungen selbständig ausführen kann, ohne sie erst mit dem CRO absprechen zu müssen. Dagegen sollten in komplexen Aufgaben die Identifikation und der Abruf der relevanten Information schwerfallen, so dass verhältnismäßig hohe Lösungszeiten entstehen.

*Kontrolle.* Die Lösungszeiten sollten insgesamt hoch sein, weil eine zeitaufwändige Kommunikation erzwungen und ein schnelles, eigenständiges Handeln verhindert wird. Vor allem in wenig komplexen Aufgaben sollte dies zu langsameren Lösungen im Vergleich zu den anderen beiden Ansätzen führen. Der Grund ist, dass festgelegte Kommunikationsakte bei geringer Aufgabenkomplexität einen Mehraufwand bedeuten, der in den anderen Ansätzen eingespart werden kann. In komplexen Aufgaben hingegen sind auch im Rahmen der vollständigen Übertragung und Adaption Absprachen nötig, so dass die festgelegten Kommunikationsakte weniger stark ins Gewicht fallen sollten.

*Adaption.* Für wenig komplexe Aufgaben wird ein Lösungszeitvorteil gegenüber dem Kontrollansatz, nicht aber gegenüber der vollständigen Übertragung erwartet, da im letzteren Ansatz die benötigte Information auch ohne Rücksprache mit dem CRO verfügbar ist. Für komplexe Aufgaben sollten die Lösungszeiten geringer sein als in den anderen Ansätzen, weil die Zusammenarbeit durch die Möglichkeit zur gegenseitigen Optimierung effizient erfolgen kann, wenn es dem Team gelingt den Adaptionaufwand von der Aufgabenkomplexität zu entkoppeln (siehe auch Kommunikation).

### *Kommunikation*

Die nachfolgend dargestellten Hypothesen beziehen sich vorrangig auf die Anzahl gesprochener Worte und die verwendete Arten von Äußerungen. Für eine präzisere Charakterisierung der Koordination zwischen CRO und FO werden zusätzliche Analysen verbaler Verhaltensweisen (z.B. Unterbrechungen, Sprecherwechsel) und des Zusammenwirkens als Team erfolgen.

*Vollständige Übertragung.* Bei geringer Aufgabenkomplexität sollte wenig Kommunikation mit dem CRO stattfinden, da der FO selbstständig handeln kann. Komplexe Aufgaben sollten hingegen zu einem größeren Anteil nicht-inhaltlicher Kommunikation führen (z.B. Erklärungen, Nachfragen, verbales Feedback), die vor allem darauf abzielt, sich in der Masse der übertragenen Information zurechtzufinden.

*Kontrolle.* Da die Kommunikation hier stark vorgeschrieben und für jede Einzelhandlung erforderlich ist, kann das resultierende hohe Maß an Kommunikation als normative Basis zur Bewertung der beiden anderen Ansätze dienen. Bezüglich der Kommunikationsinhalte ist dabei gerade in wenig komplexen Aufgaben ein Übermaß an nicht direkt problemrelevanter Kommunikation zu erwarten, weil auch Sachverhalte explizit kommuniziert werden müssen, die prinzipiell von einem der Partner allein überschaubar wären.

*Adaption.* Vergleichbar mit dem Ansatz der vollständigen Übertragung und im Unterschied zum Kontrollansatz sollte das Maß an Kommunikation stark von der Aufgabenkomplexität abhängen, also für wenig komplexe Aufgaben deutlich geringer sein als für komplexe Aufgaben. Inhaltlich sollte die Möglichkeit zur flexiblen Gestaltung der Interaktion mit einem hohen Anteil direkt lösungsrelevanter Kommunikationsinhalte einhergehen (z.B. Instruktionen). Dagegen sollten verständnisfördernde Äußerungen wie Erklärungen der eigenen Handlungen und verbales Feedback eher gering ausfallen, weil die relevante Information visuell und auf eine verständliche, bedürfnisgerechte Weise verfügbar gemacht wird.

### *TSA*

Das Konstrukt der TSA wird über Verhaltensmaße (z.B. Reaktion auf abweichende Information), geteilte mentale Modelle und eine retrospektive Begründung von Entscheidungen und Partnerhandlungen erfasst.

*Vollständige Übertragung.* Verglichen mit den anderen beiden Ansätzen sollte TSA geringer ausgeprägt sein. Dies ist bei Aufgaben von geringer Komplexität darin begründet, dass der FO autonom handeln kann und der CRO somit kaum in den Vorgang involviert ist. Bei komplexen Aufgaben sollte TSA besonders stark reduziert sein, weil vor allem seitens des FO Schwierigkeiten bei der Identifikation und dem Abruf der relevanten Information zu erwarten sind, wenn der CRO keine entsprechende Hilfestellung leistet. Ein hohes Maß an TSA sollte in komplexen Aufgaben daher nur unter erheblichem Kommunikationsaufwand möglich sein.

*Kontrolle.* Da die Partner gezwungen sind, einander kontinuierlich zu informieren, sollte ein hohes Maß an TSA zu beobachten sein. Der Unterschied zwischen Aufgaben mit geringer versus hoher Komplexität sollte vor allem in Relation zur vollständigen Übertragung gering sein.

*Adaption.* Auch hier sollte ein hohes Maß an TSA resultieren, weil die Partner im kontinuierlichen Dialog stehen und dabei wissen, was der andere tut und über welche Information er verfügt. Ähnlich wie im Kontrollansatz sollte TSA eine geringere Abhängigkeit von der Aufgabenkomplexität aufweisen als im Ansatz der vollständigen Übertragung.

### *Zusammenfassung der Hypothesen*

Adaption sollte vor allem bei komplexen Aufgaben vorteilhaft sein: Verhältnismäßig schnelle Lösungen sollten mit größtenteils problembezogenen Kommunikationsinhalten und einem hohen Maß an TSA einhergehen. In wenig komplexen Aufgaben hingegen sollte die vollständige Übertragung überlegen sein, da der Adoptionsansatz mit einer zusätzlichen Notwendigkeit zur Koordination einhergeht. Diese sollte sich in einer Erhöhung der benötigten Zeit und des Kommunikationsaufwandes niederschlagen. Andererseits sollte die vollständige Übertragung gerade durch dieses Einsparen von Kommunikation zu einem geringeren Grad an TSA führen. Der Grad an TSA im Adoptionsansatz sollte mit dem Kontrollansatz vergleichbar sein, weil beide Interaktionskonzepte die Partner kontinuierlich einbinden. Gleichzeitig sollte Adaption jedoch eine weniger aufwändige Kommunikation ermöglichen und damit schnellere Lösungen erlauben.

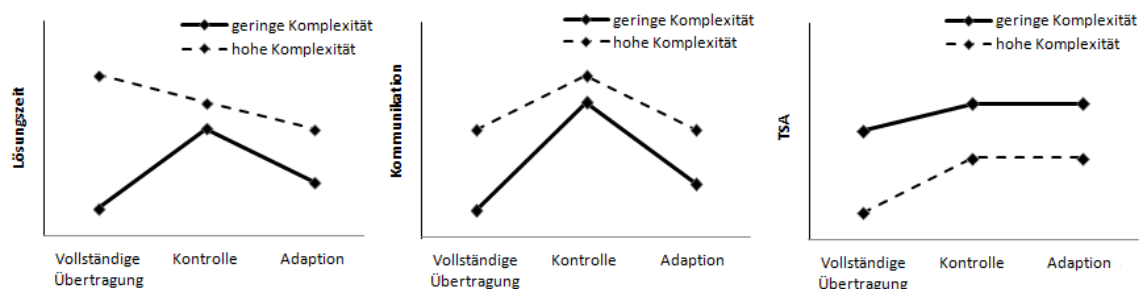


Abbildung 2. Erwartete Einflüsse der drei Interaktionskonzepte auf Lösungszeit, Kommunikation und TSA in Abhängigkeit von der Aufgabenkomplexität.

Neben der technischen Unterstützung entsprechend der Interaktionskonzepte werden auch strategische Entscheidungen der Teams einen maßgeblichen Einfluss auf die Befundmuster haben. Einerseits kann die Möglichkeit zum autonomen Handeln eine selbstgewählte Einschränkung von Kommunikation und Kooperation zur Folge haben (Müller, 2012). Andererseits können Kommunikationsprozesse durch die Verfügbarkeit sämtlicher Information für beide Partner mittels vollständig geteilter Displays intensiviert werden (Bolstad & Endsley, 2000). Solche gegensätzlichen Befunde lassen vermuten, dass sich auch im hier beantragten Projekt die Lösungszeiten, Kommunikation und TSA zwischen verschiedenen Teams unterscheiden werden. Wenn zum Beispiel bei vollständiger Übertragung anstelle einer autonomen Vorgehensweise der Kommunikationspartner auf freiwilliger Basis stark eingebunden wird, so sollte sich das Ergebnismuster dem des Adoptionsansatzes annähern.

Die vermittelte Kommunikation ist ein vielschichtiger Prozess, in dem jede Designentscheidung mit mehreren und teilweise gegensätzlichen Konsequenzen einhergeht. Zum Beispiel hat der Adoptionsansatz neben den erwarteten Vorteilen auch einen Mehraufwand hinsichtlich der notwendigen Entscheidungen und Abstimmung zur Folge. Bislang ist unklar, unter welchen Bedingungen die erzielbaren Vorteile eine solche Aufwandssteigerung rechtfertigen und kompensieren können und wie eine solche Kompensation aussehen kann. Insofern dienen die empirischen Untersuchungen nicht dem Nachweis der Überlegenheit dieses oder eines anderen Interaktionskonzeptes. Vielmehr soll ermittelt werden, unter welchen situativen Bedingungen die postulierten Vorteile tatsächlich auftreten können. Dies erfordert ein ausbalanciertes Experimentaldesign, das eine Untersuchung der Wechselwirkungen von Interaktionskonzept und Aufgabenmerkmalen erlaubt. Gleichzeitig ist es notwendig, vielfältige Leistungs- und Prozessmaße zu erheben und miteinander in Bezug zu setzen, um die verschiedenartigen Auswirkungen der Interaktionskonzepte

tiefgehend analysieren zu können. Auf diese Weise soll eine solide theoretische und empirische Basis geschaffen werden, auf der zukünftige praxisorientierte Untersuchungen und prototypische Umsetzungen technisch vermittelter Kommunikation zwischen Leitwarte und Feld in spezifischen Kontexten aufsetzen können.

## 2.3 Arbeitsprogramm inkl. vorgesehener Untersuchungsmethoden

### Übersicht über das Arbeitsprogramm

In Arbeitspaket 1 wird eine Anforderungsanalyse durchgeführt, um die spezifischen Probleme in der Kommunikation von CRO und FO herauszuarbeiten und die von den Partnern benötigte Information zu ermitteln. Es erfolgt eine detaillierte, umsetzungsorientierte Ausarbeitung der drei Interaktionsansätze und parallel dazu werden technische Vorarbeiten an der Versuchsanlage vorgenommen. Auf Basis der Ergebnisse aus Arbeitspaket 1 wird in Arbeitspaket 2 das System zur technischen Unterstützung konzipiert und in Form von drei Lösungsstrategien umgesetzt. Arbeitspaket 3 umfasst eine formative Evaluation im Rahmen einer Laborstudie mit studentischen Versuchspersonen. Diese Studie dient vor allem der Testung des Konzeptes und der Identifikation von Veränderungsbedarf an den Prototypen, damit diese eine möglichst reine Umsetzung der drei Interaktionskonzepte darstellen. Anschließend wird auf Basis der Befunde in Arbeitspaket 4 eine Modifikation der Prototypen vorgenommen. In Arbeitspaket 5 werden die Auswirkungen des Einsatzes der modifizierten Prototypen auf den kooperativen Problemlöseprozess betrieblicher Mitarbeiter experimentell untersucht.

Übergreifend wird für alle Arbeitspakete ein parallel-iterativer Entwicklungsprozess umgesetzt, der die Kompetenzen beider Antragsteller optimal einfließen lässt und eine effiziente Entwicklung der drei Prototypen in der geplanten Zeit ermöglicht (siehe *Abbildung 3*).

### Zeitplan für die Durchführung

Es erfolgt eine quartalsweise Planung der Arbeitspakete. Die Publikation der Ergebnisse erfolgt parallel zu den gelisteten Teilaufgaben und ist daher nicht explizit aufgeführt.

Tabelle 2. Zeitlicher Verlauf und Aufwände pro Arbeitspaket und Forschungsstelle in Personenmonaten.

AP	Beschreibung	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	PLT	IP	Σ
AP 1	Anforderungsanalyse und Systemkonzept	6	3											3	6	9
AP 2	Konzeption der Prototypen des Unterstützungssystems		3	6	6	6								12	9	21
AP 3	Laborstudie zum Test der Konzepte						6	3						3	6	9
AP 4	Modifikation der Prototypen							3	6	6				9	6	15
AP 5	Studie mit betrieblichen Mitarbeitern										6	6	6	9	9	18
Gesamt														36	36	72

### Arbeitspaket 1: Anforderungsanalyse und Systemkonzept

Im ersten Arbeitspaket erfolgt zunächst eine Anforderungs- und Problemanalyse. Dabei wird spezifiziert, welche konkreten Aufgabenszenarien Unterstützung benötigen, welche Probleme die Partner dabei im Detail haben, welche Information sie benötigen und welche Einschränkungen für die technische Umsetzung bestehen. Besonderer Wert wird dabei auf die spezifisch TSA-relevanten Informationselemente gelegt, die mittels zielbezogener Aufgabenanalyse (*Goal-Directed Task Analysis*, Endsley, Bolstad & Jones, 2003) erhoben werden. Dabei werden die Ziele und Unterziele kooperativer Fehlerdiagnoseaufgaben sowie die zu deren Erreichung notwendigen Entscheidungen und Informationselemente identifiziert. Folgende Methoden werden zur Analyse herangezogen:

- Aufgaben- und Fehlerklassifikation: Analyse von Forschungsliteratur und Unfallberichten, die auf einen Mangel an Kommunikation und TSA zurückgeführt werden können und Modellierung der Komplexitäts- und Koordinationsmerkmale.
- Experteninterviews: Mitarbeiter von Fabrikanlagen werden mittels teilstrukturierter Interviews zu häufig auftretenden Problemen und Schwierigkeiten in der Verständigung zwischen Leitwarte und Feld befragt.

In diesem Arbeitspaket werden zudem die technischen Voraussetzungen für die Evaluation der verteilten Szenarien mit FO und CRO geschaffen. In dem UPI-Labor werden in der Anlage weitere Kameras für die Beobachtung der Versuchspersonen installiert. Die visuellen (Helmkamera, Gerätekamera) und verbalen

Kommunikationskanäle des mobilen FO-Arbeitsplatz werden in das UPI-Lab integriert (siehe Abschnitt 4.1.2 Sachmittel).

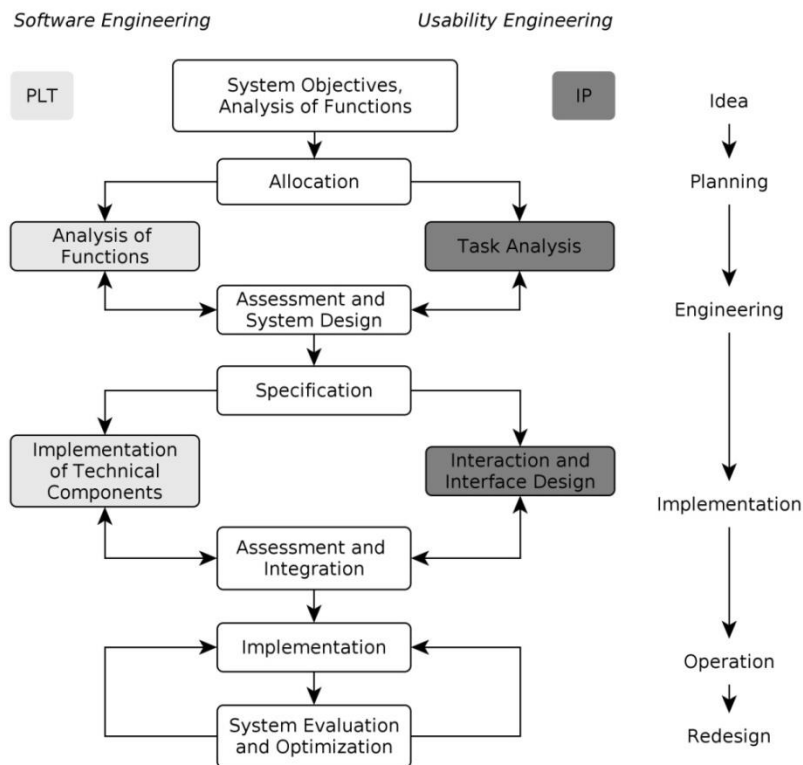


Abbildung 3. Parallel-iterativer Entwicklungsprozess (nach Urbas et. al., 2005). Kompetenzschwerpunkte der PLT sind hellgrau und der IP dunkelgrau gekennzeichnet. Die weiß gezeichneten Schritte werden kooperativ ausgeführt.

## Arbeitspaket 2: Konzeption der Prototypen des Unterstützungssystems

Aufbauend auf den Vorarbeiten der Professur für Prozessleittechnik werden drei Varianten als vertikale Prototypen entwickelt. Die Gestaltungsentscheidungen werden aus der Anforderungs- und Problemanalyse in Arbeitspaket 1 abgeleitet. Zur Förderung der Situationswahrnehmung wird den Nutzern ein visualisierter Handlungs- und Ereignis-Stream zur Verfügung gestellt. Möglichkeiten für Kommunikationshandlungen (Sprache, formalisierte Nachrichten, usw.) und die durch den Partner übermittelte Information (Position, betroffenes Gerät, Kamerabild, usw.) werden auf einem Zeitstrahl angeordnet, der je nach Ansatz, unterschiedliche Möglichkeiten, d.h. unterschiedliche Freiheitsgrade in der Auswahl der Kommunikationsakte, bietet. Die vollständige Übertragung ermöglicht beispielsweise eine weitgehend unidirektionale Bereitstellung von Information, für den Kontrollansatz müssen Schlüsselhandlungen rückbestätigt werden und der Adaptionsansatz ermöglicht die kooperative Aushandlung der erforderlichen Kommunikation. Aufgrund der Umsetzung als App-Ensemble und Nutzung der App-Orchestrierungstechnologie aus Vorarbeiten (Pfeffer et al., 2013), kann die Implementierung der technischen Komponenten getrennt von der Entwicklung des Interaktionsdesigns und der Benutzerschnittstelle (Interface) erfolgen, wie in *Abbildung 3* dargestellt. Ergebnis des Arbeitspaketes 2 sind drei Gestaltungsvarianten des Unterstützungssystems, jeweils für den Überwachungs-, Kontroll- und Adaptionsansatz, die aus einer Komponente für den CRO und für den FO bestehen.

## Arbeitspaket 3: Laborstudie zum Test der Konzepte

Im dritten Arbeitspaket erfolgt eine formative Evaluation der Prototypen, um noch auftretende Probleme und Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Die Spezifikation der in der Studie verwendeten Szenarien erfolgt basierend auf den Ergebnissen von Arbeitspaket 1. Unter Verwendung dieser Szenarien wird die Feinplanung des Untersuchungsdesigns vorgenommen. Die Durchführung der Studie erfolgt in den Laborräumen der Professur für Prozessleittechnik (siehe *Abbildung 1*). Die Versuchspersonen sind Studenten der Ingenieurwissenschaften, die bereits über Domänenwissen verfügen. Aufgrund ihrer Altersstruktur (ca. 20-25 Jahre), repräsentieren sie die Generation von Tablet- und Smartphone-affinen Mitarbeitern, die zukünftige mobile Informationssysteme nutzen werden. Ein Vorteil studentischer Teilnehmer in der formativen Phase des Projektes ist, dass bestimmte hypothesenfremde Einflüsse wie gewohnte Kommunikationspraxis und andere eingeschlifene Verhaltensweisen reduziert werden. Die erhobenen Daten werden zur Prüfung der formulierten Forschungshypothesen statistisch ausgewertet. Dabei wird

inferenzstatistisch geprüft, inwiefern die drei Ansätze unter den verschiedenen Aufgabenbedingungen zu Unterschieden in den abhängigen Variablen führen (siehe Tabelle 3). Weiterhin wird geprüft, welche hypothesenfremden Einflüsse (z.B. Usability-Probleme, ergonomische Aspekte, Erfahrung im Umgang mit Mobilgeräten) einen Einfluss auf die abhängigen Variablen haben, um diese in der Hauptstudie (Arbeitspaket 5) ausschließen oder kontrollieren zu können.

#### Untersuchungsdesign – Unabhängige Variablen

Vor Beginn des Experimentes durchlaufen die Teilnehmer eine Trainingsphase, um die Bedienung der Prototypen zu üben und ein stabiles mentales Situationsmodell aufbauen zu können. Die empirischen Untersuchungen werden mittels eines 3 x 2 Designs durchgeführt, in dem die unabhängigen Variablen Interaktionskonzept und die Komplexität der Aufgabe variiert werden. Das Interaktionskonzept (vollständige Übertragung, Kontrolle, Adaption) wird als Zwischensubjektfaktor variiert. Die Aufgabenkomplexität wird als Messwiederholungsfaktor in ausbalancierter Reihenfolge dargeboten. Die konkrete Ausgestaltung des komplexen und wenig komplexen Szenarios erfolgt in Anlehnung an theoretische Konzeptionen komplexer Problemlösesituationen (Dörner, 1976) auf Basis der Interviews in Arbeitspaket 1.

#### Datenerhebung – Abhängige Variablen

Zur Untersuchung der drei Interaktionskonzepte werden quantitative und qualitative Daten erhoben (siehe Tabelle 3). Dabei wird besonderer Wert auf eine tiefgreifende Analyse des *Prozesses* der kooperativen Fehlerdiagnose gelegt. Dies erfolgt durch eine Charakterisierung der einzelnen Handlungen beider Partner hinsichtlich ihrer Dauer, Art und Funktion im Rahmen der kooperativen Aufgabe. Zusätzlich wird die Team-Interaktion durch Experten unter Verwendung der *Behaviorally anchored rating scale* (BARS, Montgomery, Gaddy & Toquam, 1991) bewertet, welche kritische Verhaltensweisen erfasst, die eine gute Zusammenarbeit indizieren.

Die verbale Kommunikation der Partner wird aufgezeichnet und neben einer quantitativen Analyse auch hinsichtlich ihrer Funktion innerhalb des Dialoges untersucht. Eine solche funktionsbezogene Analyse ist wichtig, weil allein anhand der Menge gesprochener Worte nicht auf die Qualität der Kommunikation geschlossen werden kann. Oft geht eine durch technische Unterstützung verbesserte Zusammenarbeit sogar mit *mehr* Kommunikation einher (z.B. Biehl et al., 2007). Daher muss untersucht werden, welche Arten von Äußerungen sich zwischen den drei Gestaltungsansätzen unterscheiden (z.B. Erklärungen, Auflösung von Missverständnissen).

TSA wird in diesem Projekt durch eine Kombination mehrerer Verfahren erfasst, die auf unterschiedliche Abschnitte im Entscheidungs- und Handlungsprozess fokussieren. Dabei werden möglichst tätigkeitsnahe Maße verwendet, indem kritische Ereignisse induziert werden (z.B. Information in der Leitwarte über plötzlichen Druckverlust an Gerät X), auf welche die Personen nur bei hinreichendem Situationsbewusstsein adäquat reagieren können. Um spezifisch auf die geteilten Informationsbestandteile und die gegenseitige Verständigung eingehen zu können, werden Fehler im Kommunikationsprozess induziert (z.B. Übertragung eines nicht plausiblen Messwertes). Diese Fehler werden so gewählt, dass sie nur bemerkt werden können, wenn klar ist über welche Information der Partner verfügt. Die Partner können diese Fehler beheben, indem sie deren Entdeckung auf ihrem Gerät angeben, was zu einer automatischen Korrektur führt. Es wird die Reaktionszeit vom Erscheinen des Fehlers bis zu dessen Beseitigung gemessen. Im Anschluss an die Bearbeitung der Aufgaben werden mentale Modelle über Strukturlegemethoden erfasst (*SMD-Technologie*, Ifenthaler 2006). Dies wird ergänzt durch retrospektives lautes Denken bei der Betrachtung kritischer Ereignisse in Videoaufzeichnungen der gemeinsamen Arbeit. Die Befragungen erfolgen auf Basis der *Critical Decision Method* (CDM Interview, Klein, Calderwood & Macgregor, 1989).

Tabelle 3: Relevante Maße der Kooperation zwischen CRO und FO und deren Operationalisierung in abhängige Variablen

Maß	Abhängige Variablen (AV)	Unterteilung der AV	Beispiele
Leistung	Lösungszeit	Gesamte Lösungszeit der Aufgabe	
		Dauer von Einzelhandlungen	Identifizieren des Problems, Ausprobieren von Lösungswegen, Überprüfen der Lösung
	Fehler	Anzahl und Art der Fehler	Auslassungsfehler, Verwechslungsfehler
Handlungen	Bedienung der Anlage und des mobilen Gerätes	Anzahl der Einzelhandlungen	
		Kategorien von Einzelhandlungen	Verstellen von Parametern, Starten und Beenden von Prozessen, Informationssuche, Eingabe
		Vergleich zu normativen Bedienmodellen	Abkürzungen, Sackgassen

	Gemeinsames Handeln	Anzahl getesteter Hypothesen	
		Zieldienlichkeit der Testvorgänge (Expertenratings)	
Kooperation und Koordination	Zusammenwirken als Team	Behaviorally anchored rating scale (BARS, Montgomery et al., 1991)	Aufgabenfokus/Entscheiden, Koordination, Kommunikation, Offenheit, Teamgeist
	Verbale Kommunikation	Anzahl der Wörter	
		Äußerungskategorien	Instruktionen, Erklärungen, Feedback, Fragen
		Verbale Verhaltensweisen	Sprecherwechsel, Unterbrechungen
TSA	Verhaltens-maße	Reaktionen auf kritische Ereignisse	Vorhandensein der Reaktion, Reaktionszeit
		Reaktionen auf abweichende, nicht instruierte oder unvollständige Information	Zeit bis zum Entdecken, Signalentdeckungs-Maße, Kommunikation über die Abweichungen
	Geteilte mentale Modelle	Strukturlegemethoden (SMD-Technologie, Ifenthaler & Seel, 2005)	Übereinstimmung der Selbst- und Fremdmodelle von CRO und FO
	Retrospektiv	Kritische Ereignisse via Critical Decision Method (CDM Interview, Klein et al. 1989)	Begründung von Handlungen und Entscheidungen, Annahmen über Partnerhandlungen
Subjektive Maße	Bewertung der Aufgabe	Workload via NASA TLX	Mentale, physische und zeitliche Belastung, Leistung, Aufwand und Frustration
		Rating auf selbstkonstruiertem Fragebogen	Sonstige Aufgabenbewertung
	Bewertung des Prototypen	Rating auf selbstkonstruiertem Fragebogen	Nutzungshürden und Schwierigkeiten
		Ergänzendes, freies Interview	Nutzungshürden und Schwierigkeiten
System-Zustand	Werte verschiedener Variablen	Allgemeine Höhe der Werte	Logging in regelmäßigen zeitlichen Abständen (z.B. alle 15 Sekunden)
		Besonderheiten und Abweichungen	Gefahrenpotential, Ausnahmeereignisse

#### Arbeitspaket 4: Modifikation der Prototypen

Basierend auf den Ergebnissen der formativen Studie aus AP3 werden die Prototypen modifiziert. Hypothesenfremde Einflüsse (z.B. Usability-Probleme) werden beseitigt, um den Einfluss identifizierter Störgrößen zu verringern. Die Prototypen werden so angepasst, dass Unterschiede zwischen ihnen so weit wie möglich nur noch darin liegen, wie sie die Kommunikation und Kooperation zwischen CRO und FO beeinflussen, also in ihrer Spezialisierung auf vollständige Übertragung sowie den Kontroll- oder Adaptionsansatz. Im parallel-iterativen Entwicklungsprozess befinden wir uns mit diesem Arbeitspaket im Systemoptimierungszyklus (siehe *Abbildung 3*).

#### Arbeitspaket 5: Studie mit betrieblichen Mitarbeitern

Im letzten Schritt wird der modifizierte Prototyp im Rahmen einer Laborstudie evaluiert. Die Untersuchungsmethodik entspricht weitgehend der aus Arbeitspaket 3, wird aber entsprechend der dort beobachteten Probleme und der gewonnenen Erkenntnisse angepasst, um einen methodisch sauberen Vergleich der drei Interaktionskonzepte zu gewährleisten. Am Ende der Studie werden Aussagen über die Auswirkungen der drei Ansätze auf Leistung, Kommunikation und TSA bei der Koordination gemeinsamer Fehlerdiagnoseprozesse getroffen.

Die Studie wird mit betrieblichen Mitarbeitern durchgeführt, um die Anwendbarkeit der in den vorangegangenen Arbeitspaketen entwickelten Konzepte auf die aktuelle Population von Mitarbeitern in der Prozessführung zu prüfen. Dazu wird das Usability-Labor mobilisiert und in Zusammenarbeit mit Industriepartnern in der Nähe der Industriestandorte aufgebaut. Sowohl die Labortechnik und die Leitwarte als auch eine modulare Prozessanlage werden in die räumliche Nähe der Versuchsteilnehmer gebracht. Die Teilnehmer können direkt vor oder nach der Arbeit, sowie in der Mittagspause ohne große Zeitverluste an der Studie teilnehmen. Auf diese Weise ist es möglich, zu vertretbaren Kosten eine ausreichende Zahl von erfahrenen CRO und FO für die Studie zu gewinnen. Es ist geplant 2-3 Industriestandorte aufzusuchen - von BASF/Schwarzheide, PCK/Schwedt und WACKER/Nünchritz liegen Interessensbekundungen vor, an diesen Experimenten mitzuwirken.

### 2.4 Umgang mit den im Projekt erzielten Forschungsdaten

Die Forschungsergebnisse werden durch wissenschaftliche Publikationen in Form von Konferenzbeiträgen und Zeitschriftenartikeln zur Verfügung gestellt.

## 2.5 Weitere Angaben

Entfällt

## 2.6 Erläuterungen zu den vorgesehenen Untersuchungen bei Versuchen an Menschen oder an vom Menschen entnommenem Material oder Tieren

Entfällt

## 2.7 Erläuterungen zur inhaltlichen und finanziellen Projektbeteiligung von Kooperationspartnern im Ausland

Entfällt

## 3 Literaturverzeichnis

- Anokhin, A. N., & Pleshakova, N. V. (2009). Study of verbal communication between nuclear plant control room operators during abnormal situations. In *Contemporary Ergonomics 2009: Proceedings of the International Conference on Contemporary Ergonomics 2009* (S. 135).
- Biehl, J. T., Czerwinski, M., Smith, G., & Robertson, G. G. (2007). FASTDash: A Visual Dashboard for Fostering Awareness in Software Teams. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 1313–1322). New York, NY, USA: ACM.
- Bly, S. A. (1988). A Use of Drawing Surfaces in Different Collaborative Settings. In *Proceedings of the 1988 ACM Conference on Computer-supported Cooperative Work* (S. 250–256). New York, NY, USA: ACM.
- Bolstad, C. A., & Endsley, M. R. (1999). Shared Mental Models and Shared Displays: An Empirical Evaluation of Team Performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 43(3), 213–217.
- Bolstad, C. A., & Endsley, M. R. (2000). The Effect of Task Load and Shared Displays on Team Situation Awareness. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44(1), 189–192.
- Boyle, E. A., Anderson, A. H., & Newlands, A. (1994). The Effects of Visibility on Dialogue and Performance in a Cooperative Problem Solving Task. *Language and Speech*, 37(1), 1–20.
- Brennan, S. E., & Clark, H. H. (1996). Conceptual pacts and lexical choice in conversation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(6), 1482–1493.
- Bullemer, P. T., & Reising, D. V. (2013). *Improving the Operations Team Situation Awareness: Lessons Learned from Major Process Industry Incidents*. Presented at the American Fuel & Petrochemical Manufacturers Annual Meeting 2013, San Antonio, TX.
- Clark, H. H., & Brennan, S. E. (1991). Grounding in communication. In L. B. Resnick & J. M. Levine (Eds.), *Perspectives on socially shared cognition* (S. 127–149). Washington, DC: APA Books.
- Clark, H. H., & Krych, M. A. (2004). Speaking while monitoring addressees for understanding. *Journal of Memory and Language*, 50(1), 62–81.
- Clark, H. H., & Wilkes-Gibbs, D. (1986). Referring as a collaborative process. *Cognition*, 22(1), 1–39.
- Crowl, D. A. (2007). *Human Factors Methods for Improving Performance in the Process Industries*. Wiley.
- Doherty-Sneddon, G., Anderson, A., O'Malley, C., Langton, S., Garrod, S., & Bruce, V. (1997). Face-to-face and video-mediated communication: A comparison of dialogue structure and task performance. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3(2), 105–125.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz: Kohlhammer.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 32–64.
- Endsley, M. R. (1996). Automation and situation awareness. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and human performance: Theory and applications* (S. 163–181). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Endsley, M. R., Bolstad, C. A., Jones, D. G., & Riley, J. M. (2003). Situation awareness oriented design: From user's cognitive requirements to creating effective supporting technologies. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 47, S. 268–272). SAGE Publications.
- Fischer, A., Greiff, S., & Funke, J. (2012). The Process of Solving Complex Problems. *The Journal of Problem Solving*, 4(1), 19–42.
- Fish, R. S., Kraut, R. E., Root, R. W., & Rice, R. E. (1992). Evaluating Video As a Technology for Informal Communication. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 37–48). New York, NY, USA: ACM.
- Fussell, S. R., Kraut, R. E., & Siegel, J. (2000). Coordination of Communication: Effects of Shared Visual Context on Collaborative Work. In *Proceedings of the 2000 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work* (S. 21–30). New York, NY, USA: ACM.
- Fussell, S. R., Setlock, L. D., & Kraut, R. E. (2003). Effects of Head-mounted and Scene-oriented Video Systems on Remote Collaboration on Physical Tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 513–520). New York, NY, USA: ACM.



- Hanna, J. E., & Brennan, S. E. (2007). Speakers' eye gaze disambiguates referring expressions early during face-to-face conversation. *Journal of Memory and Language*, 57(4), 596–615.
- Heinath, M. (2009). *Hierarchical Task Analysis Mapper: Mustergestützte Erstellung kognitiver Modelle zur Evaluation von Mensch-Maschine-Systemen*. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Idaszak, J. R. (1989). Human Operators in Automated Systems: The Impact of Active Participation and Communication. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 33(13), 778–782.
- Ifenthaler (2006). *Diagnose lernabhängiger Veränderung mentaler Modelle*. Dissertation, ALU Freiburg
- Ifenthaler, D., & Seel, N.M. (2005). The measurement of change: Learning dependent progression of mental models. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 2(4), 317–336
- Kaber, D. B., & Endsley, M. R. (1998). Team situation awareness for process control safety and performance. *Process Safety Progress*, 17(1), 43–48.
- Klein, G. A., Calderwood, R., & MacGregor, D. (1989). Critical decision method for eliciting knowledge. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 19(3), 462–472.
- Kohler, P., Pannasch, S., & Velichkovsky, B. M. (2009). Enhancing Mutual Awareness, Productivity, and Feeling: Cognitive Science Approach to Design of Groupware Systems. In *Future Interaction Design II* (S. 31–53). Springer.
- Kraut, R. E., Gergle, D., & Fussell, S. R. (2002). The Use of Visual Information in Shared Visual Spaces: Informing the Development of Virtual Co-presence. In *Proceedings of the 2002 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work* (S. 31–40). New York, NY, USA: ACM.
- Lai, F., Spitz, G., & Brzezinski, P. (2006) Gestalt operating room display design for perioperative team situation awareness. In *Proceedings Medicine Meets Virtual Reality 14* (S. 282–284). IOS Press
- Lüdtke, A., Leuchter, S., & Urbas, L. (2007). Interoperable human performance modelling of distributed cognitive agents. In *Proceedings 10th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems* (S. 84–89). IFAC 2005
- Marshall, C. R., & Novick, D. G. (1995). Conversational effectiveness in multimedia communications. *Information Technology & People*, 8(1), 54–79.
- Montgomery, J., Gaddy, C., & Toquam, J. (1991). Team interaction skills evaluation criteria for nuclear power plant control room operators. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 35, S. 918–922). SAGE Publications.
- Parush, A., Kramer, C., Foster-Hunt, T., Momtahan, K., Hunter, A., & Sohmer, B. (2011). Communication and team situation awareness in the OR: Implications for augmentative information display. *Journal of Biomedical Informatics*, 44(3), 477–485.
- Reigstad, M., & Droivoldsmo, A. (2003). Wearable control rooms: New technology can change collaboration, communication and information flow in future field operations. In *Proceedings of EAM 2003, the 22nd European Conference on Human Decision Making and Manual Control* (S. 57).
- Roth, E. M., Lin, L., Thomas, V. M., Kerch, S., Kenney, S. J., & Sugibayashi, N. (1998). Supporting Situation Awareness of Individuals and Teams Using Group View Displays. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 42(3), 244–248.
- Schober, M. F., & Clark, H. H. (1989). Understanding by addressees and overhearers. *Cognitive Psychology*, 21(2), 211–232.
- Sebok, A. (2000). Team performance in process control: influences of interface design and staffing levels. *Ergonomics*, 43(8), 1210–1236.
- Skourup, C., & Reigstad, M. (2002). Operators in Process Industry: Interaction with Wearable Computers. *Cognition, Technology & Work*, 4(4), 245–255.
- Späth, O. (2003). *Konfliktlösungsstrategien in der Streckenflugkontrolle: ein hybrides Modell zur Generierung fluglotsenkompatibler Konfliktlösungen*. Dissertation, TU Berlin. Köster Verlag
- Tanenhaus, M. K., Chambers, C. G., Hanna, J. E., & Hall, M. (2013). Referential domains in spoken language comprehension: Using eye movements to bridge the product and action traditions. In *The interface of language, vision, and action* (S. 279–317). Psychology Press.
- Urbas, L., Beu, A., & Jacob, F. (2005). Der Nutzer steht im Mittelpunkt - Usability in der Industrie. In *Jahrbuch Elektrotechnik* (S. 10–15). VDE-Verlag 2005.
- Van Daele, A. (1993). Coping with complexity in process control: the effects of cooperation. In *Proceedings International Conference on Systems, Man and Cybernetics - Systems Engineering in the Service of Humans* (Vol. 3, S. 361–366). IEEE
- Whittaker, S. (1995). Rethinking video as a technology for interpersonal communications: theory and design implications. *International Journal of Human-Computer Studies*, 42(5), 501–529.
- Whittaker, S. (2003). Things to Talk About When Talking About Things. *Human-Computer Interaction*, 18(1-2), 149–170.
- Whittaker, S., Brennan, S. E., & Clark, H. H. (1991). Co-ordinating Activity: An Analysis of Interaction in Computer-supported Co-operative Work. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 361–367). New York, NY, USA: ACM.
- Wickens, C. D. (2008). Situation Awareness: Review of Mica Endsley's 1995 Articles on Situation Awareness Theory and Measurement. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 397–403.

## 4 Beantragte Module und Mittel

### 4.1 Basismodul

#### 4.1.1 Personalmittel

*Doktorandin/ Doktorand und Vergleichbare*

Anzahl	Dauer	Qualifikation	Kosten (Netto)
PLT			
1	36 Monate	Doktorandin/Doktorand, überdurchschnittlicher Abschluss des Studienganges Automatisierungstechnik oder Informationssystemtechnik oder vergleichbar	176.500 €
IP			
1	36 Monate	Doktorandin/Doktorand, Abschluss des Studienganges Psychologie oder vergleichbar, Kenntnisse in experimenteller Methodik und statistischer Datenauswertung	176.500 €
<b>Summe</b>			<b>353.000,00 €</b>

*Hilfskräfte (wissenschaftliche und studentische)*

Dauer	Vergütung	Begründung	Kosten (Netto)
PLT			
36 Monate 40h/Monat	SHK	Unterstützung bei der technischen Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Usability-Evaluation	12.300 €
IP			
36 Monate 40h/Monat	SHK	Unterstützung bei Literaturrecherche und Anforderungsanalyse sowie der Versuchsplanung, Studiendurchführung und Datenauswertung	12.300 €
<b>Summe</b>			<b>24.600 €</b>

#### 4.1.2 Sachmittel

##### 4.1.2.1 Mittel für Geräte bis 10.000,- EUR, Software und Verbrauchsmaterial

AP	Beschreibung	Kosten (Netto)
3 Laborstudie	2 On-Device-Kameras	2.000 €
	2 IP-Kameras, WLAN, schwenkbar	1.600 €
	1 Action-Cam für den FO	200 €
	2 Bluetooth Head-Sets für FO und CRO	450 €
5 Studie mit betrieblichen Mitarbeitern	Laptop für mobiles UPI-Lab	1.500 €
	2 transportable Projektor-Leinwände	800 €
	2 transportable Projektoren für die Leitwarte	4.000 €
	Kabelmaterial und technisches Zubehör	1.000 €
<b>Summe</b>		<b>11.550 €</b>

##### 4.1.2.2 Reisemittel

Es besteht folgender Zuwendungsbedarf für Konferenzreisen.

PLT: Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Industrial electronics conference (IECON), Industrial Informatics (INDIN), USEWARE

IP: Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP), Tagung der Gesellschaft für Kognitionswissenschaften (KogWis), Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (HFES)

Kosten für Reisen	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	Summe
Professur für Prozessleittechnik	3.000 €	3.000 €	3.000 €	9.000 €
Professur für Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung	3.000 €	3.000 €	3.000 €	9.000 €
<b>Summe</b>				18.000 €

#### 4.1.2.3 Mittel für wissenschaftliche Gäste (ausgenommen Mercator-Fellow)

Entfällt

#### 4.1.2.4 Mittel für Versuchstiere

Entfällt

#### 4.1.2.5 Sonstige Mittel

AP	Beschreibung	Kosten (Netto)
3 Laborstudie	Es werden Aufwandsentschädigungen in Höhe von 7,50 € pro Stunde für Studenten vergeben.  2x45 Versuchspersonen (3 Gruppen) à 4 Stunden für Studie 1	2.700 €
5 Studie mit betrieblichen Mitarbeitern	Für betriebliche Mitarbeiter werden Aufwandsentschädigungen von 15 € pro Stunde vergeben.  2x45 Versuchspersonen (3 Gruppen) à 2 Stunden für Studie 2	2.700 €
	Miete für Transporter für das Usability-Labor (ca. 30 Tage)	2.500 €
	Benzinkosten	300 €
	Übernachungskosten (ca. 10 Übernachtungen)	760 €
<b>Summe</b>		8.960 €

#### 4.1.2.6 Publikationsmittel

Für die geplanten Publikationen werden pro Jahr und Forschungsstelle 750,- Euro beantragt. Diese werden insbesondere für die Bearbeitungskosten in open access Medien verwendet.

#### 4.1.3 Investitionsmittel

Keine, siehe Ausstattung der Forschungsstellen

### 5 Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens

#### 5.1 Angaben zur Dienststellung

Leon Urbas, Prof. Dr.-Ing. habil., Universitätsprofessor

Technische Universität Dresden, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Professur für Prozessleittechnik

01062 Dresden

Sebastian Pannasch, Prof. Dr. rer. nat., Universitätsprofessor

Technische Universität Dresden, Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften

Professur für Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung

01062 Dresden

## 5.2 Angaben zur Erstantragstellung

Entfällt

## 5.3 Zusammensetzung der Projektarbeitsgruppe

An der Professur für Prozessleittechnik werden folgende Personen am Forschungsprojekt mitarbeiten:

Name	Akadem. Grad	Dienststellung	Finanzierung
Leon Urbas	Prof. Dr.-Ing.	Universitätsprofessor, wissenschaftliche Projektleitung	Haushalt PLT
Norbert Kindermann	Dipl.-Ing.	Werkstatt	Haushalt PLT
Katrin Kindermann		Sekretärin	Haushalt PLT

An der Professur Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung werden folgende Personen am Forschungsprojekt mitarbeiten:

Name	Akadem. Grad	Dienststellung	Finanzierung
Sebastian Pannasch	Prof. Dr. rer. nat.	Universitätsprofessor	Haushalt IP
Constanze Liebers	Dipl.-Math.	Sekretärin	Haushalt IP

## 5.4 Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern

### 5.4.1 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, mit denen für dieses Vorhaben eine konkrete Vereinbarung zur Zusammenarbeit besteht.

Entfällt

### 5.4.2 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, mit denen in den letzten drei Jahren wissenschaftlich zusammengearbeitet wurde.

Die Professur für Prozessleittechnik arbeitet mit folgenden Wissenschaftlern zusammen: Fay, A. (Helmut Schmidt Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg), Karragianis, D. (Universität Wien), Molle-kopf, N. (Technische Universität Dresden), Wozny, G. (Technische Universität Berlin), Wollschlaeger, M. (Technische Universität Dresden)

Die Professur für Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung arbeitet mit folgenden Wissenschaftlern zusammen: Bednarik, R. (University of Eastern Finland), Janczyk, M. (Universität Tübingen), Kammer, D. (Technische Universität Dresden), Pfister, R. (Universität Würzburg), Velichkovsky, B.M. (Lomonossov Universität Moskau)

## 5.5 Apparative Ausstattung

- UPI-Lab (Labor für Usability für die Prozessindustrie). Voll ausgestattetes Usability Labor mit Audio-/Videoaufzeichnung, Bildschirmaufzeichnung, Videoprojektion, Beobachterarbeitsplatz und Auswertungssoftware.
- Leitwarte mit Engineering- und Operator-Station als Arbeitsplatz für den CRO
- Modulare Prozessanlage als Arbeitsumgebung für den FO

## 5.6 Projektrelevante Zusammenarbeit mit erwerbswirtschaftlichen Unternehmen

Entfällt

## 5.7 Projektrelevante Beteiligungen an erwerbswirtschaftlichen Unternehmen

Entfällt

## 6 Ergänzende Erklärungen

Entfällt