



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 Assistenzfunktionen 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.

Ersetzen!!

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

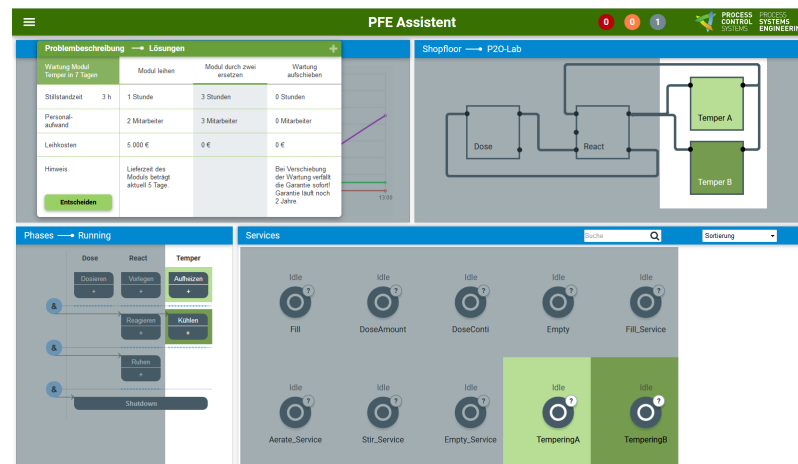
Einzureichen am:

02.05.19



Kollaborative Problemlösung in modularen Anlagen mittels persönlicher digitaler Assistenz

Modularisierungskonzepte erhöhen die Flexibilität von Anlagen in der Prozessindustrie. Der Anlagenbediener wird dabei vor die Herausforderung gestellt, Probleme nicht mehr auf Grundlage von umfangreicher Erfahrung lösen zu können¹. Assistenzsysteme können dem Menschen mittlerweile viele Aufgaben abnehmen und ihn somit bei einem Problemlöseprozess begleiten. Die Analyse dieser Arbeit zeigt die Vielschichtigkeit der Einflussfaktoren auf Problem und Lösung auf. Damit der Nutzer dennoch jederzeit einen Überblick behält, wird er durch die entwickelte Interaktionsplattform unterstützt. Diese lenkt die Aufmerksamkeit auf die relevanten Informationen. Unter Experten erhält die einfache Bedienung der Nutzeroberfläche und die Übersichtlichkeit der Lösungen sehr positive Rückmeldung und wird von diesen auch empfohlen.



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

DIPLOMARBEIT

Bearbeiterin: Meret Feldkemper

¹Romy Müller. „Cognitive challenges of changeability: adjustment to system changes and transfer of knowledge in modular chemical plants“. In: *Cognition, Technology and Work* 21.1 (2018).



Collaborative problem solving in modular plants with personal digital assistance

Modularization concepts increase the flexibility of plants in the process industry. The plant operator is faced with the challenge of no longer being able to solve problems on the basis of extensive experience¹. Assistance systems can relieve people of many tasks and accompany them through a problem-solving process. The analysis of this thesis shows the complexity of the influencing factors on problem and solution. The user is supported by the interaction platform developed ensure that he still has an overview at all times. The interaction platform draws attention to the relevant information. Among experts, the simple operation of the system and the clarity of the solutions receives a very positive response and would be recommended by them.



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

DIPLOMA THESIS

Author: Meret Feldkemper

¹Romy Müller. „Cognitive challenges of changeability: adjustment to system changes and transfer of knowledge in modular chemical plants“. In: *Cognition, Technology and Work* 21.1 (2018).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Aufbau der Arbeit	2
2	Stand der Technik	3
2.1	Prozessindustrie	3
2.1.1	Prozessautomatisierungssystem	4
2.1.2	Modulare Anlagen	4
2.2	Problemlösen	6
2.2.1	Unterscheidung von Problemen	6
2.2.2	Arten von Problemlösern	8
2.2.3	Einflüsse auf den Problemlöseprozess	8
2.2.4	Phasen des Problemlösens	10
2.2.5	Störungsdiagnose	11
2.3	Kollaboration	12
2.4	Kommunikation	12
2.5	Assistenz	13
2.5.1	Anforderungen an digitale Assistenzsysteme	14
2.5.2	Einsatz von digitaler Assistenz	14
2.5.3	Assistenzsysteme	15
2.6	Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen	19
2.6.1	Ergonomisch gute Gestaltung	19
2.6.2	User Experience	21
2.6.3	Individualisierung	21
2.7	Adaptive Systeme	23
2.7.1	Multiagentensysteme	23
2.7.2	Modellgestütztes User Interface	24
3	Analyse	25
3.1	Use Case	25
3.2	Vorhandene Informationen	26
3.2.1	Modulare Anlage	27
3.2.2	Prozessführungsebene	29

3.3	Informationsbedarf	30
3.3.1	Informationen nach Aufgabenbereich	30
3.3.2	Informationsbedarf des Menschen	31
3.4	Informationsanpassung	34
3.4.1	Individualisierung für den Menschen	34
3.4.2	Anpassung an die Aufgabe	35
3.5	Interaktionsmechaniken	36
3.6	Anforderungen an das Assistenzsystem	36
4	Konzept	38
4.1	Konzeptuelles Design	38
4.1.1	Funktionen	40
4.1.2	Anpassungen an den Problembereich	42
4.1.3	Finden von Lösungen	44
4.1.4	Kollaboration zwischen Nutzer und Assistenz	44
4.2	Physisches Design	47
4.2.1	Problem beschreiben	47
4.2.2	Lösungen	49
4.2.3	Entscheidung	50
4.2.4	Mehrere Probleme bearbeiten	50
5	Prototyp	53
5.1	Prozessführungsebene	55
5.1.1	Navigation	55
5.1.2	Rezept	55
5.1.3	Service Launcher	58
5.2	Problembeschreibung	58
5.3	Lösungen	61
6	Validierung	62
6.1	Vergleich mit Anforderungen	62
6.1.1	Unterstützung der Problemidentifikation	62
6.1.2	Unterstützung bei der Problemlösung	64
6.1.3	Klustern von Problemen	67
6.2	Aspekte des Assistenzsystems	68
6.3	Nutzerbefragung	71
6.3.1	Testmöglichkeiten	71
6.3.2	Der Fragebogen	73
6.3.3	Auswertung des Fragebogens	73

6.4	Bewertung	76
7	Fazit	77
7.1	Zusammenfassung	77
7.2	Ausblick	79
Anhang A	Modulare Anlage	81
A.1	Zustandsmodell Services	81
A.2	Rezept	82
Anhang B	Prozessführungsebene	83
Anhang C	Konzept	84
C.1	Farbschema des Assistenzsystems	84
C.2	Anpassung an Problembereich - Aktivitätsdiagramm	84
Anhang D	Fragebogen	85
	Literaturverzeichnis	87

Abbildungsverzeichnis

3.1	Die vier Bereiche der PFE	30
3.2	Produktionsprozess: Zielgrößen und Einflussfaktoren <i>nach Gottmann</i>	33
4.1	Aspekte des Assistenzsystems	39
4.2	Die Schritte des Problemlöseprozess	40
4.3	Aktivitätsdiagramm: Kollaboration Nutzer	45
4.4	Aktivitätsdiagramm: Kollaboration Interaktionsplattform . .	46
4.5	Aktivitätsdiagramm: Kollaboration Assistenzsystem	47
4.6	Prozessführungsebene	48
4.7	Problembeschreibung	49
4.8	Problembeschreibung - Ziel hinzufügen	49
4.9	Problembeschreibung - Ziel löschen	50
4.10	Lösungen für das Problem	51
4.11	Entscheidung für eine Lösung des Problems	52
4.12	Klustern von Problemen	52
5.1	Zustandsdiagramm Assistenzsystem - Prototyp	54
5.2	Zustandsdiagramm Navigation - Prototyp	55
5.3	Aktivitätsdiagramm Navigation Subplant - Prototyp	56
5.4	Zustandsdiagramm Rezept - Prototyp	56
5.5	Aktivitätsdiagramm Rezept Procedures - Prototyp	57
5.6	Aktivitätsdiagramm Rezept Steps - Prototyp	57
5.7	Angeklickter Service <i>nach Hensel et. al.</i>	58
5.8	Aktivitätsdiagramm Service Launcher - Prototyp	59
5.9	Aktivitätsdiagramm Zustand Problem - Prototyp	60
5.10	Aktivitätsdiagramm Lösungen - Prototyp	61
6.1	Vorwissen zu modularen Anlagen und Assistenzsystemen . .	74
6.2	Bewertung negativer Aussagen SUS Fragebogen	75
6.3	Bewertung positiver Aussagen SUS Fragebogen	75
A.1	Zustandsmodell Services <i>nach VDI 2658 Blatt 4</i>	81
A.2	Rezeptstruktur modulare Anlage - Phases <i>nach Bloch et.al.</i> .	82

A.3	Rezeptstruktur modulare Anlage - Procedures <i>nach Bloch et.al.</i>	82
A.4	Rezeptstruktur modulare Anlage - Steps <i>nach Bloch et.al.</i> . .	82
C.1	Aktivitätsdiagramm - Anpassung an Problemauslöser	84
D.1	Fragebogen: Aussagen zum Vorwissen	85
D.2	Fragebogen: SUS Fragebogen	85
D.3	Fragebogen: Offene Fragen	86

Tabellenverzeichnis

2.1	Interaktionsmöglichkeiten mit einem Assistenzsystem	17
2.2	Interaktionssysteme zur Bereitstellung von Informationen . .	18
3.1	Use Case: Lösungsmöglichkeiten für das Problem	26
3.2	Ebenen in einem Unternehmen bei Führung technischer Prozesse	31
6.1	Auswertung Anforderungen Problemidentifikation	62
6.2	Auswertung Anforderungen Problemlösung	65
6.3	Auswertung Anforderungen: Probleme klustern	67
6.4	Aufgaben digitaler Assistenz, die durch den Prototypen erfüllt werden	69
6.5	Validierung: Grundsätze der Dialoggestaltung	70
6.6	Validierung: Aspekte für die Informationsdarstellung	71
B.1	Übersicht über die Ebenen in der Prozessführungsebene . . .	83

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

Abkürzungen

bspw.	beispielsweise
HMI	Human Machine Interface
KPI	Key Performance Indicator
MTP	Modul Type Package
PFE	Prozessführungsebene
SUS	System Usability Scale
UX	User Experience
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Glossar

Fehler	Ein Fehler ist eine nicht zulässige Abweichung.
Modul	Ein Modul erfüllt eine verfahrenstechnische Grundfunktion und ist gleichbedeutend mit Process Equipment Assembly (PEA).
Operator	Ein Mittel, das zum Erreichen eines Ziels verwendet werden kann.
Problem	Ein Problem tritt auf, wenn ein definiertes Ziel nicht ohne Weiteres erreicht werden kann.
Prozessführungsebene	Die Prozessführungsebene stellt die Konfiguration der modularen Anlage dar.
Störung	Eine Störung entsteht, wenn eine Funktion nicht ausgeführt werden kann.
User Interface	Englischer Begriff für Nutzeroberfläche.
Ziel	Im Zusammenhang mit dem Problemlöseprozess sind Ziele Randbedingungen, die sich an den Einflussgrößen in einem Unternehmen orientieren.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Durch Voranschreiten der Automatisierung in der Prozessführung sind Anlagenbediener¹ vor allem in kritischen Situationen für Entscheidungen verantwortlich [12]. Der Mensch trifft seine Entscheidungen anhand von Beobachtung und Erfahrung. Da die Komplexität der Verfahren zur Produktion zunimmt [46], 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 [42]. Der Anlagenbediener ist stärker in die Veränderung des Prozesssystems eingebunden. Möglich machen das Module, die eine verfahrenstechnische Grundfunktion erfüllen und mittels Services gesteuert werden [16]. Diese Kapselung reduziert den Entwicklungszyklus einer Anlage und erhöht die Flexibilität [20]. Die Modularisierung stellt den Anlagenbediener auch vor die Herausforderung, Probleme nicht mehr aufgrund von umfangreicher Erfahrung lösen zu können [41]. „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.“ [44, S. 28]

Assistenzsysteme können hier eine geeignete Unterstützung bieten [53], indem sie die physische & psychische Beanspruchung optimieren und eine Überlastung vermeiden [62]. Dabei ist zu beachten, dass der Mensch nicht als Lückenbüßer verwendet wird, der alle Aufgaben übernehmen muss mit denen das Automatisierungssystem überfordert ist [53]. Die Kompetenzen des Menschen sind zu würdigen und mit Informationen aus dem Prozess zu ergänzen [62]. Fehlende Darstellung von Zusammenhängen erschwert den Problemlöseprozess zusätzlich. Auch eine mangelnde Kenntnis über die Faktoren,

¹Die männliche Form wird in der gesamten Arbeit für die einfache Lesbarkeit geschlechterneutral verwendet.

In der Literatur auch oft als Operator bezeichnet. Um eine Verwechslung mit den Operatoren beim Problemlösen zu vermeiden, wird im Zusammenhang mit der Steuerung von Anlagen einheitlich der Begriff Anlagenbediener verwendet.

die einen Einfluss auf das Problem haben, kann zu Herausforderungen führen [29].

1.2 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit soll einen ersten Überblick geben, welche Faktoren beim Bearbeiten von Problemen in modularen Anlagen berücksichtigt werden müssen und wie eine entsprechende Nutzeroberfläche aussehen kann. Dazu werden im Stand der Technik die Grundlagen gelegt. Es wird zunächst erläutert, wie modulare Anlagen funktionieren. Damit eindeutig ist, wie der Mensch beim Problemlösen unterstützt werden kann, erfolgt eine umfangreiche Betrachtung des Problemlöseprozesses. Ebenso wird darauf eingegangen, was Assistenz bedeutet und wie Mensch und System miteinander kommunizieren können. Zu berücksichtigen sind dabei die Empfehlungen für die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Die Analyse vermittelt einen Eindruck, wie komplex die Anforderungen an das Assistenzsystem sind. Es wird dargestellt, welche Informationen dem Nutzer bereits zur Verfügung stehen und welche noch wünschenswert sind. Dabei werden mögliche Anpassungen an den Nutzer, die Aufgabe und die Ziele eines Unternehmens berücksichtigt.

Abgeleitet aus den Grundlagen im Stand der Technik und den Ergebnissen der Analyse wird das Konzept entworfen. Dieses beinhaltet ein konzeptionelles Design, das nur die Funktionen des Assistenzsystems beschreibt, und ein physisches Design, das eine konkrete Umsetzung der Funktionen zeigt. Anschließend wird anhand eines Use Case das Konzept prototypisch umgesetzt.

Wie erfolgreich die Anforderungen aus der Analyse realisiert werden konnten, zeigt die Validierung. Für die Auswertung werden auch einige Experten befragt, die unabhängig einschätzen, ob sie das System empfehlen würden und welche Verbesserungsmöglichkeiten es gibt. Anhand dessen können auch Aussagen über weitere notwendige Schritte getroffen werden, damit das Assistenzsystem Anwendung findet.

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 das Thema der Arbeit im Kontext der modularen Anlagen steht, sind zunächst die Grundlagen der Prozessautomatisierung und darauf aufbauend das Konzept der modularen Anlagen erläutert. Entsteht ein Problem beim Betrieb der Anlage, muss dieses behoben werden. Um nachvollziehen zu können, wie Menschen Probleme lösen, wird der allgemeine Problemlöseprozess beschrieben. Hierbei wird auch Bezug auf die verschiedenen Einflussfaktoren, sowohl menschliche als auch technische, bei einem Problem genommen. Möchte man den Nutzer bei einem solchen Problemlöseprozess unterstützen, muss klar werden, was ein Assistenzsystem leisten kann und welche Möglichkeiten zur Kommunikation bestehen. Damit bei der Entwicklung des Prototypen der Nutzer immer in Vordergrund bleibt, ist in diesem Kapitel auch beschrieben, was bei der nutzerzentrierten Entwicklung zu berücksichtigen ist.

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 Prozesse und Anlagen voneinander. Dennoch gibt es einige Konzepte, die für alle Bereiche gültig sind [57].

- **Grundoperationen:** Eine Grundoperation ist ein einfacher chemischer oder physikalischer Vorgang, wie mischen, 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 [36]:

- **Sensoren und Aktoren** sind die Schnittstelle zwischen dem Automatisierungssystem und dem zu automatisierenden technischen System.
- Das **Kommunikationssystem** umfasst sowohl das prozessnahe Bus-System als auch das Bus-System zum Informationsaustausch zwischen den Rechnern.
- Die **Automatisierungs-Computersysteme** sind für die Automatisierung eingesetzten Rechner. Bei jedem Rechner muss zwischen dem Hardware- und dem Softwaresystem unterschieden werden.
- **Fest verdrahtete Einzelgeräte** können beispielsweise Sicherheitseinrichtungen, Back-up-Regler oder Relaissteuerungen sein.
- **Einrichtungen für die Mensch-Prozess-Kommunikation** sind beispielsweise Bildschirme, Anzeige- und Meldegeräte oder Tastaturen.
- Das **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 [58]. 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 [13].

- **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 [43] ist beschrieben, welche Daten an das übergeordnete Automatisierungssystem übertragen werden und welche dem Modullieferanten zur Wartungsunterstützung zur Verfügung stehen. Die Daten für das übergeordnete Automatisierungssystem 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 Anhang A.1).

Die Services können nicht nur modulintern, sondern auch modulübergreifende Abhängigkeiten aufweisen. Die Abhängigkeiten sind in 4 Relationen eingeteilt [35].

- **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 Beschreibungen der Services und ihrer Betriebsarten sind modulspezifisch und müssen vom Modulingenieur angegeben werden.

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 (siehe auch Anhang A.2). Auf der höchsten Abstraktionsebene, den Phases, kann der Anlagenbediener 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. [16]

2.2 Problemlösen

Man 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. [14, 19, 22]

Liegt ein Problem vor, 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. Die notwendigen Operatoren für die Überführung von einem Ausgangs- zu einem Zielzustand hängen mit dem Ziel zusammen. 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. [22]

Wann gilt ein Problem nun als gelöst? Laut Funke [22] ist ein Problem gelöst, wenn die Suche nach der Lösung abgebrochen wird. Dabei wird die Suche durch verschiedene Abbruchkriterien geleitet:

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

2.2.1 Unterscheidung von Problemen

Probleme unterscheiden sich hinsichtlich vieler Aspekte, die beim Problemlösen berücksichtigt werden müssen. [14]

- **Klarheit:** Es wird zwischen wohl-definierten und schlecht-definierten Problemen unterschieden. Wohl-definierte Probleme kennzeichnen sich durch einen eindeutigen Ausgangs- und Zielzustand sowie klar beschriebene Operatoren. Bei schlecht-definierten Problemen ist dies nicht der Fall.

- **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 müssen, 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 einfaches Problem kann durch eine einzelne Veränderung gelöst werden. Ein komplexes Problem wird durch mehrere Unbekannte beeinflusst [14]. Manche treten erst bei Bearbeitung des Problems auf. Ein komplexes Problem kennzeichnet sich durch die folgenden Merkmale [22]:

- **Komplexität der Problemsituation:** Bei hoher Komplexität muss das Problem auf das Wesentliche reduziert werden.
- **Vernetztheit der beteiligten Variablen:** Je stärker die einzelnen Aspekte des Problems und der Lösung zusammenhängen, desto komplexer ist das Problem. Es ist wichtig die Abhängigkeiten zu kennen.
- **Dynamik der Problemsituation:** Einerseits können durch Eingriffe in ein komplexes vernetztes System Prozesse in Gang gesetzt werden, die nicht beabsichtigt waren. Andererseits kann sich ein Problem über die Zeit verändern.
- **Intransparenz:** Es liegen sowohl in Hinblick auf die Zielstellung, als auch auf die Variablen nicht alle erforderlichen Informationen vor. Das fordert Informationsbeschaffung.
- **Projekteile:** 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.

2.2.2 Arten von Problemlösern

Nicht nur Probleme sind verschieden, sondern auch die Art, Probleme zu lösen. Es wird zwischen drei bipolaren Dimensionen unterschieden [14]. 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 und macht deutlich, wie der Mensch auf Herausforderungen reagiert.

- **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 auf den Problemlöseprozess

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, können nur bestimmte Zielzustände in Betracht gezogen werden. [22]

Zudem beschreibt Funke [22] 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. Effekte, die durch die Notfallreaktion hervorgerufen werden, sind unter anderem:

- **Senkung des intellektuellen Niveaus:** Die Selbstreflektion sinkt ab, die Absichten und Vorannahmen sinken ab, es kommt zu einer Stereotypisierung und die realisierten Absichten reduzieren sich.
- **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 Gruppenleistung 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 [19]. Das Motiv des Problemlösers hat dabei, in Verbindung mit der aktuellen Situation, einen hohen Stellenwert. Dörner [19] 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 Selbstreflexionen 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 aus, eine Situation aufgrund des vorhandenen Wissens zu bewältigen. Zusammen ergibt sich daraus die aktuelle Kompetenz. [19]

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“ [14, 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, sind möglicherweise Planänderungen vorzunehmen. Wie die Störungen diagnostiziert werden können ist in Abschnitt 2.2.5 beschrieben.

Abschließend erfolgt in Phase fünf die **Ergebnisbewertung**. In dieser 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. [14]

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 das Strukturwissen und das Kontroll- & Steuerungswissen unterschieden. [22]

Das Strukturwissen bezieht sich auf die Schnittstellenebene, das Interface, und die Systemebene. Es beinhaltet Faktenwissen über die Funktionsweise und Organisation der Komponenten und deren möglichen Zustände. Es ist möglich, dass ein Bediener umfassende Kenntnisse über das Interface hat, aber über keinerlei Systemwissen verfügt. Eine Steuerung des Systems ist mit reinem Strukturwissen nicht möglich. [22, 33]

Das Kontroll- & Steuerungswissen bezieht sich auf Regeln, anhand derer die Zustände des Systems mit den Zielen des Anlagenbedieners durch Systemeingriffe verknüpft werden können [22]. Kluwe [33] teilt das Wissen in mehrere Ebenen. Auf der Ebene des Eingriffswissens führt der Anlagenbediener verfügbare Prozeduren ohne weiteres Wissen über das System aus. Dies ähnelt einer Black-Box. Auf der Ebene des Kausalwissens verfügt der Anlagenbediener zusätzlich über Kenntnisse des Ursache-Wirkungsgefüges. Welches Wissen wichtig ist hängt von den Aufgaben des Anlagenbedieners ab.

Beim Bearbeiten von komplexen Problemen muss anhand der Anforderungen zwischen den verschiedenen Wissensarten flexibel gewechselt werden können. [22]

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 jeder Person eine konkrete Aufgabe zugeteilt wird und die Ergebnisse zum Schluss zusammengetragen werden [31]. Kollaboration ist durch die Symmetrie von Wissen, einem gemeinsamen Ziel und der Zusammenarbeit gekennzeichnet [50]. Dabei spielt insbesondere die Interaktion untereinander eine große Rolle, da diese den kollaborativen Lerneffekt fördert [31].

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 klare und geeignete Fragen zu stellen. Das Stellen von Fragen ist wichtig, um ungeteilte Informationen auszutauschen. Ebenso wichtig ist das richtige Zuhören, da die meisten Menschen besser Informationen geben als aufnehmen können. Zudem sollten nur die Informationen weitergegeben werden, die für die Situation notwendig sind. [49]

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 [27]:

- **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 2.5.3 konkreter thematisiert sind.

2.5 Assistenz

Laut Duden bedeutet Assistenz Beistand oder Mithilfe [10]. Das Verb assistieren wird mit den Worten „jemanden nach dessen Anweisungen zur Hand gehen, bei einer Arbeit oder Tätigkeit behilflich sein“ beschrieben [11]. In der Literatur finden sich eine Vielzahl von Definitionen. Diese reichen vom Schraubendreher, über autonome Ausführung von Funktionen bis hin zur individualisierten Nutzerunterstützung [38]. Zur Einordnung, inwieweit der Nutzer durch das Assistenzsystem unterstützt wird, finden die zehn Level der Automatisierung von Sheridan [55] häufig Anwendung [60].

1. Der Mensch erledigt alles alleine.
2. Der Computer unterstützt den Menschen bei der Ermittlung der möglichen Optionen.
3. Der Computer unterstützt den Menschen bei der Ermittlung der möglichen Optionen und wählt ein paar aus.
4. Der Computer wählt eine Option aus, die der Mensch verfolgen kann, aber nicht muss.
5. Der Computer wählt eine Option aus und führt sie durch, wenn der Mensch dies bestätigt.

6. Der Computer wählt eine Option aus und führt diese durch, wenn der Mensch diese nicht innerhalb einer bestimmten Zeit abbricht.
7. Der Computer erledigt alles alleine und informiert den Menschen, was er getan hat.
8. Der Computer erledigt alles alleine und informiert den Mensch, wenn dieser nachfragt.
9. Der Computer erledigt alles alleine und informiert den Menschen, wenn er der Meinung ist, dass dies notwendig ist.
10. Der Computer erledigt alles alleine, wenn er der Meinung ist, dass es notwendig ist. Er informiert den Menschen, wenn er es für notwendig erachtet.

2.5.1 Anforderungen an digitale Assistenzsysteme

Die Assistenz soll den Menschen bestmöglich unterstützen. Dabei sind seine Fähigkeiten zu berücksichtigen und eine Überlastung ist zu vermeiden. Es müssen dabei unter anderem folgende Aspekte beachtet werden [38]:

- **Interaktivität:** Dem Nutzer muss die Möglichkeit zur Interaktion gegeben werden. Die Ziele und Aufgaben sollten formulierbar sein ohne Rücksicht auf das System nehmen zu müssen.
- **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 [60]:

- **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 Menschen und den Systemfunktionen können Assistenzsysteme verwendet werden. Ein Assistenzsystem 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. Er 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 2.1 aufgeführt. [27, 63]

Schnittstelle

Mit Schnittstelle ist gemeint, wie und mit welchen Mitteln Informationen dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden. Diese reichen mittlerweile vom stationären Computer über Wearables, wie Smartwatches, bis hin zu Augmented Reality Anwendungen, die Informationen in das Blickfeld projizieren. Mögliche Systeme für eine Repräsentation der Informationen sind in Tabelle 2.2 dargestellt. [32, 38, 61, 63]

Tabelle 2.1: Interaktionsmöglichkeiten mit einem Assistenzsystem

Interaktions- möglichkeit	Merkmale	Vorteile	Nachteile	Einsatz
Taste	führt zugewiesene Aktionen aus	universell einsetzbar		zur Auswahl von Funktionen
Maus	zweidimensionale Bewegung	Bedienung ist einfach zu erlernen	benötigt eine ebene saubere Fläche	vor allem im Bürobereich
Joystick	wird durch kippen bedient	schnelle Richtungswechsel möglich		als Musersatz; bei Zielverfolgungsaufgaben
Touchscreen	Interaktion durch Berühren des Bildschirms	direkte Bedienung; keine zusätzliche Hardware nötig	Verschmutzt schnell	weitreichend: von Industrie bis Labor
Spracheingabe	Steuerung über Laute oder Sprache	einfach zu bedienen	Artikulation von Sprachkommandos erfordert hohe kognitive Leistung	Auswahlvorgänge, Kommandos
Gesten	werden mit Kamera erfasst	einfach anwendbar	sichere Erkennung muss gewährleistet sein	

Tabelle 2.2: Interaktionssysteme zur Bereitstellung von Informationen

Interaktionssystem	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	handsfree; 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 bedingt in lauter Umgebung	Call-Center; Logistik
Smartwatch	kann wenige wichtige Informationen anzeigen	handsfree; kompakt	begrenzte Displaygröße	Navigation; Information
Tablet		einfache Handhabung	nur eine freie Hand	Anleitung; Wartung von Maschinen
stationärer Computer		großer Bildschirm	nicht transportabel; Vielzahl an auswählbaren Befehlen	Übersicht über viele 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 [63]. Umso wichtiger ist eine nutzerfreundliche Gestaltung. Diese orientiert sich maßgeblich an den Bedürfnissen des Nutzers, welche in den Entwicklungsprozess mit einzubeziehen sind [27, 63]. 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 ansprechendes 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 die Generierung von positiven Emotionen, wie Freude, Spaß und Stolz. [26]

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. Teil 110 [7] beschreibt die Grundsätze der Dialoggestaltung:

- **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 komplizierter zu machen. Teil 112 [8] 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 optimalen Gestaltung werden die Erlebnisse, die der Nutzer bei der Verwendung von Technologien erfährt, immer wichtiger. Technologie ist mehr als ein Tool, das verwendet wird um Zeit zu generieren, die schön gestaltet werden kann. Sie kann vielmehr selbst eine Quelle für Vergnügen sein. [25]

User Experience (UX) verschiebt die Aufmerksamkeit von Produkt und Material (bspw. Funktionen und Interaktionen) zu den Menschen und den Gefühlen [25]. Für Hassenzahl [25, 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!“ [26, S. 92] beschreibt die Relevanz eines guten UX-Designs sehr treffend. [26]

Generierung positiver Erlebnisse

Interaktive Systeme werden vom Nutzer aus zwei Perspektiven wahrgenommen. Zum einen aus der pragmatischen Sicht mit dem Fokus auf das Produkt. Zum anderen der hedonischen¹ Sicht, welche den Fokus auf den Menschen legt und 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 geschehen. [25]

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. Leider sind negative Erlebnisse auch bei einem sehr guten UX Design unvermeidbar. Soll sich der Mensch kompetent fühlen, 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. [25]

2.6.3 Individualisierung

Wenn unterschiedliche Benutzer(gruppen) ein System verwenden, dann ist eine Individualisierung in Betracht zu ziehen. Individualisierung bedeutet, dass sich das Verhalten des Systems und die Darstellung der Benutzerschnittstellen-Elemente entsprechend anpassen. Die ISO 9241-129 [9] listet einige Aspekte auf, bei denen es sinnvoll ist zu individualisieren:

¹Hedonisch bedeutet Lust und Freude.

- **Variation der Benutzermerkmale:** Fähigkeiten und Präferenzen der Nutzer sind verschieden.
- **Unterschiedliche Bedürfnisse und Ziele:** Durch entsprechende Individualisierung sollen alle Nutzer zufrieden gestellt werden.
- **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, ist eine Anpassung an diese Geräte sinnvoll.
- **Unterschiedliche Umgebungen, denen ein einzelner Nutzer ausgesetzt ist:** Der Nutzer verwendet das Gerät sowohl in hellen als auch in dunklen Umgebungen, wodurch eine bspw. eine Anpassung des Kontrastes nötig wird.

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:

- Individualisierung darf kein Ersatz für ergonomisch gestaltete Dialoge sein.
- Sicherheitskritische und aufgabenkritische Systeme dürfen in ihrer Funktion nicht eingeschränkt werden.
- Individualisierung darf nicht zu einer Reduktion von Wirtschaftlichkeit und Produktivität führen.
- Individualisierung darf nicht zu Problemen bei der Gebrauchstauglichkeit oder Zugänglichkeit führen.

Herczeg [30] hat zudem identifiziert, welche Eigenschaften eines Systems 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 die 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 differenziert zu betrachten, da es viele Charakteristika gibt, die einen Erfolg oder einen Misserfolg hervorrufen können [23]. Dabei ist, neben der Vorhersagbarkeit, die präzise Anpassung an den jeweiligen Menschen ein wichtiger Faktor [23]. 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 Anlagenbedieners, lässt sich nur schwer messen. Dies ist meist nur über Interaktionen mit dem System möglich. [59]

2.7.1 Multiagentensysteme

Eine Möglichkeit eine adaptive Nutzerschnittstelle für einen Anlagenbediener umzusetzen beschreibt Viano et.al. [59]. 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 [59] verwendet folgende Agenten:

- **Prozess Model Agent:** Beobachtet die Prozessinformationen und handelt unter Ausnutzung 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 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 explizite Darstellung der Benutzerschnittstelle wird mit der **finalen Benutzerschnittstelle** vorgenommen. [39, 45]

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. [39]

3 Analyse

Ein kollaborativer Problemlöseprozess kennzeichnet sich durch die Symmetrie von Wissen, ein gemeinsames Ziel und die Zusammenarbeit [50]. Welches Wissen vorhanden ist und dem Nutzer derzeit zur Verfügung steht, beleuchtet dieses Kapitel. Unklar ist, ob die aktuellen Informationen ausreichend sind, um ein Problem zu lösen. Es wird daher genauer betrachtet, welche Informationen zur Verfügung gestellt werden müssen, um Lösungen zu finden und Entscheidungen zu treffen. Für die Suche nach Lösungen sind vor allem die Ziele relevant. Probleme entstehen erst, wenn ein vorher definiertes Ziel durch auftretende Ereignisse nicht ohne Weiteres erreicht werden kann [14, 22]. Während des gesamten Problemlöseprozesses muss der Nutzer im Fokus stehen, da sich seine innere Einstellung auf den Problemlöseprozess auswirkt [19]. Einen Einfluss darauf hat auch der Automatisierungsgrad des Assistenzsystems, weshalb dieser näher thematisiert wird.

3.1 Use Case

Der zuständige Mitarbeiter für die Produktionsplanung der modularen Anlage erhält vom Assistenzsystem die Meldung, dass das Modul Temper in spätestens sieben Tagen gewartet werden muss. Um eine geeignete Lösung für die Aufrechterhaltung der Produktion zu finden, bestätigt der Mitarbeiter das Problem. Nun gibt das Assistenzsystem die Möglichkeit die Rahmenbedingungen für die Problemlösung festzulegen. Der Hersteller des Temperiermoduls hat die Dauer der Wartung auf zwei Tage festgelegt. Damit das Assistenzsystem nach geeigneten Lösungen suchen kann, definiert der Mitarbeiter die Ziele. Da die Produktion zur Zeit gut ausgelastet ist, darf die Anlage maximal drei Stunden still stehen. Mit dieser Angabe sucht nun das Assistenzsystem nach Lösungen, die die definierten Ziele einhalten. Es findet folgende Möglichkeiten:

- **Modul leihen:** Der Hersteller des Moduls bietet die Möglichkeit für den Zeitraum der Wartung ein Modul mit den gleichen Spezifikationen zu leihen.

- **Modul durch zwei Module tauschen:** Das Unternehmen hat noch zwei Module auf Lager, die gemeinsam den Temperaturbereich der Produktion abdecken können.
- **Wartung aufschieben:** Die Meldung des Moduls wird ignoriert und so weiter produziert, wie bisher.

Um dem Mitarbeiter eine entsprechende Entscheidungshilfe zu geben, werden die Lösungsmöglichkeiten mit relevanten Fakten versehen. Diese sind in Tabelle 3.1 dargestellt.

Tabelle 3.1: Use Case: Lösungsmöglichkeiten für das Problem

Lösung	Modul leihen	Modul durch 2 Module tauschen	Wartung aufschieben
Stillstandzeit	1 Stunde	3 Stunden	0 Stunden
Personal-aufwand	2 Mitarbeiter	3 Mitarbeiter	0 Mitarbeiter
Leihkosten	5.000€	0€	0€
Hinweis	Lieferzeit des Moduls beträgt aktuell 5 Tage.		Bei Verschiebung der Wartung verfällt die Garantie sofort! Garantie läuft noch 2 Jahre.

Diese Fakten werden visuell unterstützt. Im Fall des Modulaustauschs zeigt das Assistenzsystem an, wo Änderungen im Rezept vorgenommen werden müssen und welche Services sich verändern.

3.2 Vorhandene Informationen

Die modulare Anlage stellt mittels des Module Type Package (MTP) eine Reihe an Informationen zur Verfügung, welche für den Problemlöseprozess verwendet werden können. Zur Visualisierung einiger der Informationen wird die Prozessführungsebene verwendet. In den folgenden Abschnitten sind die Menge und Art der vorhandenen Informationen detailliert beschrieben.

3.2.1 Modulare Anlage

Der Lebenszyklus einer modularen Anlage wird in unterschiedliche Phasen eingeteilt. Sie besteht aus Planung, Errichtung, Betrieb und Demontage [44]. Diese Arbeit berücksichtigt nur den Fall des laufenden Betriebs und legt einen besonderen Augenmerk auf das Potential der Flexibilität. Die modulare Anlage kann beispielsweise bei Wartungsarbeiten an einem Modul mit einem alternativen Modul weiter betrieben werden.

Probleme können jedoch nicht nur beim Austausch von Modulen entstehen. Es ist auch möglich, dass ein Service eine Warnung ausgibt. Nun müsste die Ursache gefunden und das Problem gelöst werden. Welche Probleme beim Betrieb der modularen Anlage auftreten können, wird noch näher beschrieben.

Um diese Probleme lösen zu können, muss unter anderem eindeutig sein, welche Informationen zur Verfügung stehen. Für den Austausch von Informationen zwischen Prozessführungsebene (PFE) und Modul wird das Modul Type Package (MTP) verwendet. Im MTP sind unter anderem das HMI und die Services hinterlegt [4]. Der konkrete Inhalt unterscheidet sich von Modul zu Modul.

Informationsaustausch mittels MTP

Das Modul stellt eine Reihe an Informationen zur Verfügung, die durch das Modul Type Package (MTP) beschrieben sind. 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. Es können unter anderem Einheiten, Maximal- und Minimalwerte oder Prozesswerte übermittelt werden. [5]

- **TagName:** Name der repräsentierten Information.
- **TagDescription:** Beschreibung der repräsentierten Information, z. B. die 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 bestimmte 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.

Services

Abschnitt 2.1.2 beschreibt bereits, dass Module durch Dienste gesteuert werden. 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 Self Completing (SC) bei Erreichen von definierten Parametern ausgelöst. [16]

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 [6]. Diese Information könnte für eine Eingrenzung des Problembereichs verwendet werden.

Sollen Dienste näher spezifiziert werden, ist eine Verwendung von Parametern möglich, die in vier Kategorien eingeteilt sind. [6]

- **Konfigurationsparameter** werden für grundlegende Einstellung verwendet. Ein Ändern ist nur möglich, wenn der Dienst offline ist. Es können beispielsweise die Grenzwerte nachgelagerter Module hinterlegt werden.
- **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. Beispiele für verwendete Parameter sind Sollwerte, wie Temperatur- oder Durchflussvorgaben und Reglerparameter, wie Verstärkung und Nachhaltezeit.
- **Prozesswerte** werden kontinuierlich gelesen oder geschrieben und stellen Werte bereit oder erwarten diese. Beispielhaft dafür sind modulübergreifende Verriegelungen.

- **Reportwerte:** Zur Nachweis- und Dokumentationspflicht werden die Werte in den Zuständen Completed, Aborted und Stopped gespeichert.

Probleme in modularen Anlagen

Da die modularen Anlagen mit Diensten gesteuert werden, ändert 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, ist noch nicht eindeutig, wo das Problem liegt. Durch die Anzeige von dazugehörigem Equipment und möglichen Serviceabhängigkeiten kann der Problembereich eingegrenzt werden. Beim Betrieb der modularen Anlage im P2O-Lab der TU Dresden treten, laut dem Geschäftsführer, derzeit häufig Fehler auf, wenn entsprechende Zuläufe nicht geöffnet werden. So meldet aktuell das Reaktormodul nicht zurück, wenn vergessen wurde die Druckluft anzustellen. Der Anlagenbediener erkennt dann nur die Auswirkung jedoch nicht die Ursache. 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.

Neben den Problemen, die sich auf herkömmliche Anlage übertragen lassen, können im Zuge der Flexibilität ganz Neue entstehen. Die Option, nicht nur Parameter anzupassen sondern auch Module auszutauschen, eröffnet neue Möglichkeiten und stellt den Modulbetreiber vor neue Herausforderungen. Müller und Urbas [42] haben diese Problematik bereits erläutert.

3.2.2 Prozessführungsebene

Das MTP stellt eine Reihe an Informationen zur Verfügung. Welche davon wie angezeigt werden, ist Aufgabe der Prozessführungsebene. Für eine bessere Übersicht ist diese in vier Ebenen eingeteilt, die anhand ihrer Detailgrade variieren (siehe Anhang B). Die PFE besteht in Ebene zwei, drei und vier aus vier Bereichen (siehe Abbildung 3.1). Ebene eins unterscheidet sich davon. In dieser sind lediglich die KPI, die Navigation und das Rezept sichtbar. Zwischen den verschiedenen Ebenen kann mittels der Navigation gewechselt werden. [28]

- **KPI:** Zeigt die KPI der einzelnen Module an.
- **Navigation:** Zeigt eine Übersicht über die modulare Anlage an. Durch Klicken auf einzelne Module gelangt man zu mehr Details.

- **Rezept:** Zeigt das Rezept zur modularen Anlage an. Dieses ist aufgeteilt in Phases, Procedures und Steps (siehe Abschnitt 2.1.2).
- **Services / HMI:** Zeigt die Dienste der Module an. Diese beinhalten den aktuellen Zustand und mögliche Zustandsübergänge, die aktuelle Fahrweise und die aktuelle Betriebsart. Des Weiteren können noch die vorhandenen Dienstparameter angezeigt und eingestellt werden. Auf der letzten Ebene wird statt der Services das HMI des Moduls angezeigt.

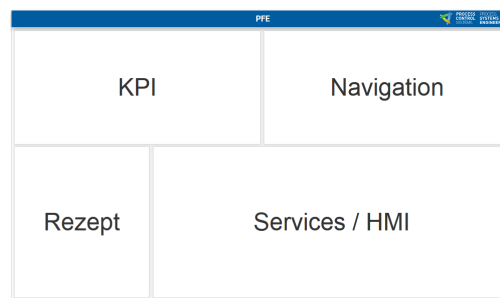


Abbildung 3.1: Die vier Bereiche der PFE

3.3 Informationsbedarf

Der Erfolg der Problemlösung ist abhängig von den Informationen, die dem Nutzer zur Verfügung stehen [22]. Um den Nutzer bestmöglich zu unterstützen, werden sowohl die zu bearbeitende Aufgabe als auch die Bedürfnisse der Nutzer analysiert.

3.3.1 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. Weitert man den Problembereich von einer reinen Instandhaltung auf Bereiche wie die Wirtschaftlichkeit aus, werden andere Informationen benötigt. Welche Funktionen auf welcher Ebene in einem Unternehmen automatisiert werden können und somit auch sinnvoll durch ein Assistenzsystem unterstützbar sind, beschreiben Lauber und Göhner [36]. Hier ist auch der zeitliche Aspekt mit aufgeführt. Eine entsprechende Übersicht findet sich in Tabelle 3.2.

Tabelle 3.2: Ebenen in einem Unternehmen bei Führung technischer Prozesse [36]

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

3.3.2 Informationsbedarf des Menschen

Stützt man sich bei der Ermittlung des Informationsbedarfs auf die individuellen Fähigkeiten und das vorhandene Wissen, ist eine entsprechende Analyse relativ komplex [48]. Das ist insbesondere dann relevant, wenn der Problemlöseprozess einen Lerneffekt haben soll. In der Literatur ist dies als Assistance Dilemma bezeichnet [34]. Wenn der Lerneffekt möglichst groß sein soll, wird Information über die Problemlösung und die Lösungsschritte zunächst zurückgehalten. Informationen werden interaktiv hinzugefügt, wenn sie benötigt werden. Die größte Herausforderung besteht darin die Kriterien festzulegen, wann Informationen gegeben und wann sie zurückgehalten werden [34]. Richey und Nokes-Malach [48] empfehlen eine geringe Bereitstellung an hilfreichen Erklärungen bei Problemlöseaktivitäten, solange andere Ressourcen für den Lernprozess zur Verfügung stehen. Da diese Arbeit den Fokus auf eine geeignete Informationsaufbereitung legt, wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen, wie der Lernerfolg des Menschen ideal unterstützt werden kann. Die Literatur [40, 51] hebt hervor, dass die Anlagenbediener

ein mittleres Level an Automatisierung bevorzugen. Auf diesem Level werden beim komplexen Problemlösen die meisten Varianten generiert. Bei keiner Unterstützung übersieht der Anlagenbediener möglicherweise wichtige Aspekte. Bei einer hohen Automatisierung denkt der Anlagenbediener nicht mehr über Alternativen nach und bestätigt den Vorschlag nur noch [40]. Für eine geeignete Unterstützung könnte das System verschiedene Vorschläge liefern, die durch Vorschläge des Menschen ergänzt werden.

In Abschnitt 2.2.1 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 gewahrt werden.

Welche Informationen sind nun für den Modulbetreiber relevant, wenn ein Modul ausgetauscht werden muss? Der sicherlich wichtigste Punkt ist die Kompatibilität. Um diese einschätzen zu können, sind weitreichende Informationen über das Modul und die aktuelle Anlage notwendig. Diese umfassen unter anderem

- **die Abmaße:** Passt das Modul von der Größe an die gleiche Stelle, wie das andere Modul?
- **die Schnittstellen:** Ist das Modul mit den Schnittstellen der anderen Module kompatibel?
- **das Rezept:** Welche Stellen im Rezept werden beeinflusst, wenn das Modul getauscht werden muss?
- **die Services:** Welche Serviceabhängigkeiten bestehen zwischen dem Rest der Anlage und dem zu ersetzenden Modul?
- **die Parameter:** Können die Parameter bei einem Austausch beibehalten werden oder müssen Anpassungen vorgenommen werden? Wenn Anpassungen vorgenommen werden müssen ist die Frage, welche Auswirkungen das auf den Prozess hat.

Ein Modulaustausch hat nicht nur auf der rein technischen Seite einen Einfluss. Ein Anlagenbediener muss noch viele weitere Faktoren berücksichtigen, um sich bei Alternativen für eine entscheiden zu können. Die Kriterien für die Auswahl werden durch die Ziele des Unternehmens bestimmt. Zur Unterstützung der Zielerreichung ist eine Verwendung von Kennzahlen möglich. Mit den Kennzahlen kann der aktuelle Zustand ermittelt und überwacht

werden. Dabei muss auch festgelegt werden, welche Entscheidungsrelevanz die Kennzahl hat. Bezogen auf den Modulaustausch könnten der Aufwand einer Rezeptänderung oder die Auswirkungen auf die Produktqualität relevant sein. Mit Sicht auf die Produktionsprozesse identifiziert Gottmann [24] eine ganze Reihe von Faktoren, welche die Ziele beeinflussen können (siehe Abbildung 3.2).

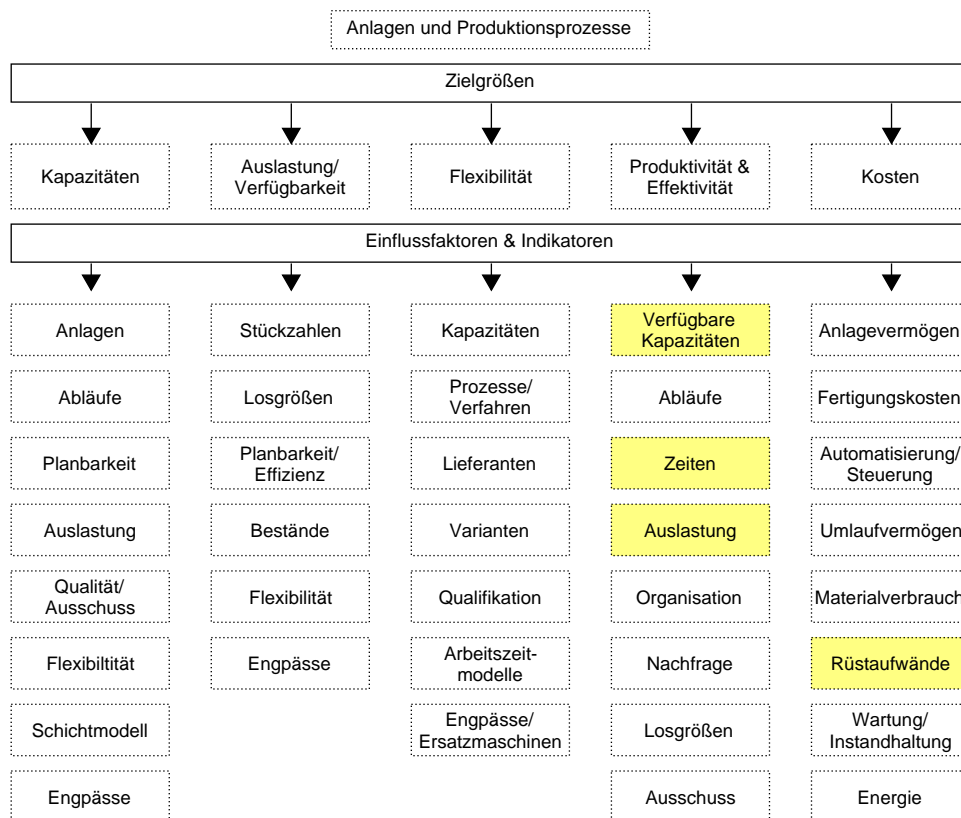


Abbildung 3.2: Produktionsprozess: Zielgrößen und Einflussfaktoren *nach Gottmann* [24, S. 50]

Nicht für jedes Unternehmen und jede Ebene im Unternehmen ist jede Zielgröße und somit auch nicht jeder Einflussfaktor relevant. In dieser Arbeit wird der Fokus im Zuge des Modulaustauschs auf die Ebene der Produktionsplanung und Betriebsleitung gelegt. Auf dieser Ebene ist unter anderem die Kapazitätsoptimierung und damit das Ziel der Produktivität und Effektivität relevant. Die Produktivität beschreibt, wie viel der verfügbaren

Arbeitszeit zur Produktion verwendet wird. Steht aufgrund vieler Störungen in der Anlage die Produktion still, so ist die Produktivität gering. Bei einer hohen Effektivität werden die verfügbaren Ressourcen ideal genutzt. Dies kann beispielsweise die Reduktion des Energieverbrauchs sein. Folgende Einflussfaktoren (vgl. Markierungen in Abbildung 3.2) sollen im weiteren Verlauf der Arbeit berücksichtigt werden:

- **Zeiten:** Wie viel Stillstandzeit verursacht der Modulaustausch?
- **Auslastung:** Besteht die Möglichkeit vorzuproduzieren?
- **Rüstaufwände:** Was muss alles im Rezept verändert werden? Welche Zeit nimmt das in Anspruch?
- **Verfügbare Kapazitäten:** Wie viele Mitarbeiter stehen für den Modultauch zur Verfügung?

3.4 Informationsanpassung

Die Individualisierung von Software bietet die Möglichkeit, eine Vielzahl von Nutzer und Aufgaben zu unterstützen. Individualisierung dient der Modifizierung von Interaktion und Informationsdarstellung, um unter anderem den Fähigkeiten und Bedürfnissen jedes Benutzers gerecht zu werden [27]. Ebenso ist auch die Anpassung an das zu lösende Problem nicht zu unterschätzen. Je nach Zielstellung müssen andere Informationen hervorgehoben werden [22].

3.4.1 Individualisierung für den Menschen

Individualisierung für den Nutzer kann vielschichtig sein. In Abschnitt 2.6.3 sind bereits einige Aspekte für Individualisierung thematisiert. Folgende haben mit Sicht auf den Nutzer des Assistenzsystems besondere Relevanz:

- **Fähigkeiten:** Welche besonderen Fähigkeiten hat der Nutzer? Wie können diese in Kollaboration mit der Assistenz sinnvoll genutzt werden?
- **Vorwissen:** Was weiß der Nutzer über die modulare Anlage?
- **Position:** Welche Aufgabe hat der Nutzer? Auf welcher Ebene des Unternehmens arbeitet dieser? Welche Informationen sind für ihn besonders relevant?

Soll jeder Nutzer des Assistenzsystemes individuell anhand seiner kognitiven Leistung unterstützt werden, ist herauszufinden, ob dieser aktuell mit der Aufgabe über- oder unterfordert ist. Eine Möglichkeit ist, die Art und Weise der Interaktion auszuwerten und entsprechende Anpassungen vorzunehmen. Wie bereits in Abschnitt 2.7 beschrieben, sind dabei viele Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Die Menge an Einflüssen kann im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden. Es wird daher angenommen, dass die Anlagenbediener ein ähnliche Vorwissen aufweisen und auf der Ebene der Produktionsplanung arbeiten.

3.4.2 Anpassung an die Aufgabe

Probleme lassen sich anhand verschiedener Aspekte unterscheiden (siehe Abschnitt 2.2.1). Wichtig ist unter anderem der Zeitdruck. Bei zeitkritischen Problemen muss möglichst schnell eine gute Lösung gefunden werden. Ist das Problem nicht zeitkritisch, können in Ruhe alle zur Verfügung stehenden Informationen in den Problemlöseprozess mit einbezogen werden. Bei einem zeitkritischen Problem kann ein höherer Automatisierungsgrad gefordert sein. Um dennoch dem Menschen seine Kompetenzen nicht abzuspochen, ist es möglich bei Problemen, die eher langfristig sind und die eine höhere kognitive Aktivität erfordern, eine geringere Autonomiestufe anzuwenden. Dadurch kann sich der Anlagenbediener Wissen über den Prozess aneignen und seine Kompetenzen ausbauen.

Angenommen der Nutzer hat viel Zeit sich mit dem Problem zu beschäftigen. Dann müssen sich die bereitgestellten Informationen auch am Probleminhalt orientieren. Beispielsweise bedarf der Austausch eines Moduls einer Übersicht der Kompatibilität mit der bestehenden Anlage und dem Rezept. Entsteht ein Problem aufgrund eines angehaltenen Services, ist das zugehörige Equipment und die eingestellten Parameter relevant. Durch die Aufbereitung dieser Informationen und deren Abhängigkeiten kann schrittweise die Ursache gefunden werden.

Ein ebenfalls wichtiger Aspekt, der schon in Abschnitt 3.3.2 thematisiert wurde, ist die Zielsetzung des Unternehmens. Diese kann sehr unterschiedlich sein und hat Auswirkungen auf die Informationsbereitstellung. Ist beispielsweise die Stillstandzeit der Anlage besonders relevant, dann sollten diese Informationen hervorgehoben werden. In einem anderen Kontext kann aufgrund von Personalmangel der Rüstaufwand eine höhere Priorität bekommen.

3.5 Interaktionsmechaniken

Im Kontext dieser Arbeit wird das Problemlösen betrachtet. Problemlösen heißt in diesem Fall aus mehreren Alternativen die beste für das Erreichen des festgelegten Ziels auszuwählen. In Abschnitt 2.5.3 sind verschiedene Interaktionsmechaniken beschrieben. Um diese geeignet bewerten zu können, ist zunächst eine Begutachtung des Arbeitsumfelds und der Aufgaben notwendig.

Soll ein Problem gelöst werden, ist eine umfassende Darstellung aller Einflussfaktoren und deren Zusammenhänge notwendig. Diese sind nur bedingt auf kleinen Bildschirmen, wie einer Smartwatch, visualisierbar. Auch ein Headset ist kein geeignetes Mittel, da die Sprachverarbeitung im selben Teil des Gehirn stattfindet, wie das Problemlösen [63]. Des Weiteren muss es dem Nutzer möglich sein, selber Eingaben zu tätigen.

Die meisten Möglichkeiten bietet ein Tablet. Es ist dem Nutzer möglich über das Mikrofon Spracheingaben zu tätigen, wenn keine Interaktion mit den Händen möglich ist, oder mit Touchgesten Informationen einzugeben. Auch die Kamera könnte für Augmented Reality verwendet werden. Einziger Nachteil ist die etwas begrenzte Bildschirmgröße. Einen größeren Bildschirm bietet nur ein Desktop PC. Dieser ist für die Aufgaben auf Ebene der Produktionsplanung völlig ausreichend, da, angewendet auf den Use Case, keine Notwendigkeit einer transportablen Lösung besteht.

In dieser Arbeit wird zunächst eine Konzept für eine Desktop Anwendung entwickelt. Aufbauend darauf können Überlegungen für eine Übertragung auf ein Tablet, mit Einbindung der oben genannten Möglichkeiten, erfolgen.

3.6 Anforderungen an das Assistenzsystem

Unterstützung der Problemidentifikation

PI 1 Der Nutzer soll durch die Problemlösung begleitet werden können, indem...

PI 1.1 ...er das Problem beschreiben kann.

PI 1.2 ...er Ziele definieren kann.

PI 1.3 ...ihm alle relevanten Informationen über die aktuelle Situation zur Verfügung stehen.

PI 2 Das Assistenzsystem soll den Nutzer bei der Problemidentifikation unterstützen.

PI 3 Dem Nutzer soll es möglich sein Ziele hinzuzufügen.

PI 4 Dem Nutzer soll der Auslöser des Problems und der zugehörige Problembereich mitgeteilt werden.

Unterstützung bei der Problemlösung

PL 1 Das Assistenzsystem soll mögliche Lösungen vorschlagen.

PL 1.1 Diese sollen sich an den festgelegten Zielen orientieren.

PL 2 Der Nutzer soll mögliche Lösungen vorschlagen können.

PL 3 Die Lösungen sollen vergleichbar sein, indem...

PL 3.1 ...die Auswirkungen auf die Anlage/ den Prozess dargestellt werden.

PL 3.2 ...die verschiedenen Einflussfaktoren sichtbar sind.

PL 4 Die Lösungen sollen bewertbar sein.

Kluster von Problemen

KP 1 Es sollen mehrere Probleme gleichzeitig bearbeitet werden können.

KP 2 Die Probleme sollen sich sortieren lassen.

KP 3 Die Probleme sollen mit Merkmalen versehen werden.

KP 3.1 Zeit: Bis wann muss das Problem gelöst sein?

KP 3.2 Komplexität: Wird die Problemlösung durch viele oder wenige Größen beeinflusst?

KP 3.3 Arbeitsaufwand: Anzahl der Arbeitsstunden

4 Konzept

Die Analyse zeigt, dass die bestehende PFE dem Nutzer nur Informationen über den aktuellen Zustand der Anlage bereitstellt. Der Nutzer erhält bei auftretenden Problemen keine Unterstützung, obwohl das MTP entsprechende Schnittstellen zur Übertragung von Meldungen, Warnungen und Alarmen vorsieht. Ausreichend sind diese Parameter nicht, da ein Problem nur entsteht, wenn die bekannten Ziele nicht erreicht werden können. Mit dem konzeptuellen Design wird herausgearbeitet, welche Funktionen konkret umgesetzt werden müssen und wie Nutzer und Assistenz miteinander interagieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Anlagenbediener ein mittleres Level an Automatisierung wünschen [51]. Darauf aufbauend erfolgt der Entwurf eines physischen Designs. Mit diesem wird ein Vorschlag geliefert, wie ein System zur Problemlösung aussehen kann. Die konkrete Darstellung sollte sich laut Analyse am Probleminhalt orientieren.

4.1 Konzeptuelles Design

Der Nutzer soll durch den Problemlöseprozess sinnvoll begleitet werden. Das Assistenzsystem kann, durch Unterscheidung von Problemen, Informationen anpassen. Es kann Lösungen darstellen und mit einer guten User Experience Entscheidungen unterstützen (siehe Abbildung 4.1). Wie dies konkret umgesetzt wird, beschreibt dieses Kapitel.

Probleme unterscheiden sich auf vielfältige Weise (vgl. Abschnitt 2.2.1). Die Informationen über das Problem sollen sich entsprechend dem Zeitdruck, der Komplexität des Problems und dem umfassenden Bereich automatisch anpassen. Dadurch soll sowohl eine Unterforderung, als auch eine Überforderung des Menschen verhindert werden.

Die **Lösungen für das Problem** sollen sinnvoll dargestellt werden. Dabei wird der Autonomiegrad anhand des Zeitdrucks angepasst. Die Menge an dargestellten Informationen und deren Zusammenhänge orientieren sich an der Komplexität des Problems. Die Komplexität des Problems lässt sich aus der Menge an Zusammenhängen ableiten. Deshalb ist es umso wichtiger, diese strukturiert und klar darzustellen. Abhängig vom Bereich des Problems sind

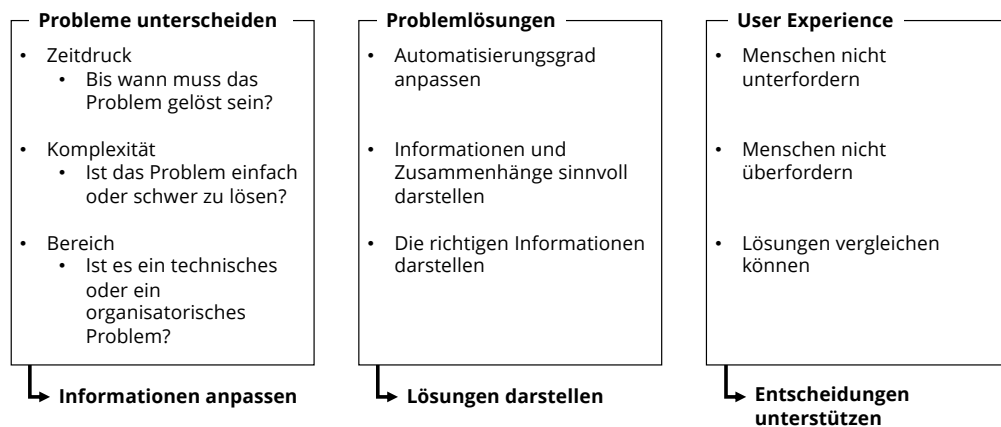


Abbildung 4.1: Aspekte des Assistenzsystems

die richtigen Informationen darzustellen.

Mit einer guten **User Experience** soll die Entscheidung des Nutzers unterstützt werden. Dieser soll mittels geeignetem Autonomiegrad nicht unterfordert werden. Durch die angemessene Darstellung der Informationen ist eine Überforderung zu vermeiden. Die Darstellung der Informationen hängt auch mit der Vergleichbarkeit der Lösungen zusammen. Gibt es mehrere Lösungen, so muss der Nutzer Unterschiede gut erkennen können, um eine geeignete Entscheidung zu treffen.

Wie kann nun der Nutzer durch den Problemlöseprozess begleitet werden? In Abschnitt 2.2.4 sind die Phasen des Problemlösens beschrieben. Angelehnt daran wird folgender Ablauf mit entsprechender Unterstützung durch das Assistenzsystem vorgesehen (siehe Abbildung 4.2).

Zunächst muss das Problem identifiziert werden. Dazu stehen dem Nutzer alle Informationen über den aktuellen Status der modularen Anlage zur Verfügung. Durch Meldungen, Warnungen und Alarmer können Probleme durch das System signalisiert werden. Weiterführend ist es denkbar, dass auch der Nutzer ein Problem definiert. Ist das Problem identifiziert, müssen auch die Randbedingungen¹ definiert werden. Im Fall eines zu wartenden Moduls kann z. B. ein maximaler Produktionsausfall angegeben werden.

Ist das Problem identifiziert und die Randbedingungen definiert, müssen die möglichen Lösungen betrachtet werden. Lösungen können sowohl vom System, als auch vom Nutzer vorgeschlagen werden. Nach Bestimmung der

¹Im Folgenden auch Ziele genannt.

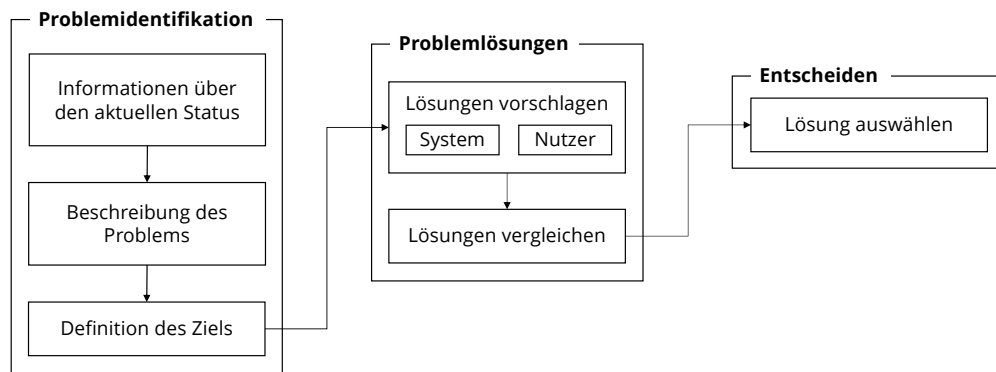


Abbildung 4.2: Die Schritte des Problemlöseprozess

Lösungen erfolgt ein Vergleich dieser.

Die Entscheidung für eine entsprechende Lösung wird mittels einer geeignete Darstellung durch das Assistenzsystem unterstützt. Wie diese aussehen kann ist in Abschnitt 4.2.2 dargestellt.

4.1.1 Funktionen

Wie kann nun der oben beschriebene Problemlöseprozess unterstützt werden? Zunächst muss der Nutzer einen Überblick über den aktuellen Status erhalten. Taucht ein neues Problem auf, interagieren Nutzer und Assistent bis eine geeignete Lösung gefunden wird (siehe Abschnitt 4.1.4). Die notwendigen Funktionen für diesen kollaborativen Problemlöseprozess sind im Folgenden detailliert beschrieben.

Aktueller Status

Der aktuelle Status kann über die PFE abgelesen werden. Diese gibt einen Überblick über die aktuelle Verschaltung der Module, das Rezept, die Key Performance Indicator (KPIs) und die Services. Auch eine Übersicht über das Anlagenequipment eines jeden Moduls ist vorhanden. Die notwendigen Meldungen, Warnungen und Alarmer werden derzeit vom Modul nicht über das MTP bereitgestellt und daher auch nicht angezeigt. Durch die Integration dieser kann der Nutzer bei der Problemidentifikation unterstützt werden. Tritt beispielsweise eine Meldung auf, hat der Nutzer die Möglichkeit dieses als Problem aufzunehmen und nach Lösungen zu suchen.

Neues Problem

Welche Rahmenbedingungen sind für die Charakterisierung eines Problems relevant? In der Analyse (Abschnitt 3.3.2) wird sowohl auf die technischen als auch auf die wirtschaftlichen Ziele verwiesen. Im Kontext eines produzierenden Unternehmens ist die Wirtschaftlichkeit eine wichtige ökonomische Zielgröße [17]. Dem Nutzer wird aus diesem Grund die Möglichkeit gegeben, relevante Ziele hinzuzufügen und genauer zu spezifizieren. Welche dies sind, ist von dem Unternehmen und dem Problem abhängig.

Neben der Definition der Ziele ist es dem Nutzer möglich, eine Übersicht über den Problembereich zu erhalten. Dazu markiert das Assistenzsystem den Bereich in dem das Problem ausgelöst wurde und die zugehörigen Komponenten (mehr dazu in Abschnitt 4.1.2). Ausgehend von dem markierten Bereich und geleitet durch die Ziele, können Lösungen gefunden werden.

Lösungen suchen

Wie die konkrete Lösung für ein Problem aussieht ist nicht vorherbestimmt. Das Assistenzsystem kann anhand der definierten Ziele Vorschläge liefern. Diese können durch den Nutzer angepasst und bewertet werden. Hier ist der Mensch klar im Vorteil, da dieser Optionen abwägen kann. Des Weiteren hat der Nutzer die Möglichkeit, selber nach Lösungen zu suchen. Ihm stehen dazu alle Informationen über die Anlage zur Verfügung. Das Assistenzsystem markiert die Veränderungen, die durch die Lösungen entstehen. Somit kann der Nutzer den Aufwand abschätzen und bewerten, ob die Lösung gut oder schlecht ist.

Lösungen vergleichen

In vielen Fällen gibt es nicht nur eine richtige Lösung, sondern mehrere Lösungsmöglichkeiten, die gegeneinander abgewogen werden müssen. Dem Nutzer werden dazu die Unterschiede zwischen den Lösungen aufgezeigt. Diese können rein zahlenmäßig sein, wie entstehende Kosten oder die Länge des Stillstands. Es ist jedoch auch möglich, dass sich Lösungen strukturell unterscheiden, z. B. anhand der zur Verfügung gestellten Dienste. Durch einen Vergleich der Lösungen kann der Nutzer eine Entscheidung treffen und damit den Problemlöseprozess abschließen.

Klustern von Problemen

Mit dem Assistenzsystem soll es möglich sein, mehrere Probleme gleichzeitig zu bearbeiten, wenn das aktuelle Problem nicht sofort gelöst werden muss. Der Nutzer hat zu jedem Zeitpunkt der Problemlösung die Möglichkeit, das Problem zu wechseln. Für eine bessere Übersichtlichkeit wird das Problem mit den Merkmalen Zeit, Komplexität und Arbeitsaufwand versehen. Diese Angaben sollen dem Nutzer dabei helfen zu entscheiden, an welchem Problem er weiterarbeitet. Zusätzlich werden die Probleme hierarchisch geordnet, sodass im besten Fall das oberste Problem das aktuell relevanteste ist. Für die Sortierung wird im ersten Schritt die Zeit verwendet, da diese angibt bis wann das Problem gelöst sein muss. Im zweiten Schritt ist die Komplexität des Problems relevant. Je komplexer das Problem, desto schwieriger ist es, eine Lösung zu finden. Für besonders komplexe Probleme wird angenommen, dass man besonders lange braucht, um geeignete Lösungen zu finden und eine Entscheidung zu treffen.

4.1.2 Anpassungen an den Problembereich

Da sich sowohl Probleme als auch Lösungen von Fall zu Fall unterscheiden, müssen dementsprechend Anpassungen vorgenommen werden. In Abschnitt 3.4.2 ist bereits erwähnt, dass sich die Informationen an das Problem und die Ziele anpassen sollten. Im Zuge dessen sind vor allem die gegenseitigen Abhängigkeiten relevant, auf die im weiteren Verlauf näher eingegangen wird. Damit sich das Assistenzsystem anpassen kann, muss identifiziert werden, wo das Problem entstanden ist. Es lassen sich folgende Fälle unterscheiden:

- **Modul:** Das gesamte Modul hat ein Problem verursacht.
- **Service:** Ein Service löst eine Warnung oder einen Alarm aus.
- **Rezept:** Das Rezept ist an einer bestimmten Stelle hängen geblieben und kann nicht weiter abgearbeitet werden.
- **KPI:** Die KPI weisen Unregelmäßigkeiten auf oder überschreiten vorher definierte Grenzwerte.

Modul

Ein einzelnes Modul ist unabhängig, da es grundsätzlich auch alleine betrieben werden kann. In der Navigation der PFE ist ersichtlich, mit welchen anderen

Modulen es verbunden ist. Um eine Problemlösung auf Modulebene zu unterstützen, ist es notwendig, die zugehörigen Services und den Bereich im Rezept zu markieren. Dadurch kann der Nutzer die Abhängigkeiten erkennen.

Services

Die Services weisen eine Vielzahl an Abhängigkeiten auf. Ein Service kann direkt mit anderen Services gekoppelt sein (vgl. Abschnitt 2.1.2), oder durch Parameter eines anderen Services gestartet werden. Diese Kopplung ist auch modulübergreifend möglich. Löst nun ein Service ein Problem aus, werden die abhängigen Services markiert. Dies erleichtert dem Nutzer die Eingrenzung des Problembereichs. Bei der Suche nach Lösungen muss es dem Nutzer möglich sein, alle Optionen in Erwägung zu ziehen. Dafür steht dem Nutzer auch die Information über das zugehörige Equipment der Services zur Verfügung, sofern diese vom Modulhersteller zur Verfügung gestellt werden.

Rezept

Wird das Rezept automatisch ausgeführt, besteht die Möglichkeit, dass dieses aufgrund eines Fehlers nicht vollständig ausgeführt werden kann. In so einem Fall wird dem Nutzer angezeigt, an welcher Stelle das Rezept unterbrochen wurde und welche Services zugehörig sind. Ausgehend von der Position im Rezept können die notwendigen Bedingungen überprüft und mögliche Ursachen in Erwägung gezogen werden. Ist die Ursache identifiziert, können mithilfe des Assistenzsystems Lösungen gefunden werden. So ist es dem Nutzer möglich, Veränderungen an der entsprechenden Stelle im Rezept vorzunehmen. Diese können dann vom Assistenzsysteme virtuell geprüft werden. Auf diese Weise entsteht eine kollaborative Problemlösung.

KPI

Die Key Performace Indicator beinhalten Kennzahlen zu dem Prozess im Modul. Treten Unregelmäßigkeiten auf, oder überschreiten die KPIs vorher festgelegte Grenzwerte, kann dadurch ein Problem ausgelöst werden. Aktuell liegen keine beispielhaften KPIs vor. Denkbar ist es, dass zu den KPI zugehörige Module und Services markiert werden.

4.1.3 Finden von Lösungen

Das Assistenzsystem sucht anhand der Problembeschreibung und der definierten Ziele einige Lösungen. Wie diese Suche konkret durchgeführt wird, soll hier nicht näher betrachtet werden. Zu begutachten sind unter anderem Möglichkeiten des Machine Learnings oder Case-based Reasoning.

Ob bereits existierende Systeme, wie der PEA-Manager von Jan Funke [21] verwendet werden können, ist in weiteren Arbeiten zu analysieren. Ebenfalls zu berücksichtigen ist das Forschungsprojekts KoMMDia [47].

4.1.4 Kollaboration zwischen Nutzer und Assistenz

Für die Kollaboration zwischen Nutzer und Assistenz ist eine Interaktionsplattform notwendig, die einen Austausch ermöglicht. Diese bietet dem Nutzer die Möglichkeit Eingaben zu tätigen, und der Assistenz die Möglichkeit Daten anzuzeigen.

Nutzer

Der Nutzer arbeitet mit den Informationen, die ihm durch die Interaktionsplattform zur Verfügung gestellt werden. Wenn eine Meldung auftritt, dann entscheidet er, ob das Problem bearbeitet wird oder nicht. Ebenso entscheidet der Nutzer, welche Ziele für das Problem berücksichtigt werden sollen. Mögliche Wege der Entscheidung sind in Abbildung 4.3 verdeutlicht.

Interaktionsplattform

Die Interaktionsplattform stellt die Verbindung zwischen Nutzer und Assistenzsystem dar. Die entsprechenden Verknüpfungen und Aktionen der Interaktionsplattform sind in Abbildung 4.4 dargestellt.

Assistenzsystem

Das Assistenzsystem verarbeitet alle zur Verfügung stehenden Informationen und schickt entsprechende Signale an die Interaktionsplattform (siehe Abbildung 4.5).

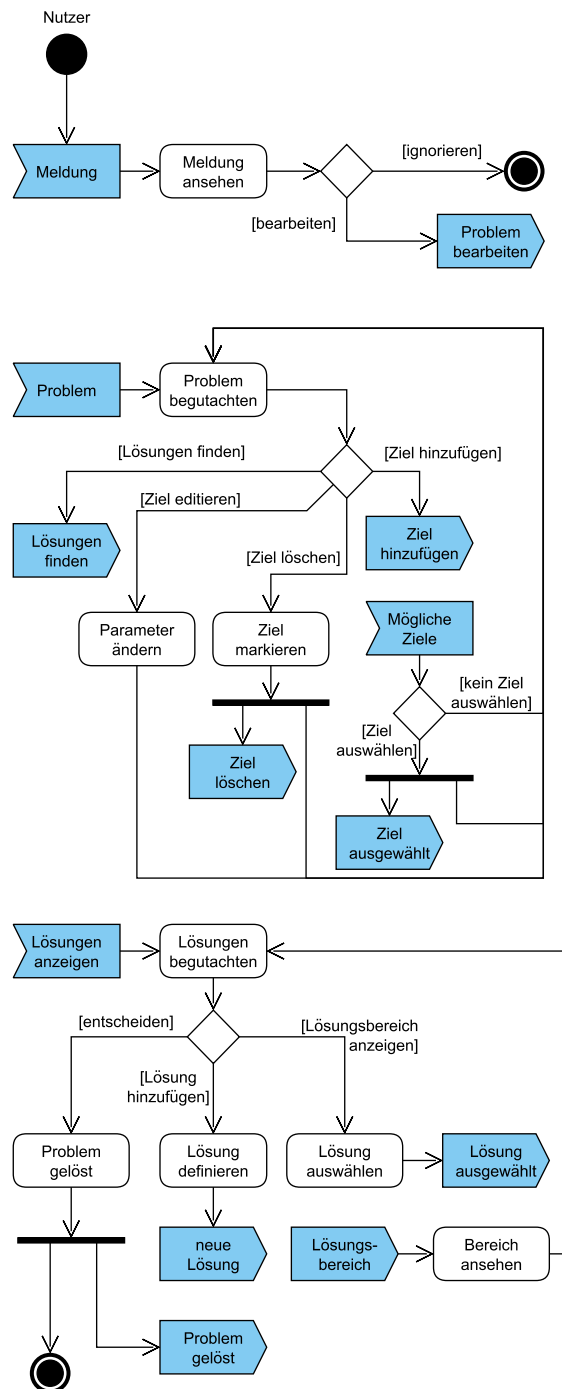


Abbildung 4.3: Aktivitätsdiagramm: Kollaboration Nutzer

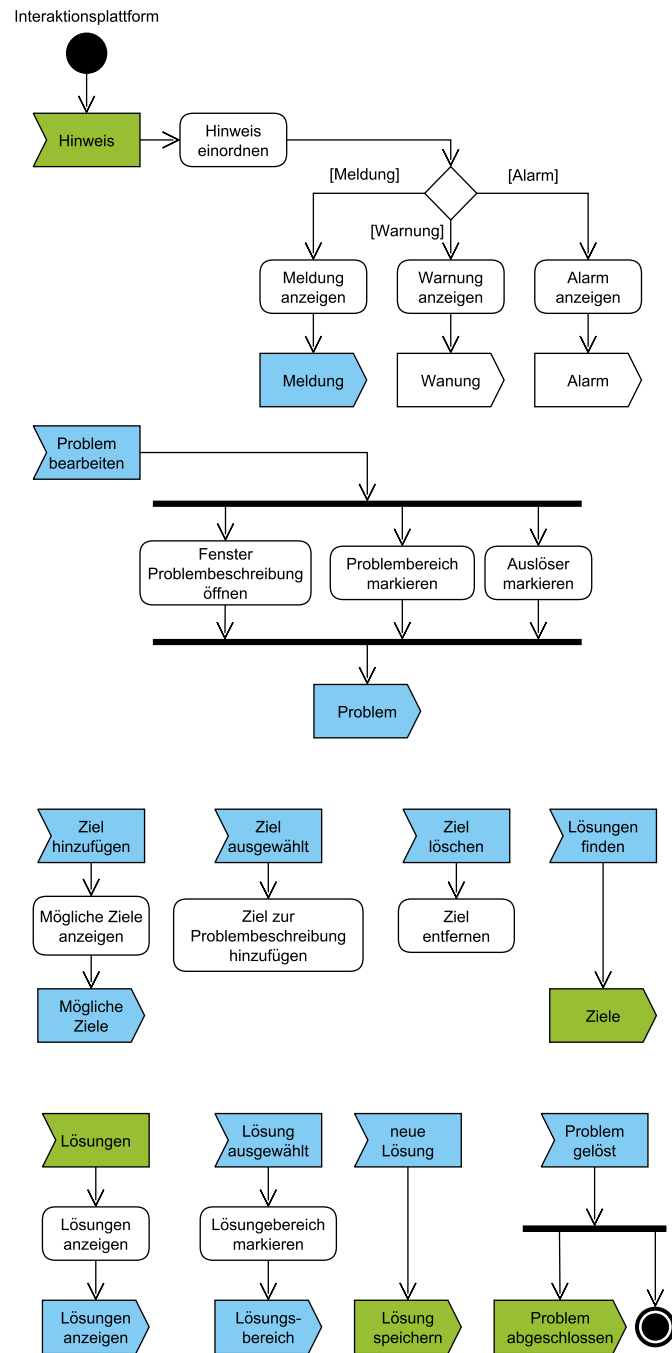


Abbildung 4.4: Aktivitätsdiagramm: Kollaboration Interaktionsplattform

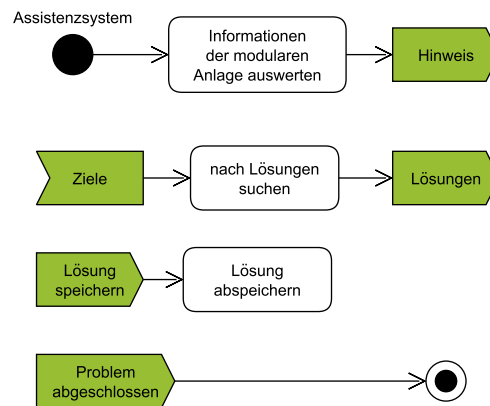


Abbildung 4.5: Aktivitätsdiagramm: Kollaboration Assistenzsystem

4.2 Physisches Design

Ausgehend vom konzeptuellen Design wird das physische Design entworfen. Es beschreibt die konkrete Darstellung der Funktionen und Informationen. Das Design baut auf der bereits existierenden PFE auf und erweitert diese. Grundlage bietet das Material Design [1], entwickelt von Google. Zur klaren Abgrenzung von Assistenzsystem und PFE wird auch das Farbschema erweitert. Das Assistenzsystem bedient sich an Grüntönen (siehe Anhang C.1), die mittels des Color Tools [2] ausgewählt wurden.

In der bereits existierenden Prozessführungsebene ist der aktuelle Status sichtbar. In Bild 4.6 ist die PFE um eine Meldung erweitert. Über den Button **Problem bearbeiten** gelangt man zur Problembeschreibung.

4.2.1 Problem beschreiben

Das Feld für die Problembeschreibung ist in zwei Bereiche geteilt (siehe Bild 4.7). Der erste Bereich umfasst die Problembeschreibung und eine (oder mehrere) Spezifikationen. Eine Spezifikation kann z. B. die Dauer der Wartung sein. Diese ist vom Modulhersteller angegeben und kann nicht verändert werden. Der zweite Bereich stellt die Ziele dar. Über das **Plus-Symbol** ist es möglich, Ziele hinzuzufügen (siehe Bild 4.8). Das Löschen eines Ziels kann durch Markieren und anschließendes Klicken auf das **Mülleimer-Symbol** durchgeführt werden (siehe Bild 4.9). Neben diesen Fakten wird dem Nutzer auch noch visuell dargestellt, welche Bereiche vom Problem betroffen sind.



Abbildung 4.6: Prozessführungsebene

Hat der Nutzer alles erfasst und die notwendigen Ziele definiert, kann er über den Button **Lösungen finden** das Assistenzsystem nach möglichen Lösungen fragen.

Problembeschreibung		
Beschreibung	Wartung Modul Temper	
Dauer der Wartung	2	Tage
Ziele +		
Wartung in	7	Tagen
Maximale Stillstandzeit	3	Stunden
Lösungen finden		

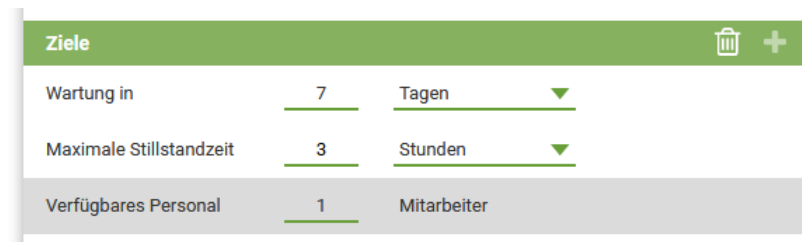
Abbildung 4.7: Problembeschreibung

Ziele			Personal
Wartung in	7	Tagen	
Maximale Stillstandzeit	3	Stunden	

Abbildung 4.8: Problembeschreibung - Ziel hinzufügen

4.2.2 Lösungen

Für ein gegebenes Problem und anvisierte Ziele ist vor allem der Weg zum Ziel relevant. Das Assistenzsystem stellt dafür mehrere Lösungsmöglichkeiten bereit. Damit der Nutzer diese gut vergleichen kann, sind die verschiedenen Lösungen in einer Tabelle dargestellt. In der ganz linken Spalte findet der Nutzer alle Informationen wieder, die bereits in der Problembeschreibung angegeben wurden. Zudem können auch noch weitere Einflussfaktoren, wie Leihkosten und Hinweise, durch das Assistenzsystem ergänzt werden, um die Entscheidungsfindung des Nutzers zu erleichtern. Möchte der Nutzer nicht



Ziele		
Wartung in	<input type="text" value="7"/>	Tagen ▼
Maximale Stillstandzeit	<input type="text" value="3"/>	Stunden ▼
Verfügbares Personal	<input type="text" value="1"/>	Mitarbeiter

Abbildung 4.9: Problembeschreibung - Ziel löschen

nur Fakten sehen, werden durch Auswahl einer Lösung auch die Bereiche in der PFE markiert. Beim Ersetzen von einem Modul durch zwei wird sichtbar, welche Bereiche im Rezept angepasst werden müssen (siehe Bild 4.10). Hat der Nutzer eine Entscheidung getroffen kann er, nach Auswahl der Lösung, über den Button **Entscheiden** diese speichern und den Problemlöseprozess beenden.

4.2.3 Entscheidung

Hat der Nutzer sich für eine Lösung entschieden, sind keine Änderungen mehr möglich. Die Entscheidung wird hervorgehoben (siehe Bild 4.11) und analog zu den Lösungen auch in der PFE markiert. Das Assistenzsystem könnte aus dieser Entscheidung lernen und so den Wissensschatz erweitern [47].

4.2.4 Mehrere Probleme bearbeiten

Über ein Seitenmenü kann der Nutzer zwischen den Problemen, die bearbeitet werden müssen, wechseln. Es wird angezeigt, ...

- ...wie lange noch Zeit ist, um eine Entscheidung zu treffen.
- ...wie komplex das Problem ist. Bei einer hohen Komplexität bestehen besonders viele Zusammenhänge.
- ...wie viele Arbeitsstunden benötigt werden, um das Problem zu beheben.

Zur Unterstützung der Lesbarkeit wurden Symbole für jede Spezifikation hinzugefügt, wie in Bild 4.12 zu sehen. Für die Einstellungen findet das Zahnrad-Symbol Anwendung. Dies ermöglicht, bei Weiterentwicklung des Prototypen, einen erweiterten Funktionsumfang.

Problembeschreibung	—• Lösungen	—• Entscheidung	
Wartung Modul Temper in 7 Tagen	Modul leihen	Modul durch zwei ersetzen	Wartung aufschieben
Stillstandzeit 3 h	1 Stunde	3 Stunden	0 Stunden
Personal-aufwand	2 Mitarbeiter	3 Mitarbeiter	0 Mitarbeiter
Leihkosten	5.000 €	0 €	0 €
Hinweis	Lieferzeit des Moduls beträgt aktuell 5 Tage.		Bei Verschiebung der Wartung verfällt die Garantie sofort! Garantie läuft noch 2 Jahre.

Abbildung 4.11: Entscheidung für eine Lösung des Problems



Abbildung 4.12: Klustern von Problemen

5 Prototyp

Das Konzept beschreibt, welche Funktionen umgesetzt werden müssen und wie die Informationen für den Problemlöseprozess dargestellt werden können. In diesem Abschnitt wird das Konzept in das Design der PFE [28] eingegliedert und anhand des Use Case prototypisch dargestellt.

Der Prototyp wird mit dem Programm Axure [3] umgesetzt. Neben der Möglichkeit einen digitalen Prototypen umfangreich umzusetzen, bietet das Programm auch sehr gute Voraussetzungen für eine abschließende Validierung.

Während des Problemlöseprozesses nimmt das System verschiedene Zustände an (siehe Abbildung 5.1). Zu Beginn ist nur die grundlegende PFE dargestellt. Nach sieben Sekunden zeigt das System eine Meldung an, die durch das Modul Temper ausgelöst wurde. Nach Erscheinen der Meldung hat der Nutzer die Möglichkeit auf den Button **Problem bearbeiten** zu klicken. Durch diese Aktion wird das Problem genauer angezeigt. Die Interaktionsmöglichkeiten in diesem Zustand sind in Abschnitt 5.2 näher beschrieben. Nach der Begutachtung und Spezifikation des Problems wechselt das Assistenzsystem durch Betätigung des Buttons **Lösungen finden**, abhängig von den eingegebenen Zielen, in den Zustand *Lösungen*. Soll das Problem bearbeitet werden so kann in den Zustand *Problem* durch Klicken auf **Problembeschreibung** gewechselt werden.



Abbildung 5.1: Zustandsdiagramm Assistenzsystem - Prototyp

5.1 Prozessführungsebene

Da das Assistenzsystem in die bestehende Prozessführungsebene eingegliedert wird, müssen die grundlegenden Funktionalitäten dieser zunächst im Prototyp nachgebaut werden. Die grafischen Elemente liegen bereits in geeigneter Form vor und werden nur noch korrekt verknüpft. Dies umfasst zum einen die Elemente innerhalb der Bereiche (vgl. Abschnitt 3.2.2), als auch die Verknüpfungen zwischen den Bereichen.

5.1.1 Navigation

In der Navigation kann die Ansicht zwischen dem Shopfloor und der ausgewählten Subplant gewechselt werden (siehe Abbildung 5.2). Da die Veränderung des Zustands in der Navigation auch die Ansicht des Rezepts verändert, werden entsprechende Signale an das Rezept gesendet.

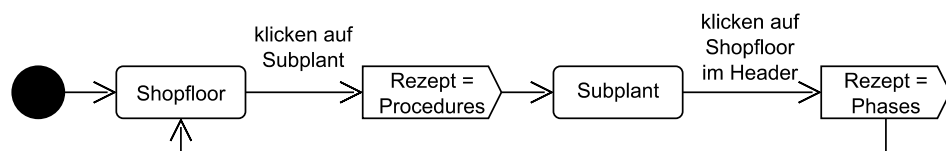


Abbildung 5.2: Zustandsdiagramm Navigation - Prototyp

Zeigt die Navigation die Subplant an, kann der Nutzer durch Klicken ein Modul anwählen. Diese Auswahl hat Einfluss auf die Rezeptansicht und den Service Launcher. Die entsprechenden Aktionen des Systems sind in Abbildung 5.3 dargestellt.

5.1.2 Rezept

Das Rezept zeigt entweder die Phases, die Procedures oder die Steps an. Ein Wechsel zwischen diesen Ansichten kann zum einen durch die Navigation ausgelöst werden. Zum anderen hat der Nutzer die Möglichkeit durch Klicken auf die einzelnen Phases und Procedures den angezeigten Detailgrad des Rezepts zu verändern (siehe Abbildung 5.4). Innerhalb der verschiedenen Zustände des Rezepts sind weitere Interaktionen möglich. In den Procedures wird das angewählte Modul hervorgehoben (siehe Abbildung 5.5). Bei den Steps ist es möglich durch Hoverfunktionen weitere Informationen zu erhalten (siehe Abbildung 5.6).



Abbildung 5.3: Aktivitätsdiagramm Navigation Subplant - Prototyp



Abbildung 5.4: Zustandsdiagramm Rezept - Prototyp



Abbildung 5.5: Aktivitätsdiagramm Rezept Procedures - Prototyp

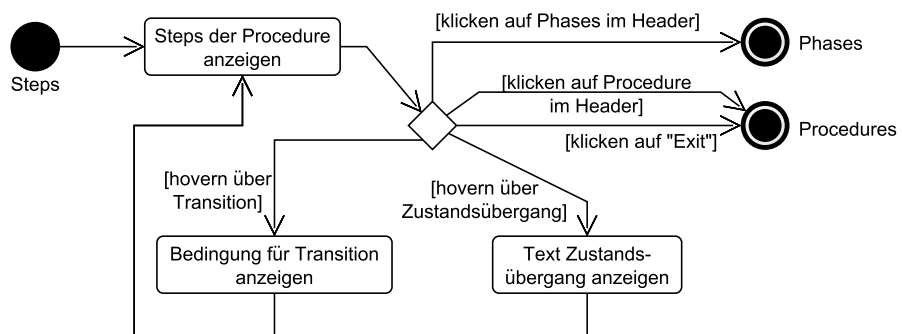


Abbildung 5.6: Aktivitätsdiagramm Rezept Steps - Prototyp

5.1.3 Service Launcher

Der Service Launcher zeigt, abhängig von der gewählten Sortierung und dem ausgewählten Modul, in der Navigation die Services an (siehe Abbildung 5.8). Der Nutzer hat zudem die Möglichkeit durch Klicken auf den Service weitere Informationen zu bekommen. Es werden die möglichen Zustandsübergänge, der Operation Mode und die Strategy angezeigt (siehe Bild 5.7). Ebenso kann der Nutzer durch Klicken auf das **Zahnrad-Symbol** die Einstellung der Parameter, der Strategy und des Operation Modes ändern. Solange ein Service ausgewählt ist, werden die anderen ausgeblendet und sind erst wieder anwählbar, wenn der aktuelle Service geschlossen wurde.

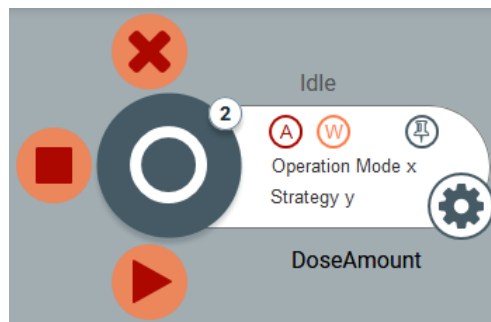


Abbildung 5.7: Angeklickter Service *nach Hensel et. al.* [28]

5.2 Problembeschreibung

Im Konzept sind bereits die Funktionalitäten für die Problembeschreibung erläutert und Rahmen des Prototypen konkret umgesetzt. Der Nutzer hat die Möglichkeit ein weiteres Ziel nicht nur hinzuzufügen, sondern auch wieder zu löschen. Zudem ist das Ziel Stillstandzeit editierbar. Die Veränderung der Ziele hat einen Einfluss auf die Lösungen, welche in Abschnitt 5.3 näher spezifiziert sind. Keinen Einfluss hat in diesem Beispiel die Veränderung im Dropdown-Menü. Möchte der Nutzer sich die Lösungen ansehen, bringt ihn der Button **Lösungen finden** dort hin. Wie das Assistenzssystem auf die Interaktionen des Nutzers reagiert ist in Abbildung 5.9 dargestellt.



Abbildung 5.8: Aktivitätsdiagramm Service Launcher - Prototyp

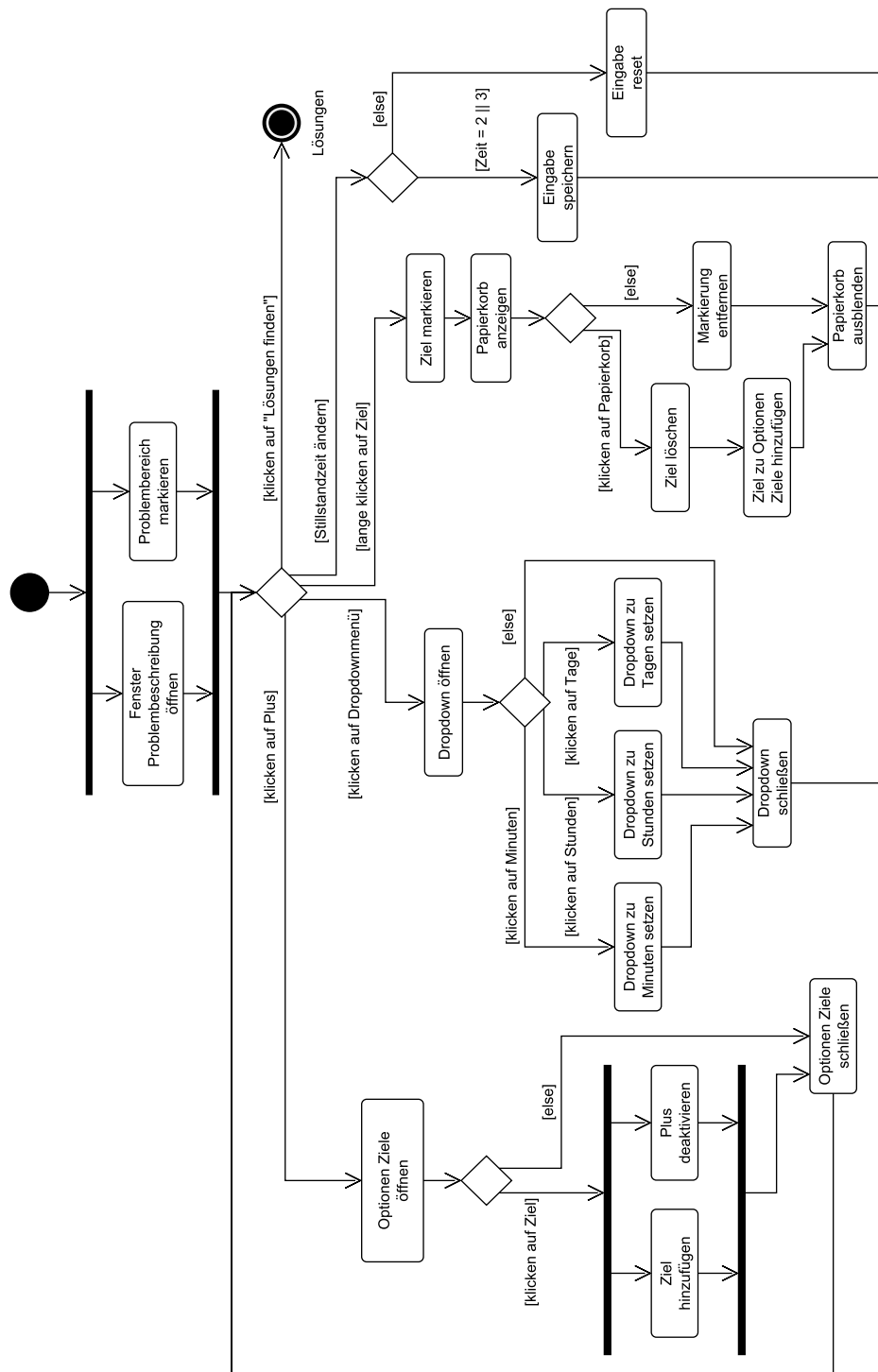


Abbildung 5.9: Aktivitätsdiagramm Zustand Problem - Prototyp

5.3 Lösungen

Die präsentierten Lösungen des Assistenzsystems orientieren sich an den eingegebenen Zielen des Nutzers. Der Nutzer hat die Möglichkeit durch Anwählen einer Lösung, die Veränderung in der Navigation, dem Rezept und dem Service Launcher anzusehen. Wie das Assistenzsystem auf die Auswahl des Nutzer reagiert, ist in Abbildung 5.10 dargestellt. Die Interaktionsmöglichkeiten der Prozessführungsebene verändern sich dabei nicht.

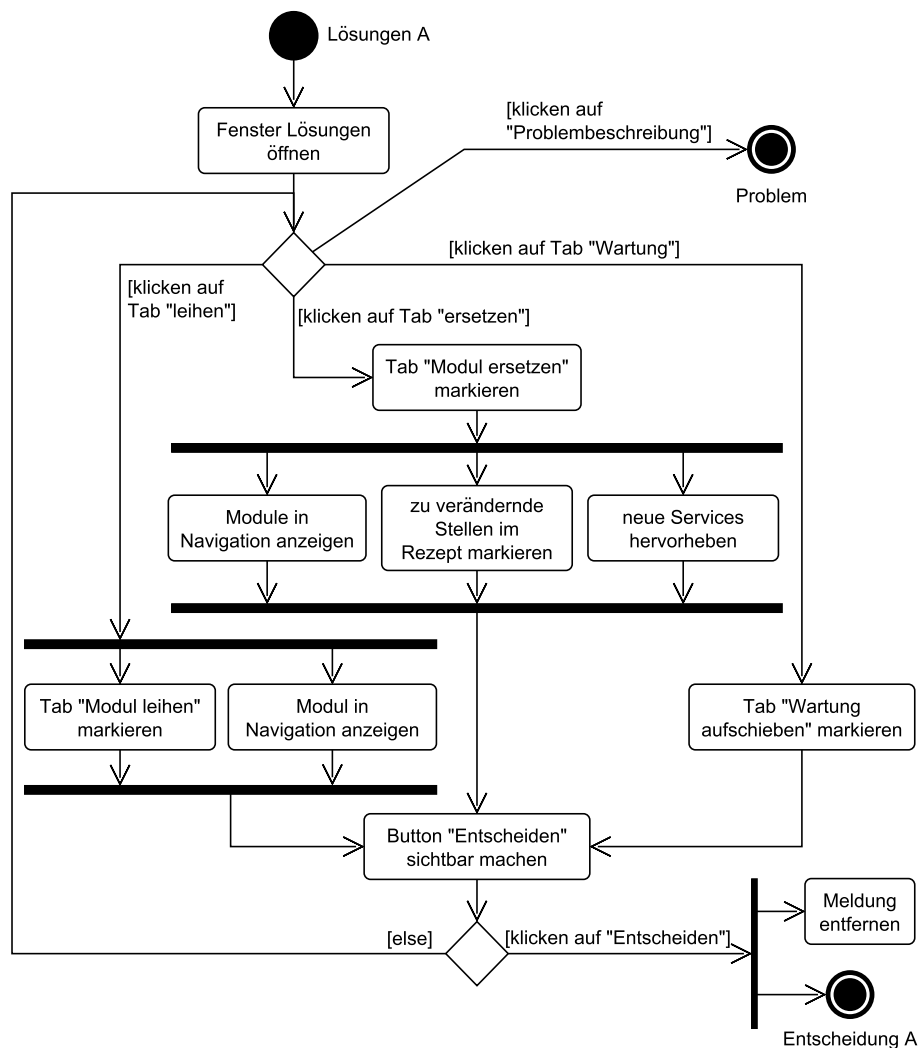


Abbildung 5.10: Aktivitätsdiagramm Lösungen - Prototyp

6 Validierung

Ein Ziel der Diplomarbeit ist die Entwicklung einer nutzerfreundlichen Oberfläche zur Problemlösung in modularen Anlagen. Dieses Kapitel bewertet die Qualität der Umsetzung. Dazu werden zunächst die definierten Anforderungen an das Assistenzsystem ausgewertet. Die Anforderungen beschreiben nur die Funktionalitäten und geben keinen Hinweis auf eine gute Gestaltung des Assistenzsystems. Für die Bewertung der Gestaltung wird der Prototyp unter anderem mit den Grundsätzen der Dialoggestaltung und den Aspekten für die Informationsdarstellung verglichen. Mit einer Umfrage unter Experten kann abschließend beurteilt werden, wie nutzerfreundlich das System ist, welche Funktionen noch verbessert werden müssen und ob es Anwendung findet.

6.1 Vergleich mit Anforderungen

In Abschnitt 3.6 wurden Anforderungen an das Assistenzsystem gestellt. Die Erfüllung der Anforderungen wird im Folgenden diskutiert. Eine erste Einschätzung gibt jeweils eine Tabelle. Ein + bedeutet voll erfüllt, ein o bedeutet teilweise erfüllt und ein - bedeutet nicht erfüllt.

6.1.1 Unterstützung der Problemidentifikation

Der Nutzer soll bei der Problemidentifikation unterstützt werden. Tabelle 6.1 stellt dar, wie gut die einzelnen Anforderungen durch den Prototypen erfüllt sind.

Tabelle 6.1: Auswertung Anforderungen Problemidentifikation

Anforderung	PI 1.1	PI 1.2	PI 1.3	PI 2	PI 3	PI 4
Erfüllt	o	+	o	+	+	+

Insgesamt ist die Unterstützung der Problemidentifikation als positiv zu werten. Es gibt lediglich noch Anpassungsbedarf bei der Problembeschreibung. Dem Nutzer wird aktuell nicht die Möglichkeit gegeben, selber ein Problem

zu melden. Weitere Details und Begründungen zu der Bewertung sind im Folgenden erläutert.

PI 1.1 Problembeschreibung

Dem Nutzer sollte die Möglichkeit gegeben werden, das Problem zu beschreiben. Der Prototyp erfüllt dieses, indem sowohl textuell die Beschreibung verändert werden kann, als auch die Parameter der Rahmenbedingung verändert werden können. Ein Beispiel dafür ist die Wartungsdauer. Der Nutzer kann in Absprache mit dem Hersteller festlegen, wie lange die Wartung für das Modul dauert.

Hat der Nutzer selber ein Problem entdeckt, ist es derzeit nicht möglich dieses zu beschreiben. Dafür muss zunächst näher untersucht werden, welche Probleme die modulare Anlage nicht selber erkennt und durch den Nutzer gemeldet werden müssen. Das könnten beispielsweise Flüssigkeiten sein, die auslaufen oder ungewöhnliche Geräusche, die nicht durch Sensoren erfasst werden können. Erste Ideen gab es dazu bereits in [15]. Es ist zu prüfen, ob diese Ansätze auch für die modularen Anlagen umgesetzt werden können.

PI 1.2 Zieldefinition

Dem Nutzer sollte die Möglichkeit gegeben sein, die Ziele zu definieren, um anhand dieser die Lösungen zu finden. Der Prototyp erfüllt diese, indem sich die Parameter der Ziele verändern und neue Ziele hinzufügen lassen.

PI 1.3 Informationen

In den Anforderungen steht, dass dem Nutzer alle relevanten Informationen über die aktuelle Situation zur Verfügung stehen sollen. Die Auswertung dieser Anforderung gestaltet sich sehr schwierig, da die Anforderung sehr unspezifisch formuliert ist.

Abgeleitet aus der Analyse ist mit allen relevanten Informationen Folgendes gemeint:

- Aktueller Zustand der Anlage: Verschaltung der Module, KPIs, Rezept, Services
- Informationen über den Produktionsprozess, z. B.:
 - Wie sehr ist die aktuelle Anlage ausgelastet?
 - Wie gut ist die Qualität meiner Produktion?

Der aktuelle Zustand der Anlage wird durch die PFE und damit auch durch Prototypen angezeigt. Die Informationen über den Produktionsprozess können über die Key Performance Indicator abgedeckt werden. Es ist bis jetzt allerdings nicht eindeutig, wo und wie diese definiert werden. Daher ist auch nicht eindeutig, ob damit die Anforderung vollständig erfüllt ist. Für eine detaillierte Bewertung muss genau festgelegt sein, welche KPIs angezeigt werden sollen und welche Informationen über den Produktionsprozess relevant sind. Beides ist stark von den Bedürfnissen des Betreibers der modularen Anlage abhängig. Aus diesem Grund ist die Anforderung allgemein als erfüllt zu bewerten, da die grundlegenden Informationen abgedeckt werden.

PI 2 Unterstützung bei Problemidentifikation

Das Assistenzsystem unterstützt den Nutzer bei der Problemidentifikation mit Meldungen, Warnungen und Alarmer. Dadurch wird der Nutzer auf Probleme aufmerksam gemacht.

PI 3 Ziele hinzufügen

Der Nutzer hat im Feld der Problembeschreibung die Möglichkeit für ihn relevante Ziele hinzuzufügen und irrelevante Ziele zu löschen.

PI 4 Problembereich

Dem Nutzer wird der Auslöser des Problems durch die Problembeschreibung mitgeteilt. Der Problembereich wird hervorgehoben, indem irrelevante Informationen durch graue halbdurchsichtige Felder verdeckt werden.

6.1.2 Unterstützung bei der Problemlösung

Die Anforderungen für die Unterstützung bei der Problemlösung sind nur teilweise erfüllt. Hintergrund ist einerseits die fehlende Möglichkeit im Prototyp eigene Lösungen hinzuzufügen. Es muss dafür noch untersucht werden, welche Eingaben der Nutzer tätigen möchte. Andererseits sieht der Nutzer nicht, wie sich seine Entscheidung auf die Produktqualität auswirkt. Eine Übersicht auf die Auswirkungen der Produktionsziele und der Struktur der Anlage wird durch die Assistenz bereitgestellt. Diese unterstützt den Nutzer durch eine Vorauswahl an Lösungen.

Tabelle 6.2: Auswertung Anforderungen Problemlösung

Anforderung	PL 1	PL 2	PL 3.1	PL 3.2	PL 4
Erfüllt	+	o	o	o	-

PL 1 Assistenz schlägt Lösungen vor

Das Assistenzsystem wertet die definierten Ziele des Nutzers aus und sucht aus einem Pool an möglichen Lösungen die Besten aus. Dazu kann auch eine virtuelle modulare Anlage hinzugezogen werden, um vorab mögliche Fehlentscheidungen zu filtern. Die identifizierten Lösungsmöglichkeiten werden dem Nutzer zur Verfügung gestellt. Im Falle des Prototypen sind die Lösungen vordefiniert. Für zukünftige Arbeiten ist es interessant zu erfahren, welche Möglichkeiten zur Lösungsfindung im Rahmen der modularen Anlage existieren. Dabei ist der Unterschied zwischen modulspezifischen und anlagenspezifischen Problemen zu betrachten. Modulspezifisch bedeutet, dass sich das Problem auf das konkrete Modul bezieht und es irrelevant ist, mit welchen anderen Modulen eine Verbindung besteht. Anlagenspezifische Probleme sind nur im Kontext aller verbundenen Module zu beurteilen. Wenn die Module also anders verbunden werden, ändern sich auch die Zusammenhänge von Problem und Lösungen.

PL 2 Nutzer schlägt Lösungen vor

Dem Nutzer soll es möglich sein, selber Lösungen vorzuschlagen. Durch das Plus-Symbol im Reiter Lösungen ist das angedacht, aber nicht ausgeführt. Um Ideen zu entwickeln, wie Lösungen eingegeben werden können, muss im ersten Schritt geklärt werden, was der Nutzer eingeben möchte. Im Rahmen des Modultauschs sollte es möglich sein, noch andere Module in Erwägung zu ziehen. Es ist zu prüfen, ob der PEA-Manager von Jan Funke [21] eingebunden werden kann. Dadurch hat der Nutzer die Möglichkeit selber nach Modulen zu suchen. Die Tatsache, dass ein Mensch auch kreative Lösungen entwickeln kann, bietet eine ungeahnte Menge an Möglichkeiten und führt zu neuen Herausforderungen. Es ist nicht vorhersehbar, welche Ideen der Nutzer hat. Mit Sicht auf den Use Case hat der Nutzer beispielsweise die Idee, eine andere Anlage vorübergehend still zu legen und ein Modul aus dieser zu nutzen. Solche und weitere Ideen machen das Design von Eingabemöglichkeiten sehr komplex und sind getrennt von dem entwickelten Prototypen zu betrachten.

PL 3.1 Auswirkung auf Anlage / Prozess

Der Prototyp zeigt dem Nutzer an, welche Veränderungen sich in der modularen Anlage durch die Lösung ergeben. Es werden Veränderungen im Rezept, in der Navigation und in den Services angezeigt. Die verfahrenstechnischen Auswirkungen auf den Prozess sind nicht dargestellt. Es ist also nicht abschätzbar, wie sich die Produktqualität durch die Lösung verändern könnte. Die Anbindung an eine virtuelle modulare Anlage, die mögliche Veränderungen berechnet und diese dem Nutzer mitteilt, ist noch zu entwickeln.

PL 3.2 Einflussfaktoren

Dem Nutzer wird durch das Assistenzsystem angezeigt, welche Einflussfaktoren sich zahlenmäßig unterscheiden. Im Konzept ist vorgesehen, dass alle relevanten Einflussfaktoren sichtbar sind (vgl. 3.6). Relevant bedeutet, dass die Einflussfaktoren zuvor von dem Unternehmen oder dem Mitarbeiter als wichtig definiert wurden.

Die notwendige Darstellung von Serviceabhängigkeiten ist in Abschnitt 4.1.2 thematisiert, jedoch nicht umgesetzt. Für einen sinnvollen Entwurf ist noch zu untersuchen, wie stark Services voneinander abhängen können. Darauf aufbauend kann dann eine gute Darstellung entwickelt werden. Der Fokus dieser Arbeit richtet sich auf die Modulebene. Auf dieser werden die Einflüsse auf das Rezept und die Services durch Hervorhebung dargestellt.

PL 4 Lösungen bewerten

In den Anforderungen ist definiert, dass der Nutzer die einzelnen Lösungen bewerten kann, um eine Entscheidung zu treffen. Diese Anforderung wurde nicht umgesetzt, da eine Lösung nicht richtig oder falsch sein kann. Es ist möglich, dass eine Lösung besser oder schlechter ist. Die Bewertung dieser ist von der Gesamtsituation (z. B. verfügbare Mitarbeiter, Auftragslage) und dem Wissen des Mitarbeiters abhängig. Diese Anforderung ist daher kritisch zu hinterfragen. Bei Rückblick auf den allgemeinen Problemlöseprozess ist sichtbar, dass Lösungen erst nach Durchführung bewertet werden. Erst dann ist eindeutig, welchen Einfluss die Entscheidung hat. Aus diesem Grund ist eine Bewertung erst nach Anwendung der Lösung sinnvoll.

6.1.3 Klustern von Problemen

Probleme sollen geklustert werden, damit mehrere Probleme parallel bearbeitet werden können. Wie Tabelle 6.3 zeigt, sind die Anforderungen erfüllt. Das Assistenzsystem sortiert die Probleme automatisch und macht damit den Nutzer auf das wichtigste aufmerksam.

Tabelle 6.3: Auswertung Anforderungen: Probleme klustern

Anforderung	KP 1	KP 2	KP 3
Erfüllt	+	+	+

KP 1 Mehrere Probleme bearbeiten

Damit ein Problem weiter bearbeitet werden kann, wenn ein neues Problem in den Vordergrund rückt, wurde eine entsprechende Anforderung definiert. Laut dieser sollen mehrere Probleme parallel bearbeitet werden können. Das ist auch relevant, wenn eine Entscheidung für ein Problem nicht sofort getroffen werden muss. Der Nutzer kann das Problem später weiter bearbeiten und sich in der Zwischenzeit einem anderen zuwenden. Die Interaktionsplattform macht das durch die linke Seitenleiste möglich, in der das zu bearbeitende Problem ausgewählt werden kann.

KP 2 Probleme sortieren

Da im Prototyp nur ein Problem realisiert ist, erfolgt keine konkrete Sortierung der Probleme. Das Konzept sieht jedoch eine Sortierung anhand von Zeit, Komplexität und Arbeitsaufwand vor, wodurch die Anforderung erfüllt ist. Darauf aufbauend kann untersucht werden, ob diese Sortierung im Umgang mit vielen Problemen ausreichend ist.

KP 3 Merkmale der Probleme

Derzeit versieht das Assistenzsystem die Probleme mit den Merkmalen gemäß der definierten Anforderungen. Die Merkmale orientieren sich an der Definition von komplexen Problemen und den Einflussfaktoren in einem Unternehmen. Ob diese für den Nutzer ausreichend sind, ist noch zu prüfen.

6.2 Aspekte des Assistenzsystems

Neben den individuell definierten Anforderungen an die Funktionen des Assistenzsystems, gibt es eine Reihe an weiteren Faktoren, die in der Literatur beschrieben sind. Im Folgenden ist eingeordnet, welchen Automatisierungsgrad das Assistenzsystem hat und welche Aufgaben von technischer Assistenz unterstützt werden. Auch die Anforderungen an ergonomisch gute Gestaltung und die Notwendigkeit von Individualisierung werden ausgewertet.

Eingliederung in Automatisierungsgrad

Abschnitt 3.4.2 macht deutlich, dass sich das Assistenzsystem anhand des Zeitdrucks anpassen soll. Im Prototypen ist das Problem nicht zeitkritisch und sieht daher einen geringen Automatisierungsgrad vor. In die zehn Level der Automatisierung von Sherdian [55] lässt sich der Prototyp auf Level drei einordnen. Bei einem höheren Zeitdruck sind auch die Stufen vier und fünf in Betracht zu ziehen. Level sechs ist im Sinne der kollaborativen Assistenz nicht anzuwenden, da auf diesem Level die Möglichkeiten des Nutzers stark eingeschränkt sind. Es ist noch zu untersuchen, in welchen Problemfällen welcher Autonomiegrad angewendet wird. Dazu sollten auch die Autonomiestufen in der Prozessindustrie von Schegner [52] betrachtet werden. In dieses System, das die Stufen null bis fünf umfasst, lässt sich der Prototyp auf Stufe eins einordnen.

Aufgaben von digitaler Assistenz

Digitale Assistenz kann eine ganze Reihe an Aufgaben übernehmen (vgl. Abschnitt 2.5.2). Der Prototyp unterstützt den Nutzer besonders bei der Erkennung von Änderungen, gibt Orientierung bei der Lösungssuche und filtert die relevantesten Informationen. Eine detaillierte Übersicht bietet Tabelle 6.4. Diese macht auch deutlich, dass einige Aufgaben teilweise übernommen werden. Die Assistenz warnt nur bedingt vor Fehlverhalten und erklärt nur einige Symbole, die im User Interface verwendet werden. Erläuterungen zur Auswahl der Lösung liefert die Assistenz derzeit keine.

Ergonomisch gute Gestaltung

Anforderungen an eine ergonomische gute Gestaltung gibt es viele. Die Erläuterung zu den Grundsätzen der Dialoggestaltung und den Aspekten für gute Informationsdarstellung finden sich in Abschnitt 2.6.1. In Tabelle

Tabelle 6.4: Aufgaben digitaler Assistenz, die durch den Prototypen erfüllt werden

Aufgabe	Übernahme	Erläuterung
Warnung	o	Der Nutzer wird nur durch die Hinweise in den Lösungen vor Fehlentscheidungen gewarnt.
Signale	+	Es wird dem Nutzer angezeigt, welche Änderungen sich ergeben.
Orientierung	+	Der Nutzer kann Ziele hinzufügen und entfernen
Kennzeichnung	o	Die Symbole werden mittels Hover-Funktionen erklärt.
Erklärung	-	Die Auswahl der Lösungen wird nicht erklärt.
Bereitstellung	o	Das Assistenzsystem stellt nur eine ausgewählte Menge und nicht alle Informationen zur Verfügung.
Filter	+	Das Assistenzsystem zeigt nur relevante Daten zur Entscheidungsfindung an.
Berater	o	Das Assistenzsystem liefert mehrere Vorschläge, macht aber keinen Vorschlag, welche Option die beste sein könnte.
Delegieren	-	Das Assistenzsystem unterstützt den Nutzer aktuell nicht bei der Anwendung der ausgewählten Lösung.

6.5 wird deutlich, dass im fast alle Grundsätze der Dialoggestaltung erfüllt wurden. Lediglich die Individualisierbarkeit wurde nicht erfüllt, weil der Nutzer das System nicht selber anpassen kann. Jedoch ist diese Anforderung überholt, wenn sich das System an den Nutzer anpasst. Eine umfangreiche Auswertung zur Individualisierung findet sich im nächsten Abschnitt.

Eine Auswertung der Aspekte für gute Informationsdarstellung findet sich in Tabelle 6.6. Bei den Aspekten **Entdeckbarkeit**, **Unterscheidbarkeit** und eindeutige **Interpretierbarkeit** ist eine objektive Betrachtung nur schwer möglich, da dies jeder Mensch anders empfindet. Aus diesem Grund wird eine Befragung von Experten durchgeführt (siehe Abschnitt 6.3).

Tabelle 6.5: Validierung: Grundsätze der Dialoggestaltung

Grundsatz	Erfüllt	Erläuterung
Aufgaben-angemessenheit	+	Der Use Case konnte mit dem Prototypen erfolgreich umgesetzt werden.
Selbst-beschreibungs-fähigkeit	+	Durch die Anzeige oben in der Leiste weiß der Nutzer jederzeit an welcher Position er sich befindet.
Erwartungs-konformität	+	Die Gestaltung des Assistenzsystem orientiert sich an der PFE.
Lern-förderlichkeit	o	Es gibt keine konkrete Unterstützung im Sinne von Erläuterungen. Durch eine eindeutige Beschreibung der Buttons ist der Prototyp jedoch leicht zu verstehen.
Steuerbarkeit	+	Durch das Setzen der Ziele kann der Nutzer die Richtung steuern. Die Geschwindigkeit wird durch Betätigen der Buttons gesteuert.
Fehlertoleranz	+	Ziele können im Nachhinein noch einmal geändert werden.
Individualisier-barkeit	-	Dem Nutzer stehen aktuell keine Möglichkeiten zur Individualisierung zur Verfügung.

Individualisierbarkeit

Wann Individualisierung eingesetzt werden sollte, beschreibt Abschnitt 2.6.3. Das Konzept zum Assistenzsystem sieht vor allem Individualisierung im Sinne der **Schwankung der Aufgabenmerkmale** vor. Die **Variation der Benutzermerkmale** ist in der Analyse als relevant dargestellt, jedoch im Konzept nicht weiter berücksichtigt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde davon ausgegangen, dass sich die Benutzermerkmale nicht groß unterscheiden, da die Mitarbeiter im Umfeld der modularen Anlagen sehr ähnliche Voraussetzungen erfüllen müssen. Natürlich ist jeder Mitarbeiter individuell und hat verschiedene Fähigkeiten. Wie stark sich diese im Kontext der modularen Anlagen unterscheiden ist noch zu prüfen.

Im Sinne von Herczeg [30] findet die Individualisierung im Prototypen auf der Intentionalen Ebene und Pragmatischen Ebene statt (vgl. Abschnitt 2.6.3). Das Assistenzsystem passt sich vor allem an die Veränderungen des Problems

Tabelle 6.6: Validierung: Aspekte für die Informationsdarstellung

Aspekt	Erfüllt	Erläuterung
Entdeckbarkeit	+	Die zugrundeliegende PFE bietet die Grundlage für eine gute Wahrnehmung der Informationen. Das Assistenzsystem nutzt und erweitert dies.
Ablenkungs-freiheit	+	Wird durch das Verdecken der irrelevanten Informationen gewährleistet.
Unterscheid-barkeit	+	Durch die Tabelle sind die Informationen eindeutig zugeordnet. Die Lösungen zeigen an, welche Veränderung was beeinflusst.
Eindeutige Interpretierbar-keit	o	Ob die Informationen für den Nutzer eindeutig sind, kann nur durch eine Umfrage ermittelt werden.
Kompaktheit	+	Dem Nutzer werden nur die für die Problemlösung relevanten Informationen angezeigt.
Konsistenz	+	Da sich die Gestaltung am Material Design orientiert ist die Konsistenz gegeben.

und die definierten Ziele an. Veränderungen im Sinne verschiedener Ein- und Ausgabegeräte und Einstellungen des Nutzers werden nicht durchgeführt.

6.3 Nutzerbefragung

Für eine gute Einschätzung der Nutzerfreundlichkeit ist es notwendig, den Nutzer des Systems zu befragen, um eine objektive Beurteilung zu erhalten. Aus diesem Grund werden im nächsten Abschnitt Möglichkeiten zur Nutzerbefragung aufgezeigt. Anschließend wird ein Test erstellt und einige ausgewählten Experten befragt. Anhand des Ergebnis kann abgeschätzt werden, welche Elemente beibehalten werden sollen und wo Verbesserungspotential vorhanden ist.

6.3.1 Testmöglichkeiten

Möchte man die Benutzerfreundlichkeit eines Systems testen, kann man den Nutzer bspw. bei Verwendung des Systems beobachten. Laut Tullis und Albert

ist „der vielleicht offensichtlichste Weg etwas über die Nutzerfreundlichkeit von etwas zu erfahren, den Nutzer zu fragen, ob er etwas über seine Erfahrung erzählt“ [56, S. 123]¹. Dazu können verschiedene Fragen mit verschiedenen Skalen oder offene Fragen gestellt werden. Offene Fragen sind schwieriger zu analysieren als Tests mit Skalen. Letztere lassen sich in individuelle und generalisierte Fragebögen einteilen. Individuelle Fragebögen lassen systemspezifische Fragen zu und können z.B. für die Auswahl der Testpersonen angewendet werden. Die generalisierten Fragebögen sind standardisiert und können somit auch Unterschiede zwischen verschiedenen Systemen aufzeigen. Einige dieser Fragebögen sind im Folgenden vorgestellt.

System Usability Scale

Der System Usability Scale (SUS) Fragebogen ist ein standardisierter Fragebogen zur Bewertung der Nutzerfreundlichkeit eines Systems. Er besteht aus zehn Fragen und fünf Stufen zwischen „stimme gar nicht zu“ und „stimme voll zu“. Die Fragen sind abwechselnd positiv und negativ formuliert. Für jede Frage werden abhängig von der Antwort zwischen 0 und 4 Punkte verteilt und summiert. Anschließend wird die Summe mit 2,5 multipliziert. Die Summe befindet sich auf einer Skala von 0 bis 100. Bei 100 ist die Nutzerfreundlichkeit voll erfüllt. [18]

User Experience Questionnaire

Mit dem User Experience Questionnaire soll möglichst schnell und unmittelbar der Gesamteindruck des Nutzers eines Systems erfasst werden. Der Fragebogen besteht aus 26 Fragen und einer 7-stufigen Skala mit gegensätzlichen Begriffen, wie kompliziert und einfach. Eingeteilt sind die Fragen in folgende sechs Skalen [54]:

- **Attraktivität:** Mag der Nutzer das System? (6 Fragen)
- **Benutzerqualität** (jeweils 4 Fragen)
 - **Vorhersagbarkeit:** Hat der Nutzer das Gefühl, das System unter Kontrolle zu haben?
 - **Durchschaubarkeit:** Kann der Nutzer schnell erlernen, wie das System zu nutzen ist?

¹Übersetzt aus dem Englischen

- **Effektivität:** Kann der Nutzer seine Aufgabe ohne unnötigen Aufwand bewältigen?
- **Designqualität** (jeweils 4 Fragen)
 - **Stimulation:** Macht die Benutzung des Systems Spaß?
 - **Originalität:** Ist das System kreativ und innovativ?

Computer System Usability Questionnaire

Die Fragen des Computer System Usability Questionnaire lassen sich auf einer Skala von 1 (gar keine Zustimmung) bis 7 (totale Zustimmung) beantworten. Er ist länger als der SUS Fragebogen, aber immer noch leicht zu beantworten. Eingeteilt ist der Fragebogen in drei Bereiche [37]:

- **Systemnutzbarkeit:** Fragen 1-6
- **Informationsqualität:** Fragen 7-12
- **Qualität der Benutzeroberfläche:** Fragen 13-15

6.3.2 Der Fragebogen

Der Fragebogen zur Validierung des Prototyps (siehe Anhang D) besteht aus mehreren Teilen. Zu Beginn gibt es einige Fragen zum Vorwissen des Nutzers, um die Antworten besser einordnen zu können. Für die Auswertung des Assistenzsystems wird zum einen der SUS Fragebogen angewandt. Laut Forschung hat dieser eine „exzellente Zuverlässigkeit, Aussagekraft und Empfindlichkeit zu einer breiten Auswahl an unabhängigen Variablen“ [37, S. 1150]. Zum anderen werden einige offene Fragen gestellt, um genau abschätzen zu können, welche Eigenschaften besonders positiv wahrgenommen werden und welche Funktionalitäten die Experten vermissen.

6.3.3 Auswertung des Fragebogens

Für die Bewertung des Assistenzsystems wurden drei Experten², die unterschiedliches Vorwissen zum Thema modulare Anlagen und Assistenzsysteme haben (siehe Abbildung 6.1), befragt. Alle Experten wissen, was modulare Anlagen sind und wie diese gesteuert werden. Erfahrung im Betrieb von verfahrenstechnischen Anlagen hat nur eine Person. Das ist genau der Experte, der keine Erfahrung mit Assistenzsystemen zum Problemlösen hat.

²Für eine einfache Lesbarkeit wird hier genderneutral die männliche Form verwendet.

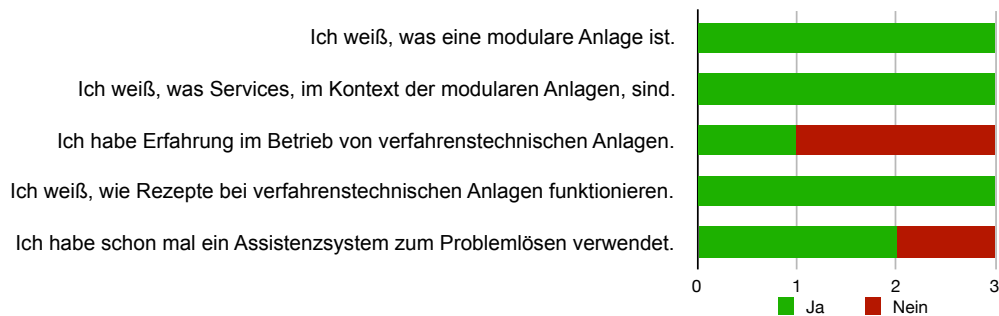


Abbildung 6.1: Vorwissen zu modularen Anlagen und Assistenzsystemen

Die Gesamtauswertung des SUS Fragebogens liefert einen Wert von 75,8. Auf der Skala von 0 bis 100 ist dieser Wert insgesamt als positiv zu bewerten. Auffällig ist, dass alle Experten bei der Bedienung des Assistenzsystems etwas unsicher waren (siehe Abbildung 6.3). Laut deren Aussage lag das vor allem an versteckten Funktionalitäten. Von keinem der Experten wurde die Möglichkeit gefunden, ein Ziel zu löschen. Es war nicht ersichtlich, dass man ein Ziel überhaupt löschen kann. Ideen der Experten sind zum einen das Mülleimer-Symbol auszugrauen und hervorzuheben, wenn man ein Ziel markiert. Zum anderen wurde gewünscht ein Ziel direkt mit einem Kreuz am rechten Rand zu löschen. Ebenfalls nicht ersichtlich war für einen Experten die Möglichkeit zurück zu navigieren. Warum die Funktion nicht im ersten Schritt gefunden wurde, konnte nicht geklärt werden. Die größte Schwierigkeit bestand in der Entscheidungsfindung. Alles merkten an, dass sie mit der Anzahl an Mitarbeitern wenig anfangen können und wünschen sich die Angabe, welche Kosten ein Mitarbeiter verursacht. Noch leichter wird es aus Ihrer Sicht, wenn sie eine Gesamtübersicht der Kosten haben. Sie erhoffen sich davon besser abschätzen zu können, was die beste Variante ist. Der Prototyp bietet ideale Voraussetzung zu überprüfen, wie sich die Entscheidung bei unterschiedlich bereitgestellten Informationen verändert.

Die Experten sind sich einig, dass die meisten Leute das Assistenzsystem schnell beherrschen können (siehe Abbildung 6.3). Gelobt wurden dabei der schlichte Aufbau und die grundsätzlich einfache Bedienung. Ebenfalls positiv kam die Vorauswahl an Zielen und Lösungen an, da diese den Nutzer leiten können. Wenn der Nutzer sich vollständig selber überlegen muss, welche Ziele wichtig und welche Lösungen möglich sind, rechnen die Experten mit Konflikten. Insgesamt schätzen die Experten die Menge an Informationen als sehr gut ein und können sich vorstellen das Assistenzsystem regelmäßig zu

nutzen.

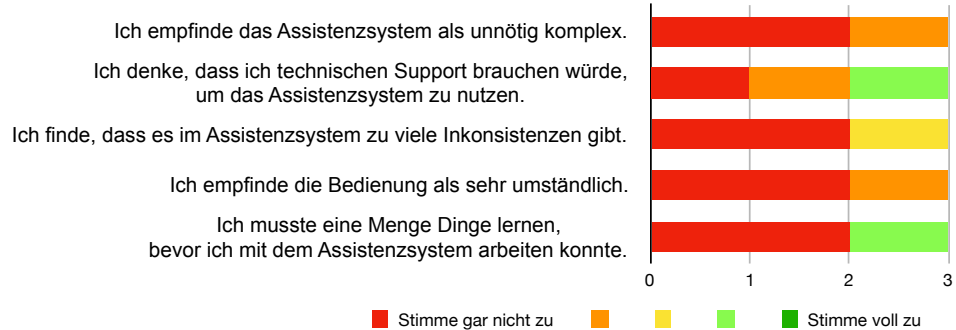


Abbildung 6.2: Bewertung negativer Aussagen SUS Fragebogen

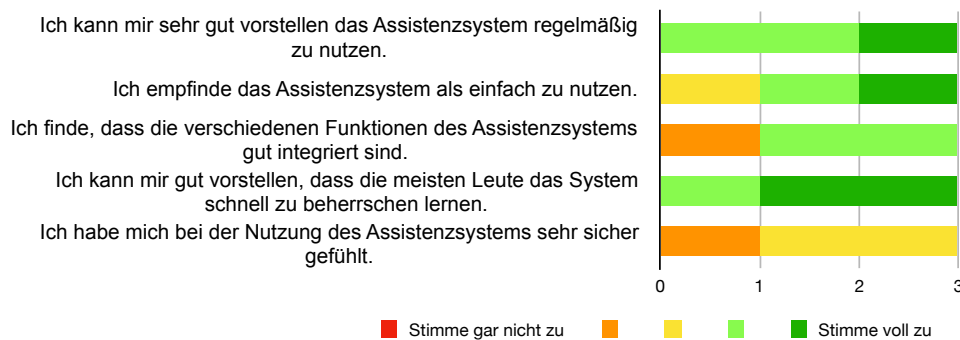


Abbildung 6.3: Bewertung positiver Aussagen SUS Fragebogen

Weitere gewünschte Funktionalitäten

Für eine noch umfangreichere Anwendung des Assistenzsystems wünschen sich einige Experten die Integration von weiteren Funktionen. Insbesondere hervorzuheben ist die Unterstützung bei der Anwendung der Lösung. Dadurch kann der Nutzer genau erkennen, welchen Einfluss seine Entscheidung hat und auch bewerten, wie gut diese war. Ein Experte erhofft sich damit, bei ähnlichen Problemen auf Erfahrungswerte zurück greifen zu können. Dieser wünscht auch, dass das Assistenzsystem mitteilt, ob nach einiger Zeit Lösungen weg fallen und wie viele weitere Lösungen es noch gibt. Beispielhaft wurde die erste Lösungsoption im Use Case genannt. Diese ist nur anwendbar, wenn der Nutzer die Entscheidung fünf Tage vor dem Austausch trifft. Entscheidet

er sich erst später, soll ihm bereits vorher mitgeteilt werden, dass sich die Menge an Lösungen reduziert.

6.4 Bewertung

Die Validierung des Prototypen zeigt ein insgesamt positives Ergebnis. Das Assistenzsystem begleitet den Nutzer durch den Problemlöseprozess, indem es auf Probleme aufmerksam macht und Lösungen aufzeigt. Eine noch größere Bandbreite an Lösungen kann generiert werden, wenn der Nutzer selber Lösungen eingeben kann. Auch könnte die Qualität der angezeigten Lösungen verbessert werden, wenn eindeutig wird, welche Informationen ein Unternehmen beim Betrieb der modularen Anlage zwingend benötigt. Der Prototyp bietet die Grundlage für eine Untersuchung, welche dargestellten Informationen den Nutzer bei der Entscheidungsfindung beeinflussen. Dass dieser dafür geeignet ist, zeigt sowohl die Auswertung der allgemeinen Anforderungen an Assistenzsysteme als auch die Befragung der Experten. Die Grundsätze der Dialoggestaltung wurden eingehalten und auch die Aspekte für die Informationsdarstellung sind erfüllt. Die Umfrage unter den Experten fällt mit einem Schnitt von 75,8, auf einer Skala von 0 bis 100, ebenfalls positiv aus. Besonders gelobt wurde die Übersichtlichkeit und die leichte Bedienbarkeit. Kritik übten die Experten an einzelnen versteckten Funktionen, welche dem Nutzer besser sichtbar gemacht werden sollten. Bei Integration dieser erwarten die Experten eine breite Anwendung der Nutzeroberfläche.

7 Fazit

Die Modularisierungskonzepte für die Prozessindustrie erhöhen die Flexibilität bei der Entwicklung von Anlagen. Sie stellen den Nutzer vor die Herausforderung, Probleme nicht mehr auf Grundlage von umfangreicher Erfahrung lösen zu können [41].

Für eine geeignete Unterstützung wurde identifiziert, was bei einem Assistenzsystem für modulare Anlagen zu berücksichtigen ist. Darauf aufbauend entstand eine Nutzeroberfläche, die Probleme und Lösungen darstellt. Die Nutzeroberfläche dient zur Kommunikation zwischen Mensch und Assistenz. Die Assistenz analysiert im Hintergrund die vorhandenen Informationen und teilt sie dem Nutzer über die Interaktionsplattform mit. Dadurch entsteht ein kollaborativer Problemlöseprozess. Anhand eines Use Case wurde ein Prototyp entwickelt, der auf den entworfenen Konzepten aufbaut. Mit diesem konnte eine Umfrage unter Experten durchgeführt werden. Die Auswertung der Umfrage zeigt, dass die Nutzeroberfläche, bei Erweiterung um ein intelligentes System, Anwendung findet.

7.1 Zusammenfassung

Assistenzsysteme können den Menschen bei vielen Dingen unterstützen. Die Möglichkeiten reichen von einfachen Hinweisen bis hin zum automatischem Ausführen von Aufgaben [60]. Jede Art von Unterstützung fordert eine angemessene Gestaltung. Für den Nutzer ist es wichtig, dass die Verwendung des Assistenzsystems nicht zu Frustration sondern zu Freude, Spaß und Stolz führt [25]. Relevant ist das insbesondere mit Blick auf einen komplexen Problemlöseprozess. Dieser wird sowohl durch die Emotionen des Menschen als auch die Art und Menge der bereitgestellten Informationen beeinflusst.

Bei der Entwicklung eines Assistenzsystems für modulare Anlagen sind einerseits die Informationen, die vom Modul bereit gestellt werden, andererseits die notwendigen Informationen für ein produzierendes Unternehmen zu berücksichtigen. Die bereits entwickelte Prozessführungsebene zeigt nur einen Teil der vorhandenen Informationen an und unterstützt den Nutzer bei auftretenden Problemen nicht. Informationen, die vom Modul bereit gestellt aber nicht angezeigt werden, sind unter anderem Meldungen, Warnung und

Alarmer, Serviceabhängigkeiten und das zugehörige Equipment der Services. Für eine erfolgreiche Problemlösung müssen die zu erreichenden Ziele klar sein. Diese orientieren sich an den Einflussgrößen in einem produzierenden Unternehmen. Ein Unternehmen besteht aus verschiedenen Ebenen. Auf der Ebene der Produktionsplanung ist unter anderem die Kapazitätsoptimierung relevant, auf die in dieser Arbeit der Schwerpunkt gelegt wurde. Um den Anlagenbediener bei seiner Aufgabe zu unterstützen, findet ein mittlerer Grad an Automatisierung Anwendung. Dies wird laut Sauer und Chavaillaz [51] von Anlagenbedienern bevorzugt und generiert die meisten Lösungsvarianten [40].

Die entwickelte Nutzeroberfläche begleitet den Nutzer durch die Phasen des Problemlöseprozesses. In Phase eins, der Problemidentifikation, wird auf Meldungen, Warnungen und Alarmer aufmerksam gemacht, die ein Problem verursachen. Ein Problem entsteht erst, wenn die Meldungen, Warnungen und Alarmer nicht mit den Zielen des Unternehmens vereinbar sind. Das Assistenzsystem identifiziert, welchem Bereich das Problem zugeordnet ist. Es werden die auslösenden Bereiche Modul, KPI, Rezept und Service unterschieden. Entscheidet der Nutzer das Problem zu bearbeiten, geht der Problemlöseprozess in Phase zwei, die Ziel- und Situationsanalyse, über. In dieser hebt das Assistenzsystem hervor, welche Zusammenhänge zwischen Problem und dem Rest der modularen Anlage bestehen. Zusätzlich wird der Nutzer bei der Parametrierung der Ziele unterstützt. Er hat die Möglichkeit, die Parameter der vorgeschlagenen Ziele zu verändern, Ziele hinzuzufügen oder zu löschen. Wenn der Nutzer seine Eingaben bestätigt, folgt Phase drei, die Planerstellung. Dabei sucht das Assistenzsystem nach geeigneten Lösungen, die sich am Problem und den gesetzten Zielen orientieren. Es wird dem Nutzer zum einen angezeigt, welche Elemente (z. B. Services) sich durch Anwendung der Lösung in der modularen Anlage verändern. Zum anderen können in einer tabellarischen Übersicht die Lösungen anhand ihrer Parameter, wie entstehende Kosten und voraussichtlicher Zeitaufwand, verglichen werden. Diese Angaben sollen eine Entscheidung erleichtern.

Die Umfrage unter den Experten ergab, dass die Entscheidung zwar erleichtert wird, sie jedoch immer noch schwierig ist. Sie wünschen sich einheitlich, dass zu der notwendigen Anzahl an Mitarbeitern auch angezeigt wird, welche Kosten ein Mitarbeiter verursacht. Durch Angabe der Gesamtkosten erhoffen sich die Experten eine bessere Vergleichbarkeit der einzelnen Lösungen. Insgesamt wurde der Automatisierungsgrade des Assistenten positiv bewertet. Die Auswahl an Zielen und Lösungen ist, laut der Experten, angemessen, da diese den Nutzer gut leiten. Aufgrund des schlichten Aufbaus, der Über-

sichtlichkeit und der einfachen Bedienung wird die Nutzeroberfläche von den Experten empfohlen. Für eine konkrete Anwendung der Nutzeroberfläche wird zudem gewünscht, den Nutzer auch bei der Durchführung der Lösung zu unterstützen.

7.2 Ausblick

Diese Arbeit zeigt, dass der Entwurf eines Assistenzsystems für modulare Anlagen vielschichtig ist und von vielen Faktoren beeinflusst wird. Für eine erfolgreiche Anwendung der Nutzeroberfläche sind noch einige Bereiche zu untersuchen. Der Prototyp und auch Teile des Konzepts bauen auf einem konkreten Use Case auf. Das Konzept betrachtet die bestehenden Zusammenhänge zwischen Problemauslöser und Gesamtanlage. Für eine ideale Anpassung an Probleme bleibt zu überprüfen, ob die groben Bereiche Modul, KPI, Rezept und Service ausreichend sind, um den Nutzer ideal zu unterstützen. Mit diesen Informationen kann die Nutzerplattform weiter entwickelt und getestet werden. Bis jetzt ist noch nicht eindeutig, welche Probleme in modularen Anlagen im Detail auftreten. Eine Möglichkeit wäre zunächst zwischen anlagen- und modulspezifischen Problemen zu unterscheiden. Um das Problem und die Lösungen geeignet darzustellen, benötigt die Nutzeroberfläche eine ganze Reihe an Informationen. Diese reichen vom Problembereich, über die Ziele bis hin zu den Zusammenhängen. Es bleibt zu untersuchen, wie diese Menge an Informationen vom Modul an die Assistenz und von der Assistenz an die Interaktionsplattform übertragen werden können. Bei der Datenübertragung ist sowohl die Problembeschreibung als auch die Lösungsfindung zu berücksichtigen.

Damit die Assistenz Lösungen finden kann, ist zu klären, welche Daten vom MTP bereitgestellt werden müssen. Dafür sind auch anwendbare Möglichkeiten zur Lösungsfindung zu prüfen. Wenn Lösungen auf vorher bearbeiteten Problemen aufbauen und dies dem Nutzer mitgeteilt wird, könnte er sich leichter für eine Lösung entscheiden und Erfahrungswissen aufbauen. Die entwickelte Nutzeroberfläche kann für eine solche Untersuchung, bei Ergänzung der entsprechenden Information, verwendet werden. Hat der Nutzer und/oder die Assistenz die Möglichkeit, Lösungen vorab an einer virtuell modularen Anlage zu testen, könnten dadurch Fehlentscheidungen reduziert werden. Durch umfassende Analyse der thematisierten Faktoren kann aus der Nutzeroberfläche ein intelligentes Assistenzsystem werden, das dann in modularen Anlagen verwendbar ist.

Anhang

A Modulare Anlage

A.1 Zustandsmodell Services

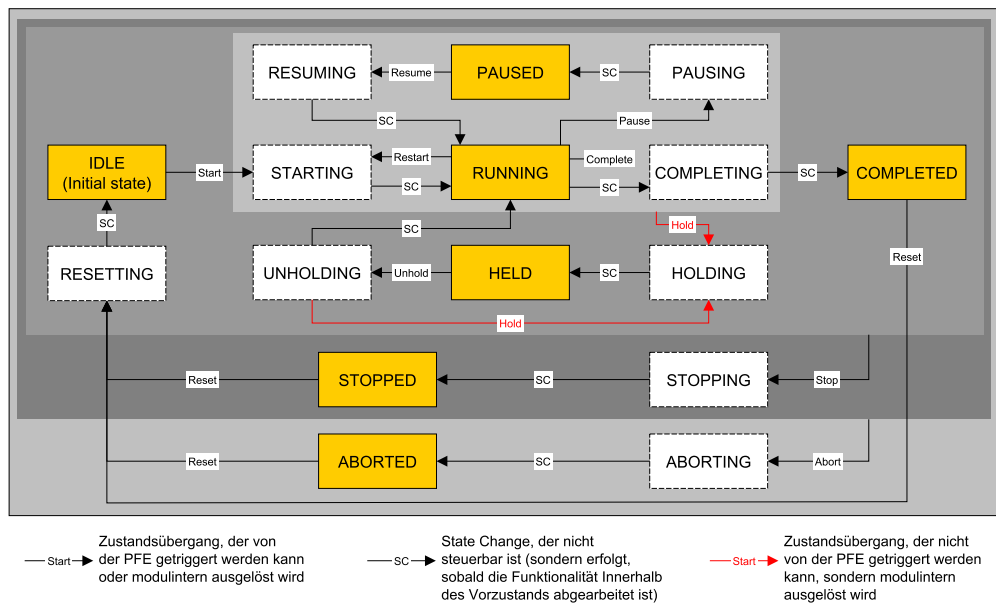


Abbildung A.1: Zustandsmodell Services *nach VDI 2658 Blatt 4* [6]

A.2 Rezept

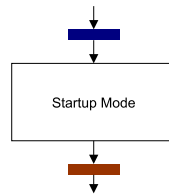


Abbildung A.2: Rezeptstruktur - Phases *nach Bloch et.al.* [16, S. 53]

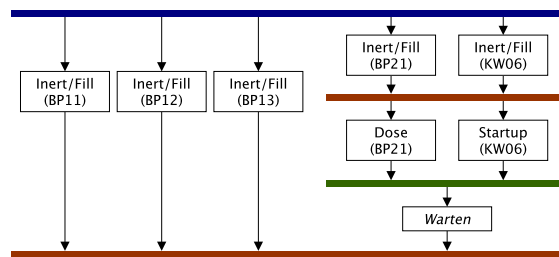


Abbildung A.3: Rezeptstruktur - Procedures *nach Bloch et.al.* [16, S. 53]

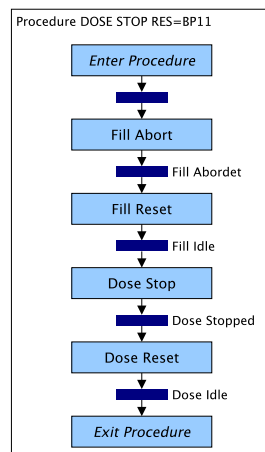


Abbildung A.4: Rezeptstruktur - Steps *nach Bloch et.al.* [16, S. 53]

B Prozessführungsebene

Für eine besser Übersicht ist die PFE in vier Ebenen eingeteilt. Auf der obersten Ebene ist eine grobe Übersicht über die Anlage gegeben. Die unterste Ebene stellt die meisten Details dar. Tabelle B.1 beschreibt, welche Informationen auf welcher Ebene dargestellt sind. Mittels der Navigation können die Ebenen gewechselt werden.

Tabelle B.1: Übersicht über die Ebenen in der Prozessführungsebene

	Navigation	KPI	Rezept	Services / HMI
Ebene 1	Shopfloor: Übersicht über alle vorhandenen Anlagen		Phases für die angewählt Anlage	/
Ebene 2	Subplant: Anzeige aller Module und deren Verbindungen		Procedures	Alle Services der Anlage
Ebene 3	Modul	KPIs für das angewählte Modul	Procedures: Markierung des angewählten Moduls	Services des Moduls
Ebene 4	Modul		Procedures: Markierung des Moduls	Anzeige des HMI des Moduls

C Konzept

C.1 Farbschema des Assistenzsystems

Farbe	689F38	689F38	689F38
Anwendung	Header		Buttons

C.2 Anpassung an Problembereich - Aktivitätsdiagramm

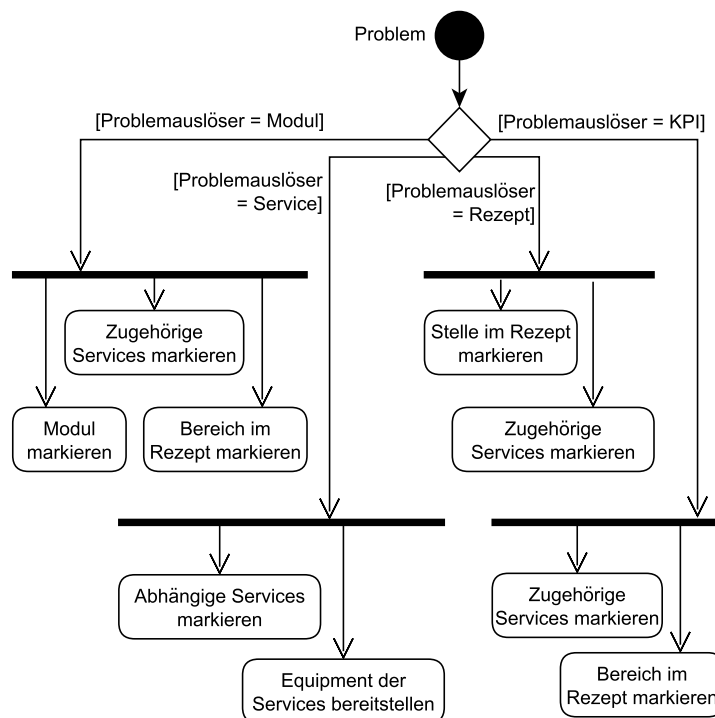


Abbildung C.1: Aktivitätsdiagramm - Anpassung an Problemauslöser

D Fragebogen

Vorwissen

Frage	Ja	Nein
Ich weiß, was eine modulare Anlage ist.		
Ich weiß, was Services, im Kontext der modularen Anlagen, sind.		
Ich habe Erfahrung im Betrieb von verfahrenstechnischen Anlagen.		
Ich weiß, wie Rezepte bei verfahrenstechnischen Anlagen funktionieren.		
Ich habe schon mal ein Assistenzsystem zum Problemlösen verwendet.		

Abbildung D.1: Fragebogen: Aussagen zum Vorwissen

Auswertung

Aussage	Stimme gar nicht zu				Stimme voll zu
Ich kann mir sehr gut vorstellen das Assistenzsystem regelmäßig zu nutzen.					
Ich empfinde das Assistenzsystem als unnötig komplex.					
Ich empfinde das Assistenzsystem als einfach zu nutzen.					
Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das Assistenzsystem zu nutzen.					
Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Assistenzsystems gut integriert sind.					
Ich finde, dass es im Assistenzsystem zu viele Inkonsistenzen gibt.					
Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.					
Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.					
Ich habe mich bei der Nutzung des Assistenzsystems sehr sicher gefühlt.					
Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem Assistenzsystem arbeiten konnte.					

Abbildung D.2: Fragebogen: SUS Fragebogen

Das hat mir besonders gut gefallen:

Folgende Funktionen habe ich vermisst:

Weitere Anmerkungen:

Abbildung D.3: Fragebogen: Offene Fragen

Literaturverzeichnis

- [1] Google. URL: <https://material.io/> (besucht am 17.04.2019).
- [2] Google. URL: <https://material.io/tools/color/#!/?view.left=0&view.right=0&primary.color=689F38> (besucht am 17.04.2019).
- [3] Axure Software Solutions, Inc. URL: <https://www.axure.com/> (besucht am 29.04.2019).
- [4] VDI/VDE/NAMUR 2658 Blatt 1. *Automatisierungstechnisches Engineering modularer Anlagen in der Prozessindustrie Blatt 1: Allgemeines Konzept und Schnittstellen*. Juni 2017.
- [5] VDI/VDE/NAMUR 2658 Blatt 3. *Automatisierungstechnisches Engineering modularer Anlagen in der Prozessindustrie Blatt 3: Basisbibliothek*. März 2019.
- [6] VDI/VDE/NAMUR 2658 Blatt 4. *Automatisierungstechnisches Engineering modularer Anlagen in der Prozessindustrie Blatt 4: Modellierung von Moduldiensten (Entwurf)*. o.J.
- [7] DIN EN ISO 9241-110. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung*. Sep. 2008.
- [8] DIN EN ISO 9241-112. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion Teil 112: Grundsätze der Informationsdarstellung*. Aug. 2017.
- [9] DIN EN ISO 9241-129. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion Teil 129: Leitlinien für die Individualisierung von Software*. März 2011.
- [10] *Assistenz*. Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/673565/revisions/1971304/view> (besucht am 03.01.2019).
- [11] *assistieren*. Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/750355/revisions/1783324/view> (besucht am 03.01.2019).

-
- [12] Lisanne Bainbridget. „Ironies of Automation“. In: *Automatica* 19.6 (1983), S. 775–779. DOI: [10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8).
- [13] J. Bernshausen, A. Haller, T. Holm, M. Hoernicke, M. Obst und J. Ladiges. „Namur Modul Type Package - Definition“. In: *atp edition* 58.1-2 (Jan. 2016), S. 72–81. DOI: [10.17560/atp.v58i01-02.554](https://doi.org/10.17560/atp.v58i01-02.554).
- [14] Tilmann Betsch, Joachim Funke und Henning Plessner. *Denken - Urteilen, Entscheiden, Problemlösen*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.
- [15] Jonas Bieber, Meret Feldkemper, Paul Herzig und Konrad Wauer. „MMST Dokumentation“. Studienarbeit. TU Dresden, 2018.
- [16] H. Bloch, S. Hensel, M. Hoernicke, K. Stark, A. Menschner, A. Urbas L.and Fay, T. Knohl, J. Bernshausen und A. Haller. „Zustandsbasierte Führung modularer Prozessanlagen“. In: *atp edition* 59.10 (Nov. 2017), S. 46–57. DOI: [10.17560/atp.v59i10.1899](https://doi.org/10.17560/atp.v59i10.1899).
- [17] Jürgen Bloech, Ronald Bogaschewsky, Udo Buscher, Anke Daub, Uwe Götze und Folker Roland. *Einführung in die Produktion*. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2014. DOI: [10.1007/978-3-642-31893-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-31893-1).
- [18] John Brooke. „SUS: A Retrospective“. In: *Journal of Usability Studies* 8.2 (Feb. 2013), S. 29–40.
- [19] Dietrich Dörner. „Denken, Problemlösen und Intelligenz“. In: *Psychologische Rundschau* XXXV.1 (1984), S. 10–20.
- [20] Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., Hrsg. *Modulbasierte Produktion in der Prozessindustrie - Auswirkungen auf die Automation im Umfeld von Industrie 4.0*. Frankfurt am Main, Feb. 2015.
- [21] Jan Funke. „Durchgänge Lebenszyklusunterstützung von Process Equipment Assemblies in modularen Anlagen“. Diplomarbeit. TU Dresden, 2018.
- [22] Joachim Funke. *Problemlösendes Denken*. 1. Auflage. Stuttgart: Kohlhammer, 2003.

-
- [23] 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* (2008), S. 1271–1274. DOI: **10.1145/1357054.1357252**.
- [24] Juliane Gottmann. *Produktionscontrolling*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2016. DOI: **10.1007/978-3-658-01951-8**.
- [25] Marc Hassenzahl. „User experience (UX): Towards an experiential perspective on product quality“. In: *Proceedings of the 20th Conference on l’Interaction Homme-Machine* (Sep. 2008), S. 11–15. DOI: **10.1145/1512714.1512717**.
- [26] 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**.
- [27] Andreas M. Heinecke. *Mensch-Computer-Interaktion. Basiswissen für Entwickler und Gestalter*. 2. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. DOI: **10.1007/978-3-642-13507-1**.
- [28] S. Hensel, A. Menschner, H. Bloch, S. Heinze, M. Hoernicke, K. Stark, T. Knohl, J. Bernshausen, G. Lustig, A. Wittenbrink, A. Fay und L. Urbas. „A Service-oriented orchestration and visualization approach for the state-based control of modular process plants“. Technischer Bericht. TU Dresden, Institut für Prozessleittechnik, Arbeitsgruppe Systemverfahrenstechnik, 2019.
- [29] Michael Herczeg. „Diagnostische Repositorien zur Unterstützung kollaborativer Entscheidungsprozesse“. In: *Entscheidungsunterstützung für die Fahrzeug- und Prozessführung*. Hrsg. von M. Grandt. Bonn, 2003, S. 117–131.
- [30] Michael Herczeg. *Interaktionsdesign: Gestaltung interaktiver und multimedialer Systeme*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2006.
- [31] Patrick Jermann. „Computer Support for Interaction Regulation in Collaborative Problem-Solving“. Doktorarbeit. Universität Genf, 2004.

-
- [32] Sebastian Kasselman und Stefan Willeke. „Interaktive Assistenzsysteme“. Technologie-Kompodium. Institut für Integrierte Produktion Hannover, 2016. URL: https://industrie40.it-haus.com/wp-content/uploads/2016/12/IPH_2016_Assistenz-Systeme.pdf (besucht am 23.11.2018).
- [33] 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.
- [34] Kenneth R. Koedinger und Vincent Aleven. „Exploring the assistance dilemma in experiments with cognitive tutors“. In: *Educational Psychology Review* 19.3 (2007), S. 239–264. DOI: [10.1007/s10648-007-9049-0](https://doi.org/10.1007/s10648-007-9049-0).
- [35] J. Ladiges, A. Köcher, P. Clement, H. Bloch, T. Holm, P. Altmann und A. Fay. „Entwurf, Modellierung 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).
- [36] Rudolf Lauber und Peter Göhner. *Prozessautomatisierung 1*. 3. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1999.
- [37] James R. Lewis. „Measuring Perceived Usability: The CSUQ, SUS, and UMUX“. In: *International Journal of Human-Computer Interaction* 34.12 (2018), S. 1148–1156. DOI: [10.1080/10447318.2017.1418805](https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1418805).
- [38] Bernd Ludwig. *Planbasierte Mensch-Maschine-Interaktion in multimodalen Assistenzsystemen*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2015. DOI: [10.1007/978-3-662-44819-9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-44819-9).
- [39] Gerrit Meixner. „Modellbasierte Entwicklung von Benutzungsschnittstellen“. In: *Informatik-Spektrum* 34.4 (2011), S. 400–404. DOI: [10.1007/s00287-011-0546-7](https://doi.org/10.1007/s00287-011-0546-7).
- [40] Christopher A. Miller, Harry Funk, Robert Goldman, John Meisner und Peggy Wu. „Implications of Adaptive vs. Adaptable UIs on Decision Making: „Why Automated Adaptiveness“ Is Not Always the Right

Answer“. In: *In Proceedings of the 1st International Conference on Augmented Cognition*. Las Vegas, Juli 2005, S. 1180–1189.

- [41] Romy Müller. „Cognitive challenges of changeability: adjustment to system changes and transfer of knowledge in modular chemical plants“. In: *Cognition, Technology and Work* 21.1 (2018), S. 113–131. DOI: **10.1007/s10111-018-0489-8**.
- [42] Romy Müller und Leon Urbas. „Cognitive Challenges of Changeability: Multi-Level Flexibility for Operating a Modular Chemical Plant“. In: *Chemie-Ingenieur-Technik* 89.11 (2017), S. 1409–1420. DOI: **10.1002/cite.201700029**.
- [43] NAMUR. *NE 148: Anforderungen an die Automatisierungstechnik durch die Modularisierung verfahrenstechnischer Anlagen*. Okt. 2013.
- [44] M. Obst, T. Holm, S. Bleuel, U. Claussnitzer, L. Evetz, T. Jäger, T. Nekolla, S. Pech, S. Schmitz und L. Urbas. „Automatisierung im Life Cycle modularer Anlagen“. In: *atp edition* 55.1-2 (Jan. 2013), S. 24–31.
- [45] Kibeom Park und Seok-won Lee. „Model-Based Approach for Engineering Adaptive User Interface Requirements“. In: *Requirements Engineering in the Big Data Era*. Hrsg. von Lin Liu und Mikio Aoyama. Bd. 558. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2015, S. 18–32. DOI: **10.1007/978-3-662-48634-4**.
- [46] Thorsten Pötter, Jens Folmer und Birgit Vogel-Heuser. „Enabling Industrie 4.0 - Chancen und Nutzen für die Prozessindustrie“. In: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Hrsg. von Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Brigit Vogel-Heuser. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2007, S. 159–171. DOI: **10.1007/978-3-658-04682-8_8**.
- [47] J. Rahm, M. Graube, R. Müller, T. Klaeger, L. Schegner, A. Schult, R. Bönse, S. Carsch, L. Oehm und L. Urbas. „KoMMDia: Dialogue-Driven Assistance System for Fault Diagnosis and Correction in Cyber-Physical Production Systems“. In: *Proceedings of the 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*. Bd. 1. 2018, S. 999–1006. DOI: **10.1109/ETFA.2018.8502615**.

-
- [48] J. Elizabeth Richey und Timothy J. Nokes-Malach. „How much is too much? Learning and motivation effects of adding instructional explanations to worked examples“. In: *Learning and Instruction* 25 (Juni 2013), S. 104–124. DOI: [10.1016/j.learninstruc.2012.11.006](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.11.006).
- [49] Jessica Röhner und Astrid Schütz. *Psychologie der Kommunikation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2016. DOI: [10.1007/978-3-658-10024-7](https://doi.org/10.1007/978-3-658-10024-7).
- [50] 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* 14.2 (2005), S. 201–241. DOI: [10.1207/s15327809jls1402_2](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_2).
- [51] Juergen Sauer und Alain Chavaillaz. „How operators make use of wide-choice adaptable automation: observations from a series of experimental studies“. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 19.2 (2018), S. 135–155. DOI: [10.1080/1463922X.2017.1297866](https://doi.org/10.1080/1463922X.2017.1297866).
- [52] L. Schegner, M. Krauss, J. Birk und L. Urbas. „Autonomie und Assistenz in der Prozessindustrie“. In: *Tagungsband Automation 2018*. Baden-Baden, Juli 2018.
- [53] Alexander Schließmann. „iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory“. In: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Hrsg. von T. Bauernhansl, M. ten Hompel und B. Vogel-Heuser. Springer Vieweg, 2007, S. 451–480. DOI: [10.1007/978-3-658-04682-8_22](https://doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8_22).
- [54] Martin Schrepp. *User Experience Questionnaire Handbook*. Sep. 2015. DOI: [10.13140/RG.2.1.2815.0245](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2815.0245).
- [55] Thomas B. Sheridan und William L. Verplank. *Human and Computer control of undersea teleoperators*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Man-Machine Systems Laboratory, 1978. URL: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a057655.pdf> (besucht am 25.04.2019).

-
- [56] Thomas Tullis und Bill Albert. *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. Burlington: Elsevier Science and Technology, 2008.
- [57] Leon Urbas, Annett Krause und Jens Ziegler. *Process control systems engineering*. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2012.
- [58] Leon Urbas, Stephan Bleuel, Tobias Jäger, Stephan Schmitz, Lars Evetz und Tobias Nekolla. „Automatisierung von Prozessmodulen“. In: *atp edition* 54.1-2 (Jan. 2012), S. 44–53. DOI: [10.1140/epje/i2017-11542-4](https://doi.org/10.1140/epje/i2017-11542-4).
- [59] G. Viano, A. Parodi, J. Alty, C. Khalil, I. Angulo, D. Biglino, C. Crampes M. and Vaudry, V. Daurensan und P. Lachaud. „Adaptive user interface for process control based on multi-agent approach“. In: *Proceedings of the Working Conference on Advanced visual interfaces*. AVI '00. New York: ACM, 2000, S. 201–204. DOI: [10.1145/345513.345316](https://doi.org/10.1145/345513.345316).
- [60] 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. DOI: [10.1109/ETFA.2014.7005150](https://doi.org/10.1109/ETFA.2014.7005150).
- [61] Robert Weidner, Hrsg. *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*. Zweite Transdisziplinäre Konferenz. Hamburg, 2016. ISBN: 978-3-86818-090-9.
- [62] K. Weisner, M. Knittel, S. Wischniewski, T. Jaitner, H. Enderlein, P. Kuhlang und J. Deuse. „Assistenzsystem zur Individualisierung der Arbeitsgestaltung“. In: *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 111.10 (2016), S. 598–601. DOI: [10.3139/104.111609](https://doi.org/10.3139/104.111609).
- [63] Detlef Zühlke. *Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.

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