



DIPLOMARBEIT

zum Thema

Kollaborative Problemlösung in modularen Anlagen mittels
persönlicher digitaler Assistenz

vorgelegt von Meret Feldkemper
im Studiengang Mechatronik, Jg. 2013
geboren am 28.07.1994 in Dortmund

zur Erlangung des akademischen Grades einer
Diplomingenieurin
(Dipl.-Ing.)

Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Heinze
Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas
Tag der Einreichung: 02.05.2019



Aufgabenstellung für die Diplomarbeit

für

Frau Meret Feldkemper, Matr.Nr. 3951915, Studiengang MT 2013

Kollaborative Problemlösung in modularen Anlagen mittels persönlicher digitaler Assistenz

Forschungslücke

Die modulare Automation beschleunigt den digitalen Wandel in der Prozess- und Fertigungsindustrie und ermöglicht neue Betriebs- und Bedienparadigmen. Nicht nur im fehlerfreien Anlagenbetrieb, sondern auch in den hochgradig komplexen und kooperativen Aufgaben während der Fehlersuche sind Assistenzfunktion auf Basis des digitalen Abbilds einer Anlage denkbar. 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. Die Professur für Prozessleittechnik und Arbeitsgruppe für Systemverfahrenstechnik untersucht im Rahmen des Forschungsprojektes PlantCom diese Kommunikation.

Zielsetzung

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Untersuchung geeigneter Interaktionsmechaniken und der benötigten Informationen zur Unterstützung der einzelnen Mitarbeiter in der Störungsdiagnose mittels persönlicher digitaler Assistenzsysteme. Die Ergebnisse der Untersuchung sollen an einer prototypischen Implementierung unter Zuhilfenahme des P2O Labs der TU Dresden demonstriert und verifiziert werden.

Arbeitspakete

1. Literaturrecherche zur Kommunikation in der kollaborativen Störungsdiagnose und digitaler Assistenten
2. Analyse möglicher Informationsbedarfe, Informationsanpassungen und Interaktionsmechaniken zum Austausch in einem kollaborativen Problemlöseprozess mit einem digitalen Assistenten
3. Entwurf & prototypische Implementierung eines Demonstrators für die zuvor erarbeiteten Konzepte
4. Validierung/ Verifikation der Ergebnisse

Die Arbeit wird in deutscher Sprache verfasst.

Betreuer:

Dipl.-Ing. Sebastian Heinze

1. Prüfer:

Prof. Dr.-Ing. habil. Urbas

2. Prüfer:

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Jens Krzywinski

Datum Arbeitsbeginn:

22.11.18

Einzureichen am:

02.05.19



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**



Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik Institut für Automatisierungstechnik

Kollaborative Problemlösung in modularen Anlagen mittels persönlicher digitaler Assistenz

Kurzfassung

Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Heinze
Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas
Tag der Einreichung: 02.05.2019

DIPLOMARBEIT

Bearbeiter: Meret Feldkemper



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**



Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik Institut für Automatisierungstechnik

Collaborative problem solving in modular plants with personal digital assistance

Abstract

Tutor: Dipl.-Ing. Sebastian Heinze
Supervisor: Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas
Day of Submission: 02.05.2019

DIPLOMA THESIS

Author: Meret Feldkemper

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	2
2.1	Prozessindustrie	2
2.1.1	Prozessautomatisierungssystem	2
2.1.2	Modulare Anlagen	3
2.2	Problemlösen	4
2.2.1	Unterscheidung von Problemen	5
2.2.2	Arten von Problemlösern	7
2.2.3	Einflüsse	7
2.2.4	Phasen des Problemlösens	9
2.2.5	Störungsdiagnose	10
2.3	Kollaboration	11
2.4	Kommunikation	11
2.5	Assistenz	12
2.5.1	Anforderungen an digitale Assistenzsysteme	12
2.5.2	Einsatz von digitaler Assistenz	13
2.5.3	Assistenzsysteme	14
2.6	Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen	17
2.6.1	Ergonomisch gute Gestaltung	17
2.6.2	User Experience	19
2.6.3	Individualisierung	19
2.7	Adaptive Systeme	21
2.7.1	Multiagentensysteme	22
2.7.2	Modellgestütztes User Interface	23
3	Analyse	24
3.1	Informationsbedarf	24
3.1.1	Modulare Anlage	24
3.1.1.1	Informationsaustausch mittels MTP	24
3.1.1.2	Services	25
3.1.1.3	Probleme in modularen Anlagen	26
3.1.2	Use Case	27

3.1.3	Informationen nach Aufgabenbereich	27
3.1.4	Informationsbedarf der Operator	29
3.1.4.1	•	29
3.2	Informationsanpassung	30
3.2.1	Individualisierung für den Menschen	30
3.2.2	Anpassung an die Aufgabe	30
3.3	Interaktionsmechaniken	31
3.4	Anforderungen an das Assistenzsystem	31
4	Konzept	32
4.1	Konzeptuelles Design	32
4.2	physikalisches Design	32
5	Implementierung	33
6	Verifikation	34
7	Zusammenfassung	35
8	Ausblick	36
Anhang A	Anhang	38
Literaturverzeichnis		39

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

2.1	Interaktionsmöglichkeiten mit einem Assistenzsystem	15
2.2	Interaktionssysteme zur Bereitstellung von Informationen . .	16
3.1	Ebenen in einem Unternehmen bei Führung technischer Prozesse	28

Quelltextverzeichnis

1 Einleitung

Durch voranschreiten der Automatisierung in der Prozessführung sind Operator vor allem in kritischen Situationen für Entscheidungen verantwortlich [Bai83]. Der Mensch trifft seine Entscheidungen anhand von Beobachtungen und Erfahrungen. Da die Komplexität der Verfahren zur Produktion zunimmt ist es schwierig bei auftretenden Störungen alle Faktoren zu kennen und zu überblicken.

Neben der Automatisierung verändern auch die entwickelten Modularisierungskonzepte für die Prozessindustrie die Aufgaben beim Betrieb der Anlage. Bei der Modularisierung besteht die Prozessanlage aus ein oder mehr Modulen, die eine verfahrenstechnische Funktion erfüllen und mittels Services gesteuert werden. „Um dem Bedien- und Wartungspersonal Eingriffsmöglichkeiten zu geben, muss der Bezug zwischen örtlicher Kennzeichnung, innerhalb des Moduls und der Kennzeichnung im übergeordneten Automatisierungssystem bekannt gemacht werden.“ [Obs+13]

Assistenzsysteme können hier eine geeignete Unterstützung bieten [BHVH07]. Dabei ist zu beachten, dass der Mensch nicht als Lückenbüßer verwendet wird, der alle Aufgaben übernehmen muss mit denen das Automatisierungssystem überfordert ist. Die Kompetenzen des Menschen sind zu würdigen und mit zusätzlichen Informationen aus dem Prozess zu ergänzen. [Wei+18]

Zitat
korrigie-
ren (Teil
eines
Buchs)

2 Stand der Technik

Dieses Kapitel umfasst die wesentlichen Grundlagen für ein besseres Verständnis der Arbeit und die bereits vorhandenen Konzepte für eine mögliche Umsetzung der Problemstellung. Da sich das Thema der Arbeit mit dem Bereich der modularen Anlagen beschäftigt werden zunächst die Grundlagen der Prozessautomatisierung und darauf aufbauend das Konzept der modularen Anlagen erläutert.

Für ein umfassendes Verständnis

2.1 Prozessindustrie

Die Prozessindustrie umfasst viele verschiedene Branchen. Unter anderem die Chemie-, Pharmazie-, Öl- und Gas- oder Papierindustrie. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der individuellen Risiken, der Prozess und Anlagen voneinander. Dennoch gibt es einige Konzepte, die für alle Bereiche gültig sind.

- **Grundoperationen:** Eine Grundoperation ist ein einfacher chemischer oder physikalischer Vorgang, wie filtrieren oder separieren.
- **Batchprozesse:** Der Prozess wird in einzelne Schritte eingeteilt, die einem Rezept folgen.
- **Kontinuierliche Prozesse:** Die Materialzufuhr erfolgt kontinuierlich an mehrere Teilanlagen. Jede Teilanlage führt einen einzelnen Arbeitsschritt durch.

2.1.1 Prozessautomatisierungssystem

Die Prozessautomatisierung umfasst die Automatisierung technischer Prozesse und kann sich aus folgenden Bestandteilen zusammen setzen:

- **Sensoren und Aktoren:** Sind die Schnittstelle zwischen dem Automatisierungssysteme und dem zu automatisierenden technischen System.

- **Kommunikationssystem:** Umfasst sowohl das prozessnahe Bus-System als auch das Bus-System zum Informationsaustausch zwischen den Rechnern.
- **Automatisierungs-Computersystem:** Sind das für die Automatisierung eingesetzten Rechner. Bei jedem Rechner muss zwischen dem Hardware- und dem Softwaresystem unterschieden werden.
- **Fest verdrahtete Einzelgeräte:** Dies können beispielsweise Sicherheitseinrichtungen, Back-up-Regler oder Relaissteuerungen sein.
- **Einrichtungen für die Mensch-Prozess-Kommunikation:** Dies können beispielsweise Bildschirme, Anzeige- und Meldegeräte oder Tastaturen sein.
- **Prozessbedienpersonal:** Verfolgt das Prozessgeschehen und leitet und beeinflusst die Vorgänge.

2.1.2 Modulare Anlagen

Das Konzept der Modularisierung findet vor allem in der verfahrenstechnischen Industrie Anwendung. Treibender Faktor ist dabei eine erhöhte Flexibilität und eine Beschleunigung von Konzeption, Engineering, Aufbau und Inbetriebnahme der Anlage[Urb+12]. Ein Modul ist eine geschlossene funktionale Einheit und stellt eine verfahrenstechnische Grundoperation als Dienst der Prozessführungsebene (PFE) zur Verfügung. Die Grundfunktionalitäten der PFE müssen unterstützt werden. [Ber+16]

- **Mensch-Maschine-Schnittstelle:** Übertragung der Daten zur Anzeige und Bedienung
- **Steuern und Überwachen:** Übertragung der internen Zustände des Moduls

In der Namur-Empfehlung NE 148 [NAM13] ist beschrieben, welche Daten an das übergeordnete Automatisierungssystem übertragen werden und welche dem Modullieferanten zur Wartungsunterstützung zur Verfügung stehen. Die Daten für das übergeordnete Automatisierungssystemen umfassen unter anderem die Verriegelungs-, Steuerungs- und Regelungsstruktur, die Prozess- und Sollwerte sowie den Status des Moduls / der Services. Für die Wartungsunterstützungen werden nur hersteller- und modulspezifische und keine prozessspezifischen Daten übertragen.

Die Funktionalitäten der Module sind in Services gekapselt und werden zustandsbasiert gesteuert. Im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen kann im automatisierten Betrieb nicht mehr auf die einzelnen Aktoren zugegriffen werden. Jeder Service kann 16 verschiedene Zustände mit entsprechenden Zustandsübergängen annehmen (siehe Bild x) .

Bild ein-
fügen

Die Services können nicht nur modulintern, sondern auch modulübergreifend Abhängigkeiten aufweisen. Die Abhängigkeiten werden in 4 Relationen eingeteilt.

- **Allow:** Service 2 darf nur gestartet werden, wenn Service 1 in einem bestimmten Zustand ist.
- **Prohibit:** Service 2 darf nur gestartet werden, wenn Service 1 NICHT in einem bestimmten Zustand ist.
- **Change:** Service 1 darf zu Betriebsart 2 in Zustand 2 nur wechseln, wenn Service 1 in Betriebsart 1 in Zustand 1 ist.
- **Sync:** Service 2 wechselt in Zustand 2, wenn Service 1 in Zustand 1 wechselt.

Die Deklaration der Services und ihrer Betriebsarten sind modulspezifisch und müssen vom Modulingenieur angegeben werden. [Lad+18]

Mittels einer Rezeptfahrweise können die Services orchestriert werden. An den Transitionen wird der Status des Service überprüft. Bei Übereinstimmung mit der festgelegten Bedingung wird die Transition geschaltet. In jedem Rezeptschritt kann ein entsprechender Service Command mit Serviceparametern gesetzt werden. Das Rezept teilt sich in drei Abstraktionsebenen ein. Auf der höchsten Abstraktionsebene, den Modes of Operations, kann der Operator einen groben Überblick über den Prozess erlangen. Die zweite Ebene umfasst die Procedures. Zu jeder Procedure wird das entsprechende Modul zugeordnet. Eine Procedure besteht aus mehreren Steps, die die Service Commands auslösen.

Bild ein-
fügen

2.2 Problemlösen

Übergang
Problem-
lösen

Die Gesellschaft geht davon aus, dass Probleme selbstverständlich existieren. Probleme entstehen allerdings erst, wenn eine konkrete Zielsetzung vorhanden

ist, die sich nicht durch Routine erreichen lässt. Ohne Handlungsziele gäbe es keine Probleme. [Fun03; BFP11; Dör84]

Liegt ein Problem vor so könnte der Problemlöseprozess sehr einfach sein, indem der Ausgangszustand erkannt, der Zielzustand festgelegt und die Operatoren gefunden werden. Allerdings haben alle diese Aspekte Eigenschaften, die den Prozess erschweren. So kann der Ausgangszustand nicht immer klar definiert sein und es muss eindeutig sein, welche Voraussetzungen als erfüllt angenommen werden können. Bei einem unklaren Ausgangszustand lässt sich auch der Zielzustand nicht eindeutig beschreiben. Bei Betrachtung der Operatoren, die notwendig sind, um einen Ausgangszustand in einen Zielzustand zu überführen, fällt auf, dass diese mit dem Ziel zusammen hängen. Entweder wird der Zielzustand betrachtet und nach geeigneten Operatoren gesucht, die unter Umständen nicht vorhanden sind. Oder es sind bestimmte Operatoren vorhanden und es wird davon ausgehend das bestmögliche Ziel bestimmt. [Fun03]

Wann gilt ein Problem nun als gelöst? Laut x ist ein Problem gelöst, wenn die Suche nach der Lösung abgebrochen wird. Dabei wird die Suche durch verschiedene Abbruchkriterien geleitet [Fun03]:

- **Ziel:** Was ist der Zielzustand?
- **Operatoren:** Welche Mittel stehen mir zur Verfügung?
- **Beschränkungen:** Was sind die Randbedingungen?
- **Repräsentation:** In welcher Form wird das Problem repräsentiert?
- **Eleganz der Lösung**

2.2.1 Unterscheidung von Problemen

Probleme unterscheiden sich hinsichtlich vieler Aspekte, die beim Problemlösen berücksichtigt werden müssen. [BFP11]

- **Klarheit:** Es wird zwischen wohl-definierte und schlecht-definierten Problemen unterschieden. Wohl-definierte Probleme kennzeichnen sich durch einen eindeutigen Ausgangs- und Zielzustand sowie klar beschriebene Operatoren.
- **Zeitskala:** Unterscheidung zwischen kurzfristigen und langfristigen Problemen. Kurzfristige Probleme lassen sich meist schnell beheben.

- **Zeitdruck:** Bei Zeitdruck muss eine schnelle Entscheidung getroffen werden ohne die Möglichkeit alle Lösungsmöglichkeiten zu durchdenken. Ohne Zeitdruck können alle Optionen in Ruhe abgewägt werden.
- **Geforderte kognitive Aktivität:** Wenn eine Vielzahl von Maßnahmen durchgeführt werden muss, um das Ziel zu erreichen, so ist eine hohe kognitive Aktivität gefordert.
- **Bereiche:** Die Problemlösestrategie kann davon abhängig sein in welchem Umfeld das Problem auftritt. Probleme unterscheiden sich in ihrer Art je nach Umfeld.

Außerdem kann zwischen einfachen und komplexen Problemen unterschieden werden. Ein komplexes Problem unterscheidet sich von einem einfachen Problem in der Hinsicht, dass es mehrere unbekannte Lücken gibt [BFP11]. Manche treten erst bei Bearbeitung des Problems auf. Ein komplexes Problem kennzeichnet sich durch folgende Merkmale. [Fun03]

bessere
Wort
finden

- **Komplexität der Problemsituation:** Komplexität fordert Vereinfachung durch Reduktion auf das wesentliche _____
- **Vernetztheit der beteiligten Variablen:** Je stärker die einzelnen Aspekte des Problems und der Lösung zusammen hängen, desto komplexer ist das Problem. Es ist wichtig die Abhängigkeiten zu kennen.
- **Dynamik der Problemsituation:** Einerseits können durch Eingriffe in ein komplexes vernetztes System Prozess in Gang gesetzt werden, die nicht beabsichtigt waren. Andererseits wartet ein Problem nicht auf eine Entscheidung. Es ist also möglich, dass sich die Situation über die Zeit verändert.
- **Intransparenz:** Es liegen sowohl in Hinblick auf die Zielstellung, als auch auf die Variablen nicht alle erforderlichen Informationen vor. Dadurch ist Informationsbeschaffung gefordert.
- **Projektile:** Meistens gibt es nicht nur ein Ziel sondern mehrere Teilziele. Es ist möglich, dass nicht alle Teilziele erreicht werden können. Daher ist ein Abwägen und Balancieren der Kriterien notwendig. _____

Zitat??

Optimierungs

2.2.2 Arten von Problemlösern

Nicht nur Probleme können sich unterscheiden sondern auch die Art Probleme zu lösen. Es wird zwischen drei bipolaren Dimensionen unterschieden. [BFP11] Diese beeinflussen zum einen die Art und Weise, wie Menschen Probleme und Informationen wahrnehmen. Zum anderen, wie sie die Daten verarbeiten und mögliche Lösungen generieren.

Die **Veränderungsorientierung** beschreibt den Umgang mit Grenzen und Vorgaben. Die Art und Weise, wie Mensch auf Struktur reagieren und wie sie sich auf ungewöhnliche Herausforderungen einstellen.

- **Explorer:** Überwindet vorgegebene Grenzen und sucht Herausforderungen.
- **Developer:** Liebt Pläne und Vorgaben, ist meist gut organisiert und vermeidet Risiken.

Mit dem **Verarbeitungsstil** wird beschrieben, welche Präferenz der Mensch beim Handhaben von Informationen beim Problemlösen hat. Zudem ist relevant, wann Menschen ihre Gedanken teilen und mit anderen interagieren.

- **External:** Lässt Ideen durch Diskussionen mit anderen wachsen. Er empfindet eine unruhige Umgebung nicht als störend und handelt, während andere noch nachdenken.
- **Internal:** Entwickelt Ideen zunächst für sich alleine und teilt sie dann. Er bevorzugt eine ruhige Umgebung und stilles Nachdenken.

Der **Entscheidungsfokus** bezieht sich auf die Frage, welche Faktoren welche Priorität bekommen.

- **People:** Der personenbezogene Entscheider betrachtet zuerst die Konsequenzen in Bezug auf Personen. Er schätzt die Harmonie zwischen den Menschen.
- **Task:** Der aufgabenbezogene Entscheider legt Wert auf begründbare, logisch nachvollziehbare Entscheidungen.

2.2.3 Einflüsse

Es gibt viele Faktoren, die den Prozess des Problemlösens beeinflussen. Es kann zwischen äußeren Faktoren, wie die Ausgangssituation und die verfügbaren Operatoren, und den inneren Faktoren, wie Motivation und Emotionen, unterschieden werden.

Äußere Faktoren

Für das Problemlösen sind die Elemente Ausgangszustand, Zielzustand und die vorhandenen Operatoren entscheidend. Der Ausgangszustand ist häufig nicht konkret und als geschlossenes Problem beschreibbar. Zielzustand und vorhandene Operatoren beeinflussen sich wechselseitig. Bei einem konkreten Ziel kann nach bestimmten Operatoren gesucht werden. Stehen nur bestimmte Operatoren zur Verfügung so können nur bestimmte Zielzustände in Betracht gezogen werden. [Fun03]

Zudem beschreibt Funke [Fun03] einige Situationsfaktoren, die beim komplexen Problemlösen eine Relevanz haben.

Die **Art der Aufgabenstellung** zeigt beispielsweise unterschiedliche Ergebnisse beim Wissenserwerb und der Steuerleistung. Personen die nur beobachten erwerben Wissen über die Systemvariablen und deren Beziehungen, aber lernen nicht, wie man das System kontrolliert. Personen die aktiv eingreifen können, erzielen eine besser Steuerleistung können aber die Zusammenhänge nicht so gut verbalisieren.

Stress hat viele Facetten. Bei lärminduziertem Stress planen die Individuen selten vorausschauend, sondern reagieren auf eingetretene Ereignisse. Viel relevanter ist der Stress, der durch die Problemlösesituation selbst hervorgerufen wird. Dieser kann eine Notfallreaktion des kognitiven Systems hervorrufen. Die Effekte, die durch die Notfallreaktion hervorgerufen werden sind unter anderem:

- **Senkung des intellektuellen Niveaus:** Die Selbstreflexion sinkt ab, die Absichten und Vorannahmen sinken ab, es kommt zu einer Stereotypisierung und die realisierten Absichten sinken.
- **Tendenz zu schnellem Handeln:** Die Risikobereitschaft erhöht sich, die Regelverstöße werden mehr und die Fluchttendenzen steigen.
- **Degeneration der Hypothesenbildung:** Es werden Hypothesen global gebildet und Ziele werden unkonkreter.

Gruppen erzielen beim komplexen Problemlösen im Gegensatz zu Einzelpersonen bessere Ergebnisse. Zudem werden Gruppenentscheidungen meist besser akzeptiert. Den größten Einfluss auf die Gruppenleitung hat das individuelle Vorwissen.

Die hohe **Transparenz** eines Systems kann zu besseren Leistungen führen. Es ist jedoch nicht eindeutig in welchem Maße die Transparenz einen Einfluss hat, da es gegensätzliche Untersuchungen dazu gibt.

Es wird davon ausgegangen, dass die **Art der Informationsdarbietung** einen Einfluss auf die Informationsverarbeitung hat.

Innere Faktoren

Die **Motivation** eines Menschen setzt erst den Problemlöseprozess in Gang. [Dör84] Wichtig ist dabei das Motiv des Problemlösers in Verbindung mit der aktuellen Situation. Dörner bezeichnet im Zusammenhang mit dem Problemlösen das Kontrollmotiv als besonders bedeutsam. Wenn etwas nicht in den Erwartungshorizont des Menschen passt, dann kann dies einen Mangelzustand hervorrufen.

Ebenfalls einen Einfluss haben **Emotionen**. Diese wirken sich auf den Ablauf des Denkens aus. So vermindern negative Emotionen die Anzahl an Selbstreflektionen beim Denken und rufen Notfallreaktionen hervor. Positive Emotionen können hingegen zu Nachlässigkeit und Oberflächlichkeit führen. Wie groß der Einfluss der Emotionen auf den Problemlöseprozess ist hängt von dem Selbstkonzept des Individuums ab. Das Selbstkonzept beschreibt die Kompetenz, die in heuristische und epistemische Kompetenz eingeteilt ist. Die heuristische Kompetenz beschreibt das Zutrauen, das jemand in seine Fähigkeiten hat mit Problemsituationen umzugehen für die es keine eindeutige Verhaltensweise gibt. Die epistemische Kompetenz zeichnet sich durch das Zutrauen, eine Situation aufgrund des vorhandenen Wissens zu bewältigen, aus. Zusammen ergibt sich daraus die aktuelle Kompetenz. [Dör84]

eventuell
weiter
ausfor-
mulieren

2.2.4 Phasen des Problemlösens

Der Problemlöseprozess teilt sich in fünf Phasen auf. Die erste ist die **Problemidentifikation**. „Ein Problem ist identifiziert, wenn man Ziele setzt und erkennt, dass ein bestimmtes Ziel nicht ohne weiteres Nachdenken erreicht werden kann.“ [BFP11, S. 146] Die zweite Phase ist die **Ziel- und Situationsanalyse**. Dabei muss zunächst der zu erreichende Zielzustand geklärt und die Eigenschaften und Beschränkungen erkannt werden. Anschließend ist zu klären, warum es nicht geht und was zur Verfügung steht bzw. was man gebrauchen kann. Die **Planerstellung** erfolgt in Phase drei. Diese umfasst die Vorbereitung des konkreten Vorgehens mit folgenden Aspekten:

1. Abfolgen erkennen

2. Randbedingungen erkennen
3. Zwischenzielbildung
4. Verfügbarkeit von Alternativen
5. Angemessenheit der Auflösung

Nach der Planerstellung folgt in Phase vier die **Planausführung**. Eine wichtige Voraussetzung ist dabei die Planüberwachung und Fehlerdiagnostik. Treten bei der Planausführung Störungen auf so sind möglicherweise Planänderungen vorzunehmen. Wie die Störungen diagnostiziert werden können ist in Abschnitt 2.2.5 beschrieben.

Abschließend erfolgt in Phase fünf die **Ergebnisbewertung**. Dabei wird analysiert in wie weit formulierten Ziele aus der Zielanalyse erfolgreich umgesetzt werden konnten. Je nach Ergebnis der Evaluation kann das Ziel verworfen oder ein neuer Lösungsansatz gefunden werden. [BFP11]

2.2.5 Störungsdiagnose

Bei der Störungsdiagnose ist im Störfall eine effiziente Problemlösung gefragt. Das Wissen und Handeln des Individuums steht dabei im Kontext technischer Systeme. Es werden die beiden Wissensarten Strukturwissen und Kontroll- und Steuerungswissen unterschieden. [Fun03]

Das Strukturwissen bezieht sich auf die Schnittstellenebene, dem Interface, und die Systemebene. Es beinhaltet Faktenwissen über die Funktionsweise und Organisation der Komponenten und deren möglichen Zustände. Es ist möglich, dass ein Operator umfassende Kenntnisse über das Interface hat, aber über keinerlei Systemwissen verfügt. Eine Steuerung des Systems ist mit reinem Strukturwissen nicht möglich. [Fun03; Klu97]

Das Kontroll- und Steuerungswissen bezieht sich auf Regeln, anhand derer die Zustände des Systems mit den Zielen des Operators durch Systemeingriffe verknüpft werden können [Fun03]. Kluwe [Klu97] teilt das Wissen in mehrere Ebenen. Auf der Ebene des Eingriffswissens führt der Operator verfügbare Prozeduren ohne weiteres Wissen über das System aus. Dies ähnelt einer black-box. Auf der Ebene des Kausalwissens verfügt der Operator zusätzlich über Kenntnisse des Ursache-Wirkungsgefüges. Welches Wissen wichtig ist hängt von den Aufgaben des Operators ab.

Beim Bearbeiten von komplexen Problemen muss anhand der Anforderungen zwischen den verschiedenen Wissensarten flexibel gewechselt werden können. [Fun03]

2.3 Kollaboration

Kollaboration bietet die Chance verteilte Informationen für das Lösen von Problemen zu nutzen und unterscheidet sich von reiner Kooperation. Mit Kooperation ist eine Arbeitsteilung gemeint, bei der jede Person eine konkrete Aufgabe zugeteilt wird und die Ergebnisse zum Schluss zusammen getragen werden [Jer04]. Kollaboration ist durch Symmetrie von Wissen, einem gemeinsamen Ziel und der Zusammenarbeit gekennzeichnet [RS58]. Dabei spielt insbesondere die Interaktion untereinander eine große Rolle, da diese den kollaborativen Lerneffekt fördert [Jer04].

2.4 Kommunikation

Kommunikation ist beim kollaborativen Problemlösen ein wichtiger Aspekt. Mittels Kommunikation kann das gemeinsame Verständnis des Problems hergestellt und aufrecht gehalten werden. Um Missverständnisse vorzubeugen ist es erforderlich klar und geeignete Fragen zu stellen. Das Stellen von Fragen ist wichtig, um ungeteilte Informationen auszutauschen. Ebenso wichtig ist das richtige Zuhören, da die meisten besser Informationen geben als aufnehmen können. Zudem sollten nur die Informationen weiter gegeben werden, die für die Situation notwendig sind. [RS16]

Während Menschen direkt kommunizieren können, ist bei der Kommunikation mit einer digitalen Assistenz noch ein zusätzliches System notwendig. Welche Systeme dafür verwendbar sind ist in Abschnitt 2.5.3 näher beschrieben. Bei Betrachtung des Aspekts wie kommuniziert wird, fällt auf, dass es vielfältige Möglichkeiten gibt. Häufig angewandt werden Dialogsysteme. Ein Dialog entsteht, wenn Mensch und Maschine in Kooperation eine Aufgabe lösen bei der mehrere Schritte notwendig sind. Dialoge in der Mensch-Maschine-Interaktion können folgende Formen haben [Hei12]:

- **Kommando:** Der Mensch gibt über eine Tastatur vordefinierte Kommandos ein, an die er sich erinnern muss. Dialoge mit Kommandos sind benutzerbestimmt, da das System nur auf die Eingaben des Nutzers reagiert.
- **Menü:** Die Kommandos werden mit Hilfe einer Liste zur Verfügung gestellt. Der Nutzer kann dann aus diesen auswählen. Ist das Menü statisch, dann ist es systembestimmt.

- **Formulare/Masken:** Ein Formular gruppiert Interaktionselemente und kann vielfältig verwendet werden.
- **Fenster:** Abgegrenzter steuerbarer Bereich.
- **Direkte Manipulation:** Objekte können direkt bearbeitet werden. Beispiele sind das Verändern der Größe oder das Verschieben von Objekten.

Damit die Kommunikation zwischen Mensch und System möglich ist müssen geeignete Mittel zur Verfügung stehen, die in Abschnitt x konkreter thematisiert sind.

2.5 Assistenz

Laut Duden bedeutet Assistenz Beistand oder Mithilfe [Tula]. Das Verb assistieren wird mit den Worten „jemanden nach dessen Anweisungen zur Hand gehen, bei einer Arbeit oder Tätigkeit behilflich sein“ beschrieben [Tulb]. In der Literatur finden sich eine Vielzahl von Definitionen. Diese reichen vom Schraubendreher, über autonome Ausführung von Funktionen bis hin zur individualisierten Nutzerunterstützung [Lud15]. In [Wan05] wird Assistenz in folgende Stufen anhand des Autonomiegrades eingeteilt:

1. **Automatisches Ausführen von Funktionen:** Die Funktion wird nicht durch den Benutzer ausgeführt. Ein Beispiel ist das automatische Herunterfahren eine Anlage bei gravierenden Störungen.
2. **Unterstützung bei einem vorab definierten Anwendungsfall:**
3. **Erkennung der Intention des Nutzers und Vorschlag von geeigneten Schritten**

2.5.1 Anforderungen an digitale Assistenzsysteme

Die Assistenz soll den Menschen ideal unterstützen. Dabei sind seine Fähigkeiten zu berücksichtigen und eine Überlastung ist zu vermeiden. Es müssen dabei unter anderem folgende Aspekte beachtet werden [Lud15]:

- **Interaktivität:** Dem Mensch muss die Möglichkeit zur Interaktion gegeben werden. Die Ziele und Aufgaben sollten formulierbar sein ohne Rücksicht auf das System nehmen zu nehmen.

- **Diagnose:** Das Assistenzsystem muss wissen, welche Effekte auftreten können, wenn der Nutzer fehlerhafte Eingaben tätigt.
- **Korrektur:** Wenn die Handlung des Nutzers von den Anweisungen abweicht, so muss das Assistenzsysteme diese Handlung trotzdem unterstützen können.

2.5.2 Einsatz von digitaler Assistenz

Digitale Assistenz findet sich mittlerweile überall. So gibt es für fast jede Anwendung eine Onlinehilfe, die mit Tool-Tipps Assistenz leistet. Im Alltag finden sich für blinde Menschen akustische Signale an Ampeln wieder. Zuhause gibt es mittlerweile Smart Home Geräte, die automatisch die Heizung ausstellen, wenn das Fenster geöffnet wird. Das Handy fügt automatisch Termine aus eMails dem Terminkalender hinzu und erinnert anschließend an den Termin.

Digitale Assistenz kann unter anderem folgende Aufgaben haben [Wan05]:

- **Aktivierung**
 - **Warnung:** Die Assistenz warnt bevor der Mensch eventuell einen Fehler macht.
 - **Signale:** Die Assistenz sorgt dafür, dass alle relevanten Informationen für den Nutzer erkennbar sind.
 - **Orientierung:** Unterstützung beim Setzen und Ändern von Zielen.
- **Informationsintegration:** Darstellung von Symbolen, die dem Nutzer bekannt sind (z.B. km/h vs. mph). Erläuterung von möglichen Konsequenzen.
 - **Kennzeichnung:** Legenden für die verschiedenen Symbole.
 - **Erklärung:** Mit Sicht auf die Interessen und das Wissen des Nutzers.
- **Entscheidungen:** Unterstützung bei der Auswahl, was als nächstes getan werden muss
 - **Bereitstellung:** Darstellung aller möglichen Informationen und Optionen.

- **Filter:** Es werden nur die Informationen und Optionen dargestellt, die für die Aufgabe wichtig sind.
- **Berater:** Die Assistenz liefert einen Vorschlag. Der Mensch kann entscheiden, ob er die vorgeschlagene Option durchführt.
- **Delegieren:** Die Assistenz begleitet die Durchführung von Aufgaben oder führt sie auf Befehl aus.

2.5.3 Assistenzsysteme

Zur Verbindung der Fähigkeiten des menschlichen Nutzers und den Systemfunktionen können Assistenzsysteme verwendet werden. Ein Assistenzsysteme besteht aus mehreren Komponenten. Der Eingabemethode, also die Art und Weise, wie der Mensch mit dem System interagieren kann. Der tatsächlichen Schnittstelle, beispielsweise einem Computer, der Informationen anzeigt. Und dem Assistent als solches, der Informationen anpasst und bereit stellt.

Eingabemethoden

Die Eingabemethoden orientieren sich maßgeblich an den Fähigkeiten des Menschen. Der Mensch verwendet meist Hände und Sprache. Insbesondere die Hände bieten eine Vielzahl an Möglichkeiten mit einem System zu interagieren. So können Hilfsmittel, wie Maus oder Tasten, verwendet werden oder die Interaktion erfolgt direkt mit Gesten oder über ein Touchscreen. Die Interaktionsmöglichkeiten sind in Tabelle ?? aufgeführt. [Züh12]

Schnittstelle

Mit Schnittstelle ist gemeint, wie und mit welchen Mitteln Informationen dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden. Die möglichen Systeme für eine Repräsentation der Informationen sind in Tabelle ?? dargestellt. [Züh12; KW16; Wei16]

Interaktions- möglichkeit	Merkmale	Vorteile	Nachteile	Einsatz
Taster	führt zugewiesene Ak- tions aus			
Maus	zweidimensionale Be- wegung	Bedienung ist einfach zu erlernen	benötigt eine ebene saubere Fläche	vor allem im Bü- robereich
Joystick	wird durch kippen be- dient	schnelle Richtungs- wechsel möglich		als Mousesatz, bei Zielverfol- gungsaufgaben
Touchscreen	Interaktion durch Be- rühren des Bildschirms	Direkte Bedienung, keine zusätzliche Hardware nötig	Verschmutzt schnell	weitreichend: von Industrie bis Labor
Spracheingabe	sichere Erkennung muss gewährleistet sein	einfach zu bedienen		Auswahlvorgänge, Kommandos
Gesten	werden mit Kamera er- fasst			

Tabelle 2.1: Interaktionsmöglichkeiten mit einem Assistenzsystem

Interaktions-system	Funktionsweise	Vorteile	Nachteile	Anwendung
Projektor	Beleuchtung des relevanten Objekts	gut geeignet für Arbeiter mit kognitiven Einschränkungen	Einsatz ist abhängig von geforderter Projektionsgenauigkeit	Unterstützung des Kommissionierungsvorgangs, Bohrlöcher
AR-Brillen	Einblendung von Zusatzinformationen in das Sichtfeld	handfree, komplexe Arbeitsabläufe können fehlerärmer umgesetzt werden	Sichtfeld ist geringfügig eingeschränkt	Checklisten, Anleitungen, Anzeige von Messdaten
Headset	gibt akustisch Hinweise und Informationen	handsfree, Verwendbar, wenn visueller Kanal nicht zur Verfügung steht	funktioniert nur be-dingt in lauter Umgebung	Call-Center, Logis-tik
Smartwatch	kann wenige wichtige Informationen anzeigen	handsfree, kompakt	begrenzte Display-größe	Navigation, Infor-mation
Tablet		einfache Handha-bung	nur eine freie Hand	Anleitung, Wartung von Maschinen
stationärer Computer		großer Bildschirm	nicht transportabel	

Tabelle 2.2: Interaktionssysteme zur Bereitstellung von Informationen

2.6 Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen

Die richtige Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle ist essenziell. Durch die steigende Komplexität von Maschinen und Anlagen wird meist auch die Bedienung komplexer [Züh12]. Umso wichtiger ist eine nutzerfreundliche Gestaltung. Diese orientiert sich maßgeblich an den Bedürfnissen des Nutzers, welche in den Entwicklungsprozess mit einzubeziehen sind. [Hei12; Züh12] Es gibt eine Vielzahl an Richtlinien, die erläutern, was eine ergonomisch gute Gestaltung von Benutzerschnittstellen ausmacht. Die gute Gestaltung soll Benutzungsprobleme vermeiden.

Immer wichtiger wird zudem die User Experience, also das gezielte Schaffen von Erlebnissen, die der Nutzer mit dem System erfährt. Ein schönes Design ist wichtig, da dadurch ein menschliches Bedürfnis befriedigt wird. Frustration und Unzufriedenheit zu vermeiden war schon immer relevant. Die User Experience legt zusätzlich den Fokus auf positive Emotionen, wie Freude, Spaß und Stolz. [HT06]

2.6.1 Ergonomisch gute Gestaltung

In der DIN EN ISO 9241 sind Empfehlungen für die Ergonomie der Mensch-System-Interaktion aufgelistet. An dieser Stelle wird nur auf einige für diese Arbeit relevante Aspekte eingegangen. So sind in Teil 110 [92408] die Grundsätze der Dialoggestaltung beschrieben:

- **Aufgabenangemessenheit:** Funktionalität und Dialog sollen den Eigenschaften der Arbeitsaufgabe entsprechen.
- **Selbstbeschreibungsfähigkeit:** Es muss eindeutig sein, an welcher Stelle sich der Nutzer befindet, welche Handlungen durchgeführt werden können und wie diese auszuführen sind.
- **Erwartungskonformität:** Der Dialog entspricht den anerkannten Konventionen und ist vorhersehbar.
- **Lernförderlichkeit:** Der Nutzer wird beim Erlernen der Nutzung des interaktiven Systems unterstützt.
- **Steuerbarkeit:** Der Nutzer hat Einfluss auf Richtung und Geschwindigkeit des interaktiven Systems.

- **Fehlertoleranz:** Das beabsichtigte Arbeitsergebnis kann bei fehlerhaften Eingaben trotzdem mit keinem oder minimalem Korrekturaufwand erreicht werden.
- **Individualisierbarkeit:** Nutzer kann die Darstellung von Informationen so ändern, dass sie seinen Bedürfnissen und Fähigkeiten entsprechen.

Es ist deutlich zu erwähnen, dass in den meisten Fällen nicht alle Aspekte gleichermaßen berücksichtigt werden können.

Informationsdarstellung

Die richtige Informationsdarstellung ist wichtig, um den Problemlöseprozess nicht noch kompliziert zu machen. Teil 112 [92417] der DIN EN ISO 9241 beschreibt folgende wichtige Aspekte für eine gute Informationsdarstellung:

- **Entdeckbarkeit:** Das System sollte so geschaltet sein, dass Informationen und Steuerelemente gut wahrgenommen werden können. Außerdem sollten Informationen in dem Tempo dargestellt werden das dem Nutzer entspricht.
- **Ablenkungsfreiheit:** Der Nutzer sollte nicht von anderen Informationen abgelenkt werden, die nicht für die Bearbeitung der Aufgabe notwendig sind.
- **Unterscheidbarkeit:** Es sollte eindeutig sein, welche Informationen zusammenhängen.
- **Eindeutige Interpretierbarkeit:** Informationen sollten eine eindeutige Bedeutung haben, verständlich und an die Fähigkeiten des Nutzers angepasst sein.
- **Kompaktheit:** Es sollen nur notwendige Informationen dargestellt sein und die Interaktion mit dem System kompakt gehalten werden.
- **Konsistenz:** Interaktionselemente mit ähnlichem Zweck sollten ähnlich dargestellt sein. Zudem sind allgemeine Konventionen zu beachten.

2.6.2 User Experience

Im Zusammenhang mit einer guten Gestaltung werden die Erlebnisse, die der Nutzer bei der Verwendung von Technologien erfährt, immer wichtiger. Technologie ist nicht mehr als ein Tool, das verwendet wird um angenehme Zeit zu schaffen. Es kann vielmehr selbst eine Quelle für Vergnügen sein. [Has08]

User Experience (UX) verschiebt die Aufmerksamkeit von Produkt und Material (bspw. Funktionen, Interaktionen, ...) zu den Menschen und den Gefühlen [Has08]. Für Hassenzahl [Has08, S. 12] ist UX „a momentary, primarily evaluative feeling (good-bad) while interacting with a product or service.“ Der Titel „Attention web designers: You have 50 milliseconds to make a good first impression!“ beschreibt die Relevanz eines guten UX-Designs sehr gut. Unterschiedliche konzeptuelle und methodische Ansätze führen zu verschiedenen Blickwinkeln, die stark voneinander profitieren. [HT06]

Generierung positiver Erlebnisse

Interaktive Systeme werden von Nutzer aus zwei Perspektiven wahrgenommen. Zum einen aus der pragmatischen Sicht mit dem Fokus auf das Produkt. Zum anderen der lustvollen Sicht, welche den Fokus auf den Menschen hat und einem beispielsweise das Gefühl gibt kompetent zu sein. Für positive Erlebnisse und damit einer guten UX muss vor allem zweiteres befriedigt werden. Damit sich ein Nutzer kompetent fühlt müssen Herausforderungen und Erfolge in einem ausgewogenen Zusammenspiel erfolgen. [Has08]

Für das Design bedeutet das mehr konzeptionell zu denken, um bestimmte Gefühle zu wecken. Es ist mehr als nur Funktion mit einem schönen Design zu versehen [Has08]. Es müssen die Bedürfnisse des Menschen angesprochen werden. Dabei werden neben positiven Erlebnissen zumeist auch negative generiert. Soll sich der Mensch kompetent fühlen, so wird dadurch eine positive Aktivität generiert aber auch die negative Angst des Scheiterns. Am wichtigsten ist bei UX jedoch die Freude, die der Nutzer erfährt.

2.6.3 Individualisierung

Wenn unterschiedliche Benutzer(gruppen) ein System nutzen, dann ist eine Individualisierung in Betracht zu ziehen. Individualisierung bedeutet, dass sich das Verhalten des Systems und die Darstellung der Benutzerschnittstellen-Elemente entsprechend anpassen. Wann ist es nun sinnvoll zu individualisieren? In der ISO 9241-129 [92411] sind einige Aspekte aufgelistet:

- **Variation der Benutzermerkmale:** Fähigkeiten und Präferenzen der Nutzer sind verschieden.
- **Unterschiedliche Bedürfnisse und Ziele:** Durch entsprechende Individualisierung sollen alle Nutzer zufrieden sein.
- **Schwankung der Aufgabenmerkmale:** Wenn beispielsweise Komplexität, Schwierigkeit oder Informationsgehalt der Aufgabe sich verändern ist eine Individualisierung angebracht.
- **Verschiedene Einrichtungen, die von einem einzelnen Benutzer verwendet werden:** Wenn der Nutzer das System sowohl am Desktop Computer als auch am Mobiltelefon verwendet so ist eine Anpassung an diese Geräte sinnvoll.
- **Unterschiedliche Umgebungen, denen ein einzelner Nutzer ausgesetzt ist**

Trotz oder gerade wegen der vielen Möglichkeiten von Individualisierung müssen bestimmte Grenzen eingehalten werden. So darf die individuelle Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle folgende Faktoren nicht beeinflussen:

- Die Individualisierung darf kein Ersatz für ergonomisch gestaltete Dialoge sein.
- Sicherheitskritische und aufgabenkritische Systeme dürfen in ihrer Funktion nicht eingeschränkt werden.
- Rationalisierung???
- Individualisierung darf nicht zu Problemen bei der Gebrauchstauglichkeit oder Zugänglichkeit führen.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden wurden entsprechende Leitlinien formuliert.

- **Zugänglichkeit:** Ein System mit Möglichkeiten zur Individualisierung muss ISO 9241-171 entsprechen.
- **Steuerbarkeit:** Der Nutzer sollte die Kontrolle über die Individualisierung behalten.

eventuell
löschen

- **Erkennbarkeit:** Der Benutzer sollte die Individualisierungsmöglichkeiten kennen und bei Änderungen durch das System informiert werden.
- **Widerspruchsfreiheit:** Die Individualisierung sollte konsistent sein.
- **Gebrauchstauglichkeit:** Der Benutzer soll durch die Individualisierung nicht in der Nutzung des Systems eingeschränkt sein.

X hat zudem identifiziert welche Eigenschaften eines System sich für die Individualisierung verändern lassen:

- **Intentionale Ebene:** Veränderung der Aufgabenstruktur. Dadurch verändert sich die Gesamtfunktion des Systems.
- **Pragmatische Ebene:** Anpassung an bestimmte Arbeitsabläufe durch Veränderung von Prozeduren.
- **Semantische Ebene:** Veränderung der Arbeitsobjekte, z.B. durch Änderung der Voreinstellungen durch den Nutzer.
- **Syntaktische Ebene:** Veränderung der Interaktionsformen.
- **Lexikalische Ebene:** Veränderung der Informationskodierung. Dadurch können verschiedene Sprachen oder Sehschwächen berücksichtigt werden.
- **Sensomotorische Ebene:** Veränderung von Eigenschaften der Ein- und Ausgabegeräte. Es kann beispielsweise die Helligkeit des Bildschirms oder die Tastenbelegungen verändert werden.

2.7 Adaptive Systeme

Eine Möglichkeit Individualisierung umzusetzen sind adaptive Systeme. Diese erkennen das Nutzer- und/oder Systemverhalten und passen sich entsprechend an. Diese Anpassungen sind jedoch mit Vorsicht zu genießen, da es viele Charakteristika gibt, die einen Erfolg oder einen Misserfolg hervorrufen können [Gaj+08]. x fand in seiner Studie heraus, dass die präzise Anpassung an den jeweiligen Menschen, neben der Vorhersagbarkeit, ein wichtiger Faktor ist. Das größte Problem der adaptiven Systeme ist die Identifizierung der Bedingungen für die adaptiven Funktionen. So müssen sowohl die Abweichungen von dem Menschen, als auch von der Maschine erfasst werden. Der Status

der Maschine ist sehr eindeutig und kann mit bestimmten Pattern verglichen werden. Der Status des Menschen, beispielsweise die Aufmerksamkeit des Operators, lässt sich nur schwer messen. Dies ist meist nur über Interaktionen mit dem System möglich. [Via+00]

2.7.1 Multiagentensysteme

Eine Möglichkeit eine adaptive Nutzerschnittstelle für einen Operator umzusetzen ist in [Via+00] beschrieben. Es wird sich dabei am Konzept der Multiagentensysteme bedient. Ein Agent ist ein Computersystem, das in einer Umgebung existiert und unabhängig arbeitet. Intelligente Agenten sind charakterisiert durch ihre Flexibilität. Sie können ihr Verhalten an eine dynamische Umwelt anpassen und ihr Ziel im Auge behalten. Besteht ein System aus mehreren interagierenden Agenten, dann ist dies ein Multiagentensystem. Jeder Agent hat einen beschränkten Einflussbereich und steht mit anderen in Beziehung. Das adaptive User Interface von Viano [Via+00] verwendet folgende Agenten:

- **Prozessmodel Agent:** Beobachtet die Prozessinformationen und handelt mit Verwendung seines Wissens über den Prozess.
- **Media Agent:** Ist verantwortlich für die Wiedergabe der Menge an Prozessinformationen.
- **Rendering Resolution Agent:** Interagiert mit Human Factors Database, Environmental Agent und Operator Agent. Entscheidet über die beste Wiedergabe der aktuellen Situation.
- **Environmental Agent:** Sammelt Informationen auf Basis der aktuellen Umgebungsbedingungen im Kontrollraum.
- **Human Factors Database:** Anhand von Heuristiken wird die beste Wiedergabe ausgewählt.
- **Presentation Agent:** Beobachtet welche Ressourcen für das Interface verwendet werden können.
- **Media Allocator Agent:** Trifft die finale Entscheidung für die Wiedergabe von Informationen. Es trifft seine Entscheidungen in Interaktion mit dem Presentation Agent.
- **Operator Agent:** Beobachtet und speichert die Aktionen des Operators.

2.7.2 Modellgestütztes User Interface

Der modellgestützte Ansatz teilt die Benutzerschnittstelle in drei Ebenen mit unterschiedlichen Abstraktionsgraden ein. An oberster Stelle steht die **abstrakte Benutzerschnittstelle** in der die Aufgaben definiert sind. Die **konkrete Benutzerschnittstelle** umfasst die Interaktionsmöglichkeiten des Nutzers mit dem System. Die konkrete Darstellung der Benutzerschnittstelle wird mit der **finalen Benutzerschnittstelle** vorgenommen. [Mei11; PL15]

Durch diese Einteilung ist eine strukturierte und verteilte Entwicklung der Benutzerschnittstelle möglich. So können auch einzelne Teile später verändert werden ohne die Schnittstelle komplett neu entwickeln zu müssen. [Mei11]

3 Analyse

3.1 Informationsbedarf

Der Informationsbedarf orientiert sich maßgeblich an den Aufgaben und dem Nutzer.

Was soll unterstützt werden?

3.1.1 Modulare Anlage

Der Lebenszyklus einer modularen Anlage wird in unterschiedliche Phasen eingeteilt. Sie besteht aus Planung, Errichtung, Betrieb und Demontage. [] Besonderes Augenmerk in dieser Arbeit liegt auf dem Potential der Flexibilität. So kann die modulare Anlage beispielsweise bei Wartungsarbeiten an einem Modul mit einem alternativen Modul weiter betrieben werden.

Probleme können in modularen Anlagen auf verschiedenen Ebenen entstehen. Zum einen auf direkter Modulebene. So stellt das Modul beispielsweise entsprechende Alarme zur Verfügung. Dann können Probleme auch in Zusammenhang mit verschiedenen Modulen entstehen. Welche Probleme auftreten können ist in Abschnitt x näher beschrieben.

Um Probleme lösen zu können muss unter anderem klar sein, welche Informationen zur Verfügung stehen. Für den Austausch von Informationen zwischen Prozessführungsebene (PFE) und Modul wird das Modul Type Package (MTP) verwendet. Da der Modulhersteller entscheiden kann, welche Informationen zur Verfügung gestellt werden unterscheidet sich der konkrete Inhalt des MTP von Modul zu Modul. Es soll hier nicht auf den konkreten Aufbau des MTPs eingegangen werden.

3.1.1.1 Informationsaustausch mittels MTP

Das Modul stellt eine Reihe an Informationen zur Verfügung, die durch das Modul Type Package (MTP) beschrieben sind. Im MTP sind unter anderem das HMI und die Services hinterlegt.

Für einen eindeutigen Austausch von Informationen sind Schnittstellen definiert. Jede Schnittstellendefinition besteht aus einem Erklärungstext und den spezifischen Informationsvariablen. Da für jede Schnittstelle andere

Informationen übertragen werden, sind hier nur allgemeine relevante Aspekte gelistet. So können Einheiten, Maximal- und Minimalwerte oder Prozesswerte übermittelt werden.

- **TagName:** Name der repräsentierten Information.
- **TagDescription:** Beschreibung der repräsentierten Information, z.B. Innere Temperatur des Reaktors.
- **ScaleSettings:** Das Modul teilt der PFE die möglichen Anzeigegrenzen mit.
- **UnitSettings:** Übermittelt die Einheit des übertragenen Werts.
- **ValueLimitation:** Das Modul gibt die Sollwertgrenzen für bestimmt Parameter vor.
- **Feedback Monitoring:** Gibt die Rückmeldung an die PFE, dass eine Fehlfunktion vorliegt.
- **Limit Monitoring:** Mittels der Limit Variablen können Werte für Toleranz-, Warnungs- und Alarmgrenzen festgelegt werden. Das Modul überwacht die Variablen und signalisiert eine Grenzwertüberschreitung.

3.1.1.2 Services

Wie bereits in Abschnitt 2.1.2 beschrieben werden Module durch Dienste gesteuert. Jeder Dienst kann 16 verschiedene Zustände annehmen und teilt den aktuellen Zustand der PFE mit. Die PFE kann die Zustandsübergänge Reset, Pause, Resume, Unhold, Stop, Abort und Restart anfordern. Bei kontinuierlichen Fahrweisen können zusätzlich Start und Complete angefordert werden. Des weiteren wird der Zustandsübergang State Change (SC) durch den vorgelagerten Zustand ausgelöst. Die aktuell verfügbaren Zustandswechsel meldet das Modul zurück.

Bild ein-
fügen

Dienste haben verschiedene Betriebsarten. Sie werden in Offline, Manual, Automatic External und Automatic Internal eingeteilt. Zudem gehört zu jedem Dienst eine Liste mit dem verwendeten Anlagenequipment. Wenn sich der Dienst nicht in Offline befindet werden automatisch alle zum Dienst gehörigen Aktoren in Automatic überführt.

- **Offline:** Dienst ist nicht betriebsbereit und die Aktoren des Dienstes können in Manual überführt werden.

- **Manual:** Der Dienst wird vom Bediener über die PFE oder ein lokales Panel bedient.
- **Automatic External:** Die Zustandsübergänge werden durch die PFE gesteuert.
- **Automatic Internal:** Die Zustandsübergänge werden modulintern ausgelöst.

Sollen Dienste näher spezifiziert werden, ist eine Verwendung von Parametern möglich. Es wird zwischen Konfigurationsparameter, Fahrweisenparametern, Prozesswerten und Reportwerten unterschieden.

- **Konfigurationsparameter:** Werden für grundlegende Einstellung verwendet. Ein Ändern ist nur möglich, wenn der Dienst offline ist. Es können beispielsweise ...
- **Fahrweisenparameter:** Sind rezeptrelevant, werden vom Dienst beim Starten und Neustart überprüft und bei Zulässigkeit übernommen. Es wird an die PFE rückgemeldet, ob der Parameter übernommen werden konnte. Beispielhafte Parameter sind Sollwerte, wie Temperatur- oder Durchflussvorgaben und Reglerparameter, wie Verstärkung und Nachhaltezeit.
- **Prozesswerte:** _____
- **Reportwerte:** Zur Nachweis- und Dokumentationspflicht werden die Werte in den Zuständen Completed, Aborted und Stopped gespeichert.

ergänzen

3.1.1.3 Probleme in modularen Anlagen

Da die modularen Anlagen mit Diensten gesteuert werden ändern sich auch die Art an Problemen die entstehen und die vom Modulbetreiber behoben werden können. Durch die Dienste wird nur noch ein Problembereich angezeigt. Meldet ein Dienst zurück, dass er nicht erfolgreich durchgeführt werden kann so ist noch nicht eindeutig, wo das Problem liegt. Durch die Anzeige von dazugehörigem Equipment und möglichen Serviceabhängigkeiten kann der Problembereich eingegrenzt werden. Bei Betrieb der modularen Anlage treten derzeit die häufigsten Fehler auf, wenn entsprechende Zuläufe nicht geöffnet werden. So meldet aktuell das Modul nicht zurück, wenn vergessen wurde die Druckluft anzustellen. Dem Betreiber fällt nur auf, dass das Modul nicht so

arbeitet, wie es soll. Wurde beim Temperiermodul vergessen den Zulauf für das Wasser zur Kühlung zu öffnen so meldet sich dieses erst nach ca. zwei Minuten zurück, dass es zu warm wird.

Insbesondere mit dem großen Vorteil der Flexibilität von modularen Anlagen können Probleme auch auf anderen Ebenen entstehen. Die Option nicht nur Parameter anzupassen sondern auch Module auszutauschen eröffnet neue Möglichkeiten und stellt den Modulbetreiber vor neue Herausforderungen.

3.1.2 Use Case

Der Modulbetreiber bekommt eine Anfrage vom Kunden mit dem eine just-in-Time Vereinbarung getroffen wurde. Die Produktion von xxx muss am nächsten Tag starten. Zurzeit befindet sich das benötigte Dosiermodul jedoch in der Anlage yy. Um etwas Vorlauf zu gewinnen wird in Absprache mit dem Assistenzsystem die aktuelle Produktion in Anlage yy auf 110% gefahren. Bis zum Anlauf der Produktion am nächsten Tag muss jedoch eine Lösung gefunden werden. Die Optionen sind vielfältig.

- Die Produktion von xxx hat Vorang und die Anlage yy wird solange stillgelegt. Dies führt zu massiven Kosten, da nicht weiter produziert werden kann.
- Es existiert noch ein weiteres Modul aa, dass eventuell verwendet werden kann. Das Dosiermodul aa hat einen geringeren Durchfluss und stellt andere Services zur Verfügung.
- Es steht noch ein Modul bb zur Verfügung, das jedoch ausgetauscht wurde, da es zu viel Energie verbraucht. Hier ist auf die Auslastung des Energienetzes Rücksicht zu nehmen.
- Auch die Möglichkeit ein entsprechendes Modul zu leihen besteht.

3.1.3 Informationen nach Aufgabenbereich

Neben den Informationen, die ein Modul zur Verfügung stellt und die bei Behebung einer Störung behilflich sein können, gibt es eine Reihe von weiteren interessanten Aspekten. Weitet man den Problembereich von einer reinen Instandhaltung auf Bereiche wie die zunehmend geforderte Einsparung von Kosten aus, so werden ganz andere Informationen benötigt. Welche Funktionen auf welcher Ebene in einem Unternehmen automatisiert werden können und somit auch sinnvoll durch ein Assistenzsystem unterstützbar sind ist in

[LG99] beschrieben. Hier ist auch der zeitliche Aspekt mit aufgeführt. Eine entsprechende Übersicht findet sich in Tabelle 3.1.

Tabelle 3.1: Ebenen in einem Unternehmen bei Führung technischer Prozesse

Ebenen eines Unternehmens	zeitliche Anforderungen	Automatisierungsfunktionen
Unternehmensführung	Entscheidungen wirken sich langfristig aus (nach Monaten oder Jahren)	Kostenanalysen, statistische Auswertungen
Produktionsplanung und Betriebsleitung	Änderungen werden nach Tagen, Wochen oder Monaten sichtbar	Betriebsablaufplanung, Kapazitätsoptimierung, Auswertung der Prozessergebnisse
Leitung technische Prozesse	Eingriffe wirken sich nach Stunden oder Minuten aus	Prozessüberwachung, An- und Abfahrten, Störungsbehandlung, Prozessführung, Prozesssicherung
Prozessgrößen	Auswirkungen sind nach Sekunden, Millisekunden oder gar Mikrosekunden sichtbar	Messen, Steuern, Stellen, Regeln, Verriegelungen, Not-Bedienen von Prozessgrößen, Abschalten, Schutz

Auf der Unternehmensführungsebene sind beispielsweise folgende Kosten relevant [Kün+14]:

- Logistikkosten
- Personalkosten
- Verpackungskosten
- Kosten für Reklamationen und Retouren
- Kosten aufgrund fehlender Prozesssynchronisation

Folgende Kennzahlen sind für die Produktions- und Betriebsleitebene interessant [Kün+14]:

- **Kennzahlen der Beschaffung:** Lieferzeiten, Preistrends nach Warengruppen
- **Kennzahlen der Produktion:** Auslastung der Geschäftsbereiche, Durchlaufzeiten, Rüstzeiten
- **Kennzahlen der Finanzprozesse:** Produktivität- und Wirtschaftlichkeitskennzahlen

3.1.4 Informationsbedarf der Operator

Stützt man sich bei der Ermittlung des Informationsbedarfs auf die individuellen Fähigkeiten und das vorhandene Wissen so ist eine entsprechende Analyse relativ komplex. Insbesondere, wenn der Problemlöseprozess einen Lerneffekt haben soll. In der Literatur ist dies als Assistance Dilemma bezeichnet. Wenn der Lerneffekt möglichst groß sein soll wird Information über die Problemlösung und die Lösungsschritte zunächst zurück gehalten. Informationen werden interaktiv hinzugefügt, wenn sie benötigt werden. Die größte Herausforderung ist dabei die Kriterien festzulegen, wann Informationen gegeben und wann sie zurück gehalten werden. [] X empfiehlt eine geringe Bereitstellung an hilfreichen Erklärungen bei Problemlöseaktivitäten solange andere Ressourcen für den Lernprozess zur Verfügung stehen. Übertragen auf die Problemstellung dieser Arbeit lässt sich Schlussfolgern, dass alle relevanten Informationen zugänglich sein müssen. Diese sollten jedoch nicht alle direkt zu Beginn des Problemlöseprozess präsentiert werden. In Abschnitt x ist bereits beschrieben, dass komplexe Probleme auf das Wesentliche reduziert werden müssen und häufig Informationsbeschaffung gefordert ist. In dieser Arbeit soll die Informationsbeschaffung unterstützt und die Übersichtlichkeit der Information zur Reduktion der Komplexität gewährt werden.

Welche Informationen sind nun für den Modulbetreiber relevant, wenn ein Modul ausgetauscht werden muss?

Der sicherlich wichtigste Punkt ist die Kompatibilität. Passen die Anschlüsse zu den anderen Modulen meiner Anlage? Kann das Rezept weiterhin, wie konfiguriert gefahren werden oder sind Anpassungen notwendig?

3.1.4.1 ■

- Kosten (Fix- und laufende Kosten)
- Energieverbrauch

- Kompatibilität

-

3.2 Informationsanpassung

Die Individualisierung von Software bietet die Möglichkeit eine Vielzahl von Nutzer und Aufgaben zu unterstützen. Individualisierung dient der Modifizierung von Interaktionen und Informationsdarstellungen, um den Fähigkeiten und Bedürfnissen jedes Benutzers gerecht zu werden. Zudem kann sich das System auch entsprechend der zu lösenden Aufgaben anpassen.

3.2.1 Individualisierung für den Menschen

Bei Untersuchung des Informationsbedarfs hat sich bereits herauskristallisiert, dass Nutzer bei unterschiedlichem Vorwissen unterschiedliche Informationen zum Lösen der gleichen Aufgabe benötigen. Nutzer mit geringem Vorwissen haben zumeist einen höheren Informationsbedarf.

Daher erscheint es sinnvoll das individuelle Vorwissen der Nutzer zu berücksichtigen und die Menge und Art der Informationen an sie anzupassen. Wie dies umgesetzt werden kann ist im Konzept beschrieben.

anderen
Fokus
legen ->
Aufgaben

3.2.2 Anpassung an die Aufgabe

Da die entstehenden Probleme sehr unterschiedlich sein können ist eine entsprechende Anpassung an die aktuelle Situation und die zu bearbeitende Aufgabe wichtig.

Wie schon in Abschnitt x beschrieben lassen sich Probleme anhand verschiedener Aspekte unterscheiden. So ist zum Beispiel der Zeitdruck ein wichtiger Aspekt. Bei zeitkritischen Problemen muss möglichst schnell eine gute Lösung gefunden werden. Ist das Problem nicht zeitkritisch so können in Ruhe alle zur Verfügung stehenden Informationen in den Problemlöseprozess mit einbezogen werden. So kann bei einem zeitkritischen Problem ein höherer Automatisierungsgrad gefordert sein. Um dennoch dem Menschen seine Kompetenzen nicht abzusprechen ist es möglich bei Problemen, die eher langfristig sind und die eine höhere kognitive Aktivität erfordern, eine geringere Autonomiestufe anzuwenden. Dadurch kann der Mensch sich Wissen über den Prozess aneignen und seine Kompetenzen ausbauen.

Des weiteren unterscheidet sich maßgeblich, welche Informationen zur Verfügung gestellt werden müssen. Sendet ein Modul beispielsweise eine Warnung, dass der Füllstand den Grenzwert bald überschreitet so ist möglicherweise ein Hinweis notwendig, wie lange es noch dauert, bis der Behälter überläuft und was mögliche Konsequenzen sind.

3.3 Interaktionsmechaniken

Im Kontext dieser Arbeit wird das Problemlösen betrachtet. Problemlösen heißt in diesem Fall, dass beispielsweise die Ursache für eine Störung ausfindig gemacht werden muss. Die Behebung der Ursache, z.B. durch eine Reparatur, wird an dieser Stelle ausgeklammert. Im Stand der Technik sind verschiedene Interaktionsmechaniken beschrieben. Um diese geeignet bewerten zu können ist zunächst eine Begutachtung des Arbeitsumfelds und der Aufgaben notwendig.

Welche Informationen muss der Nutzer eingeben können??

3.4 Anforderungen an das Assistenzsystem

Unterstützung des Problemlöseprozess: Problem identifizieren. Ziel festlegen.
Probleme sortieren

Es muss eine Einschätzung erfolgen können, wie zeitkritisch das Problem ist

4 Konzept

4.1 Konzeptuelles Design

welche Elemente beeinflussen sich gegenseitig? welche Funktionen müssen realisiert werden?

4.2 physikalisches Design

5 Implementierung

6 Verifikation

7 Zusammenfassung

8 Ausblick

Anhang

A Anhang

Literaturverzeichnis

- [92408] DIN EN ISO 9241-110. *Grundsätze der Dialoggestaltung*. Sep. 2008.
- [92411] DIN EN ISO 9241-112. *Leitlinien für die Individualisierung von Software*. März 2011.
- [92417] DIN EN ISO 9241-112. *Grundsätze der Informationsdarstellung*. Aug. 2017.
- [Bai83] Lisanne Bainbridget. „Ironies of Automation“. In: *Automatica* 19.6 (1983), S. 775–779. ISSN: 00051098. DOI: [10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8).
- [Ber+16] Jens Bernshausen, Axel Haller, Thomas Holm, Mario Hoernicke, Michael Obst und Jan Ladiges. „Namur Modul Type Package – Definition“. In: *Atp Edition* 1-2 (2016), S. 72–81.
- [BFP11] Tilmann Betsch, Joachim Funke und Henning Plessner. *Denken - Urteilen, Entscheiden, Problemlösen*. Berlin Heidelberg, 2011. ISBN: 9783642124730.
- [BHVH07] Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Brigit Vogel-Heuser. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Bd. 136. 1. 2007, S. 23–42. ISBN: 9783658046811.
- [Dör84] Dietrich Dörner. „Denken , Problemlösen und Intelligenz“. In: *Psychologische Rundschau* XXXV.1 (1984), S. 10–20.
- [Fun03] Joachim Funke. *Problemlösendes Denken*. 1. Auflage. January 2003. Stuttgart: Kohlhammer, 2003.
- [Gaj+08] Krzysztof Z. Gajos, Katherine Everitt, Desney S. Tan, Mary Czerwinski und Daniel S. Weld. „Predictability and accuracy in adaptive user interfaces“. In: *Proceeding of the twenty-sixth annual CHI conference on Human factors in computing systems - CHI '08* (2008), S. 1271. DOI: [10.1145/1357054.1357252](https://doi.org/10.1145/1357054.1357252).

-
- [Has08] Marc Hassenzahl. „User experience (UX): Towards an experiential perspective on product quality“. In: *ACM International Conference Proceeding Series* 339 (Sep. 2008), S. 11–15. DOI: [10.1145/1512714.1512717](https://doi.org/10.1145/1512714.1512717).
- [Hei12] Andreas M Heinecke. *Mensch-Computer-Interaktion. Basiswissen für Entwickler und Gestalter*. 2. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012, S. 386. ISBN: 978-3-642-13506-4. DOI: [10.1007/978-3-642-13507-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-13507-1).
- [HT06] Marc Hassenzahl und Noam Tractinsky. „User experience - A research agenda“. In: *Behaviour and Information Technology* 25.2 (2006), S. 91–97. DOI: [10.1080/01449290500330331](https://doi.org/10.1080/01449290500330331).
- [Jer04] Patrick Jermann. „Computer Support for Interaction Regulation in Collaborative Problem-Solving“. Diss. 2004, S. 601–602. URL: citeseer.ist.psu.edu/509609.html.
- [Klu97] Rainer H. Kluwe. „Informationsverarbeitung, Wissen und mentale Modelle beim Umgang mit komplexen Systemen“. In: *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz: Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen*. Hrsg. von Karlheinz Sonntag. Zürich: vdf Hochschulverlag, 1997, S. 13–37.
- [KW16] Sebastian Kasselmann und Stefan Willeke. „Interaktive Assistenzsysteme“. In: *Technologie-Kompendium* (2016), S. 1–35. URL: https://industrie40.it-haus.com/wp-content/uploads/2016/12/IPH_2016_Assistenz-Systeme.pdf.
- [Kün+14] Bernd Künstler, Hans Ehm, Tom Effert, Daniel Geiger, Simon Geisenberger, Ernst Kastenholz, Klaus Neuhaus, Lars Pötzsch, Dirk Rimane, Manuela Zeppin, Michael Ginap und Christian Schober. *Leitfaden Supply Chain Management in der Elektronikfertigung*. Hrsg. von Laura Korfmann. Frankfurt am Main: ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., 2014.
- [Lad+18] Jan Ladiges, Aljosha Köcher, Peer Clement, Henry Bloch, Thomas Holm, Paul Altmann und Alexander Fay. „Entwurf , Model-

-
- lierung und Verifikation von Serviceabhängigkeiten in Prozessmodulen“. In: *at - Automatisierungstechnik* 66.5 (2018), S. 418–437. DOI: [10.1515/auto-2017-0076](https://doi.org/10.1515/auto-2017-0076).
- [LG99] Rudolf Lauber und Peter Göhner. *Prozessautomatisierung 1*. 3. Auflage. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 1999. ISBN: 9783642220739.
- [Lud15] Bernd Ludwig. *Planbasierte Mensch-Maschine- Interaktion in multimodalen Assistenzsystemen*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2015. ISBN: 9783662448182. DOI: [10.1007/978-3-662-44819-9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-44819-9).
- [Mei11] Gerrit Meixner. „Modellbasierte entwicklung von benutzungsschnittstellen“. In: *Informatik-Spektrum* 34.4 (2011), S. 400–404. ISSN: 01706012. DOI: [10.1007/s00287-011-0546-7](https://doi.org/10.1007/s00287-011-0546-7).
- [Obs+13] Michael Obst, Thomas Holm, Stephan Bleuel, Ulf Claussnitzer, Lars Evetz, Tobias Jäger, Tobias Nekolla, Stephan Pech, Stefan Schmitz und Leon Urbas. „Automatisierung im Life Cycle modularer Anlagen“. In: *Atp Edition* 1-2.January (2013), S. 24–31.
- [PL15] Kibeom Park und Seok-won Lee. „Model-Based Approach for Engineering Adaptive User Interface Requirements“. In: 558 (2015), S. 18–32. DOI: [10.1007/978-3-662-48634-4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48634-4).
- [RS16] Jessica Röhner und Astrid Schütz. *Psychologie der Kommunikation*. 2016. ISBN: 978-3-658-10023-0. DOI: [10.1007/978-3-658-10024-7](https://doi.org/10.1007/978-3-658-10024-7). URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-10024-7>.
- [RS58] Nikol Rummel und Hans Spada. „Learning to Collaborate: An Instructional Approach to Promoting Collaborative Problem Solving in Computer-Mediated Settings“. In: *The Journal of the Learning Sciences* 12.4 , Part 1 (1958). ISSN: 02729490. DOI: [10.1207/s15327809jls1402](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402).
- [Tula] Tulpe. *Assistenz*. Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/673565/revisions/1971304/view> (besucht am 03.01.2019).

-
- [Tulb] Tulpe. *assistieren*. Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/750355/revisions/1783324/view> (besucht am 03.01.2019).
- [Urb+12] Leon Urbas, Stephan Bleuel, Tobias Jäger, Stephan Schmitz, Lars Evetz und Tobias Nekolla. „Automatisierung von Prozessmodulen“. In: *Atp Edition* 1-2. February (2012), S. 44–53. ISSN: 1292-8941. DOI: [10.1140/epje/i2017-11542-4](https://doi.org/10.1140/epje/i2017-11542-4).
- [Via+00] Gianni Viano, Andrea Parodi, James Alty, Chris Khalil, Inaki Angulo, Daniele Biglino, Michel Crampes, Christophe Vaudry, Veronique Daurensan und Philippe Lachaud. „Adaptive user interface for process control based on multi-agent approach“. In: *Advanced visual interfaces AVI '00* (2000), S. 201–204. DOI: [10.1145/345513.345316](https://doi.org/10.1145/345513.345316).
- [Wan05] H. Wandke. „Assistance in human-machine interaction: A conceptual framework and a proposal for a taxonomy“. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 6.2 (2005), S. 129–155. ISSN: 1464536X. DOI: [10.1109/ETFA.2014.7005150](https://doi.org/10.1109/ETFA.2014.7005150). eprint: [arXiv:1011.1669v3](https://arxiv.org/abs/1011.1669v3).
- [Wei+18] Kirsten Weisner, Marco Knittel, Sascha Wischniewski, Thomas Jaitner, Heiko Enderlein, Peter Kuhlang und Jochen Deuse. „Assistenzsystem zur Individualisierung der Arbeitsgestaltung“. In: 111.2016 (2018), S. 2016–2019.
- [Wei16] R. Weidner. *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*. Hamburg, 2016. ISBN: 9783868180909.
- [Züh12] Detlef Zühlke. *Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. ISBN: 9783642220739.
- [NAM13] NAMUR Arbeitskreis 1.12. „Ne 148“. In: (2013), S. 1–32.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Meret Feldkemper, geboren am 28.07.1994 in Dortmund, dass ich die vorliegende Diplomarbeit zum Thema

*Kollaborative Problemlösung in modularen Anlagen mittels
persönlicher digitaler Assistenz*

ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

Dipl.-Ing. Sebastian Heinze

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Diplomarbeit nicht beteiligt. Mir ist bekannt, dass die Nichteinhaltung dieser Erklärung zum nachträglichen Entzug des Diplomabschlusses (Masterabschlusses) führen kann.

Dresden, den 02.05.2019

.....
Unterschrift