HELMUT SCHMIDT UNIVERSITÄT

Universität der Bundeswehr Hamburg

Methodik zur Identifikation von technischen Abhängigkeiten anhand von Engineeringprozessen automatisierter Anlagen

Von der Fakultät für Maschinenbau

der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg

zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Wirt.-Ing. Tobias Jäger

aus Bielefeld

Hamburg 2014

Gutachter	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich
Tag der mündlichen Prüfung:	26. September 2014

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg.

Da eine wissenschaftliche Arbeit nie das Werk einer einzelnen Person ist, möchte ich mich im Folgenden bei allen Menschen bedanken, die mich während der Entstehung meiner Dissertation unterstützt haben.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr.-Ing. Alexander Fay, bedanken. Er ermöglichte mir durch die Mitarbeit an seiner Professur tiefe Einblicke in Lehre, Forschung und Industrie. Durch seine kontinuierliche Motivation, Forderung und Förderung hat er maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ebenso bedanke ich mich für die Anfertigung des Zweitgutachtens bei Herrn Professor Dr.-Ing. Michael Weyrich. Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Meywerk.

Meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am Institut und auch den „Externen“ danke ich für die freundschaftliche Unterstützung. Neben der fachlichen Zusammenarbeit werde ich mich an viele nichtfachliche gemeinsame Unternehmungen in Hamburg erinnern.

Bei meinen Kollegen der Siemens AG möchte ich mich für die Begleitung und Unterstützung meiner Arbeit bedanken. Namentlich herauszustellen ist im besonderen Herr Dr.-Ing. Thomas Wagner, der aus tragischen Gründen das erfolgreiche Ende meiner Arbeit nichtmehr mit begleiten konnte.

Besonderer Dank gilt auch meinen Korrekturlesern, Stefan, Birthe, Arndt und Anne, ich hab es Euch nicht leicht gemacht.

Meinen Freunden und meiner Familie gilt mein besonderer Dank. Ihr habt mich immer wieder motiviert am Ball zu bleiben und mir ausreichend Raum und Zeit gegeben meine Arbeit abzuschließen.

Erlagen, im Oktober 2014

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis I
Abbildungsverzeichnis IV
Tabellenverzeichnis VI
Abkürzungsverzeichnis VII
1 Einleitung und Motivation 1
1.1 Herausforderung Engineering 1
1.2 Zielsetzung 2
1.3 Aufbau der Arbeit 3
2 Engineering automatisierter Anlagen im industriellen Lösungsgeschäft 4
2.1 Industrieller Anlagen- und Großanlagenbau 5
2.2 Vorgehens- und Abwicklungsmodelle im Engineering 6
2.3 Fachdisziplinen und Gewerke 13
2.4 Gewerkespezifische Modelle - Dokumentation und Austausch von Engineeringergebnissen 14
2.5 Dokumentation und Darstellung von Prozessen 18
2.6 Herausforderungen im Engineering automatisierter Anlagen 20
2.7 Mögliche Ansätze zur Identifikation von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen 22
3 Neue Entwicklungen für ein systematisches Verständnis des Engineerings 25
3.1 Aktueller Stand der Forschung anhand von Forschungsprojekten 25
3.1.1 Projekte mit Fokus auf das Produktgeschäft 25
3.1.2 Projekte mit Fokus auf Softwarewerkzeuge zur Unterstützung des gewerkeübergreifenden Engineerings 26
3.1.3 Projekte mit Fokus auf Methodenentwicklung 28
3.2 Modellierung des Engineeringprozesses automatisierter Anlagen 29
3.3 Workflow Mining 36
3.4 Analyse und Modellierung von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen im Engineering automatisierter technischer Systeme 37
3.4.1 FMEA und Prozess-FMEA 37
3.4.2 DeCoDe – Anforderungsgerechtes Design technischer Systeme 38
3.4.3 Modellierung mittels Design-Structure-Matrizen 40
3.5 Bestehende Herausforderungen zur Identifikation technischer Abhängigkeiten zur Optimierung des gewerkeübergreifenden Engineerings 47
4 Anforderungen und Randbedingungen an ein Modell des Engineeringprozesses zur Identifikation von technischen Abhängigkeiten und möglichen Wechselwirkungen 49
5 Lösungskonzept – Aufbereitung, Analyse und Optimierung des Engineeringprozesses 51
5.1 Hierachisches Betrachtungsmodell für Engineeringprozesse 51
5.2 Systematische Aufbereitung und Dokumentation des Engineeringprozesses 53
5.2.1 Aufbereitung bestehender Dokumentation 54
5.2.2 Interviews und Workshops zur Dokumentation des Engineeringprozesses 55

5.2.3 Beschreibung und Klassifikation von Schnittstellen in Engineeringprozessen 57
5.2.4 Transfer in Abhängigkeitsmatrizen 60

5.3 Systematische Analyse und Auswertung des Prozessmodells 61

5.3.1 Schnittmengen in Modellen und Dokumenten zwischen Gewerken im Engineering 61
5.3.2 Technische Abhängigkeiten und Wechselwirkungen 62
5.3.3 Identifikation kritischer Pfade – der technisch kritische Pfad 64

5.4 Ansätze und Maßnahmen zur Optimierung des Engineeringprozesses 65

5.4.1 Anpassen von Schnittstellen und Verändern des Ablaufs des Engineeringprozesses 65
5.4.2 Auflösung von technischen Spannungsfeldern 66
5.4.3 Verdichtung der Schnittstellenklassifikation auf übergeordnete Ebenen des Engineeringprozessmodells 67

5.5 Begegnung der Herausforderungen für ein technisch inhaltliches Wissen für eine Optimierung des Engineerings 68

6 Konzept für eine werkzeugtechnische Unterstützung im Engineering 70

6.1 Architekturbeschreibung zur Kopplung des Lösungskonzeptes mit einem PLM System . 71

7 Einordnung der Fallstudien 74

7.1 Walzwerkengineering 75
7.2 Kraftwerksengineering 76
7.3 Schaltanlagenengineering 77

8 Fallstudien im Engineering automatisierter Anlagen 78

8.1 Untersuchung von technischen Spannungsfeldern zwischen Gewerken 79

8.1.1 Nachverfolgung technischer Änderungen und deren Auswirkungen 83
8.1.2 Schnittmengen und Abstraktionsgrade in Beschreibungen 90
8.1.3 Betrachtung des bestehenden Ablaufs und der zugehörigen Aufbauorganisation 92
8.1.4 Anwendbarkeit im Kontext des Engineerings von Walzwerken 93

8.2 Fokussierung auf Ausschnitte des Engineeringworkflows 93

8.2.1 Fokussierung der Kritikalitätsanalyse anhand statistischer Eigenschaften 95
8.2.2 Anwendbarkeit im Kontext des Engineerings von Kraftwerken 98

8.3 Qualitative Bewertung von gewerkeübergreifenden Schnittstellen 99

8.3.1 Gültigkeit der Kriterien und des hierarchischen Modells 99
8.3.2 Anwendbarkeit im Kontext des Engineerings von Schaltanlagen 101

8.4 Fazit zur Anwendbarkeit des Lösungskonzeptes 101

9 Zusammenfassung und Ausblick 102

9.1 Zusammenfassung 102
9.2 Ausblick 103

Glossar 104
Literaturverzeichnis 106

Normen- und Richtlinienverzeichnis 115
Verzeichnis der Veröffentlichungen des Verfassers..... 116
Verzeichnis der betreuten studentischen Arbeiten 120
Anhang 121

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1 Einordnung von Systemen nach Patzak [PATZ82] 5
Abb. 2-2 Phasen im Engineering von Anlagen in Anlehnung an [BINH09] 6
Abb. 2-3 Methodisches Vorgehen der Richtlinie VDI 2221 [2221] 7
Abb. 2-4 VDI 2422 Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikoelektronik [2422]. 8
Abb. 2-5 VDI 2206 Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme [2206] 9
Abb. 2-6 Axiomatic Design Vorgehen 10
Abb. 2-7 NAMUR Arbeitsblatt 35 [NA35] 11
Abb. 2-8 PISTEP Process Plant Engineering Activity Model [PIST94] 12
Abb. 2-9 Dekomposition eines Kraftwerks in Systeme und Sichten [FER+09] 15
Abb. 2-10 Beschreibungsmittel zur Modellierung von Prozessen [LIBU10] 19
Abb. 2-11 Kombination von Aktivitäts- und Objektdiagramm [ERIP00] 20
Abb. 2-12 Komplexität und Abhängigkeiten in Systemen [BEEK08] 21
Abb. 3-1 Mechatronisches Vorgehen nach Aquimo [AQUI10] 27
Abb. 3-2 Ursache-Wirkungsnetz nach Puhl [PUHL99] 30
Abb. 3-3 Meta-Model CLiP 32
Abb. 3-4 Beschreibungsklassen des CLiP Modells [Baye03] 32
Abb. 3-5 C3 Modellierung [KIL+99] 33
Abb. 3-6 Ebenen der Prozessmodellierung nach Libuda[LIBU10] 34
Abb. 3-7 Modellierung nach Libuda 34
Abb. 3-8 Aufgabenkennzeichnungssystem EAKS nach Sokolov[SOK+11] 35
Abb. 3-9 Referenzarchitektur des Wokflowminings [Aal+10] 36
Abb. 3-10 DeCoDe Grundmodell [SCHW09B] 39
Abb. 3-11 Doppelzyklus nach Ott [OTT09] 40
Abb. 3-12 Mögliche Markierungen einer binären DSM 41
Abb. 3-13 Domain Mapping Matrix - DMM 42
Abb. 3-14 Zuordnung von Personen zu Aufgaben 43
Abb. 3-15 Multi Domain Matrix nach [MAUR07] 44
Abb. 3-16 Hergeleitete DSM der Kommunikationsflüsse 45
Abb. 3-17 MDM zur Abbildung von Automatisierungssystemen aufbauend auf [KIS+10] 46
Abb. 5-1 Drei Phasen Vorgehensmodell 51
Abb. 5-2 Hierarchisches Betrachtungsmodell des Engineeringprozess [GEL+12] 52
Abb. 5-3 Schritte zur Erstellung eines umfassenden Modells des Engineeringprozesses 53
Abb. 5-4 Vorgehen zur Erfassung der gewerkeübergreifenden Schnittstellen im Engineering..... 54
Abb. 5-5 Darstellung der Informationsstränge mit Entstehungszeitpunkt und Endzeitpunkt 55
Abb. 5-6 Dokumentation des Engineeringprozesses mit Aktivitäten und Resultaten 56

Abb. 5-7 Exemplarische Bewertung einer Schnittstelle 59

Abb. 5-9 Transfer der Aktivitätsabfolge in eine DSM..... 60

Abb. 5-8 exemplarische Abfolge von Aktivitäten 60

Abb. 5-10 Dokumentation des Engineeringprozesses mit Aktivitäten und Resultaten..... 62

Abb. 5-11 Verwendung eines Ishikawadiagramms zur Beschreibung der mit einem Planungsobjekt im Zusammenhang stehenden Resultate der am Engineering beteiligten Gewerke..... 63

Abb. 5-12 Exemplarische Darstellung eines kritischen Pfads innerhalb einer DSM..... 64

Abb. 5-13 Verdichtung der Detailbewertungen von Schnittstellen mittels Multidomänen Modellierung..... 67

Abb. 6-1 Konzept für eine werkzeugtechnische Unterstützung 71

Abb. 7-1 Aufbau eines Warmbandwalzwerks [DEG+07] 75

Abb. 7-2 Schematische Abbildung eines Kernkraftwerks [STRA07] 76

Abb. 7-3 Übersichtsdarstellung einer gasisolierten Schaltanlage [GREM99] 77

Abb. 8-1 Zusammenfassung des Engineeringprozess der Fallstudie Walzwerk 82

Abb. 8-2 Technische Auswirkungskette durch Wechsel eines Servoventils 83

Abb. 8-3 Aktivitäten und Resultate im Kontext des Anwendungsfalls 1 84

Abb. 8-4 Ursache- Wirkungsdiagramm mit relevanten Attributen 85

Abb. 8-5 Auswirkung eines fehlenden Positionssensors 86

Abb. 8-6 Ursache- und Wirkungsdiagramm Anwendungsfall 2..... 87

Abb. 8-7 Auswirkungskette eines verkehrt positionierten Sensors..... 88

Abb. 8-8 Darstellung des Anwendungsbeispiels 3 in einem Ursache-Wirkungsdiagramm..... 88

Abb. 8-9 Auswirkungen unzureichender Hydraulischer Versorgung..... 89

Abb. 8-10 Ursache und Auswirkungsdiagramm Anwendungsfall 4..... 89

Abb. 8-11 Exemplarische Darstellung der Informationsgranularität und Schnittmengen zwischen den Gewerken Elektrik, Hydraulik und Mechanik bezüglich hydraulischer Aspekte 91

Abb. 8-12 Übersicht der Analyseebenen der Fallstudie Kraftwerk und der entsprechenden Abhängigkeitsmatrizen..... 94

Abb. 8-13 Prototypische Auswertung kritischer Schnittstellen..... 96

Abb. 8-14 Auswertung der eingehenden Informationen (Werte verfremdet)..... 97

Abb. 8-15 Auswertung der ausgehenden Informationen (Werte verfremdet) 97

Abb. 8-16 Auswertung der Informationsstatus als Indikator 98

Abb. 8-17 Ausschnitt Engineeringprozessdefinition Schaltanlage 100

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1 Aufbau der Arbeit 3

Tab. 2-1 Gewerke im Engineering von Walzwerken [JÄG+12B] 14

Tab. 2-2 Engineeringaufgaben und dabei verwendete Dokumente und Modelle in Anlehnung an [WagL10] 17

Tab. 5-1 Kriterien zur Klassifikation und Bewertung von Schnittstellen in Engineeringprozessen ... 58

Tab. 7-1 Einordnung der Fallstudien 74

Tab. 8-2 Beteiligte Gewerke in der Fallstudie Walzwerkengineering 79

Tab. 8-1 Zuordnung der Fallstudien zu den Bausteinen des Lösungskonzepts 79

Tab. 8-3 Übersicht Austauschdokumente Hydraulik mit Urhebern 80

Tab. 8-4 Übersicht möglicher Maßnahmen 85

Tab. 8-5 Übersicht möglicher Maßnahmen 87

Tab. 8-6 Übersicht möglicher Maßnahmen 89

Tab. 8-7 Übersicht möglicher Maßnahmen 90

Abkürzungsverzeichnis

BPMN	Business process modeling notation
CAD	Computer-aided Design
DeCoDe	Demand-Compliant-Design
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMM	Domain-Mapping-Matrix
DSM	Design-Structure-Matrix
E+IC	Electrical and Instrumentation Controls
EMF	Elektromechanische Funktionsbeschreibung
EMR	Elektrische Mess- und Regeltechnik
EMSR	Elektrische Mess-,Stell- und Regeltechnik
EN	Europäische Norm
EPK	Ereignisprozessketten
ERP	Enterprise-Resource-Planning
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
HMI	Human Maschine Interface
IBS	Inbetriebsetzung
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organization for Standardization
KPI	Key Performance Indikator
MDM	Multi-Domain-Matrix
MKL	Motoren- und Komponentenliste
NAMUR	Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie
NC	Numerical Control
PDM	Produktdatenmanagent
PLM	Product Lifecycle Management
PPS	Produktionsplanungs- und Steuerungssystem
RPZ	Risiko-Prioritätszahl
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SysML	Systems Modeling Language
UML	Unified Modeling Language
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VKD	Vorgangskettendiagramme

1 Einleitung und Motivation

Das Engineering industrieller Anlagen, ausgehend von einzelnen Komponenten bis zur Großanlage, ist nach Aussage des VDMA Schlüsseltechnologie und Motor für die Wirtschaft [VDMA]. Am Bau industrieller Anlagen sind eine Vielzahl unterschiedlicher Gewerke beteiligt. Diese Gewerke bringen im wechselseitigen Zusammenspiel ihre jeweilige Lösungskompetenz zur Erstellung der erwarteten Gesamtlösung ein. Die Gesamtlösung ist im Anlagenbau üblicherweise projekt- und kundenspezifisch. Auf die Frage der Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik im VDI/VDE, ob sie auf die zunehmende Komplexität im Engineering automatisierter Anlagen vorbereitet seien, antworteten 86,7% der befragten Ingenieure mit *ja*. Sie stützen sich im Engineering insbesondere auf ihre eigene Erfahrung (91,5%). Rund ein Drittel (31,9%) nutzen keine Hilfsmittel zur Bewältigung von Komplexität, die anderen zwei Drittel berufen sich auf die eigenen Erfahrungen, dies legt den Schluss nahe, dass es einen Mangel an allgemein verwendeten, bewährten und etablierten Methoden zur Komplexitätsbeherrschung in der praktischen Anwendung unter den Ingenieuren gibt. Komplexität drückt sich dabei nach Ansicht der Befragten insbesondere in der gegenseitigen Abhängigkeit von Fragestellungen (76,3%) sowie der Schwierigkeit aus, die gegenseitigen Auswirkungen der einzelnen Entscheidungen (63,6%) auf die gleiche Fragestellung zu beurteilen [VDI 12]. Der Umgang mit technischer Komplexität ist demnach insbesondere abhängig vom Erfahrungshorizont der beteiligten Ingenieure. Für den Umgang mit Komplexität im Engineering formulierte Suh bereits früher den Bedarf wissenschaftlicher Methoden. Wissenschaftliche Methoden würden eine systematische Durchdringung der Gestaltung technischer Systeme erlauben [SUH90]. Diese Feststellung, dass das Engineering schwierig zu verstehen, zu beschreiben, zu lehren und auszuüben ist, gilt auch heute noch [LÖW+05; VDI12].

Diese Arbeit soll einen Beitrag leisten, den Engineeringprozess automatisierter Anlagen durch geeignete Methoden systematisch bis zu den einzelnen technischen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Gewerken zu durchdringen. Eine Beschreibung dieser Abhängigkeiten und die Identifikation möglicher Wechselwirkungen kann eine Grundlage für ein generelles Verständnis des Engineerings automatisierter Anlagen bieten. Dieses Verständnis kann eine entsprechende Analyse und Optimierung des Engineerings ermöglichen. Die zentrale Forschungsfrage lautet daher:

Wie kann das gewerkeübergreifende Engineering automatisierter Anlagen beschrieben, systematisch analysiert und mit geeigneten Methoden zuverlässiger gestaltet und unterstützt werden?

Verschärfende Randbedingung ist dabei die zunehmende Integration einzelner gewerkespezifischer Aspekte im Sinne der Mechatronik, durch Integration von Mechanik, Elektrik und Informationstechnik. Dieser Bedarf im Engineering wurde durch Rubenstein im Editorial zum 50-jährigen Jubiläum des IEEE Journals on Engineering Management nochmals bekräftigt [RUBE04].

1.1 Herausforderung Engineering

Wesentliche Herausforderung im Engineering von Anlagen ist die Integration von Gewerken in den Lösungsprozess und die technische Integration der erbrachten Teillösungen zur Gesamtanlage. Die Entwicklung der hierfür notwendigen Kompetenzen zur Integration wird erschwert, da dies heute großteils nur über den Weg der Erfahrung möglich ist [PINT]. So wird die Ablaufplanung des Engineerings automatisierter Anlagen auf Basis des Wissens erfahrener Projektleiter und deren Berater erstellt. Überdies hinaus stellt jedes Projekt neue Anforderungen, so dass die jeweilige Eigenart des Projekts nur abgeschätzt werden kann. Der Erfolg dieser Projekte ist eng mit der Person des Projektleiters und dessen Erfahrung verbunden [EPPL11].

Typischerweise werden Anlagenprojekte durch Partnerschaften unterschiedlicher Organisationen und verschiedener Gewerke gelöst. Eine Folge ist eine entsprechende räumliche Distanz. Weiterhin besteht aufgrund der unterschiedlichen fachlichen Prägungen keine gemeinsame Sicht auf das zu entwickelnde System, fehlende Kenntnis über Auswirkungen von Systemänderungen ist die Konsequenz. Da die beteiligten Partner zusätzlich nicht in alle Phasen des Engineerings eingebunden sind, wird diese Kenntnis zusätzlich erschwert [SCH+95].

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, bedarf es einer gesamtheitlichen Betrachtung des Engineerings automatisierter Anlagen. Diese Betrachtung muss strategische, abwicklungstechnische und technische Gesichtspunkte im passenden Verhältnis zueinander berücksichtigen [LÖW+05]. Als Ansatzpunkt hierzu nennt Bretthauer [OLDB03] die Definition von Standards und Schnittstellen zum Austausch von Daten, Modellen und Ergebnissen.

Im Rahmen der Initiative „Die 50% Idee“, deren Ziel eine Halbierung der Dauer des Engineerings und eine entsprechende Senkung der Aufwände bei der Errichtung verfahrenstechnischer Anlagen ist, wird dem expliziten Wissen über die Zusammenhänge im Engineering ein wesentlicher Hebel zugeordnet [SCHB10]. Zur Lösung dieser Herausforderung bedarf es entsprechender Vorgehensweisen, die über den klassischen Austausch von Daten und die Integration der eingesetzten Unterstützungswerkzeuge hinausgehen [MARN04].

Im Folgenden werden nun zuerst die Zielsetzung und dann der Aufbau dieser Arbeit erläutert.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Beitrag zur Steigerung der Güte des Engineerings automatisierter Anlagen zu leisten. Grundlage hierfür ist die Dokumentation ausgetauschter Informationen zwischen den beteiligten Gewerken im Engineering mittels Prozessmodellierung. Das erstellte Modell des Engineeringprozesses soll systematische Untersuchungen von technischen Abhängigkeiten und die Identifikation von Wechselwirkungen insbesondere zwischen den Gewerken ermöglichen. Aufbauend auf den Erkenntnissen dieser Untersuchung sollen Maßnahmen zur Optimierung des Engineerings identifiziert und angewendet werden können. Ziel ist ein verbessertes Zusammenspiel der Gewerke durch:

- Nachvollziehbarkeit von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen, insbesondere technischer Art, über alle Phasen und beteiligten Gewerke
- Unterstützung der beteiligten Gewerke im Zusammenspiel zwischen den einzelnen Arbeitsschritten
- Herstellung von Kohärenz der Informationen über Engineeringschritte hinweg

Mit diesem Wissen über den Engineeringprozess und technische Abhängigkeiten kann die Durchgängigkeit im Engineering über die einzelnen Gewerke hinweg gesteigert werden. Eine Steigerung der Durchgängigkeit über die Gewerke hinweg erhöht die Planungssicherheit. Durch das explizite Wissen über die technischen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen kann eine Fokussierung auf mögliche kritische Elemente vorgenommen werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit besteht aus neun Kapiteln, die sich in drei Abschnitte aufteilen. Sie sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 1-1 Aufbau der Arbeit

Abschnitt	Kapitel	Thema
Allgemeine Untersuchung des Engineerings automatisierter Anlagen im industriellen Lösungsgeschäft	2	Stand der Technik
	3	Stand der Wissenschaft
	4	Anforderungen und Randbedingungen
Konzeptionelle Lösung für eine inhaltliche Durchdringung von Engineeringprozessen zur Identifikation von technischen Abhängigkeiten	5	Konzept zur Begegnung der bestehende Defizite
	6	Allgemeines Werkzeugkonzept
Exemplarische Erprobung des Lösungskonzeptes in unterschiedlichen Anwendungsdomänen	7	Einordnung der Fallstudien
	8	Fallstudien als Beleg der Wirksamkeit des Konzeptes

Der erste Abschnitt beschreibt den Stand der Technik und Wissenschaft. Auf diesem Stand aufbauend werden notwendige Anforderungen und Randbedingungen für die Bildung eines Prozessmodells des Engineerings automatisierter Anlagen zusammengefasst. Dieses Prozessmodell muss die Untersuchung von technischen Abhängigkeiten und möglichen Wechselwirkungen insbesondere zwischen den beteiligten Gewerken erlauben.

Im zweiten Abschnitt wird eine konzeptionelle Lösung für die bestehenden Herausforderungen des Stands der Technik und Wissenschaft vorgestellt. Dieses Konzept beschreibt die Erstellung eines Prozessmodells des Engineerings. Das erstellte Modell bietet die Grundlage für die Untersuchung von technischen Abhängigkeiten und möglichen Wechselwirkungen.

Die praktische Anwendung wird anhand von drei durchgeführten Fallstudien im letzten Abschnitt vorgestellt. Diese Fallstudien betrachten das Engineering von Walzwerken, Kraftwerken und Schaltanlagen.

Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst. In einem Ausblick werden mögliche Forschungsfolgeaktivitäten beschrieben.

2 Engineering automatisierter Anlagen im industriellen Lösungsgeschäft

Engineering als Begriff umfasst insbesondere Tätigkeiten im Kontext der Entstehung von Systemen, wie automatisierter technischer Anlagen der Fertigungs- und Prozessindustrie. Unter Engineering kann das interdisziplinäre Zusammenwirken verschiedener Gewerke verstanden werden. Kooperativ wird über einzelne Phasen hinweg an den entsprechenden Lösungen gearbeitet, um das gemeinschaftliche Ziel, die Errichtung und der Betrieb einer technischen Anlage, zu erreichen [ACHL05; FAY09]. Aus diesem Vorgehen resultieren am Ende eine Anlage oder Teilanlagen. Das Vorgehen im Engineering kann nach Feldhusen [FELG12] auch als ein Optimierungsprozess unter gegebenen Zielsetzungen gesehen werden. Die Optimierung ist notwendig, da sich die einzelnen fach- und gewerkespezifischen Eigenschaften des Ziels widersprechen können. Hinsichtlich der Vorgaben ist somit die Anlage die konstruktiv optimale Lösung unter den zum jeweiligen Zeitpunkt vorliegenden Bedingungen [FELG12].

Die typische Vorgehensweise im Engineering kann mit der Abfolge von Analyse, Synthese, Evaluierung und Verfeinerung der Lösung beschrieben werden. Diese Aktivitäten finden einerseits innerhalb der einzelnen Gewerke, als auch andererseits kontinuierlich wechselseitig zwischen den involvierten Gewerken statt. Im Engineering werden die Informationen, Zwischenergebnisse und Lösungen unter den beteiligten Gewerken ausgetauscht. Der Austausch ermöglicht eine kontinuierliche Verfeinerung durch spezifische Aspekte und findet bis zur Bildung der endgültigen Lösung statt [EGGE03; BRAM97]. Folge aus dieser Verkettung ist, dass bei Änderungen die jeweiligen Nachbargewerke betroffen sein können [ACHL05; FAY09; WAGL10]. Die einzelnen Ergebnisse werden üblicherweise in spezifischen Modellen dokumentiert, oft werden auch zusätzlich Austauschlisten und –dokumente verwendet. Die Abfolge der einzelnen Aktivitäten im Engineering variiert sehr stark, abhängig vom System und den involvierten Gewerken [BLAN12; EGGE03; BRAM97].

Eine allgemeine Unterscheidung zwischen Systemen ist in [PATZ82] gegeben, diese ist in Abb. 2-1 dargestellt. Demnach können Systemdarstellungen nach Aufbau- und Ablaufstruktur unterschieden werden. Übertragen auf das Engineering kann eine Darstellung der Aufbaustruktur die bestehende Organisation oder eine örtliche Verteilung der beteiligten Gewerke beschreiben. Das Vorgehen im Engineering als Prozess entspricht der Darstellung einer Ablaufstruktur.

Strukturart / Charakteristika	Aufbaustruktur	Ablaufstruktur
Definition	Darstellung des Systeminhalts gegliedert nach sachlichen Zusammenhängen der in einem System enthaltenen Komponenten	Darstellung der Systemfunktionen als zeitlich/logische Anordnung der in einem System enthaltenen Komponenten zum Zwecke einer Aufgabenerfüllung
Betrachtungsweise	statisch	dynamisch
Darstellungsform	- Baumstruktur - Hierachiestruktur - Matrix	- gerichteter Graph - Programmablaufplan - Flußdiagramm - Matrix
Analyseverfahren	Aufbauanalyse Systemgliederung	Ablaufanalyse Funtkionsanalyse
charakteristische Begriffe f. Analyse	zerfällt setzt sich zusammen	liegt nach, folgt liegt vor, erfordert

Abb. 2-1 Einordnung von Systemen nach Patzak [PATZ82]

Nachfolgend wird zuerst der industrielle Anlagen- und Großanlagenbau mit seinen Besonderheiten als Anwendungsfeld des Engineerings vorgestellt. Die Ausgestaltung möglicher Ablaufstrukturen im Engineering wird anhand von Vorgehensmodellen erklärt, sowie konkretere Abwicklungsmodelle für spezifische Aufgaben und Umfelder. Die einzelnen beteiligten Gewerke und ihre spezifische Lösungskompetenz werden in 2.3 erläutert. Darauf wird der heutige Stand der Technik bezüglich der Abbildung und Modellierung von Prozessen und Abläufen dargestellt. Abschließend werden Anforderungen an die Identifikation von technischen Abhängigkeiten und möglicher Wechselwirkungen, die aus diesem Gesamtkontext resultieren, identifiziert und benannt.

2.1 Industrieller Anlagen- und Großanlagenbau

Der Bau von industriellen Anlagen, ausgehend von einzelnen Komponenten bis zur Großanlage, ist nach Aussage des Verbands der deutschen Maschinen und Anlagenbauer (VDMA) Schlüsseltechnologie und Motor für die Wirtschaft [VDMA]. Schlüsseltechnologie, weil die erstellten Produktionsanlagen für die Herstellung von Produkten genutzt werden. Motor für die Wirtschaft zusätzlich, da auch die Erstellung der oftmals kundenindividuellen Anlagen einen entsprechenden Wirtschaftsfaktor darstellt [VDMA]. Der Branchenumsatz in Deutschland betrug 2013 nach Verbandsangabe 205,8 Milliarden Euro, der Welthandel mit Maschinen betrug 2012 942 Milliarden Euro [VDMA14].

Im industriellen Umfeld wird eine Vielzahl unterschiedlicher Anlagentypen zur Herstellung einer großen Bandbreite von Produkten eingesetzt [STAU07]. In [SCHW89] wird unterschieden zwischen:

- Anlagen zur Förderung von Rohstoffen,
- Anlagen zur Gewinnung von Energie,
- Anlagen zur Umwandlung der Rohstoffe in Zwischen- oder Fertigprodukte und
- Anlagen des Transport- und Verkehrswesen

Diese Anlagen reichen von einer kleinen Fördereinrichtung mit geringem Funktionsumfang bis hin zum großen Kraftwerk. Weiterhin kann bei Projekten des industriellen Anlagen- und Großanlagen-

baus zwischen dem späteren Betreiber, der die zu errichtende Anlage beschafft und betreibt, und dem Anlagenbauer, der nach vereinbartem Liefer- und Leistungsumfang die Planung, Lieferung, Montage und Inbetriebnahme übernimmt, unterschieden werden. Besonderheit des Anlagenbauers ist, dass dieser meist nicht allein, sondern mit weiteren Partnern die Anlage gemeinsam oder arbeitsteilig errichtet [HELM03].

Der industrielle Anlagen- und Großanlagenbau ist durch die folgenden Eigenschaften gekennzeichnet:

- Einzel- bzw. kundenspezifische Anfertigung im jeweiligen Projekt [3695]
- Langfristigkeit, Anlagenprojekte dauern bis zu 10 Jahre [SCHB10]
- Hohe Finanzierungsanforderungen, je nach Größe der Anlage werden hohe Investitionskosten abgepuffert
- Hohes Risiko hinsichtlich der Planung, des Preises und der Organisation [SCHB10]
- Interaktionsintensität, zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer besteht ein starkes Know-How-Gefälle, so dass eine kontinuierliche Einbindung, Abstimmung und Ausrichtung des Projektes mit dem Kunden und späteren Anlagenbetreiber notwendig werden kann [STAU07]
- Internationalität hinsichtlich des Errichtungsorts der Anlage [STAU07]
- Internationalität sowohl bei der globalen Beschaffung von Bauteilen als auch bei Teilleistungen [MARN04]

Die einzelnen Eigenschaften bündeln sich in jedem Anlagenprojekt, das auf seine Art jeweils einzigartig ist. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zum Produktgeschäft; hier verteilen sich die Aufwände der beeinflussenden Größen über die höhere Ausbringungsmenge an gleichartigen Produkten [FAY09; MARN04].

2.2 Vorgehens- und Abwicklungsmodelle im Engineering

Das Engineering umfasst eine Vielzahl von Aufgaben für die beteiligten Gewerke, nicht nur in der Entstehungsphase einer Anlage, sondern auch in der Betriebsphase. Aufgaben in der Betriebsphase sind beispielsweise die Überprüfung, Optimierung, Erweiterung und Modernisierung der Anlage. Die Abfolge bzw. die Ablaufstruktur der einzelnen Aufgaben wird mit unterschiedlicher Detailtiefe in Vorgehens- und Abwicklungsmodellen beschrieben. Als Vorgehensmodelle können allgemeingültig verfasste Empfehlungen verstanden werden, Abwicklungsmodelle hingegen fokussieren in der Beschreibung auf eine konkrete Anwendungsdomäne oder auf ein vordefiniertes Planungsergebnis.

Die einzelnen Phasen im Engineering von Anlagen gibt die folgende Abb. 2-2 wieder. So werden in der Akquisitionsphase, vor Vertragsschluss zur Errichtung einer Anlage, lediglich geforderte Eigenschaften erfasst und grobe Planungsschritte vorgenommen. Die Ausplanung findet in der anschließenden Abwicklungsphase statt. Mit der Betriebsphase findet ein Übergang vom Errichter der Anlage zum Betreiber der Anlage statt [LÖW+05].

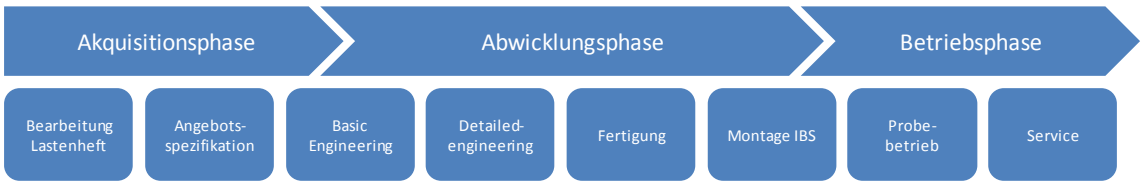


Abb. 2-2 Phasen im Engineering von Anlagen in Anlehnung an [BINH09]

In Richtlinien und Literatur ist eine Vielzahl an Vorgehens- und Abwicklungsmodellen definiert und beschrieben worden. Diese betrachten jedoch nicht nur Anlagen, sondern auch technische Produkte. Nachfolgend werden zuerst wesentliche Richtlinien vorgestellt, diese betrachten insbesondere die Entwicklung von Produkten. Diese Richtlinien sind die VDI 2221, VDI 2422 und mittelbar die VDI 2206. Allgemeine Vorgehensmodelle zum Entwurf technischer Systeme sind das Axiomatic Design und das Systems Engineering. Anschließend werden typische Abwicklungsmodelle aus dem Kontext des Engineerings automatisierter Anlagen vorgestellt, dies sind die NAMUR 35 und das PISTEP Modell.

VDI 2221 – „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“

In der VDI Richtlinie 2221 [2221] werden die allgemeingültigen und domänenunabhängigen Grundlagen für ein methodisches gewerkeübergreifendes Vorgehen zur Entwicklung und Konstruktion technischer Systeme beschrieben. Die Abfolge von Arbeitsschritten und Ergebnissen ist in der Abb. 2-3 der Richtlinie entnommen.

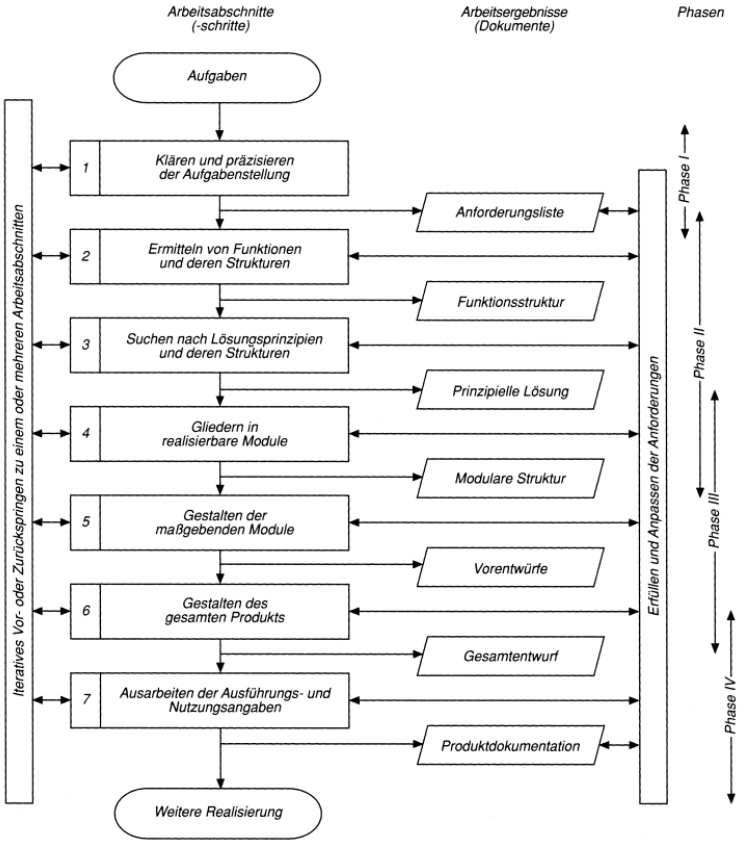


Abb. 2-3 Methodisches Vorgehen der Richtlinie VDI 2221 [2221]

Die Ablaufsbeschreibung der Richtlinie fokussiert auf die Definition der einzelnen Begriffe und Aufgaben beim Entwickeln technischer Systeme. Diese Aufgaben resultieren grundsätzlich in entsprechenden Arbeitsergebnissen in Form von Dokumenten. Ulrich stellt fest, dass diese Richtlinie die „Dominanz der dokumentenorientierten Planung“ [ULRI09] wiederspiegelt.

Die weitere Ausgestaltung der sieben Schritte ist in zusätzlichen Richtlinien beschrieben. Die Detaillierung der ersten drei Schritte ist in der Richtlinie VDI 2222 Blatt 1 Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwicklung von Lösungsprinzipien“ beschrieben. Die VDI Richtlinie 2223 „Methodisches Entwerfen technischer Produkte“ beschreibt die Vorgehensweisen der Arbeitsschritte 4 bis 6 näher. Eine

Konkretisierung oder Hinweise für eine entsprechende Anpassung und Anwendung in spezifischen Domänen ist auch in diesen Richtlinien nicht zu finden.

VDI 2422 – „Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik“

Die Richtlinie 2422 [2422] beschreibt ein angepasstes Vorgehen, das die Besonderheiten von Geräten mit Steuerung durch Mikroelektronik berücksichtigt. Diese Geräte können kleinere Anlagen und Teilanlagen, wie einzelne Reaktoren der Prozessindustrie, oder auch hochautomatisierte Produktionszellen und -einheiten sein. Nach der Richtlinie schließt an die gemeinsame Erstellung des Gerätekonzepts eine getrennte Fokussierung auf einzelne Teilaspekte an. In diesen getrennten Schritten wird zwischen Entwurf und Ausarbeitung unterschieden. Die Richtlinie beschreibt anschließend die notwendige Zusammenführung dieser Teilaspekte. Diese Aufteilung und Abfolge ist in Abb. 2-4 dargestellt.

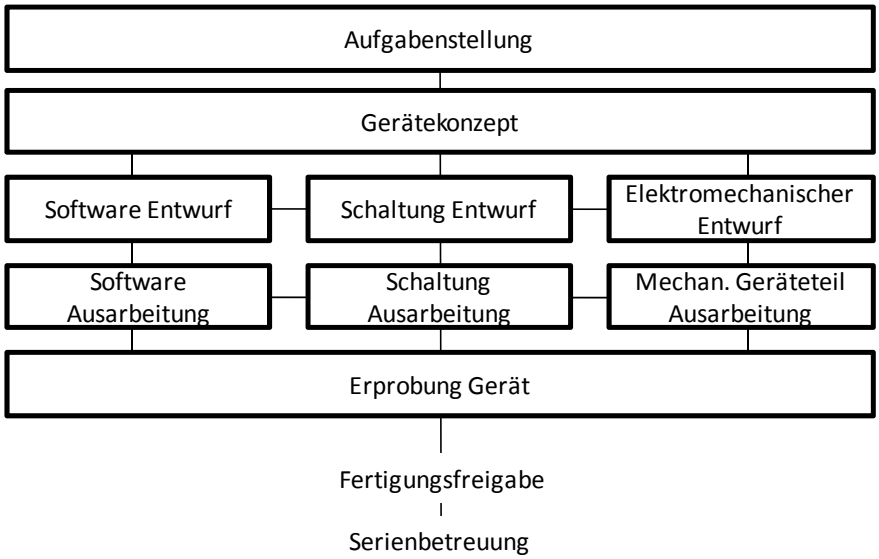


Abb. 2-4 VDI 2422 Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikoelektronik [2422]

Die Richtlinie stellt eine Anpassung der allgemeinen Konstruktionsrichtlinien der VDI 2221 dar, mit dem Schwerpunkt auf Erstellung von Steuerungslösungen durch Mikroelektronik. Eine gewerkeübergreifende oder Teillösungen integrierende Berücksichtigung wird nicht beschrieben.

VDI 2206 – „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“

Die fachdisziplinenübergreifende Entwicklung mechatronischer Systeme, einer Symbiose aus diskreten mechanischen und elektronischen Komponenten mit der Informationstechnik, wird in der VDI Richtlinie 2206 beschrieben [2206]. In der Richtlinie werden Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge beginnend mit den frühen Phasen der Systementwicklung bis zur Systemintegration beschrieben. In der Beschreibung wird prinzipiell für jede Phase eine verifizier- und validierbare Lösung vorgesehen. Die Validierung kann sowohl anhand der realen Lösung als auch virtuell geschehen. Abb. 2-5 gibt einen Überblick über das Vorgehen. In jeder einzelnen Phase dieses V-Modells wird ein entsprechender Mikrozyklus als Entwicklungsprozess durchlaufen, erst nach erfolgreicher Prüfung des jeweiligen Ergebnisses ist ein Übergang in die nächste Phase möglich.

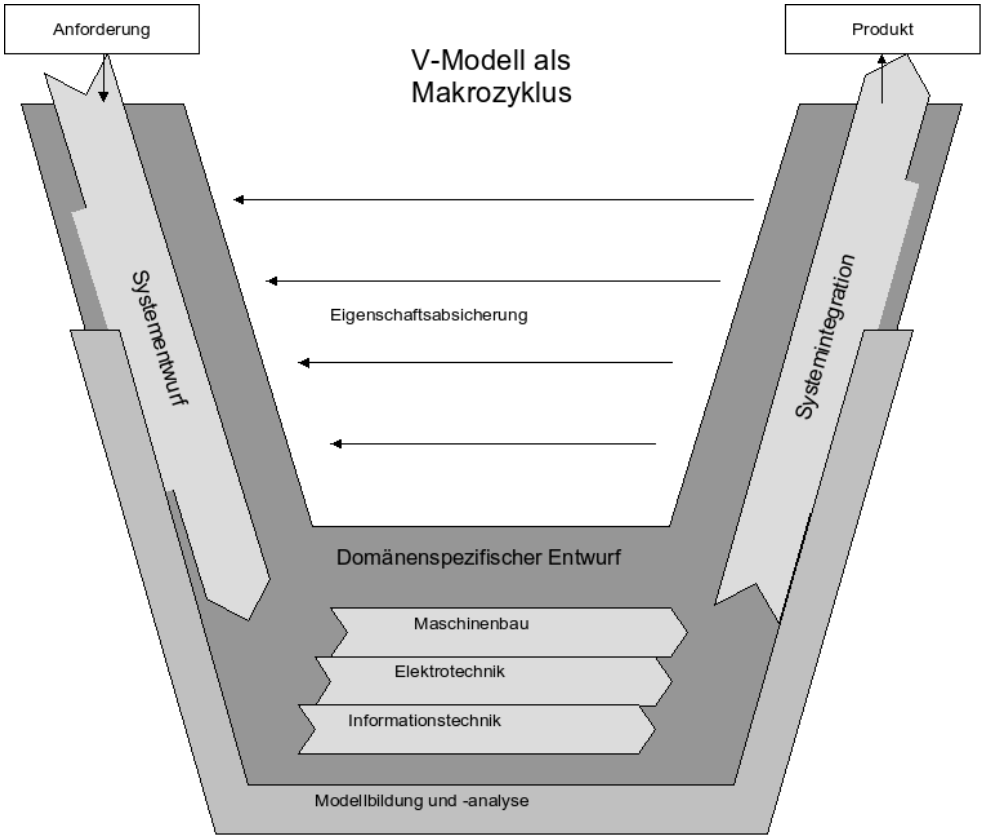


Abb. 2-5 VDI 2206 Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme [2206]

Die Richtlinie ist als Ergänzung und Fortführung der allgemeinen Beschreibungen der Richtlinien 2221 und 2422 positioniert worden. Ein Bezug auf Anwendungsdomänen, oder entsprechende Anpassungsparameter für die Anwendung werden jedoch nicht beschrieben.

Axiomatic Design

Das Axiomatic Design wurde von Nam P. Suh [SUH90] entwickelt. Es baut auf den Erkenntnissen der Konstruktionsmethodik, die unter anderem in der VDI Richtlinie 2221 dokumentiert worden sind, auf. Ziel des Axiomatic Design ist die Entwicklung von technischen Systemen mit minimaler Komplexität. Suh unterscheidet beim Entwurf zwischen vier Sichten auf das zu realisierende System, den Kundenanforderungen, den funktionalen Anforderungen, der physikalischen Realisierung und den Prozessvariablen. Die Verbindung dieser Sichten, im Rahmen eines Vorgehensmodells, sind in Abb. 2-6 dargestellt. Das Vorgehen beginnt mit der Erhebung der Kundenanforderungen, auf diese aufbauend werden Beziehungen zu den Anforderungen an die Funktionen beschrieben. Diese Beziehungsbeschreibung setzt sich fort zu den physischen Lösungselementen und dann zur technischen Lösung.

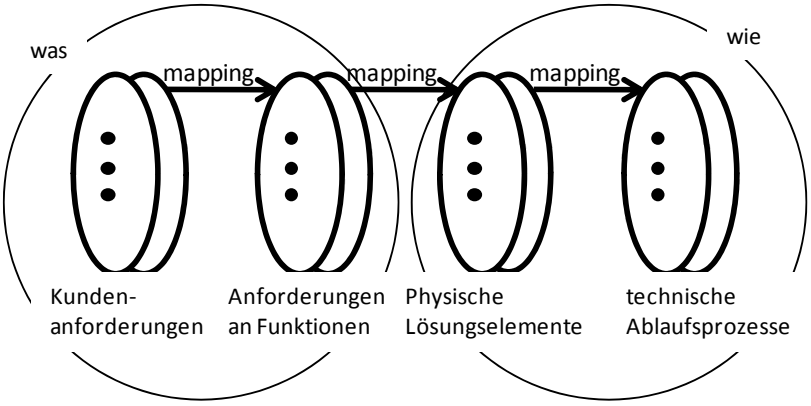


Abb. 2-6 Axiomatic Design Vorgehen

Den Kundenanforderungen werden entsprechende Funktionen zugeordnet, die diese realisieren können. Für die Funktionen werden entsprechende Systembestandteile benötigt, die der physischen Sicht entspringen. Am Ende wird dies zum technischen Prozessablauf zusammengesetzt. Diese Schritte erfolgen unterstützt durch Matrizen zur Modellierung der Beziehungen zwischen diesen einzelnen Sichten.

Zur Überprüfung der Gültigkeit der einzelnen Lösungen hat Suh zwei Axiome definiert, das Unabhängigkeitsaxiom und das Informationsaxiom. Durch das Unabhängigkeitsaxiom sollen die einzelnen modellierten Ausprägungen innerhalb der jeweiligen Domäne unabhängig, ohne gegenseitige Beeinflussung sein. Wird dies erfüllt, so nennt Suh dies „uncoupled Design“. Kann dies nicht erfüllt werden, so ist das Ziel, dass Informationsbedarf oder gegenseitige Einschränkung nur in einer Richtung besteht. Diese gerichtete Abhängigkeit von Informationen ist das Informationsaxiom. Diese Form der Beziehung wird als „coupled Design“ bezeichnet [SUH90].

In [WEY+11B] wurde die Methodik systematisch für die Anwendung auf mechatronische Systeme erweitert. Anstelle einer physischen Domäne werden die drei Domänen Mechanik, Elektrik und Software modelliert und in einer gemeinsamen Mechatronik Matrix wieder zusammengeführt. Dies Vorgehen erlaubt den Autoren die Identifikation geeigneter Module im Kontext des industriellen Anlagenbaus von Fertigungsautomaten.

Da das Axiomatic Design von den Kundenanforderungen ausgeht und hierauf aufbauend die weiteren Sichten ableitet, schränkt dies gerichtete Vorgehen die Ausgestaltung der weiteren Sichten ein. Rückwärtige Einwirkungen zwischen den Sichten werden nur bedingt berücksichtigt [LIN+08]. Da im Bau von Anlagen oftmals bereits technische Ablaufprozesse vor Beginn des eigentlichen Engineerings gesetzt sind, ist die Anwendung eines streng gerichteten Vorgehens nach Axiomatic Design nur bedingt anwendbar. So hat die bereits zu Beginn vorhandene Festlegung des technischen Ablaufs Rückwirkungen auf die vorgelagerten Schritte. Es kann beispielsweise gesetzt sein, dass der technische Ablauf elektrisch realisiert sein muss, so schränkt diese Realisierung des technischen Ablaufs, vorweg die vorgelagerten Sichten ein. Ein streng gerichtetes Vorgehen beim Entwerfen ist so nicht möglich.

Systems Engineering

Ein Ansatz, der sich auf die Definition und Dokumentation der Systemanforderungen in den frühen Entwicklungsphasen und deren kontinuierlicher Einhaltung über die weiteren Engineeringphasen konzentriert, ist das Systems Engineering. Ziel ist die Integration aller beteiligten Gewerke über den

Entwicklungsprozess bis zur Inbetriebnahme [BLAN12; WEIL08]. Bahill und Gissing fassen dies im *SIMILAR* Prozessmodell zusammen [BAHG98]:

- **S**tate the problem (Problembennenung)
- **I**nvestigate alternatives (Abwägen von Alternativen)
- **M**odel system (Systemmodellierung)
- **I**ntegrate (Integration von Teilsystemen zum Ganzen)
- **L**aunch the system (System anfahren/ hochfahren)
- **A**ssess performance (Wirkungs-/ Erfüllungsgradmessung)
- **R**e-evaluate (Weiterentwicklung/ Vollendung)

Der Systems Engineering Prozess wird vom Systemingenieur begleitet, der gewerkeübergreifend unabhängig denkend arbeitet. Für diese Arbeit wird dem Systemingenieur ein entsprechendes Modellierungswerkzeug an die Hand gegeben werden. Als Beschreibungsmittel hierfür führt *Weilkiens* SysML ein, eine Erweiterung der einzelnen Beschreibungsmittel der UML 2.0 [WEIL08]. Der Systemingenieur modelliert und pflegt ein Modell des Gesamtsystems. Dieses Modell soll schon frühzeitig die inhaltliche Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Gewerken ermöglichen und die Transparenz der Verantwortlichkeiten für Systemanteile erhöhen [BLAN12]. Die einzelnen spezifischen Modelle und die darin enthaltenen Ausprägungen werden hierbei jedoch nur bedingt berücksichtigt.

NAMUR Arbeitsblatt 35

Ein Abwicklungsmodell für die Projektierung von Leitsystemen in der Prozessindustrie wird durch die NAMUR im Arbeitsblatt 35 [35] definiert. Das NA 35 sieht sieben Phasen für das Engineering eines Prozessleitsystems vor, eine Übersicht ist in Abb. 2-7 gegeben.

Ziel						
Die durchführbare Anlage	Die genehmigungsfähige Anlage	Die ausschreibbare Anlage	Die errichtbare Anlage	Die funktionsfähige Anlage	Die produktionsfähige Anlage	Die bewertete und abgerechnete Anlage
Projektierung						
1. Grundlagenermittlung	**2. Vorplanung**	**3. Basisplanung**	**4. Ausführungsplanung**	**5. Errichtung**	**6. Inbetriebsetzung**	**7. Projektabschluss**
1.1 Projektziele festlegen 1.2 Grobkosten schätzen	2.1 Anlagenkonzept festlegen 2.2 Kosten schätzen 2.3 Kosten kalkulieren wie 3.4	3.1 PLT-Funktionen festlegen 3.2 Verfahrenstechnische Daten beschaffen 3.3 Technische Realisierung festlegen 3.4 Kosten kalkulieren	4.1 Geräte festlegen 4.2 Zentrale Einrichtungen festlegen 4.3 Leitsystem spezifizieren 4.4 Stellenpläne erzeugen 4.5 Stellenfunktionspläne erzeugen 4.6 Montageunterlagen erstellen	5.1 Bestellung veranlassen 5.2 Lieferung bestätigen 5.3 Software konfigurieren 5.4 Montage vorbereiten 5.5 Montage überwachen 5.6 Funktion prüfen	6.1 Personal ausbilden 6.2 Inbetriebsetzung unterstützen 6.3 Dokumentation revidieren 6.4 Dokumentation übergeben	7.1 Abschlussbericht erstellen 7.2 Projektabrechnung erstellen
Qualitätsmanagement						
Projektmanagement						

Abb. 2-7 NAMUR Arbeitsblatt 35 [NA35]

Im Arbeitsblatt werden die notwendigen Eingangsinformationen für die jeweiligen Arbeitsschritte, wie unter anderem „Projektziele festlegen“, „Anlagenkonzept festlegen“ usw., beschrieben. Ergänzend ist hierbei auch der jeweils notwendige Reifegrad der bereitzustellenden Informationen für die Projektierung des Prozessleitsystems dokumentiert. Weiterhin enthält das Arbeitsblatt eine Sammlung möglicher Methoden zur Sicherstellung der Qualität in den jeweiligen Arbeitsschritten.

Das NAMUR Arbeitsblatt stellt zwar ein allgemeines Phasenmodell, ausgehend von der durchführbaren Anlage, zur Verfügung, fokussiert in den Ausführungen jedoch genau auf den Anlagenausschnitt des Leitsystemengineerings. In Konsequenz sind die vorgelagerten und nachgelagerten Aktivitäten nicht im Betrachtungsfokus [SCHM08]. Daher beginnt dieses Abwicklungsmodell erst mit dem Beginn des Detailengineerings der gesamten Projektabwicklung (vgl. Abb. 2-2).

PISTEP Process Plant Engineering Activity Model

Ein umfassendes Abwicklungsmodell für die Projektierung von prozesstechnischen Anlagen ist im PISTEP Process Plant Engineering Activity Model dokumentiert worden [PIST94]. Dieses Modell umfasst alle Phasen im Lebenszyklus einer verfahrenstechnischen Anlage. Das Modell unterscheidet zwischen den Phasen *Conceptual Design, Detail Design, Commissioning, Operation* und *Decomissioning.* Diese einzelnen Phasen decken den gesamten Anlagenlebenszyklus ab - auf deutsch: die konzeptionelle Gestaltung, die detaillierte Ausgestaltung, die Inbetriebnahme, den Betrieb und die Ausserbetriebnahme einer Anlage.

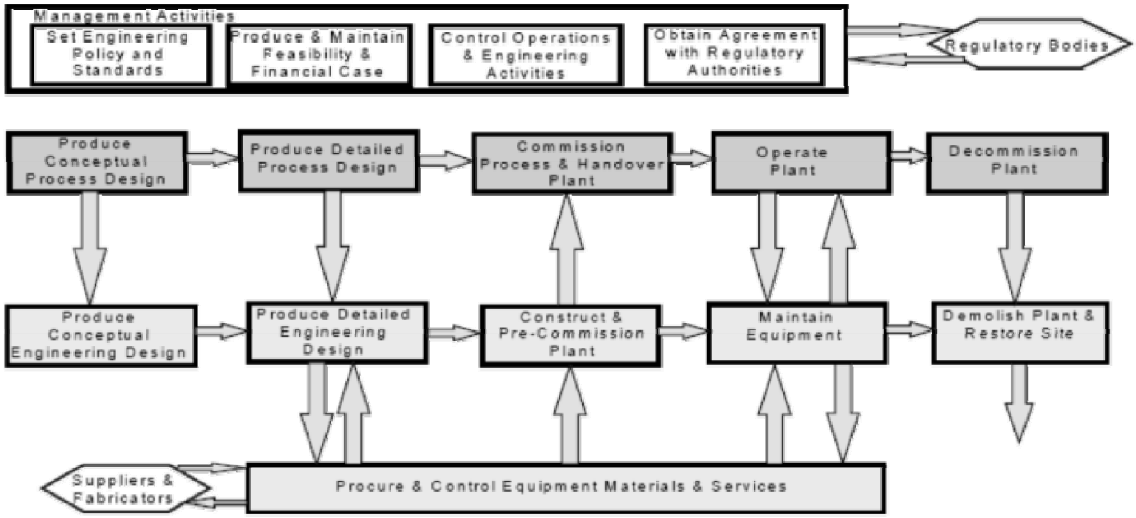


Abb. 2-8 PISTEP Process Plant Engineering Activity Model [PIST94]

Es werden sowohl die Aktivitäten zum Engineering der verfahrenstechnischen Abläufe als auch die der Maschinentechnik, der Elektrotechnik, des Baus und der Automatisierungstechnik beschrieben. Ziel ist es, einen Planungs- und Abwicklungsstandard für die Domäne der Prozessindustrie bereitzustellen, wobei der Fokus der Initiative insbesondere auf den späteren Datenaustausch zielt. In dem Modell werden so für alle 17 Kernaktivitäten, wie in Abb. 2-8 abgebildet, die jeweiligen zugehörigen Aktivitäten umfassender erklärt. Die Beziehungen und mögliche Abhängigkeiten in der Vernetzung dieser unterlagerten Aktivitäten miteinander ist jedoch nicht weiter beschrieben [VOGE03].

2.3 Fachdisziplinen und Gewerke

Neben den bestimmenden Größen des Anlagenbaus (vgl. 2.1) ist dieser weiterhin insbesondere durch die hohe Integration unterschiedlicher fachlicher Lösungskompetenzen gekennzeichnet [FAY09; BEEK08]. Diese Kompetenzen entstammen unter anderem der Mechanik, Elektrik und Automatisierungstechnik. Gemeinsam in Gruppen, sowohl übergreifend, als auch disziplinengetrennt, werden einzelne Aufgabenpakete bearbeitet und gelöst. Die spezifischen Fähigkeiten der einzelnen Fachdisziplinen sind im Rahmen des Engineerings zu integrieren, oftmals werden die in Projekten eingebundenen Fachdisziplinen als Gewerke bezeichnet. Ein Gewerk ist beispielsweise die Leittechnik, die das jeweilige Leitsystem zum Betreiben einer automatisierten Anlage entwickelt. Hierin arbeiten jedoch unterschiedliche Fachdisziplinen, wie beispielsweise Regelungstechniker, Elektriker, Informatiker und Sachverständige des zu realisierenden technischen Prozesses zusammen. In Konsequenz kommt somit erschwerend hinzu, dass innerhalb der Gewerke eine weitergehende fachliche Differenzierung bestehen kann, so dass eine grobe Einordnung nicht ausreichend ist. Die genaue Verteilung und Aufteilung der Fachdisziplinen in die Gewerke lässt sich daher insbesondere auch durch den jeweiligen Gegenstand des Engineerings vornehmen [3695]. Da der Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit das Engineering von Anlagen ist, wird der Begriff Gewerk in diesem Sinn verwendet.

Je nach Anwendungsdomäne der zu erstellenden Anlage sind unterschiedliche Gewerke in entsprechendem Umfang an der Lösungserstellung beteiligt [MARN04]. So nennt Schmidberger [SCHM08] für automatisierte Anlagen der Prozessindustrie die Gewerke Verfahrenstechnik, Bautechnik, Maschinentechnik, Rohrleitungsbau, Elektrotechnik, Automatisierungstechnik, Leittechnik und Informationstechnik. Güttel [GÜTF08] ergänzt für Anlagen der Fertigungsindustrie Mechanikentwicklung. Runde [RUND11] erweitert die Aufzählung der Gewerke für die Gebäudeautomation die Gewerke um HLK (Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik) und Raumautomation.

Im Zusammenhang mit der jeweiligen Anwendungsdomäne der zu erstellenden Lösungen variiert das Gewerk mit dem Wissen über den zu realisierenden technischen Prozess. Wird eine Anlage im Bereich der Stahlindustrie, wie zum Beispiel ein Walzwerk, errichtet, so kommt ergänzend das Gewerk Metallurgie hinzu. Metallurgen sind Ingenieure der Werkstofftechnik, die die notwendige Expertise über den Stahlherstellungsprozess beitragen können [CZIC89].

Mit steigendem Umfang des Anlagenprojektes nimmt die Anzahl der spezialisierten Fachdisziplinen innerhalb eines Gewerks zu [BINH09]. Bei kleinen Anlagen wird durch die Elektrotechnik nicht nur die Bereitstellung und Verteilung elektrischer Energie realisiert, sondern oftmals auch die Automatisierungslösung. Mit zunehmender Anlagengröße und steigender Komplexität der Automatisierungsaufgaben werden diese durch spezialisierte Ingenieure mit Kenntnissen der Mess- und Regelungstechnik übernommen [BINH09].

Eine exemplarische Einordnung für die beteiligten Gewerke im Engineering von Walzwerken wurde erarbeitet, diese ist in Tab. 2-1 dargestellt. Für diese Tabelle war es maßgeblich, dass das jeweilige Gewerk beispielsweise eigene Werkzeuge zur Unterstützung der spezifischen Modellierung verwendet, oder eine Menge ähnlicher technischer Artefakte verfügt, die der Gruppe zugeordnet werden können, wie es in [GRO+07] als Definition für Gewerke vorgeschlagen wird.

Tab. 2-1 Gewerke im Engineering von Walzwerken [JÄG+12B]

Gewerk	Kurzbeschreibung des Aufgabenfelds
Mechanik	Gestelle, Abstützungen
Civil	Belange des Baus und der Standortinfrastruktur
Hydraulik	Fluidtechnische Einrichtungen und Versorgung der Anlage
Designer/Konstruktion	3D Modelle und Konstruktion der Anlage
Metallurge	Wissen über technischen Prozess des Walzens
Plant Designer	Anordnung und Strukturierung der Gesamtanlage
Elektrik	
-Power	Energieversorgung des Standorts und der Ausrüstung
-Drives	Elektrische Antriebe im Werk und Standort
Automation	
-Level 1	Basisautomation Abläufe und Steuerung
-Level 2	Prozessregelung
-HMI	Bedienschnittstellen und Visualisierung

In der Einordnung wird unter anderem zwischen Mechanik und Hydraulik unterschieden. Diese Unterscheidung reflektiert den großen Umfang an hydraulischen Anlagenteilen, die für den technischen Prozess des Walzens wesentlich sind. Hinsichtlich der Fachexpertise ist in beiden Gewerken jedoch Mechanikkompetenz notwendig. Sowohl hydraulische als auch mechanische Komponenten müssen statischen und dynamischen Anforderungen gerecht werden. Die Detaillierung des Gewerks Automation in Level 1, Level 2 und HMI reflektiert den großen Umfang an Automatisierungstechnik in Walzwerken, theoretisch können die Fachdisziplinen in diesen drei Gruppen dieselben sein. Es ist jedoch davon auszugehen, dass jeweils Fachexperten für Basisautomatisierung, den technischen Prozess und Visualisierungsexperten intensiver eingebunden sind, als dies in den anderen zwei Gewerken der Fall ist.

2.4 Gewerkespezifische Modelle - Dokumentation und Austausch von Engineeringergebnissen

Die einzelnen Gewerke arbeiten im Wechselspiel an der Lösung der gestellten Aufgaben. Für die Lösung der Aufgaben werden entsprechende Modelle verwendet. Nach Stachowiak [STAC73] umfasst der Modellbegriff drei wesentliche Eigenschaften:

- Bildmerkmal: Ein Modell ist immer ein Abbild von etwas, d.h. Repräsentation natürlicher und künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.
- Verkürzungsmerkmal: Modelle sind ihrem Original nicht per se zugeordnet ("wovon wird das Modell gebildet"). Eine Zuordnung wird außerdem durch Beantwortung der Fragen "Für Wen", "Wozu?" bzw. "Wann?" erzielt.

- Die Elemente eines Systemmodells sind nicht eingeschränkt. Sie können sowohl durch natürliche als auch durch künstliche Objekte gebildet werden, die nicht einmal real existieren müssen. Das heißt, auch rein abstrakte Objekte können Elemente eines Systems bilden.

Die Abgrenzung eines Modells von seiner Umwelt wird zumeist durch eine definierte Grenze gezogen. Die Wechselwirkungen dieses Modells mit seiner Umwelt, die auch durch Modelle repräsentiert sein können, findet über definierte Systemschnittstellens statt [STAC73]. Lauber und Göhner [LAUG99] unterscheiden bei Modellen im Engineering automatisierter Anlagen zwischen:

- Informellen Beschreibungsmitteln: Skizzen, Fotos, natürliche Sprache
- Formatierten Beschreibungsmitteln: Formulare, Tabellen
- Teilweise formalen Beschreibungsmitteln: Genaue Syntax jedoch kaum Semantik, z.B. Blockdiagramme
- Formalen Beschreibungsmitteln: Genaue Syntax und Semantik, d.h. eindeutig festgelegte Bedeutung, z.B. mathematische Formeln, Gleichungen

Modelle stellen einen Teil des Ganzen in einer entsprechenden Sicht auf bestimmte Eigenschaften dar. Zusätzlich ist ein vollständiges Abbild bei heutigen Systemen und Anlagen nicht mehr möglich und technisch auch nicht erforderlich. Ziel ist es vielmehr, ein System aus einer bestimmten Sicht heraus nur so genau erfassen zu können, wie es der jeweilige Anwendungsfall erfordert [EPPL11]. Lex und Winzer beschreiben dies exemplarisch für ein Lagersystem [LEXW05], so betrachtet der Maschinenbauer primär das eigentliche Produktionssystem. Die Sicht der Elektrotechnik ist auf die notwendigen Funktionen und realisierenden Komponenten gerichtet. Die zu realisierenden Prozesse und die dafür notwendigen Funktionen betrachtet die Automatisierung. Die Sicht des Anlagenbetreibers ist hingegen auf die zukünftigen Anforderungen seiner Kunden, sowie das Kostenmodell für die Errichtung der Anlage gerichtet.

Eine weiteres anschauliches Beispiel ist in [FER+09] anhand eines Kraftwerks gegeben worden, dieses ist in Abb. 2-9 abgebildet.

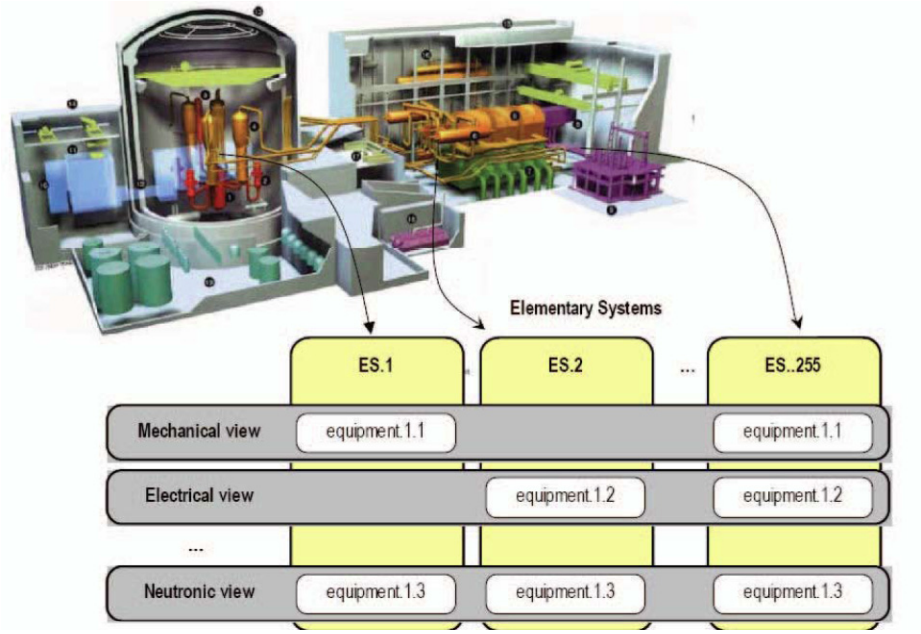


Abb. 2-9 Dekomposition eines Kraftwerks in Systeme und Sichten [FER+09]

In diesem Beispiel haben die Autoren ein Kraftwerk in elementare Systeme zerlegt und die jeweils involvierten Gewerke angedeutet. Die Gewerke haben an diesen Systemen unterschiedliche Anteile, bzw. einen entsprechenden Teil an Ausrüstung für die elementaren Systeme bei. In diesem umfassenden Beitrag [FER+09] wird Epples These [EPPL11], dass keine ganzheitlichen Modelle benötigt werden, umfassend exemplarisch untermauert und bestätigt. Die Mechanik hat in dem Beispiel eine Sicht auf das *Elementary System 1*, nicht jedoch auf das *Elementary System 2*, da die Mechanik überhaupt keinen Anteil an diesem System besitzt.

Eine weitere Perspektive ist, dass Gewerke gleiche Objekte unterschiedlich betrachten. Ein mögliches Beispiel hierfür ist ein Ventil als Bauteil. So ist ein Ventil vom Typ X für den Mechanikkonstrukteur bei mehrfacher Verwendung ein Gleichteil. Alle eingesetzten Ventile dieses Typs werden durch die gleichen Zeichnungen beschrieben, da sie die gleiche Geometrie besitzen. Aus der Perspektive des Automatisierungstechnikers stellt es an jeder Einsatzstelle ein neues Element dar. So kann das erste verbaute Ventil am Zulauf eines Behälters montiert sein, oder aber für den Ablauf des Behälters vorgesehen sein. Der Automatisierungstechniker unterscheidet das mechanisch gleiche Bauteil nach der jeweils zu realisierenden Funktion, Zufluss regeln bzw. Abfluss. Das Ventil in einer anderen Dimensionierung, Typ Y, ist für den Mechanikkonstrukteur gesondert zu betrachten, da die Geometrie abweicht. Ist dieses Ventil ein Ersatz für das vorherige Ventil X am Behälterzulauf, so bedeutet dies für den Automatisierungstechniker im Sinne der Funktion nicht direkt einen Unterschied. Der Automatisierungstechniker kann mit dem Ventil vom Typ Y mitunter die gleiche Funktion wie zuvor realisieren, während die Mechanik zusätzliche konstruktive Maßnahmen treffen muss. Bleiben die Eigenschaften die die Automatisierungstechnik betrachtet (Anbindung und Verhalten) gleich, so ist ein Ventil Typ Y für den Automatisierungstechniker das gleiche wie Typ X. Diese beiden eingeschränkten Blickwinkel verdeutlichen, dass die verwendeten Modelle nicht durchgängig sein müssen und sind. Modelle sind für die Verwendung unter den jeweils notwendigen Gesichtspunkten entworfen worden, sie müssen daher keine Vollständigkeit in der der Gesamtanlage bieten. Folglich können aus den gewollt unvollständigen Modellen Unterschiede resultieren, die nur bedingt sichtbar sind, oder nur im genauen Vergleich auffallen.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick der gebräuchlichen Modelle und Dokumente, die durch die am Engineering beteiligten Gewerke verwendet werden können. Grundlage für diese Auflistung bildeten die Vorarbeiten von Wagner und Löwen. Die Modelle werden oftmals in spezifischen Softwarewerkzeugen modelliert, jedoch dann in Form von Dokumenten ausgetauscht. Ergänzend ist die Übersicht anhand der Einordnung von *Lauber und Göhner* [LAUG99] für Modelle ergänzt worden.

Tab. 2-2 Engineeringaufgaben und dabei verwendete Dokumente und Modelle in Anlehnung an [WAGL10]

Ausführende Gewerke vgl. Tab. 2-1	Bereiche des Engineerings	Modelle und Dokumente	informell	formatiert	teilweise formal	formale
Projektmanagement	**Kostenkalkulation**	Tabellenkalkulation, ERP-Software		X		
Plant Designer Technologe/Metallurge Mechanik	**Anlagen Layout Design**	Layoutzeichnung			X	
		Anlagenstrukturplanung		X		
Technologe/Metallurge Mechanik Hydraulik Elektrik Automation	**Prozess Engineering**	Auslegung techn. Prozess Mengen, Massen, Wärmebilanzen				X
		Prozessflussdiagramme			X	
		Mengengerüste, Motoren und Komponentenliste		X		
		Spezifikation, Funktionsbeschreibung	X			
Technologe Verfahrenstechnik	**Rohr und Instrumenten Schemata**	R&I Fließbilder			X	
Hydraulik Mechanik	**Rohrplanung**	3D Rohrmodelle			X	
		2D Rohrmodelle			X	
		Isometrische Rohrplanung			X	
		Klassifizierung und Standardisierung				X
Hydraulik	**Planung Fluid/hydr./pneum.**	Planungsschemata, Tabellen, Listen		X		
Elektrik Automation	**Elektrik und Steuerung**	E&IC (EMR/EMSR)			X	
		Stromkreise			X	
		Strecken und Anschlussüber-		X		
		Antriebsdatenblatt		X		
		Montagezeichnungen			X	
Automation Elektrik	**Automation und Prozesssteuerung**	Funktions- und Ablaufdiagramm			X	
		Visualisierung der Steuerungen			X	
		Kontinuierliche Funktionsabläufe			X	
		Code Generierung (SPS) z.B. 61131-3, S7-Code, PLC-Open				X
Civil Mechanik	**Struktur und Unterstützungsplanung Gebäudepla-**	Grundrisse und Schnittdarstellungen			X	
Mechanik	**Mechanik Konstruktion**	2D Zeichnungen			X	
		3D Visualisierung			X	
		Virtual Reality, digitaler Mock			X	

Diese aufgeführten Modelle und Dokumente der Tab. 2-2 werden kontinuierlich für die Ergebnisdokumentation und auch für die Durchführung der genannten Aufgaben im Engineering verwendet. Die aufgeführten Modelle und Dokumente bieten jeweils den Vorteil der aufgabenspezifischen Strukturierung. Die operative Arbeit mit den Dokumenten und Modellen wird oftmals durch spezialisierte Softwarewerkzeuge unterstützt [FRIE09].

Über diese bestehende Praxis hinaus gibt es Ansätze, ein ganzheitlich übergreifendes Modell technischer Anlagen zur Unterstützung des Engineerings zu pflegen. So wird von Schütz [SCHW09A] vorgeschlagen, die Gesamtanlage aus einem modularen Modell bestehend aus den drei Sichten „technisches System“, „technischer Prozess“ und „Automatisierungssystem“ zu entwickeln, hierbei wurden die Ansätze des Systems Engineerings aufgegriffen (vgl. Kapitel 2.2). Ziel ist, die übergreifende Koordination und Zusammenarbeit zu optimieren. Gleichzeitig werden jedoch die in Tab. 2-2 aufgeführten Beschreibungsmittel weiter benötigt. Dies ist notwendig, da die jeweils wesentlichen in den spezifischen Modellen erarbeiteten und dokumentierten Aspekte nicht mit in das Modell übernommen werden. In Konsequenz helfen derartige Ansätze nur für eine konzeptionelle Klärung von Zusammenhängen in frühen Phasen, nicht jedoch für weiterreichende technische Wechselwirkungen und Abhängigkeiten in der weiteren gewerkespezifisch getriebenen Entwicklung und Ausgestaltung der Lösung.

Auf dieser Erkenntnis aufbauend gibt es aktuelle Arbeiten, die diesen Gedanken fortsetzen. So kann durch eine funktionale Anlagenbeschreibung ein Ausgangsmodell für die Modernisierungsplanung der Anlagenautomatisierung entwickelt werden [STR+10]. Hierbei werden alle für die Modernisierungsplanung relevanten Aspekte erfasst und analysiert. Die Ergebnisse bilden eine Grundlage für die nachfolgenden, wiederum disziplinspezifisch zu lösenden Modernisierungsaufgaben.

Ein ganzheitliches Modell des Planungsgegenstands kann ebenfalls bei der Abwägung von Planungsalternativen als Ausgangsbasis dienen. Durch Abbildung von vorhandenen Sollbeziehungen, die die einzelnen Varianten besitzen, wird ein gewerkeübergreifender Abgleich zur Identifikation in Frage kommender Lösungselemente ermöglicht [MAGJ10]. Hier ist es nachfolgend ebenfalls notwendig, innerhalb der einzelnen spezifischen Modelle die notwendigen Lösungen zu detaillieren und zu dokumentieren.

Diese Beispiele verdeutlichen, dass demnach grundsätzlich Bedarf für fachspezifische Modelle und Sichten auf das jeweilige System besteht. Die einzelnen Modelle sind für die Erbringung der disziplinspezifischen Lösungen notwendig. Gesamtheitliche Modelle können auf abstrakten Ebenen umfassende Unterstützung bieten, diese Modelle verdecken jedoch die jeweils notwendigen fachspezifischen Aspekte zur Realisierung der angestrebten Lösung [BEEK08].

2.5 Dokumentation und Darstellung von Prozessen

Zur Aufzeichnung von Prozessen steht eine Vielzahl an Beschreibungsmitteln zur Verfügung. Prozesse sind im Kontext dieser Arbeit insbesondere Arbeitsabläufe im Engineering von Anlagen. Diese Beschreibungsmittel verfolgen einerseits die Dokumentation der Prozesse als Ziel, andererseits bilden sie die Grundlage für eine konsekutive Optimierung. Die Abfolge der einzelnen Aktivitäten innerhalb eines Prozesses sowie mögliche Ergebnisse werden übersichtlich dargestellt. Viele Beschreibungsmittel zur Darstellung von Prozessen stehen zusätzlich mit einer eigenen Methodik zur Verfügung [SHU+06; WILL99].

Neben Arbeitsabläufen werden oftmals auch technologische Prozesse mit dem Begriff Prozess bezeichnet. Technologische Prozesse sind die durch das Engineering realisierten Fertigungs- und Herstellungsprozesse, die durch die Anlage ausgeführt werden. Auch für diese Prozesse bestehen Beschreibungsmittel. Die Beschreibungsmittel fokussieren die einzelnen Prozessschritte, sowie den Material-, Informations-, Stoff- und Energiefluss zwischen diesen. Exemplarisch soll hier die VDI-Richtlinie 3682

[3682] erwähnt werden. Nachfolgend sollen insbesondere Prozessbeschreibungen, die für Arbeitsabläufe entwickelt wurden, vorgestellt werden. Gegenüber Beschreibungen für technologische Prozesse, wie zum Beispiel der VDI-Richtlinie 3682 [3682], unterscheiden sich die Beschreibungsmittel in der grafischen Ausprägung untereinander [SHU+06]. Bei der Modellierung von Arbeitsabläufen werden die ausgeführten Aktivitäten und ausgetauschte Dokumente und Resultate abgebildet. Die Modellierung von technischen Prozessen berücksichtigt in der Darstellung die verwendeten technischen Ressourcen, eingesetzte Energien und Informationsflüsse.

Eine grobe Einordnung möglicher Beschreibungsmittel für Prozesse hat Libuda in [LIBU10] vorgenommen, diese ist in Abb. 2-10 dargestellt.

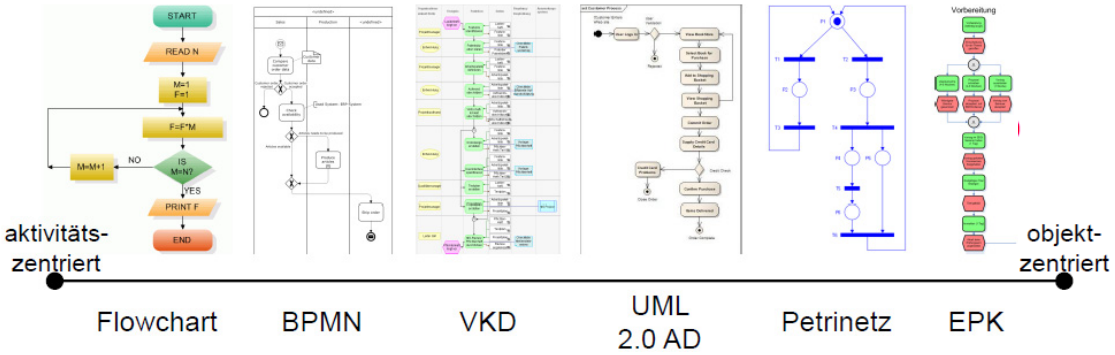


Abb. 2-10 Beschreibungsmittel zur Modellierung von Prozessen [LIBU10]

Wie dargestellt, kann bei der Modellierung von Prozessen zwischen aktivitätszentrierten und objektzentrierten Darstellungen unterschieden werden. Eine umfassende Beschreibung dieser und weiterer Beschreibungsmittel ist auch in [MÜLL05] zu finden.

Flussdiagramme (Flowcharts) sind eine häufig verwendete Darstellungsform in der Prozessmodellierung. So wird eine Abfolge von Schritten dargestellt und durch Pfeile verbunden. Für Alternativen bestehen Rauten als Entscheidungspunkt, weiterhin sind Schleifen möglich.

Die *Business Process Modeling Notation* (BPMN) wird von der OMG als Notationsstandard gepflegt, sie stellt eine Erweiterung der UML für die Bedürfnisse der Geschäftsprozessmodellierung dar. Die einzelnen Aktivitäten werden den verschiedenen Beteiligten innerhalb von Swimlanes zugeordnet.

*Vorgangsketten-Diagra*mme (VKD) verwenden Ereignisse, Funktionen, Beziehungen/Bedingungen und Informationsobjekte für die Ordnung von Daten zu Funktionen, Leistungen zu Funktionen und Verantwortlichkeiten(Rollen). Für diese Zuordnung werden zusätzlich Swimlanes, als jeweilige abgetrennte Bereiche, verwendet.

UML Aktivitätsdiagramme (AD) sind eine Ablaufmodellierungsnotation der Unified Modeling Language (UML) zur Abbildung dynamischen Verhaltens von Systemen.

Verteilte dynamische Systeme können mittels *Petrinetzen* beschrieben werden. Auf den Basiskonzepten aufbauend gibt es eine Vielzahl von Varianten für unterschiedlichste Anwendungsbereiche. Alle Petrinetze bestehen aus Stellen und Transitionen, die miteinander durch Kanten verbunden sind. Stellen können mit Marken belegt sein, die Transitionen können in Abhängigkeit von Bedingungen schalten und so Marken in den Stellen im Nachbereich der Transition erzeugen [PETR62].

Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK) verwenden die gleichen Beschreibungselemente wie VKD, jedoch ohne Swimlanes.

Eine Erweiterung der *UML* stellt die Modellierung nach der Astrakan Methode, entwickelt von Hans Erik Eriksson und Magnus Penker, dar [ERIP00]. Die Modellierung kombiniert die beiden Diagrammtypen Aktivitätsdiagramm und Objektdiagramm miteinander, diese Kombination ist in Abb. 2-11 dargestellt.

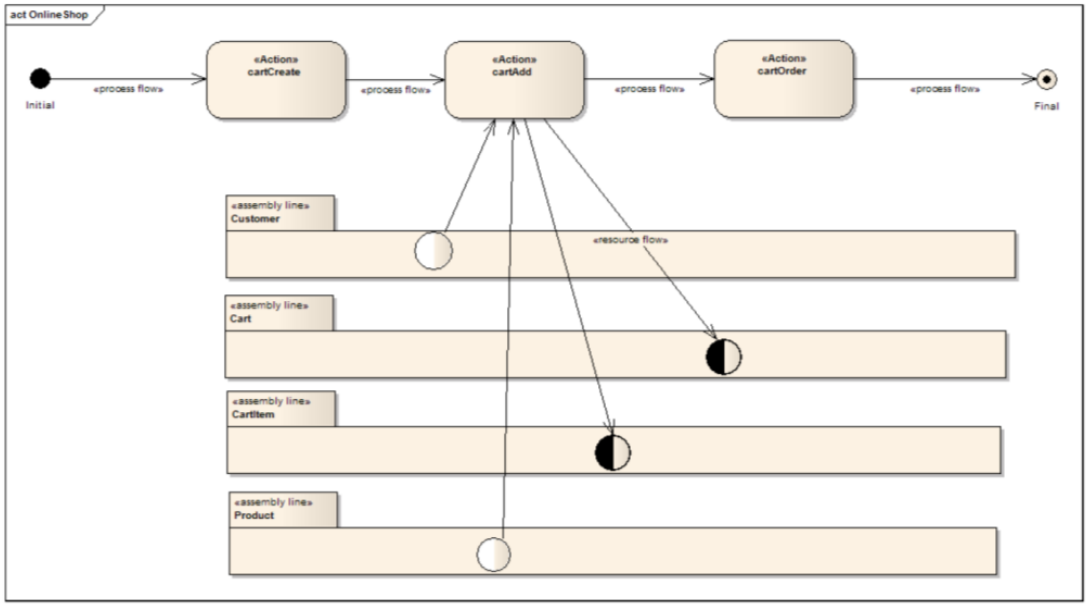


Abb. 2-11 Kombination von Aktivitäts- und Objektdiagramm [ERIP00]

Diese Form der Darstellung erlaubt eine explizite Beschreibung von Prozessen im Kontext von Informationssystemen. Die Arbeitsabläufe werden durch das Aktivitätsdiagramm beschrieben. Die einzelnen in den Abläufen durchgeführten Lese- und Schreibzugriffe der Nutzer werden durch Referenzen auf Objekte dokumentiert werden. Das Modellierungskonzept ermöglicht eine Trennung zwischen den einzelnen Aktivitäten und den Resultaten (Objekten).

2.6 Herausforderungen im Engineering automatisierter Anlagen

Das Engineering industrieller Anlagen wird durch ein Team unterschiedlicher Gewerke, mit eigenen Modellvorstellungen und spezifischer notwendiger Lösungskompetenz, durchgeführt. Weiterhin lässt sich das Engineering von Anlagen durch die Besonderheiten der Einmaligkeit der jeweiligen Anlage und das jeweilige organisatorische Setup des einzelnen Projektes, wie in Kapitel 2.1 erläutert, beschreiben. Aus diesen einzelnen beschreibenden Merkmalen resultiert eine entsprechende technische und organisatorische Komplexität, die es im Engineering zu beherrschen gilt [DANB07; LÖW+05; MARN04]. Ein Hauptaspekt der Komplexität ist die Schwierigkeit in der Betrachtung und Beherrschung der komplexen technischen Wirkzusammenhänge über die Gewerkegrenzen hinweg. Grundsätzliche Probleme im Umgang mit den Wirkzusammenhängen sind dabei die mangelnde Kenntnis der Systemanforderungen, die fehlende Prüfbarkeit des Gesamtsystems sowie die unzureichende Berücksichtigung der Schnittstellen zwischen den Gewerken [SCHW89; BEEK08].

Das Engineering und die damit verbundene Gestaltung von Systemen sind intuitive Tätigkeiten, dies ist daher nur bedingt formal beschreib- und analysierbar [Bucc94]. In Konsequenz kommen immer wieder unterschiedliche Ergebnisse, mitunter ohne Ähnlichkeit zustande [LÖW+05]. Der Mangel eines Gesamtüberblicks wird in einer empirischen Studie von [BEEK08] weiter beschrieben. In dieser Studie wird festgestellt, dass ca. 0,5% aller am Engineering Beteiligten einen Überblick über das Gesamtsystem besitzen und dieser zusätzlich noch durch die jeweilige fachliche Expertise geprägt und beeinflusst ist.

In Abb. 2-12 wird die in den jeweiligen Systemen enthaltene Komplexität veranschaulicht. Auf abstrakter Beschreibungsebene der Funktionen des Systems, wie sie beispielsweise im Rahmen der Ansätze des Systems Engineerings stattfindet, wird die Betrachtung auf wenige Beziehungen reduziert. Mit zunehmender Beschreibungstiefe werden die Betrachtungen disziplinspezifischer, bis die einzelnen Modelle nur noch die jeweiligen Aspekte der einzelnen Fachdisziplinen betrachten. Konsequenz hieraus sind unberücksichtigte fallspezifische Wechselwirkungen. Diese Wechselwirkungen können zu ungewollten Nacharbeiten und Mehraufwänden im jeweiligen Projekt führen, dies stellt ein immanentes Risiko für den Projekterfolg dar [FAY09; SCHB10; WAGL10].

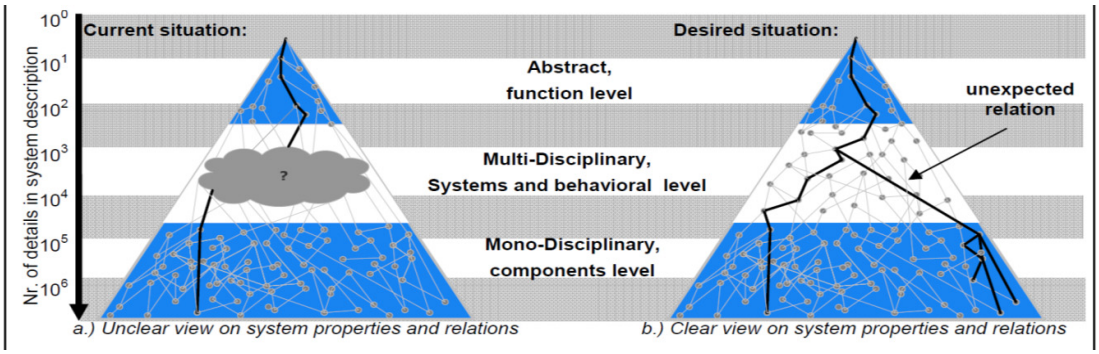


Abb. 2-12 Komplexität und Abhängigkeiten in Systemen [BEEK08]

Die Lösung dieser Problematik wird durch die heutigen Vorgehens- und Abwicklungsmodelle lediglich durch die Definition von einzelnen Phasen und Reifegraden von Zwischenergebnissen adressiert, eine weitergehende inhaltliche Durchdringung, die die technischen Abhängigkeiten stärker berücksichtigt, kann aufgrund der vorhandenen Komplexität nicht gegeben werden [MARN04]. Weiterhin ist die Nutzung und Verwendung der disziplinspezifischen Modelle und Beschreibungsmittel für die Lösung der jeweiligen Aufgaben notwendig [FRIE09]. Marquardt [MARN04] benennt drei Problemstellungen explizit:

- Das Engineering ist heute nicht systematisch verstanden, da keine entsprechende Betrachtung und Verbesserung stattfindet.
- Der Engineeringprozess und die Ergebnisse werden nicht effektiv dokumentiert. Dies verhindert eine effiziente Suche nach Ideen, die bereits verwendet oder verworfen wurden, betrachteter Alternativen und getroffener Entscheidungen.
- Die Wiederverwendung vorheriger Lösungen und Erfahrungen zu späteren Zeitpunkten im gleichen oder in ähnlichen Projekten wird nicht systematisch unterstützt.

Auch in [LÖW+05] wurde diese Problematik entsprechend adressiert. Die fachdisziplinspezifischen Modelle sind nur bedingt miteinander verknüpft, so dass übergreifende Wechselwirkungen nur ein-

geschränkt abgebildet werden können. Es fehlen die entsprechenden Methoden, um diese Abhängigkeiten und Wechselwirkungen im Engineeringprozess zu identifizieren, zumal sich die heutigen Strukturierungen an einer lokalen, fachdisziplinbezogenen Bündelung und Kapselung von Komplexität orientieren [LÖW+05; PUHL99].

Die Schwierigkeit der getrennten Sichten der beteiligten Gewerke besteht auch heute noch im Kontext des Engineerings automatisierter Anlagen [KIS+10]. Bott und Schembecker [SCHB10] ordnen der Lösung dieser Problematik ein großes Potential zu, bei gleichzeitiger Anerkennung eines großen Aufwands, dies zu heben. Mit entsprechenden Methoden könnten die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen im Engineering zwischen den Gewerken identifiziert werden, so dass eine Darstellung von Schnittmengen bezüglich Planungsobjekten zwischen Gewerken ermöglicht wird. Diese Darstellung der Schnittmengen würde auch eine entsprechende Nachverfolgung von technischen Änderungen ermöglichen [Löw+05].

2.7 Mögliche Ansätze zur Identifikation von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen

Abhängigkeiten im Engineering können den Beteiligten bewusst, aber auch unbewusst sein. Unter Abhängigkeiten sollen die Beziehung zwischen Merkmalen einzelner Entitäten im Engineering von Anlagen verstanden werden, die Einfluss auf die technische Lösung und den Projekterfolg haben. Entitäten sind hierbei die beteiligten Gewerke, Planungsobjekte und Tätigkeiten. Die bewussten Abhängigkeiten sind üblicherweise bekannt und verursachen im Normalfall nur bei Nichtbeachtung Probleme für den Arbeitsablauf und das spätere Arbeitsergebnis. Unbewusste Abhängigkeiten hingegen werden nur im Falle von späteren Abweichungen des Ergebnisses von den Zielvorgaben erkannt. Beide Arten von Abhängigkeiten werden zufällig wahrgenommen. Für die generelle Feststellung bedarf es daher eines geplanten Vorgehens zur Identifikation von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen. Wechselwirkungen sind mögliche aus Abhängigkeiten resultierende Effekte, beispielsweise durch Veränderung eines technischen Merkmals.

Einer inhaltlichen Aufbereitung des Engineeringprozesses, mit Fokus auf die Aspekte, die auf technische Merkmale der zu entwickelnden Anlage fokussieren, wird ein entsprechendes Potential zur Aufdeckung der Abhängigkeiten und den daraus möglichen Wechselwirkungen zugesprochen [Löw+05; MarN04]. Dieses Potential ist nach Whitney [Whit11] sowie Bott und Schembecker [SchB10] heute noch nicht gehoben. Mögliche Wege der Identifikation hierfür können dabei die Betrachtung und Analyse bestehender Anlagen, die Auswertung von Engineeringergebnissen und die Analyse des Engineeringprozesses sein:

1. **Betrachtung und Analyse bestehender Anlagen**

Mittels der Betrachtung von existierenden Anlagen besteht die Möglichkeit, getroffene Auslegungsentscheidungen zu hinterfragen. Sowohl die Entscheidung zur jeweiligen Ausgestaltung als auch der Gedanke, eine Ausprägung zu verändern, liefern Aussagen zu bestehenden Abhängigkeiten und möglichen Wechselwirkungen. Wird beispielsweise ein Sensor versetzt, so ändert sich zumindest seine Anbindung an die Restanlage. Diese Variationsgedanken können mit allen Komponenten, Funktionsabschnitten und Teilen der Anlage durchgeführt werden.

Der Ansatz der Zerlegung der realisierten Anlage wird auf unterschiedliche Weise in Konzepten der Wiederverwendung aufgegriffen [3695; MagJ10]. In diesen Konzepten werden Teile und Komponenten der Anlagen mit einer geringen oder beherrschbaren Abhängigkeit zum Rest der Anlage identifiziert. Die primären Ziele einer derartigen komponentenorientierten Zerlegung bestehen in der Reduktion der Komplexität von Systemen und der Möglichkeit, Teile dieser Systeme mehrfach zu verwenden [EBEG04]. Eine Vorgehenssystematik zur Betrachtung bestehender Anlagen ist die funktionsorientierte Zerlegung [Akiy94]. Strukturgebend für die Zerlegung kann auch auf die Richtlinie EN 81346 zurückgegriffen werden, diese bietet hierfür die Aspekte Funktion, Ort und Produkt an [81346].

Die Betrachtung bestehender Anlagen, nach unterschiedlichen Strukturierungen ermöglicht nur die Identifikation der durch die Vorgaben der Strukturierung adressierten Abhängigkeiten und Wechselwirkungen. Die im jeweiligen Anwendungsfall tatsächlich vorherrschenden Abhängigkeiten und Wechselwirkungen werden nur bedingt erfasst. Die Ergebnisse der Betrachtung und Analyse sind daher nur vollständig im Bezug auf die adressierten Strukturen und stark beeinflusst vom Umfang der identifizierten Einheiten, da der Fokus auf der Betrachtung der Beziehung zwischen diesen liegt.

2. Auswertung von Engineeringergebnissen

Für die Untersuchung von Engineeringergebnissen steht neben der Betrachtung des tatsächlichen Ergebnisses in Form der existierenden Anlage auch eine große Menge an dokumentierten Engineeringergebnissen zur Verfügung. Diese Ergebnisse sind vielfältig und umfangreich, wie zum Beispiel Listen, Funktionsbeschreibungen und Zeichnungen der zu realisierenden Anlage (vgl. Tab. 2-2). Diese gewerkespezifischen Ergebnisse des Engineeringprozesses stehen nicht für sich allein, da sie entlang des Engineeringprozesses, inhaltlich aufeinander aufbauend, entstehen. Die Engineeringergebnisse können in eine zeitliche Abfolge der Entstehung gebracht werden. Anhand dieser Sortierung können die Entstehung der Anlage nachvollzogen werden und mögliche Zusammenhänge zwischen Ergebnisständen identifiziert werden. Weiterhin kann anhand der Ergebnisse unterschiedlicher Gewerke die mögliche gemeinsame Schnittmenge an Informationen identifiziert werden. Die Schnittmengen zeigen Abhängigkeiten auf, mögliche Wechselwirkungen können jedoch nur durch eine vertiefende Analyse mittels Interviews und Versuchen identifiziert werden. Im Rahmen von Versuchen können die Wechselwirkungen durch Veränderung einzelner Ausprägungen, die in Abhängigkeit zueinander stehen, identifiziert werden.

3. Analyse von Engineeringprozessen

Die Ergebnisse des Engineeringprozesses sollen den vorher gegebenen Anforderungen an die zu errichtende Anlage entsprechen. Für die Erreichung sind viele verschiedenartige Tätigkeiten durch die beteiligten Gewerke notwendig. Diese Abläufe finden innerhalb der jeweiligen Organisation statt. Hierbei gibt es verschiedene Möglichkeiten der Ausgestaltung des Engineeringprozesses. Es besteht Variationsmöglichkeit hinsichtlich, Struktur, Prozessablauf, Kultur, Umgebung und den verschiedenen Kombinationen hieraus. Aus der Abhängigkeit dieser Parameter wird die jeweilige Engineeringorganisation gebildet [BLAN12].

Möhringer stellt fest, dass es bedeutsam ist, wie die Konstruktion und ihre vor- und nachgelagerten Funktionsbereiche strukturiert sind und wie Teams eingebunden werden [MÖHR04]. Allgemein können Aufgabenpakete innerhalb der Gewerke und zwischen den Gewerken sequenziell abgewickelt werden. Nach erfolgreichem Abschluss einer Tätigkeit kann aufbauend auf den Ergebnissen weiter

gearbeitet werden. Dies sequenzielle Vorgehen verursacht mitunter eine Vielzahl an Iterationen und notwendigen Anpassungen.

Im folgenden Kapitel werden entsprechende neue Entwicklungen für eine inhaltliche Durchdringung des Engineerings vorgestellt. Diese haben das Ziel, das Engineering systematisch zu verstehen. Ziel ist es hierbei, die technischen Abhängigkeiten zu identifizieren und so ein entsprechendes Wissen über diese und mögliche Wechselwirkungen zu erlangen.

3 Neue Entwicklungen für ein systematisches Verständnis des Engineerings

Neben den etablierten Techniken des Stands der Technik gibt es vielfältige Bestrebungen, ein systematisches Verständnis über das Engineering automatisierter Anlagen aufzubauen. Diese Bestrebungen sind zum einen in Forschungsinitiativen und -projekten gebündelt (Kapitel 3.1) sowie in den Vorhaben und Ergebnissen einzelner Personen (Kapitel 3.2 und 3.3) dokumentiert. Um diese Vorhaben herum gibt es weitere Methoden und Ansätze (Kapitel 3.4). Die im Kontext dieser Arbeit relevanten, da hinleitend, und begleitend, da auf andere Aspekte fokussierend, werden nachfolgend vorgestellt und beschrieben.

3.1 Aktueller Stand der Forschung anhand von Forschungsprojekten

Im Kontext des gewerkeübergreifenden Engineerings gibt es eine Vielzahl geförderter Forschungsinitiativen. Alle Initiativen haben den Anspruch, das gewerkeübergreifende Engineering systematisch zu verbessern, wobei sich die einzelnen Vorhaben hierbei in Kategorien einordnen lassen. Die Einordnung orientiert sich hierbei am Forschungsgegenstand, bzw. dem Ziel und Ergebnis. Auf dieser Basis ließen sich das Produktgeschäft (Abschnitt 3.1.1), Softwarewerkzeuge (Abschnitt 3.1.2) und Methodenentwicklung (Abschnitt 3.1.3) als Kategorien ableiten.

3.1.1 Projekte mit Fokus auf das Produktgeschäft

Mehrere Forschungsvorhaben im Kontext des gewerkeübergreifenden Engineerings fokussieren auf das zu erstellende Produkt als Betrachtungsobjekt. Hierbei werden einerseits neuartige, bevorzugt miniaturisierte Produkte entwickelt sowie ergänzende Funktionalitäten in Produkte durch gewerkeübergreifende Integration von Produkteigenschaften erforscht.

Im Verbundprojekt INRELA (www.INERELA.de) lag der Fokus auf der Erstellung integrierter Mikroprodukte, insbesondere durch räumliche Integration elektronischer Baugruppen. Betrachtungsobjekt des Projektes sind intelligente LED-Chips sowie intelligente Stecker. Hierfür wurde eine Entwicklungsumgebung geschaffen, bestehend aus einer Entwicklungssystematik und einem Entwicklungssystem für derartige Produkte. Die Entwicklungsumgebung stellt die notwendigen Kontextinformationen für den Entwurf integrierter Produkte mittels Bibliotheken zur Verfügung. Resultierend aus der Umgebung wird ein entsprechender Fertigungsplan zur Verfügung gestellt [SEIF05].

Die Integration von Technologien in ein Produkt strebt auch das Forschungsvorhabens Cometron (www.Cometron.de) an. Im Rahmen dieses Projektes war der Fokus jedoch die Entwicklung eines neuartigen Messsverfahrens mittels Röntgen-Computertomografie. Dieses Verfahren verschafft die Möglichkeit die Entwicklung mikromechanischer Systeme sowie deren Produktion und Simulation systematisch zu verbessern [WEST10].

Die Herstellung von Molded Interconnect Devices (MID), spritzgegossenen Schaltungsträgern, ist Betrachtungsgegenstand des Projektes InZuMech. Im Kontext dieses Verfahrens bzw. der damit herstellbaren Produkte wurden entsprechende Entwicklungskonzepte und neuartige Werkzeuge zur Absicherung des Produktionserfolgs der MIDs erforscht [AUER10].

Diese genannten Projekte fokussieren alle insbesondere auf neuartige integrierte Produkte. In den Produkten sind Anteile unterschiedlicher Gewerke zu einer Einheit verschmolzen, es bedarf daher

einer engen übergreifenden Zusammenarbeit. Um die Zusammenarbeit zu erleichtern, werden die entsprechenden Technologien auf den notwendigen Reifegrad entwickelt und in die jeweiligen Produkte integriert. Für diese integrierten Technologien werden Baukästen zur Entwicklung von Gesamtlösungen, die auf diesen basieren, entwickelt. Durch diese vorgelagerten Entwicklungsaktivitäten entstehen zusätzliche Aufwände. Die entstehenden Aufwände werden insbesondere durch die später zu erwartende Losgröße der absetzbaren Produkte aufgefangen und gerechtfertigt. Im Vergleich hierzu ist das Engineering automatisierter Anlagen auf die Losgröße eins fokussiert, vorgelagerte Aufwände können nur bedingt getragen werden.

Da in den Projekten der Fokus insbesondere auf der Entwicklung einzelner Technolgien liegt und nur sekundär in der Unterstützung bei der Bildung von Lösungen, können nur Hinweise, wie Gewerke miteinander integriert werden, auf das Engineering von Anlagen übertragen werden. Konkrete Hinweise zur Identifikation und zum Umgang mit auftretenden technischen Abhängigkeiten und möglichen Wechselwirkungen können nicht übertragen werden. Der Ansatz der Projekte ist es, unerwünschte Beziehungen durch vorgelagerte Aktivitäten auszuschließen, diese Aktivitäten fokussieren insbesondere die vorgelagerte Entwicklung von wesentlichen Technologiekernen.

3.1.2 Projekte mit Fokus auf Softwarewerkzeuge zur Unterstützung des gewerkeübergreifenden Engineerings

Ein weiterer Forschungsansatz ist, das gewerkeübergreifende Engineering mittels geeigneter Softwarewerkzeuge zu unterstützen. Die einzelnen Vorhaben mit diesem Schwerpunkt lassen sich drei Bereichen zuordnen:

- Werkzeuge, die durch Simulation und Visualisierung unterstützen
- Integrationsplattformen und Umgebungen für Werkzeuge
- Unterstützungssysteme für ein gewerkeübergreifendes Vorgehen

Im Projekt iViP wird eine durchgängige Digitalisierung des Produktenstehungsprozesses angestrebt. Um dies zu realisieren, baut das Projekt auf dem Datenaustauschformat STEP [10303], in Form des *Digitalen Master*s für den Austausch aller relevanten Daten, auf. Eine entwickelte offene Integrationsplattform ermöglicht die Einbindung der einzelnen am Produktenstehungsprozess beteiligten Partner. Für den Zugriff der Partner wurden entsprechende Zugangsklienten entwickelt [KRAU02].

Auch im Vorhaben INPROVY sollte der Nutzungsgrad digitaler Modelle, als eine Verbesserung des Engineerings, erhöht werden. Hierfür wurden gewerkespezifische Simulationsmodelle entwickelt, die die jeweiligen Planungsaufgaben entsprechend unterstützen sollen. In den Simulationsmodellen wird das jeweilige Expertenwissen der einzelnen Gewerke systematisch repräsentiert. Eine gewerkeübergreifende Simulation, oder Ausweitung der Beziehung zwischen den Gewerken, wurde jedoch nicht angestrebt und somit ausgeschlossen [INPR].

Eine Visualisierung der Produktentstehung wurde im Projekt ISYPROM, dies steht für*Modellbasierte Prozess- und Systemgestaltung für die Innovationsbeschleunigung,* verfolgt. Hierfür wurde ein Werkzeug zur Modellierung der einzelnen Strukturen des Produktes entwickelt. Auf Basis des Werkzeugs sollen die jeweiligen der Struktur zugeordneten Daten den Gewerken zur Verfügung gestellt werden. Diese Form der Modellbereitstellung soll dabei den Entstehungsprozess systematisch unterstützen [STAR].

Im Rahmen des Projektes Föderal, *Baukastenbasiertes Engineering*, wurde zur Unterstützung des Engineerings eine Informationsarchitektur entworfen. Die vorgeschlagene Methode basiert auf der

Idee von virtuellen mechatronischen Komponenten. Diese vordefinierten Komponenten werden zu einer virtuellen Anlage zusammengestellt und vorparametriert. Diese Vorgehensweise erfordert eine gewerkeübergreifende Betrachtung. Aus der vorgenommenen mechatronischen Konfiguration werden die jeweiligen gewerkespezifischen Modelle generiert. Durch die Verwendung des vordefinierten Baukastens können so innerhalb der Gewerke die notwendigen Ausprägungen instanziiert werden. Die Fachplaner können daraus in ihrem jeweiligen Werkzeug die durch die Föderale Informationsarchitektur generierten Ausprägungen detaillieren und verifizieren. Die Werkzeugunterstützung, durch die sogenannte föderale Informationsarchitektur, soll ein ganzheitliches Vorgehen ermöglichen, durch Aufbau einer Baukastenstruktur [VERB04].

Auf den Ergebnissen von Föderal baut das Projekt Aquimo [AQUI10] auf. Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung einer gewerkeübergreifenden Modellierungsumgebung, die von allen beteiligten Gewerken verwendet wird. Mittels der verwendeten Methoden soll ein durchgängiger und reproduzierbarer Entwicklungsprozess zur Generierung zuverlässiger mechatronischer Komponenten ermöglicht werden. Die folgende Abb. 3-1 stellt die Zielsetzung des Projektes dar.

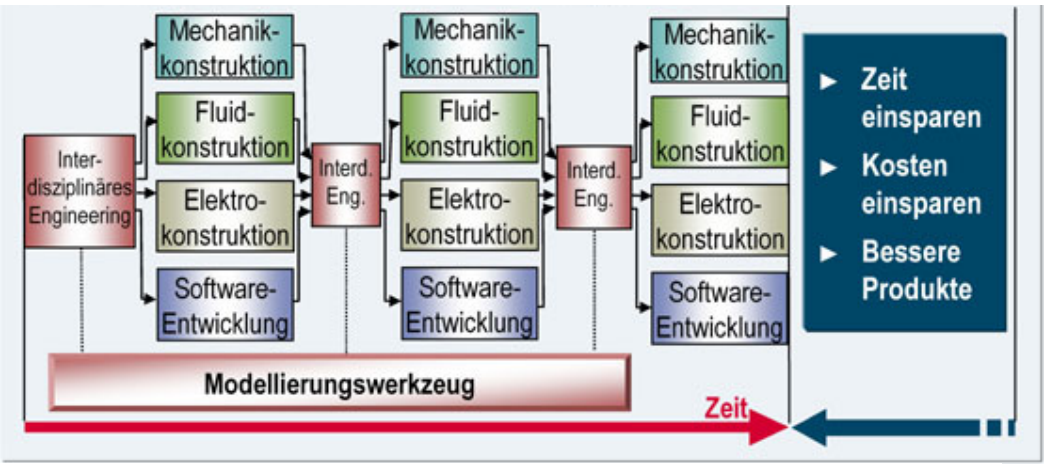


Abb. 3-1 Mechatronisches Vorgehen nach Aquimo [AQUI10]

Durch Auftrennung von Entwurf und Konstruktion soll zu Beginn eine interdisziplinäre Lösung entworfen werden. Die Detaillierung erfolgt in den anschließenden Konstruktionsphasen mittels der fachspezifischen Beschreibungsmittel. So sollen die relevanten interdisziplinären Informationen aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden. Das Ziel dieser Differenzierung in Entwurf und Konstruktion ist, dass ein mechatronisches Team schneller als heute in der gewerkegetrennten Entwurfsphase Lösungsalternativen diskutieren kann und ein gemeinsames Verständnis geschaffen wird. Dies geschieht, bevor die einzelnen Gewerke mit der Detailkonstruktion beginnen [AQUI10].

Das Vorhaben MODALE, *Modellbasiertes Anlagen-Engineering*, setzt als Schwerpunkt die Entwicklung eines Referenzmodells, das eine übergreifende Sicht auf die Anlage ermöglicht. Dieses modellbasierte Vorgehen setzt sich aus zwei Sichtweisen zusammen, der Datensicht und der Prozesssicht. Die Datensicht soll dem Informationsaustausch zwischen den beteiligten Gewerken hin zu einer konsistenten und nicht redundanten Datenhaltung dienen. Dies soll mittels maschinenlesbarer Datenquellen und Produktinformationen geschehen. Innerhalb der Prozesssicht ist die aufgabenbezogene Vorgehensweise abgebildet. Mit diesem Vorgehen wird eine softwaretechnische Integration aller beteiligten Gewerke und Informationen angestrebt [HEFK05].

Im Projekt ADiFa war die Bereitstellung von Informationen zur Harmonisierung der Engineeringprozesse das Ziel, insbesondere in der digitalen Fabrik. Ebenfalls aufbauend auf STEP, ISO

10303 [10303], wurde eine entsprechende Anwendung zum Austausch der notwendigen Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen geschaffen. Neben der Unterstützung eines Simultaneous Engineerings der Produktionsanlage soll hierdurch auch das Produktdesign des später herzustellenden Produktes datentechnisch integriert und das Design so optimiert werden. Als ausschlaggebende Stellgröße wird in der ADiFa Anwendung insbesondere auf den Austausch von Zeitdaten, im Bezug auf Produktionsanlage und Produkt, fokussiert. Eine gewerkeübergreifende Betrachtung weiterer Zusammenhänge ist jedoch nicht vorgesehen [DEUR12].

Das Projekt KOWIEN stellt eine Wissensplattform zur Koordination von Kompetenzen im Engineering zur Verfügung. In der entwickelten Plattform sollen die vorhaben- und personenbezogenen Lösungskompetenzen abgebildet werden, um so eine Plattform zur Bildung von effizienten Lösungsorganisationen zu bilden. Der Fokus liegt auf der Koordination von Engineeringkompetenz und Projektmanagement, jedoch nicht auf der Durchdringung der technischen Spezifika der einzelnen Gewerke im Engineering [ZELE04].

Die beschriebenen Projekte haben alle zum Ziel, den am Engineering beteiligten Ingenieuren ein besseres Werkzeug zur Ausführung der jeweiligen Planungsaufgaben an die Hand zu geben. Den Forschungsschwerpunkt auf ein entsprechendes Datenmodell, das die spezifischen Attribute der einzelnen Gewerke berücksichtigt und integriert, haben die Projekte iViP, INPROVY und ADiFa. Die gemeinsamen Datenmodelle ermöglichen so jeweils die Bildung von entsprechenden Zusammenhängen anhand der gemeinsam genutzten Attribute der jeweils gestalteten Lösungen.

Auf einen gemeinsamen Entwurf der zu erstellenden Lösung fokussieren die Projekte ISYPROM, Föderal, Aquimo und MODALE. Die Forschungsprojekte setzen jeweils eine gemeinsame übergreifende Modellierung vor die gewerkesezifische Lösungsbildung. Durch ein gemeinsames Bild und auch entsprechend angelegte Strukturen, auf die die spezifischen Lösungen referenzieren, wird ein gewerkeübergreifender Zusammenhalt der Teillösungen angestrebt.

Die Identifikation von benötigten Kompetenzen zur Lösungsbildung verfolgt das Projekt Kowien, eine Unterstützung bei der Lösungsbildung im Rahmen der Ausgestaltung wird jedoch nicht verfolgt.

Keins der beschriebenen Projekte berücksichtigt jedoch explizit die notwendige Kreativität der Ingenieure bei der Ausgestaltung der Lösungen, die Werkzeuge dokumentieren nur die Ergebnisse dieses Wirkens. Strategien zur Identifikation der gemeinsamen Schnittmengen und Merkmale im Bezug auf die im jeweiligen Anwendungskontext vorhandenen Abhängigkeiten sind nur bedingt gegeben. Die vorhandenen Beziehungen gelten grundsätzlich, ob Wechselwirkungen auftreten, muss durch die Experten abgeschätzt werden. Die notwendige Sensitivität für Wechselwirkungen, die die Ingenieure besitzen und anwenden, um Schwierigkeiten vorzubeugen, ist nicht gegeben.

3.1.3 Projekte mit Fokus auf Methodenentwicklung

Das Projekt MEDEIA, *Model-Driven Embedded Systems Design Environment for the Industrial Automation Sector*, fokussiert auf die Bereitstellung einer Methodik für eine effizientere Automatisierung in Fabriken. Um dies zu erreichen, wurde das Konzept der Automatisierungskomponente entwickelt, die eine Kapselung von Hard- und Software der Automatisierungstechnik umfasst. Die MEDEIA-Methodik zielt hierdurch auf eine beschleunigte Entwicklung von Systemen, da die vorherigen separaten Entwicklungsvorgehen in der neuen Methodik durch die Automatisierungskomponente integriert werden. Eine alle am Engineering beteiligten Gewerke übergreifende Betrachtung ist jedoch nicht vorgesehen [STR+10].

Kleine und mittelständische Unternehmen werden durch die im Projekt KOMSOLV entwickelten Methoden unterstützt. Um mit den komplexen kundenspezifischen Anforderungen technischer und zeitlicher Natur systematisch umgehen zu können, liegt der Fokus auf einem ganzheitlichen Systemverständnis. Durch Bildung von modularen Softwarelösungen soll ein Wettbewerbsvorteil erzielt werden sowie die Planbarkeit erleichtert werden. Die Methodik fokussiert auf komplexe Produkte, insbesondere mit konfliktionären Anforderungen, wobei hierbei davon ausgegangen wird, dass dies durch eine modulare Software gelöst werden kann. Die gewerkeübergreifenden Aspekte liegen somit nicht im Fokus, sondern nur die Aspekte zwischen der Software und dem Gesamtsystem [FRA+11].

In den Projekten ProMiS und anschließend in BESTVOR zielte die Methodenentwicklung auf eine Verbesserung des Vorgehens beim interdisziplinären Engineering von Produkten ab. In ProMiS lag der besondere Schwerpunkt auf dem Projektmanagement für interdisziplinäre Systementwicklung, unter der Berücksichtigung der Intensivierung der Softwareanteile des Produktes. So wurde durch ProMis eine entsprechende Vorgehensmethodik erarbeitet. Fortgesetzt in BESTVOR wurde die Methodik weiter hinsichtlich der erweiterten Integration gewerkespezifischer Aspekte entwickelt. Hieraus resultierend wurde eine Methodik zur Überprüfung der jeweiligen disziplinspezifischen Ausprägungen erarbeitet, die Indikatoren bezüglich der Berücksichtigung der entwickelten Methodiken liefern soll [SPI+12].

Die aufgeführten Forschungsprojekte betrachten im wesentlichen die Softwareanteile der zu erbringenden Lösung, sowohl Automatisierungssoftware, als Software im generellen. Das Projekt MEDEIA hat als Entwurfsmethodik Automatisierungskomponenten vorgeschlagen, das Projekt KOMSOLV Softwaremodule. In ProMIS und BESTVOR werden Prozesse, die auf eine entsprechende Intensivierung der Anteile an Softwarebausteinen in Lösungen fokussieren, entwickelt. Allen Projekten ist gemein, durch die Nutzung von Software die Integration über Gewerke hinweg zu erweitern und zu unterstützen. Software als weicher Bestandteil lässt sich üblicherweise leichter und dynamischer anpassen, als die Lösungen der elektrisch und mechanisch geprägten Gewerke. Das gemeinsame Zusammenspiel über alle Gewerke ist nicht im Fokus der Vorhaben, entsprechend können nur Konzepte übernommen werden. Konkrete Lösungen zum Umgang mit den bestehenden technischen Abhängigkeiten und möglichen Wechselwirkungen werden nicht gegeben.

3.2 Modellierung des Engineeringprozesses automatisierter Anlagen

Mit der Modellierung der Abläufe, bzw. der Abfolge der einzelnen Aktivitäten im Engineering automatisierter Anlagen, setzen sich eine Reihe von Autoren auseinander. Der entsprechende Stand dieser Forschung und die jeweilige Zielrichtung sollen hier näher beschrieben werden. Durch die Dokumentation der Abläufe, oft auch als Workflow bezeichnet, wird die inhaltliche Abhängigkeit zwischen den verschiedenen Ergebnissen der Gewerke dokumentiert [LÖW+05]. In dieser Arbeit wird hierfür einheitlich der Begriff Prozess verwendet. Die Prozesse beschreiben hierbei typischerweise die Ablauforganisation, im Gegensatz zur Darstellung der Aufbauorganisation durch Organigramme.

Die zu berücksichtigenden Anforderungen an eine entsprechende Aufbereitung des Engineering-Prozesses wurde bereits 1985 von Mostow [MOST85] umfassend beschrieben, wesentlichste Eigenschaft ist die Dokumentation der Entstehung der Ergebnisse mit den jeweiligen Zielen. Die Anforderungen an die Modellierung nach [MOST85] sind:

- Es sollen die einzelnen Planungsmodelle in den jeweiligen Abstraktionsgraden erfasst werden,
- die jeweiligen Entscheidungsparameter und Alternativabwägungen

- und der Fortschritt des Prozesses.

Die so entstehenden Modellierungen des Engineeringprozess bilden eine Grundlage zur Wissensbildung und stellen gleichzeitig die Erfahrungen der Gewerkeexperten über das Engineering in entsprechender Aufbereitung zur Verfügung.

Buccarelli bestätigte diese Aussagen in seiner Arbeit *Designing Engineers*, in der er auf seine langjährige Beratungserfahrung im Engineering automatisierter Anlagen zurückblickt [BUCC94]. In dieser Zeit war ihm die Aufzeichnung der Prozesse im Engineering ein wesentliches Hilfsmittel für ein umfassendes Verständnis der komplexen Zusammenhänge. Für die Analyse der Zusammenhänge fokussiert er auf die wechselseitige Anreicherung der Planungsobjekte mit Eigenschaften zwischen den Gewerken. Anhand einzelner Anwendungsbeispiele wird die Notwendigkeit der Dokumentation von ausgetauschten Zwischenergebnissen bei der Erstellung von einzelnen Lösungen zwischen den Gewerken bekräftigt, um die Zusammenhänge zwischen den Gewerken identifizieren zu können.

Auf diesen grundlegenden Feststellungen können die nachfolgenden aktuellen Arbeiten als eine Fortsetzung und Umsetzung dieser Ideen von *Mostow* und *Bucciarelli* eingeordnet werden. Bei der Bewertung der aktuellen Arbeiten können die schon langjährig bestehenden Anforderungen der beiden Autoren berücksichtigt werden.

Organisationsspezifische Prozesshierarchien zur Steigerung von Komplexität

Puhl [PUHL99] hat in seiner Arbeit zum Komplexitätsmanagement in Organisationen ein Konzept für die ganzheitliche Erfassung, Planung und Regelung der Komplexität in Prozessen entworfen. Wesentlicher Baustein ist für ihn die aktive Auseinandersetzung mit der Komplexität, um das jeweils passende Niveau an Komplexität in der Organisation auf ein Komplexitätsoptimum einzustellen. Diese Annahme nutzt er für die Gestaltung eines entsprechenden Referenzmodells, in dem die relevanten Prozesse identifiziert und dokumentiert werden. In dem Referenzmodell können Ursache-Wirkung-Netze als Visualisierung aufgebaut und analysiert werden, dies ist exemplarisch in Abb. 3-2 aufbereitet.

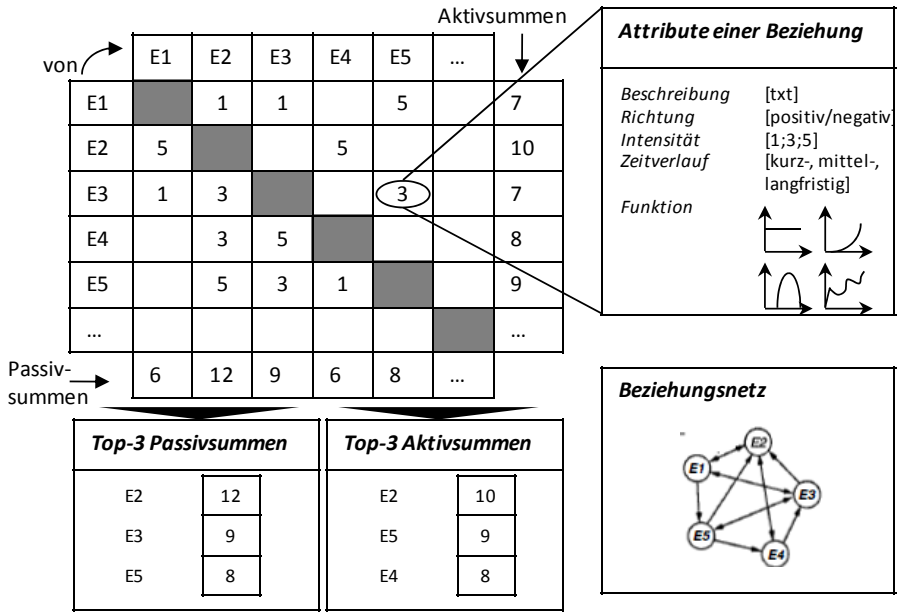


Abb. 3-2 Ursache-Wirkungsnetz nach Puhl [PUHL99]

Innerhalb einer Wechselwirkungsmatrix wird die aktive sowie passive Beeinflussung der einzelnen Elemente aufeinander abgebildet und analysiert. Puhl gibt für mögliche Elemente keine Einschränkung vor, so können Elemente unter anderem Personen, technische Objekte, Entscheidungen und Dokumente sein. Im Beispiel in der Abb. 3-2 hat das Element 3 einen mittleren Einfluss, mit drei quantifiziert, auf das Element 5. Die Summe der aktiven Einflüsse des Elements 3 beträgt sieben. Die Analyse der Aktivsummen ermöglicht die Elemente nach Ausmaß des Einflusses, bzw. der Passivsummen nach Grad der Beeinflussung zu ordnen. Als weitere grafische Beschreibung wird das Beziehungsnetz verwendet, hier sind jedoch nur die Zusammenhänge und Wirkrichtungen dargestellt.

Strategien zur Identifikation der sich beeinflussenden Elemente werden nicht gegeben. Das Rahmenwerk soll zur Evaluierung von Maßnahmen genutzt werden. Aufbauend auf den Analyseergebnissen können entsprechende Regelkreise als Koordinationsinstrument definiert werden. Anhand dieser Aufbereitung können dann die notwendigen organisationsspezifischen Maßnahmen definiert werden, diese betreffen die Zuordnung der Verantwortlichkeiten hinsichtlich der einzelnen Funktionen, die in der Organisation wahrgenommen werden müssen. Durch die Abbildung können entsprechende Ziele definiert werden, so dass anhand dieser ein entsprechender Ablauf zur Koordination der Komplexität entstehen kann.

Puhls Lösungskonzept stellt eine organisationsspezifische Prozeßhierachie als Mittel zur Steuerung und Lösung der vorherrschenden Komplexität im Unternehmen in den Mittelpunkt. Eine detaillierte Betrachtung der von ihm ebenfalls erkannten technischen Komplexität innerhalb der Engineeringorganisationen und der Abläufe in dieser erfolgt jedoch nicht [SHU+06].

Rechnerbasierte Bereitstellung von verfahrenstechnischen Planungsmodellen im Engineering

Die Analyse und Unterstützung der Arbeitsprozesse im Engineering verfahrenstechnischer Operationen ist das Ziel der Arbeiten von Eggersmann. Verfahrenstechnische Operationen sind einzelne technologische Prozesse, die verfahrenstechnische Anlage realisieren, eine typische Operation ist das Mischen von Flüssigkeiten. Eggersmann möchte den Experten bei der Auslegung der Operationen von prozesstechnischen Anlagen eine werkzeugtechnische Unterstützung bieten. Hierfür ist insbesondere die Untersuchung der sukzessiven Entwicklung der Lösung zwischen den beteiligten Gewerken wesentlich [EGGE05]. Im Kontext des DFG SFB 476 *Information Technology Support for Collaborative and Distributed Design Processes in Chemical Engineering* fokussieren seine Arbeiten auf die nachfolgenden Fragestellungen [EGGE05; MARN04]:

- Welche Engineeringprozessschritte werden durch wen in welcher Rolle und welcher Gruppe ausgeführt?
- Welche Ressourcen (Werkzeuge, etc.) werden dabei verwendet?
- Welche Informationen werden zwischen den Werkzeugen ausgetauscht?
- Welche Dokumente werden zwischen Teammitgliedern ausgetauscht?
- Welche Informationen werden abgelegt und später wiederverwendet?
- Welche Beziehungen bestehen zwischen den Daten und Dokumenten?

Für die Analyse des Engineeringprozess im genannten Projekt werden zwei unterschiedliche Modellierungskonzepte verwendet, der CLiP Formalismus [BAYE03] sowie die weniger formalisierte und strenge Modellierung mittels C3 [KIL+99]. Beide Modellierungskonzepte bauen auf den Konzepten des UML-Formalismus auf. Der Rückgriff auf diese Konzepte ist darin begründet, dass sich die Modellierung von Engineeringprozessen gegenüber der Prozessmodellierung in der Softwaretechnik durch den reaktiven Charakter des Engineerings und die vielfachen Iterationen unterscheidet [EGGE05].

Mithilfe der Modellierung nach CLiP kann ein umfassendes Informationsmodell abgebildet werden. In diesem Modell werden alle Auslegungsentscheidungen über den Engineeringprozess hinweg dokumentiert [MARN04]. Eine Übersicht hierzu geben die Abb. 3-3 und Abb. 3-4.

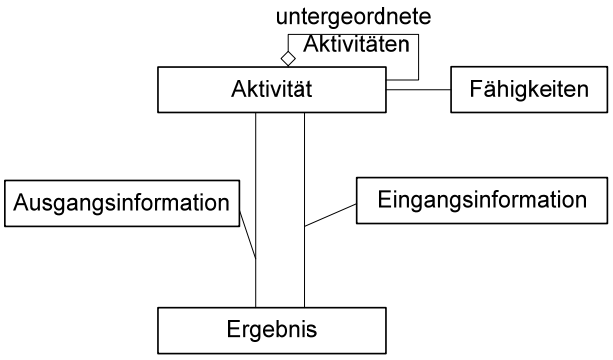


Abb. 3-3 Meta-Model CLiP

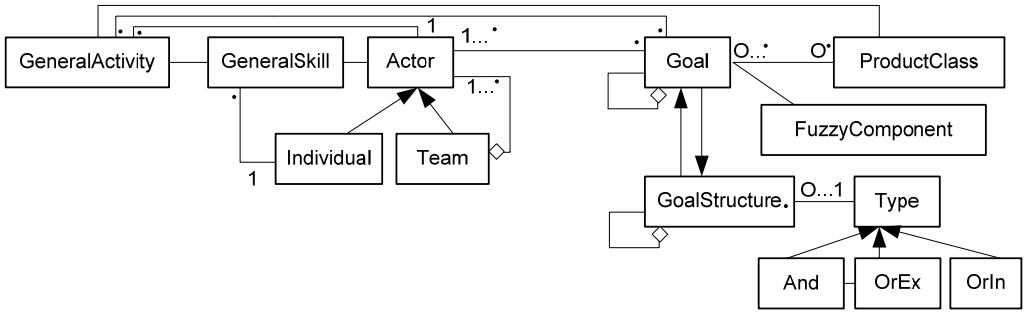


Abb. 3-4 Beschreibungsklassen des CLiP Modells [Baye03]

Wie in Abb. 3-3 dargestellt, werden den modellierten Aktivitäten die notwendigen Fähigkeiten zugeordnet. Aus der Aktivität werden sodann Ausgangsinformationen in ein Ergebnis übergeben. Diese Informationen können wiederum Eingangsinformation für weitere Aktivitäten sein. Weiterhin können Aktivitäten zusammengefasst werden und durch eine übergeordnete Aktivität dargestellt werden. Die Modellierung des Prozesses ist weiter formalisiert durch die in Abb. 3-4 dargestellten Beschreibungsklassen.

Auf die Aktivitäten der Ingenieure und die dabei verwendeten Werkzeuge fokussiert die Modellierung nach C3, wie in Darstellung Abb. 3-5 vorgestellt. C3 ist weniger ausdrucksstark als CLiP, bietet jedoch den Vorteil, auf beliebigem Granularitätsniveau modellieren zu können. Bei der Modellierung werden die beteiligten Rollen, die Abfolge der Aktivitäten, die genutzten Informationen, ob verändert oder neu generiert, sowie die genutzten Werkzeugressourcen dokumentiert.

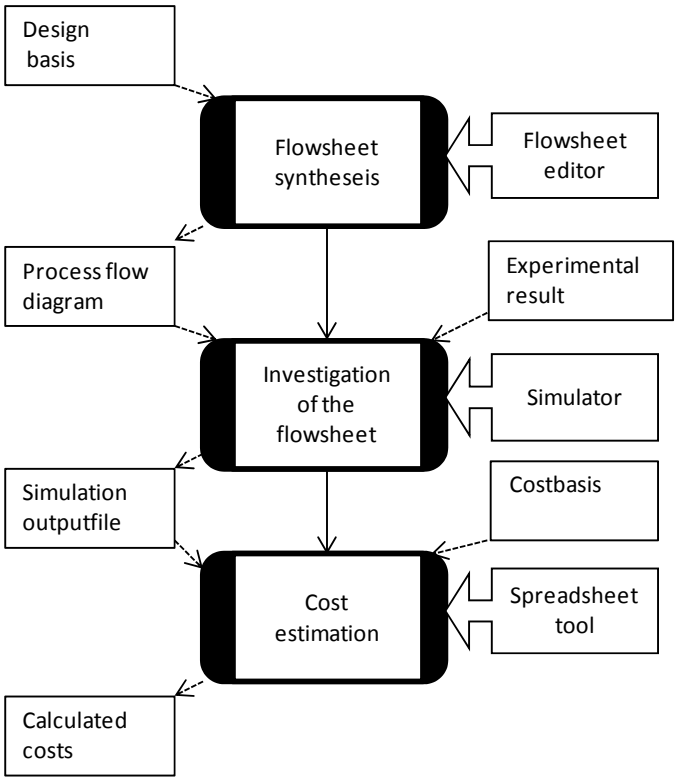


Abb. 3-5 C3 Modellierung [KIL+99]

Für eine praktikablere Verwendung wurde C3 in das Workflow Modeling System (*WOMS*) integriert [EGGE05; MARN04]. WOMS als Projektergebnis wird als Software zur Modellierung von AixCAPE, einer Transfereinrichtung des Instituts für Verfahrenstechnik der RWTH Aachen, gepflegt. Die grafische Modellierung mit C3 ist leicht verständlich und für die jeweiligen Beteiligten leicht prüfbar.

Im Rahmen seiner Arbeit evaluierte Eggersmann Konzepte zur Modellierung von Prozessen, um aufbauend auf den Ergebnissen durch entsprechende Werkzeugunterstützung den Fachexperten der Verfahrenstechnik die notwendigen verfahrenstechnischen Planungsmodelle rechnerbasiert zur Verfügung stellen zu können. Die Arbeit beschränkt sich jedoch lediglich auf den Beleg, dass eine inhaltliche Betrachtung des Engineeringprozesses nach technischen Gesichtspunkten ein Potential für ein systematisches Verständnis der bestehenden Abhängigkeiten und möglicher Wechselwirkungen und eine entsprechende Unterstützung der Experten bietet [EGGE05]. Zukünftige Arbeiten sollen sich daher mit einer effizienteren Aufzeichnung des gewerkeübergreifenden Engineerings auseinandersetzen. Effizienz in der Aufzeichnung kann durch eine geeignete Methodik und entscheidungsunterstützende Kriterien für die Notwendigkeit der detaillierten Abbildung von Aktivitäten erreicht werden [EGGE05].

Rechnerbasierte Unterstützung von Arbeitsabläufen

Die Arbeitsabläufe in der Anlagenplanung sollen auch durch die Arbeiten von Libuda optimiert werden [LIB+11]. Im Rahmen der notwendigen Prozessmodellierung unterscheidet er zwischen drei Ebenen, der Workflow Ebene, der Engineering-Datenebene und einer Engineering-Serviceebene, dies ist in Abb. 3-6 abgebildet. Die Workflowebene dient der automatischen Generierung von Arbeitsabläufen für Dokumentationen, Zertifizierungen und Schulung neuer Mitarbeiter. Über die Engineeringdatenebene kann die Kommunikation abgebildet werden, Veränderungen und Fortschritt der Arbeiten können auf dieser Basis visualisiert werden. Ein vereinheitlichter Zugriff wird durch die

Service Ebene realisiert, durch eine Schnittstelle kann auf Daten, Dokumente und Applikationen zugegriffen werden.

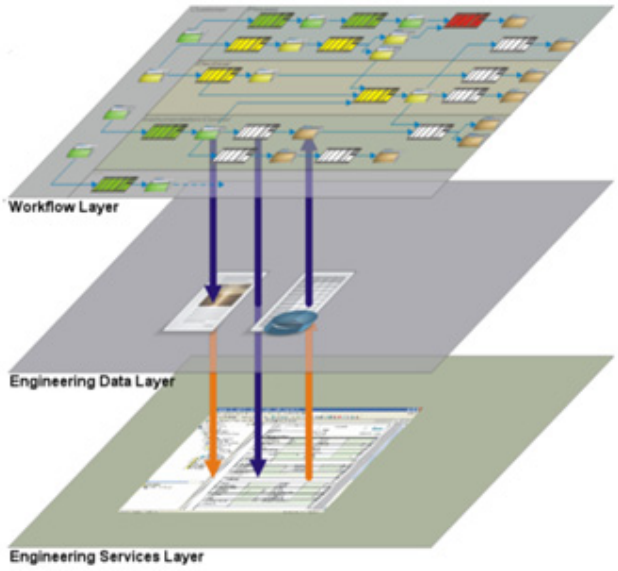


Abb. 3-6 Ebenen der Prozessmodellierung nach Libuda[LIBU10]

Ähnlich der rechnerbasierten Bereitstellung von verfahrenstechnischen Planungsmodellen im Engineering [Egge05], verfolgt Libuda die unterstützende Bereitstellung von spezifischen Modellen, jedoch für alle beteiligten Gewerke, für die jeweils notwendigen Arbeitsschritte. Für das jeweilige Projekt werden die entsprechenden Arbeitsschritte auf der Workflowebene ausgewählt, diese werden mit den passenden Modellen versorgt.

Bei der Wahl des Beschreibungsmittels für das Engineeringprozessmodell wird auf bestehende Konzepte der Prozessmodellierung aufgebaut. Wesentliche Anforderungen sind die explizite Darstellung der Resultate und deren Reifegrade im Prozess, da die Dokumente und Datenmodelle Kern der Werkzeugunterstützung sind [LIBU10].

Abb. 3-7 Modellierung nach Libuda

Im Rahmen der Prozessmodellierung soll die bestehende Erfahrung der Experten bezüglich des Ablaufs von unterschiedlichen Anlagenbauprojekten dokumentiert werden. Aus den modellierten Prozessen heraus sollen dann generische Aufgaben mit den hierfür notwendigen Dokumenten und Modellen identifiziert werden. Für nachfolgende gleichartige Projekte können dann anhand von Auswahllisten die entsprechenden Lösungsbausteine, die zuvor erfasst wurden, bereitgestellt werden.

Die Arbeiten fokussieren auf eine spätere rechnerbasierte Unterstützung von Engineering-Prozessen, eine Betrachtung der technischen Zusammenhänge zwischen den ausgetauschten Informationen über die Planungsobjekte findet nur bedingt statt. Der Fokus liegt auf der Bereitstellung der notwendigen Objekte als Informationssammler. Der weiteren inhaltlichen Durchdringung wird im Rahmen

der Arbeiten ein Potential für ein systematisches Verständnis und eine nachfolgende Optimierung zugesprochen. Diesem Potential wird jedoch in [LIB+11] nicht nachgegangen.

Planungsassistenzsystem für eine gewerkeübergreifende Risikominimierung im Engineering

Ein Planungsassistenzsystem zur Risikominimierung im gewerkeübergreifenden Informationsaustausch in Anlagenprojekten wird in den Arbeiten von Sokolov beschrieben [SOK+12; SOK+11]. Ziel der Arbeiten ist die Bereitstellung eines Planungsassistenzsystems, *PASS* genannt, das durch Vergleich mit bekannten Aktivitäten eine Risikoabsicherung von durchzuführenden Planungsprojekten bieten soll. Das System soll dabei vor möglichen Fehlplanungen und Fehlern bei Auslegungen der Betriebsmittel schützen.

In der Modellierung zur Prozesserfassung werden die einzelnen Aktivitäten sowie mögliche Iterationen aufgezeichnet. Im ersten Schritt erfolgt die Aufzeichnung in einem gewerkeübergreifenden Prozessmodell, wobei die einzelnen Schritte als abgeschlossen innerhalb eines Gewerks betrachtet werden. Anschließend wird der Prozess weiter ausdetailliert, so dass auch Abläufe innerhalb der Gewerke aufgezeichnet werden können. Die einzelnen modellierten Engineering-Aktivitäten werden durch eine eindeutige Markierung gekennzeichnet. Diese Markierung ermöglicht den Vergleich und die Erkennung von gleichen Aktivitäten. Das Markierungssystem wird *EAKS* genannt. EAKS steht für Engineering-Aufgaben-Kennzeichnungssystem. Diese Art der Beschreibung entspricht auch dem Vorgehen des domänenübergreifenden Standards eCl@ass. eCl@ass wird zur Klassifizierung von Produkten und Dienstleistungen verwendet und ist in [HEP+07] beschrieben.

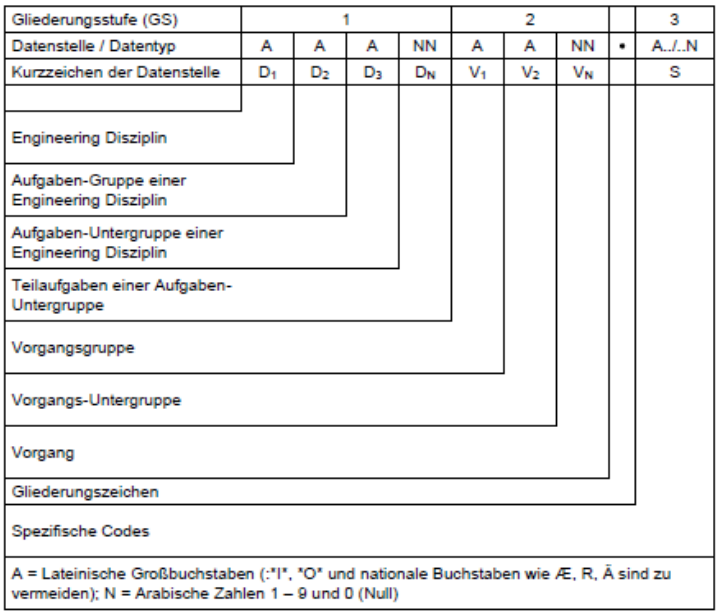


Abb. 3-8 Aufgabenkennzeichnungssystem EAKS nach Sokolov[SOK+11]

Die Kennzeichnungssystematik sieht drei Gliederungsstufen (GS) vor, in denen die einzelnen Merkmalsausprägungen dokumentiert werden können, diese Stufen beschreiben die Disziplin, den Vorgang und einen jeweils spezifischen Code, vgl. Abb. 3-8. Bei der erneuten Planung von Anlagenprojekten kann diese nun unterstützt durch die Kennzeichnungssystematik durchgeführt werden. Gleiche Aktivitäten können so durch Abgleich mit bekannten Aktivitäten anhand der Merkmalsbeschreibung identifiziert werden. Die Identifikation erlaubt einen Vergleich mit dem erfassten Expertenwissen. Im Ergebnis stellt das Planungsassistenzsystem dann aus dem erfassten Wissen mögliche Informationen

zur Lösung der Aktivität zur Verfügung, um so das Risiko zu minimieren [SOK+11]. Um die Funktionen nutzen zu können, muss die bisherige Planungsweise der Tätigkeiten durch das System ergänzt oder ersetzt werden [SOK+12].

Alle beschriebenen Arbeiten zur Prozesserfassung im Engineering automatisierter Anlagen erfüllen die bereits 1985 aufgestellten Anforderungen an die Beschreibung von Engineeringprozessen [MOST85], wobei jeweils unterschiedliche Ziele damit verfolgt werden. Allen Ansätzen mangelt es jedoch an adäquaten Vorgehensweisen für eine effiziente Erfassung des Prozesses. Weiterhin findet eine gezielte Fokussierung auf die mit dem Prozess verknüpften technischen Zusammenhänge zwischen den Gewerken nur begrenzt statt. Nachfolgend wird das Workflowmining vorgestellt, dieses adressiert eine inhaltliche Durchdringung von Aktivitäten und Resultaten in Prozessen auf die einzelnen ausgetauschten Merkmale und die hierdurch resultierenden Zusammenhänge.

3.3 Workflow Mining

Geschäftsprozesse werden heute typischerweise durch entsprechende Workflow-Management-Systeme unterstützt, die den Dokumentenaustausch und Fluss der Bearbeitung entsprechend der vorgegebenen Geschäftsprozesse aussteuern. Ein klassisches Beispiel für einen Geschäftsprozess ist die Bearbeitung von Urlaubsanträgen innerhalb eines Unternehmens. Die Unterstützungssysteme für diese Prozesse bieten entsprechende Modellierungsmöglichkeiten zur Abbildung der Ablaufstruktur an [AAL+04]. Aufbauend auf diesen Systemen kann eine Beobachtung der unterstützten Arbeitsabläufe stattfinden. Weiterhin können entsprechende Suchen nach wiederkehrenden Mustern angewendet werden: dies wird als Workflowmining bezeichnet. Abb. 3-9 beschreibt den grundsätzlichen Aufbau der Workflowminingsysteme. Die Kombination der generellen Prozessabbildung, sowie die Nutzung der aufgezeichneten Nutzungsereignisse erlaubt eine erweiterte Untersuchung.

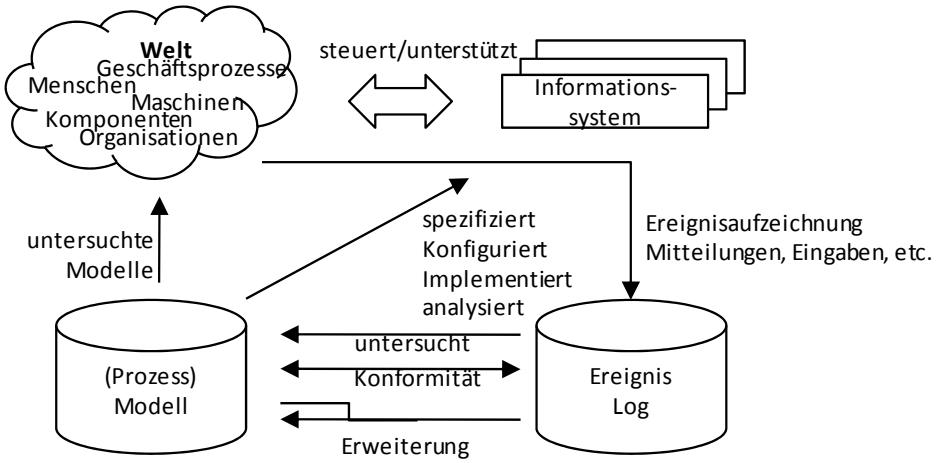


Abb. 3-9 Referenzarchitektur des Wokflowminings [Aal+10]

Ziel der Forschung ist insbesondere die Identifikation von wiederkehrenden Ablaufketten. Für die Identifikation werden die durch das System dokumentierten Zugriffe und Ablagevorgänge untersucht. Die Forschung fokussiert hier insbesondere auf die Entwicklung entsprechender Algorithmen [AAL+10;AAL+04]. Bei den Algorithmen kann zwischen folgende Arten der Untersuchung unterschieden werden: Prozessuntersuchung, Konformitätsprüfung und Erweiterung. Bei der Prozessuntersuchung wird basierend auf Aufzeichnungen der Prozess erstmalig erfasst, ohne vorherige Prozesskenntnis. Bei der Konformitätsüberprüfung wird überprüft, inwieweit die definierten Abläufe ange-

wendet werden, bzw. ob und wo es Abweichungen durch die Bediener gibt. Bei der Erweiterung wird ein bestehender Ablauf mit zusätzlichen Ausprägungen, bezüglich der ausgetauschten Informationen, ergänzt [AAL+10]. Diese Aspekte werden heute von einer Vielzahl von Werkzeugen für Geschäftsprozesse abgedeckt [TUR+12].

Ein Ansatz, der partiell über die reine Aufzeichnung von Vorkommnissen hinausgeht, ist in der Arbeit von Schimm zu finden [SCHI04]. In der Arbeit wird ein Werkzeug zur Aufzeichnung vorgestellt. Über diese Aufzeichnung hinweg können die einzelnen Dokumente und Modelle gegenüber der Veränderung zum Ausgangsstand systematisch verglichen werden, um für zukünftige gleiche Zugriffe eine umfassendere Anreicherung von Informationen im Prozessablauf zu erreichen.

Das Workflowmining ist jedoch außerordentlich auf die eindeutige Rechnerinterpretierbarkeit von Daten angewiesen. Die Algorithmen werten nur explizit vorhandene Informationen und Eigenschaften aus. Im Engineering werden jedoch viele Entscheidungen der Gewerke durch Abstraktion von Eigenschaften einzelner Modelle getroffen. Diese Entscheidungsrationalen werden meist nicht dokumentiert, sondern nur die Ergebnisse. In Konsequenz sind die Zusammenhänge, die gebildet wurden, meist nicht explizit in den unterstützenden Werkzeugen dokumentiert und nur Ergebnisstände abgelegt.

3.4 Analyse und Modellierung von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen im Engineering automatisierter technischer Systeme

Um die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen gleichartigen sowie verschiedenartigen Entitäten darzustellen, wird oftmals auf Matrizen zurückgegriffen [LIN+08]. Entitäten können unter anderem Begriffe, Personen, Gruppen, Organisationseinheiten, technische Objekte oder Merkmale von Funktionen oder Prozesse sein. Durch entsprechende Markierungen können die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen systematisch dargestellt und analysiert werden, dabei erlauben Matrizen eine formale Abbildung der objektiven und subjektiven Zusammenhänge [DANB07; SITW11; WALT01]. Die systematische Untersuchung und das Nachvollziehen dieser Abhängigkeiten stellen einen wesentlichen Hebel zur Beherrschung der Komplexität dar, so dass die entsprechenden Abhängigkeiten gezielt berücksichtigt werden können [DANB07]. Heute werden diese Ansätze insbesondere im Kontext der Entwicklung von technischen Produkten eingesetzt, wie die nachfolgend beschriebenen Methoden darstellen. Die Methoden ergänzen die bisher angewandten mathematischen Modellierungs- und Simulationsverfahren um Aspekte, die über Gleichungssysteme hinaus gehen. Veränderungen innerhalb des Systems sowie äußere Einflüsse auf das System lassen sich hierbei untersuchen [WALT01].

3.4.1 FMEA und Prozess-FMEA

Die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse, *FMEA,* ist eine durch DIN EN 60812 [60812] beschriebene Methodik zur Identifikation von möglichen Fehlern, deren Auswirkungen und der Definition von geeigneten Gegenmaßnahmen. Es gibt mehrere klassische Anwendungsbereiche für die FMEA, dies sind die Konstruktions-FMEA, bei der einzelne wesentliche Elemente einer Konstruktion bewertet werden, die Prozess-FMEA, bei der die einzelnen Fertigungsschritte eines Produktes bewertet werden, und die System-FMEA, bei der ein Gesamtsystem bewertet werden soll. Alle Varianten der FMEA können in unterschiedlichen Phasen des Engineeringprozess, mit abnehmendem Grad der Beeinflussung der späteren Qualität, vom Entwurf bis zum finalen Produkt angewendet werden.

Das Vorgehen ist bei allen drei Varianten der FMEA dasselbe. In moderierten Workshops wird in gemischten Gruppen mit den beteiligten Entwicklern das Fehlerrisiko identifiziert und bewertet. Im Rahmen der Bewertung wird die sogenannte Risikoprioritätszahl (*RPZ*) ermittelt. Die RPZ ist definiert durch das Produkt aus Bedeutung, Auftretenswahrscheinlichkeit und Entdeckungswahrscheinlichkeit. Zu diesem Zweck werden alle drei Indikatoren auf einer Skala von eins bis zehn bewertet, wobei zehn die maximale Ausprägung darstellt. Um nun gezielt Risiken zu begegnen, kann anhand der RPZ ein Schwellwert definiert werden, oberhalb dessen entsprechende Maßnahmen für eine Risikominimierung ergriffen werden sollen. Diese Maßnahmen zur Minimierung des Risikos werden ebenfalls in der Gruppe moderiert identifiziert und definiert. Die Wirkung der Maßnahmen kann anschließend anhand der gleichen Kennzahlen bewertet werden, um so eine entsprechende Risikominimierung festzustellen. Zur Überprüfung der Wirkung müssen die Maßnahmen anschließend entsprechend nachverfolgt werden.

Die FMEA stützt sich im Wesentlichen auf die Erfahrung und Kreativität der beteiligten Experten, nur die Beurteilung findet formalisiert statt. Betrachtungsgegenstand der FMEA ist nicht das gewerkeübergreifende Engineering als Vorgehen, sondern das technische Objekt, mit besonderem Fokus auf das Produktgeschäft, und nicht das Engineering automatisierter Anlagen.

3.4.2 DeCoDe – Anforderungsgerechtes Design technischer Systeme

Eine Methodik zum anforderungsgerechten Design technischer Systeme wurde durch Sitte und Winzer entwickelt: Demand Compliant Design, kurz *DeCoDe*. Aufbauend auf der Anforderungserhebung für das zu gestaltende technische System soll der Lösungsraum systematisch eingegrenzt werden und der gesamte Systementwurf durchgängig unterstützt werden [SITW07]. Mittels DeCoDe werden die Abhängigkeiten, die beim Entwurf eines technischen Systems entstehen, durch die begleitende Beschreibung des Systems modelliert. Die Modellierung berücksichtigt hierbei die Abhängigkeiten zwischen Anforderungen, Funktionen und Komponenten sowie der herstellenden und durch das spätere technische System realisierten Prozesse. Das durch DeCoDe entstehende Modell erlaubt dabei eine entsprechende Untersuchung der einzelnen entstehenden Beziehungen. Ziel ist, bereits in frühen Phasen der Entwicklung Wechselwirkungen und daraus resultierende Zielkonflikte aufzuzeigen [SCHW09B]. Das Gesamtsystem der Modellierung ist in Abb. 3-10 abgebildet.

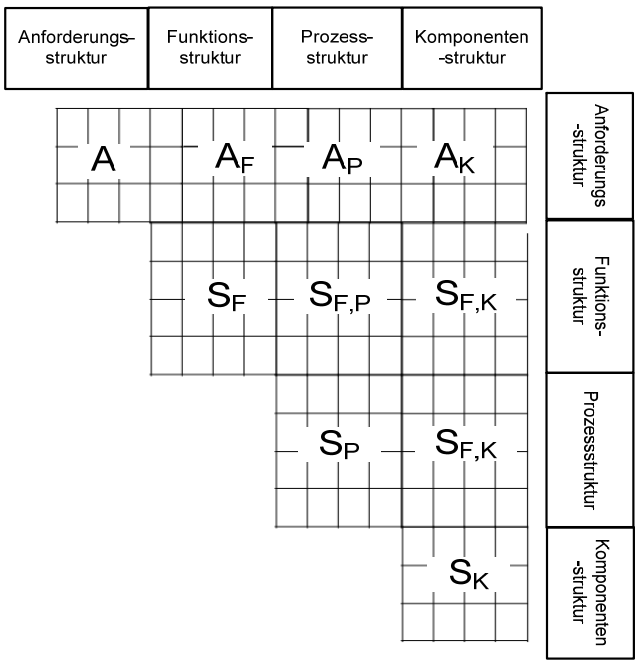


Abb. 3-10 DeCoDe Grundmodell [SCHW09B]

In der Anforderungsmatrix A werden zu Beginn der Modellierung alle Anforderungen an das zu erstellende technische System erfasst und priorisiert. Durch die Anordnung in einer Matrix können die Abhängigkeiten und Widersprüche zwischen den Anforderungen entsprechend erfasst und dargestellt werden. Die Wechselwirkungen zwischen den Anforderungen und dem zu realisierenden System, dessen Komponenten und Funktionen sowie den Herstellungsprozessen, werden in den Matrizen A_F, A_P, A_K erfasst.

Die internen Abhängigkeiten zwischen Komponenten, insbesondere bedingt durch Material-, Energie- und Informationsflüsse, sind in der Matrix S_K abgebildet. Die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Funktionen, die sich einerseits gegenseitig beeinflussen, andererseits Nebeneffekte wie Reibung verursachen, sind in der Matrix S_F modelliert. Die einzelnen Herstellungsprozesse und Prozesse des Systems, im Wechselspiel miteinander über den Lebenszyklus, sind in der Matrix S_P abgebildet.

Die Zuordnung von Komponenten zu Funktionen erfolgt in der Komponenten-Funktions-Matrix ($S_{F,K}$), üblicherweise werden mehrere Komponenten einer Funktion zugewiesen, im Rahmen der Zuordnung können auch weitere Funktionen beeinflusst oder notwendig werden. In der Funktions-Prozess-Matrix werden die zu realisierenden Prozesse und Funktionen zueinander geordnet. In der Komponenten-Prozess-Matrix ($S_{P,K}$) hingegen werden die Ein- und Auswirkungen unterschiedlicher Herstellungsverfahren auf die Komponenten berücksichtigt sowie deren Auswirkung auf die nachgelagerten Phasen des Systemlebenszyklus nach dem Entwurf.

Um das Modellierungskonzept in die praktische Anwendung zu transferieren, erfolgte in den Arbeiten von Ott [OTT09] eine entsprechende Evaluierung. Aufbauend auf dem Vorgehensmodell der *VDI 2206 Entwurf mechatronischer Systeme* (vgl. Abschnitt 2.2), wurde dieser Entwurf entsprechend der Modellierung mittels DeCoDe nachvollzogen. Ergebnis ist das Doppelzyklus genannte Vorgehen, dies ist in Abb. 3-11 abgebildet. Es konnte herausgestellt werden, das DeCoDe im Sinne der Vorgehenssystematik durchgängig konsistent verwendet werden kann, ohne in den einzelnen Phasen neue Modelle anfertigen zu müssen. Ott bezeichnet das Modell daher auch als Wissensfundus für das Engineering technischer Systeme [OTT09].

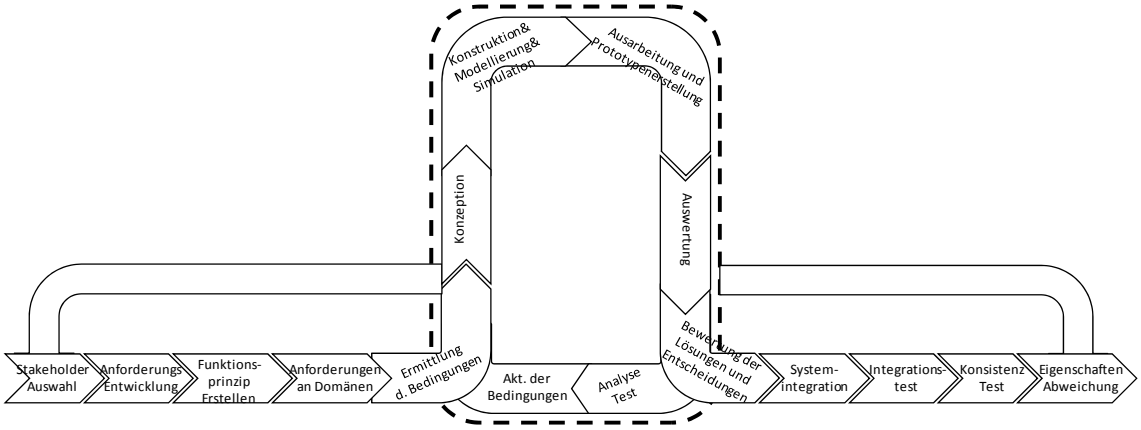


Abb. 3-11 Doppelzyklus nach Ott [OTT09]

Durch die Beziehungsbildung im Modell sind in diesem implizit Informationen enthalten, die Auskunft über die Abfolge der einzelnen Entwicklungsschritte liefern, ein konkretes Kriterienschema wird jedoch nicht vorgeschlagen. Ebenfalls wird keine Identifikationsstrategie für technische Abhängigkeiten und mögliche resultierende Wechselwirkungen entwickelt [OTT09].

Sowohl Ott [OTT09], als auch Sitte und Winzer stellen aktuell fest, dass die Anwendung von DeCoDe einen Mehrwert für das Engineering darstellen kann. Jedoch stellen die Autoren, durch die parallelen Modellierungen und Dokumentationen neben der gewerkespezifischen Arbeit, ebenfalls einen hohen Mehraufwand fest. Weiterhin bedarf es für DeCoDe einer entsprechenden Werkzeugunterstützung, die heute nur rudimentär vorhanden ist [SITW11]. Die inhaltliche Untersuchung des Engineerings findet anhand des technischen Objektes statt. Der Erstellungsprozess und die durch diesen verursachten technischen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen Gewerken werden nur bedingt identifiziert. Die Untersuchung des prozessualen Zusammenwirkens wird insbesondere durch die Vermischung von Gestaltungsschritten im Engineering und Herstellungsschritten in Errichtung und Produktion in den prozessualen Matrizen signifikant erschwert.

3.4.3 Modellierung mittels Design-Structure-Matrizen

Die Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Domänen werden mit den einzelnen Abhängigkeitsmatrizen aus dem Forschungsumfeld der Design-Structure-Matrizen *DSM* beschrieben. Hierbei beschreibt eine Matrix immer genau eine entsprechende Domäne. Der Begriff Domäne wird im Kontext der Methodik unter anderem für Teilsysteme, unterschiedliche Sichten auf ein System, Gruppen, Aktivitäten oder Gewerke verwendet. Je nach Autor und Forschergruppe werden auch die Begriffe *dependency structure matrix, dependency source matrix, dependency map, interaction matrix, incidence matrix und precedence matrix* verwendet [BROW01]. Erstmals beschrieben wurde die DSM-Methode 1967 von Donald V. Steward [STEW67]. Insbesondere in den letzten zehn Jahren ist es wiederum zu einer verstärkten Auseinandersetzung und Weiterentwicklung der einzelnen Methodenteile gekommen. So findet jährlich die DSM-Konferenz, rund um Methodenweiterentwicklung und Anwendung, statt. Mittels DSM können sowohl statische Aufbaustrukturen als auch dynamische Abläufe erfasst, visualisiert und optimiert werden. Die Zusammenhänge zwischen zwei Domänen können durch die erweiterten Methoden der Domain Mapping Matrix(*DMM*, Abschnitt 3.4.3.2) erfasst werden [DANB01A; DANB01B]. Ganze Systeme und unterschiedlichste Sichten auf diese können durch Multi-Domain-Matrizen (*MDM*, Abschnitt 3.4.3.3) beschrieben werden

[MAUR07]. Diese einzelnen Methoden sowie die sich durch die Anwendung jeweils eröffnenden Möglichkeiten werden nachfolgend vorgestellt.

3.4.3.1 DSM – Design/Dependency-Strucutre-Matrizen

In der quadratischen Design-Structure-Matrix (DSM) werden die Abhängigkeiten zwischen mehreren Elementen einer Domäne ausgedrückt. Dies kann beispielsweise die Abbildung der Abfolge von Aktivitäten sein, oder die Hierarchie zwischen einzelnen Personen in einer Organisation. Die Richtung der Abhängigkeit wird durch die Lage der jeweiligen Markierung in der Matrix ausgedrückt. So werden die von einem Element abhängigen Elemente oberhalb der Hauptdiagonalen der Matrix markiert, die Elemente von denen ein Element abhängig ist unterhalb der Diagonalen. Da dies je nach Autor auch umgekehrt der Fall sein kann, ist in der Abb. 3-12 für eine vereinfachte Nachvollziehbarkeit eine entsprechende Markierung der Leserichtung mit einem Pfeil oberhalb der Hauptdiagonalen aufgenommen worden.

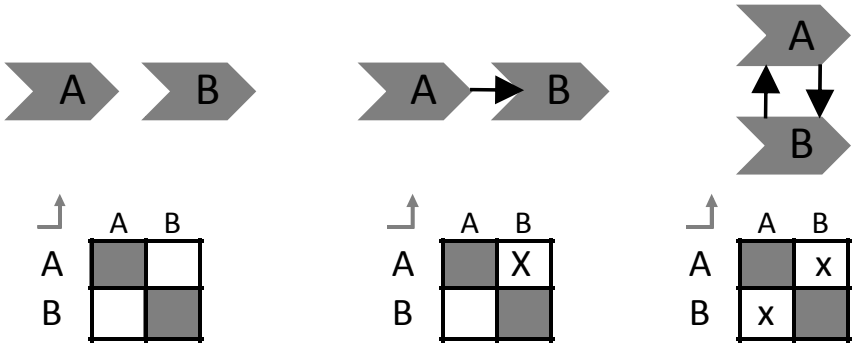


Abb. 3-12 Mögliche Markierungen einer binären DSM

Die DSM, die in der Mitte abgebildet ist, stellt die Abfolge von A nach B dar. Die rechte DSM stellt die vorwärtige und rückwärtige Beziehung zwischen A und B dar. Würde nur eine rückwärtige Beziehung bestehen, so würde die Markierung oberhalb der Hauptdiagonalen entfallen.

Je nach betrachteter Domäne kann zwischen statischen und zeitbasierten, dynamischen DSMs unterschieden werden [BROW01]. In statischen DSM können unterschiedliche Arten an Strukturen, wie zum Beispiel Komponentenstrukturen oder Organisationsstrukturen, modelliert werden. In zeitbasierten DSMs hingegen können Abfolgen dokumentiert werden. So können bei den Abfolgen sowohl Vorwärts-Beziehungen als auch Rückmeldungen modelliert werden. Durch Abbildung von Rückmeldungen können Iterationsschleifen abgebildet werden.

Die abgebildeten Domänen können anschließend anhand der Matrizen systematisch optimiert werden. Im Fall der statischen DSMs geschieht dies insbesondere durch das Clustern der Beziehungen. Beim Clustern wird versucht, eine Gruppe von Elementen mit einer großen Anzahl an Beziehungen untereinander zu identifizieren, die nur geringe Beziehung zu den restlichen Elementen bzw. weiteren Gruppen besitzt [DANB07]. Ein Anwendungsbeispiel für die Identifikation von entsprechenden technischen Modulen im Kontext der Anlagenautomation ist in [WEY+11A] beschrieben.

Eine Optimierung von zeitbasierten, dynamischen DSMs fokussiert auf einen möglichst Iterationsfreien Ablauf von Aktivitäten. Iterationsfreiheit kann auch die parallele Bearbeitung mehrerer Schritte bedeuten. Das Ziel ist daher das Auffinden der optimalen Ablaufsequenz. Optimale Ablaufsequenzen innerhalb einer DSM entsprechen Markierungen direkt entlang der Hauptdiagonalen, wodurch Sprünge und Schleifen ausgeschlossen sind. Dieser Zustand kann durch verschieben von Zeilen er-

reicht werden. Mögliche zuvor bestehende Rückmeldungen müssen systematisch geprüft werden, da diese durch die Modellierung identifiziert wurden [BROW01].

Über die binäre Markierung in den Matrizen hinaus gibt es alternative Ansätze, die Beziehungen durch Verwendung von Ziffern zu gewichten. So ist durch Steward [STEW81] die Verwendung von Kennziffern für die Wichtigkeit von Informationen vorgeschlagen worden. Eine Anwendung anhand zeitbasierter DSM wurde von Browning und Eppinger für die Modellierung der Auswirkungen von Prozessstrukturen auf Kosten und Risiken in der Produktentwicklung vorgeschlagen [BROE02]. Die Stärke der Abhängigkeiten wird hierbei durch die beteiligten Fachexperten bewertet. Diese Bewertungen werden dann zur Optimierung in eine DSM übertragen. In der Optimierung wird das Ziel verfolgt, eine möglichst geringe Gesamtsumme unterhalb der Hauptdiagonalen durch entsprechende Sortierung zu erreichen. Die geringe Gesamtsumme ist ein entsprechender Indikator für die Risikominimierung, da eine minimal mögliche Menge an rückwärtigen Beziehungen erreicht werden kann. Eine Alternative stellt die Berücksichtigung der Wiederholwahrscheinlichkeit als Markierung dar. Auf dieser Bewertung aufbauend können die einzelnen Iterationsschleifen sensitiver berücksichtigt werden, da diese so entsprechende Wertigkeiten erhalten [BROE02].

Die generelle Anwendbarkeit der DSM wurde in den unterschiedlichsten Anwendungsfällen bereits demonstriert und bestätigt: Für Entscheidungen zur Aufteilung von Engineeringaufgaben [SHU+06], die Abschätzung der Auswirkung von Änderungen von Designentscheidungen an technischen Systemen [CLA+04] sowie viele mehr, dies ist in [BROW01] und [LIN+08] umfassend gesammelt werden. Ein generelles Rahmenwerk für das Engineering automatisierter Anlagen ist in [KIS+10]beschrieben (da hier MDM verwendet werden erfolgt die Beschreibung in 3.4.3.3). Eine konkrete Anwendung im Kontext der Modularisierung automatisierter Anlagen ist in [WEY+11A] beschrieben.

3.4.3.2 DMM – Domain-Mapping-Matrizen

Um die Beziehungen zwischen mehr als einer Domäne zu beschreiben wurden die sogenannten Domain-Mapping-Matrizen von Danilovic und Börjesson eingeführt [DANB01A; DANB01B]. Durch entsprechende Markierung werden die Beziehungen zwischen zwei Domänen innerhalb einer Matrix beschrieben. In Abb. 3-13 werden Aufgaben Personen zugeordnet. Die Abfolge der Aufgaben kann, wie zuvor beschrieben, durch eine entsprechende DSM abgebildet werden.

	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Aufgabe 6
Person 1	x				x	
Person 2		x				
Person 3			x			x
Person 4				x		

Abb. 3-13 Domain Mapping Matrix - DMM

Die DMM wird als formale Erweiterung der DSM-Methodik verstanden [LIN+08]. DMM können in der Analyse dafür genutzt werden, einzelne Domänen zueinander in Beziehung zu setzen, wie beispielsweise Aufgaben einzelnen Personen zuzuordnen. In Abb. 3-13 ist dies geschehen, hierbei wurde zusätzlich die Abfolge der Aufgaben mit berücksichtigt. Diese Abfolge kann einer entsprechenden DSM

(vgl. Abschnitt 3.4.3.1 und 3-15) entnommen werden, Abb. 3-14 stellt das Gesamtsystem mit Personen und Aufgabenfolge dar.

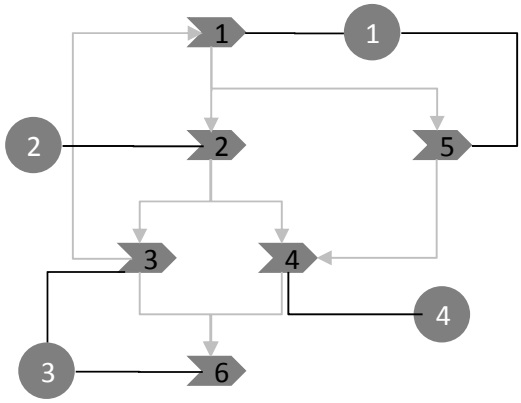


Abb. 3-14 Zuordnung von Personen zu Aufgaben

Weiterhin kann durch die Verwendung von DMM die Beziehung zwischen den entsprechenden DSMs hergestellt werden. Optimierungsansätze, wie bei der DSM, sind jedoch kaum vorhanden [LIN+08]. Einen Zugewinn in der Analyse von Systemen wird mittels DMM im Kontext von MDM erreicht, diese werden nachfolgend erläutert.

3.4.3.3 MDM – Multi-Domain-Matrizen

Aufbauend auf der Beziehungsbildung zwischen zwei Domänen, mittels der Verwendung von DMMs, können sogenannte Multi-Domain-Matrizen (*MDM*) erarbeitet werden. Die Beschreibungsform der MDM und die sich hieraus ergebende Möglichkeiten wurden umfassend von Maurer erforscht [MAUR07]. In Abb. 3-15 ist eine entsprechende Darstellung gegeben.

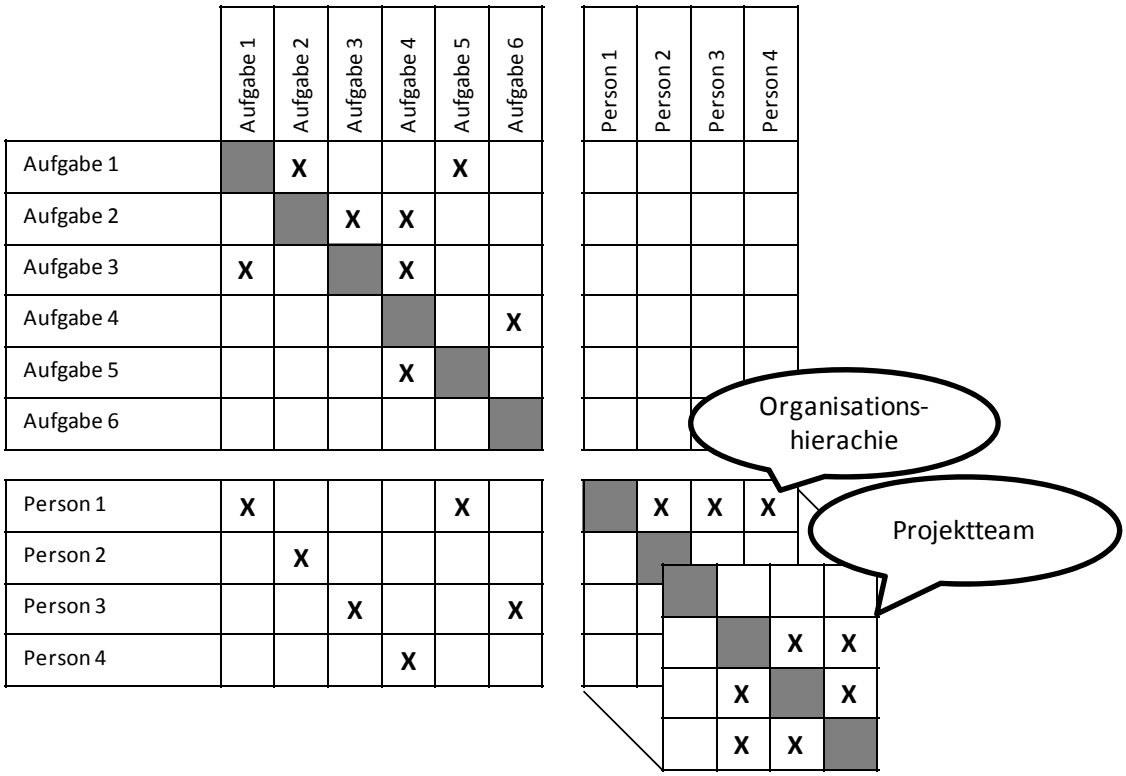


Abb. 3-15 Multi Domain Matrix nach [MAUR07]

Die MDM ermöglicht die Abbildung unterschiedlicher Beziehungen zwischen gleichen sowie verschiedenartigen Elementen eines oder mehrerer Systeme in einem Modell. Entlang der Hauptdiagonalen werden die einzelnen DSM nacheinander angeordnet. Exemplarisch wird das eingeführte Beispiel aus den vorherigen Kapiteln 3.4.3.1 und 3.4.3.2 fortgeführt. Hierzu wurden in der abgebildeten MDM die Aufgaben-DSM und die Personen-DSM entlang der Mitteldiagonalen aufgereiht. Zwischen den einzelnen quadratischen DSMs können die entsprechenden DMM modelliert werden, im Beispiel welche Person gehört zu welcher Aufgabe (vgl. Abb. 3-13). Da das methodische Rahmenwerk der DSM vorsieht, dass innerhalb der einzelnen Matrizen jeweils auf Abhängigkeitsart fokussiert wird, schlägt Maurer vor, dass auch mehrere DSM oder DMM an einer Stelle stehen können [MAUR07]. So kann neben der Abbildung der Organisationshierachie zwischen Personen in einer DSM ebenfalls eine DSM zwischen den gleichen Personen die mögliche Teambildung innerhalb eines Projektes darstellen. In der Abb. 3-15 ist ergänzend eine DSM enthalten, die ein entsprechendes Team impliziert. Die mit Projektteam überschriebene DSM unterstellt sowohl vorwärtige, als auch rückwärtige Beziehungen zwischen den Personen2, 3 und 4 dar, diese starke Zusammengehörigkeit der drei kann ein Team aufzeigen, umgekehrt bestehet zu der Person Personen 1 keine derartigen Beziehung.

Es ist nicht wesentlich, alle möglichen Matrizen innerhalb einer MDM zu modellieren. Die besondere Möglichkeit, die sich durch die MDM eröffnet, ist, dass, basierend auf den vorhandenen, bekannten Beziehungen, weitere indirekte Abhängigkeiten und Auswirkungen abgeleitet werden können [MAUR07]. Ein Beispiel hierfür kann die in der Abb. 3-16 dargestellte DSM sein. Diese DSM zeigt die Kommunikationsbeziehungen im Kontext der einzelnen Aufgaben zwischen den einzelnen Personen auf. Durch Kenntnis des Aufgabenverlaufs aus der Aufgaben-DSM und der Zugehörigkeit der Aufgaben zu Personen aus der Personen-Aufgaben-DMM können die vorwärtsgerichteten, bzw. rückwärtsge-

richteten Kommunikationsbeziehungen zwischen den Personen identifiziert und in einer entsprechenden DSM abgebildet werden.

	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4
Person 1		x		x
Person 2			x	x
Person 3	x			x
Person 4				

Abb. 3-16 Hergeleitete DSM der Kommunikationsflüsse

Da Aufgabe 3 in Aufgabe 1 aufgegriffen wird, diese jedoch in der Abfolge nach Aufgabe 1 steht, besteht eine rückwärtige Kommunikation zwischen den durchführenden Personen 1 (Aufgabe 1) und Person 3 (Aufgabe 3 auf Basis des Flusses Aufgabe 1 zu Aufgabe 2, vgl. auch Abb. Abb. 3-14). Da die Personen 3 und 4 auf einem Ergebnis von Person 2 arbeiten, ist die Teambildung aus Abb. 3-15 ein Vorteil für die gemeinsame Kommunikation. Insgesamt kann diese hergeleitete DSM zur Überprüfung der Teambildung genutzt werden, Person 1 übergibt Inhalte und bekommt Inhalte aus dem Team zurück, umgekehrt besteht innerhalb des Teams größere Interaktion.

Die Form des MDM-Ansatzes erleichtert die Abbildung von großen und komplexen Systemen, insbesondere dadurch, dass unterschiedliche Sichten auf diese Systeme gebildet werden können. Anschaulich beschrieben wird dies anhand eines Systems mit über 1000 Elementen in [KOR+10]. In der MDM entsteht ein Modell des Gesamtsystems. Lindemann und Maurer bezeichnen die MDM daher auch als eine abstrakte Form der DSM, da ein Gesamtsystem durch die Modellierung einzelner Sichten und der bestehenden Beziehungen innerhalb der Sichten sowie zwischen den Sichten abgebildet wird [LIN+08].

Für die Anwendungsdomäne der Automation wurde eine MDM zur Betrachtung der Gesamtzusammenhänge von automatisierten Anlagen in [KIS+10] erarbeitet. Hierbei werden die mechanische Struktur, die technischen Funktionen, notwendige Variablen, Bausteine der Automatisierungssoftware und die notwendigen Steuerungen entsprechend in Beziehungen zueinander modelliert. In Abb. 3-17 ist dieser Rahmen aufgegriffen und erweitert worden. Entlang der Hauptdiagonalen sind es die Beziehungen innerhalb der einzelnen Domänen, Verbindung der Mechanik (is connected to), Ablauf der Funktionen (is prerequiste for) usw.

row [influences] column	A Mechanical Componentes	B Technical Functions	C Variables	D Software Functions	E Controller Components
A Mechanical Componentes	is connected to	performs	sends signal to	sends input for	is physically connected to
B Technical Functions	is performed by	is prerequisite for	is logically connected to	is implemented trough	is limited by
C Variables	controls	is required for	is dependent of	is required for	is stored on
D Software Functions	controls	is required for	requires	is required for	is running on
E Controller Components	is physically connected to	limits	stores	runs	is connected to

Abb. 3-17 MDM zur Abbildung von Automatisierungssystemen aufbauend auf [KIS+10]

Im Rahmen der Erweiterung des Vorschlags wurden die einzelnen Matrizen hinsichtlich redundanter Aussagen überprüft. Die grau hinterlegten Felder markieren redundante Abhängigkeitsmatrizen, die jeweils die gleiche Beziehung wiedergeben, z.B. mechanische Komponenten führen Funktionen aus (A-B) bzw. Funktionen werden durch mechanische Komponenten ausgeführt (B-A). Diese Aussage gilt immer für die entsprechend grau markierten sich gegenüberliegenden Pärchen.

Die nicht hinterlegten Felder beschreiben jedoch unterschiedliche Beziehungen im Kontext der Funktionen die durch die Automatisierung realisiert werden. Ausgehend von den mechanischen Komponenten werden Signale durch Variablen repräsentiert (A-C), die mechanischen Komponenten sind mittelbar Eingaben für Software Funktionen (A-D). Die Zusammenhänge in der Steuerungsausführung sind in B-C abgebildet. Diese Matrizen beschreiben so die Eingabeseite in einen Steuerungsschritt. Umgekehrt beschreiben die Matrizen unterhalb der Hauptdiagonalen (C-A, C-B, D-A) die Ausgabeseite der Steuerung. Da Eingabe-(Sensor) und Ausgabeseite (Aktor) bei Automatisierungssoftware meistens nicht gleich sind, sind diese Matrizen nicht redundant.

Die in [KIS+10] vorgeschlagene MDM verbindet Komponenten, wie Steuerungen, als auch projektspezifische Aspekte, wie die zu realisierenden technischen Funktionen miteinander. Das Gesamtsystem kann bezüglich der Beziehungen betrachtet werden. Die Abhängigkeiten des Automatisierungssystems können durch die Trennung von Komponenten, Variablen und Funktionen detailliert analysiert werden. Die Abhängigkeiten und mögliche Wechselwirkungen des Engineeringprozesses zwischen den involvierten Gewerken, verursacht durch die notwendige Arbeitsteiligkeit, werden jedoch nicht erfasst.

3.5 Bestehende Herausforderungen zur Identifikation technischer Abhängigkeiten zur Optimierung des gewerkeübergreifenden Engineerings

Die tatsächlichen Tätigkeiten und Entscheidungen der am Engineeringprozess beteiligten Gewerke bei der Erstellung industrieller Anlagen sind heute nur bedingt erforscht. Dies betrifft insbesondere die zu berücksichtigenden technischen Randbedingungen und das eingebrachte Erfahrungswissen der beteiligten Ingenieure. Dies wurde bereits 1994 von Bucciarelli in seinen Erfahrungsbericht festgestellt [BUCC94]. Diese Feststellung, dass das Engineering schwierig zu verstehen, zu beschreiben, zu lehren und auszuüben ist, gilt auch heute noch [LÖW+05; VDI12]. Es besteht jedoch ein deutlicher Wert darin, dieses implizite Wissen explizit zu dokumentieren. So stellen Wagner und Löwen fest, dass signifikante Produktivitätssteigerungen im Engineering durch eine gesamtheitliche Betrachtung des Engineerings, unter Berücksichtigung von strategischen, abwicklungstechnischen und technischen Gesichtspunkten, ermöglicht werden können. Die Analyse dieser Aspekte ist Voraussetzung für die Betrachtung der bestehenden Abhängigkeiten und möglicher Wechselwirkungen. Die explizite Kenntnis bildet die Grundlage zur Auswahl geeigneter Maßnahmen [WAGL10]. Dieser Bedarf wird ebenfalls durch Marquardt [MARN04] bestätigt. Die Herausforderung ist weitreichender, als das sie mittels Datenaustausch oder Integration in Werkzeugen allein gelöst werden kann [MARN04].

Die Arbeiten zur Modellierung des Engineeringprozess zeigen auf, dass durch dieses Vorgehen die einzelnen notwendigen Informationen, kreativen Tätigkeiten und die Entscheidungsrationalen der beteiligten Ingenieure identifiziert und modelliert werden können.

Die Modellierungsergebnisse von Sokolov [SOK+11] bilden die Grundlage, wiederverwendbare Abläufe als Planungsgrundlage für neue Projekte bereitstellen zu können. Bei der Betrachtung der Abläufe findet eine inhaltlich qualitative Auseinandersetzung jedoch nur begrenzt statt. Die Identifikation der Aktivitäten anhand der Merkmalsbeschreibung fokussiert auf die Bearbeitungsfolge und macht diese zum Zweck der Wiederverwendung eindeutig identifizierbar durch Kennzeichnung. Die Vergabe der Kennzeichnung, EAKS genannt, ermöglicht nachfolgend eine erneute Bereitstellung dieser Abläufe.

Eggersmann [EGGE05] hat sich umfassend mit einer inhaltlich geprägten Modellierung von Engineeringprozessen auseinandergesetzt. Die Arbeit belegt die Anwendbarkeit der Prozessmodellierung und den erzielbaren Mehrwehrt für das Engineering verfahrenstechnischer Aspekte. Im Kontext der verfahrenstechnischen Aspekte fokussiert er sich jedoch nur auf ein Gewerk. Auf die grundlegenden Untersuchungen aufbauend wurde eine entsprechende Werkzeugunterstützung zur Bereitstellung von Planungsmodellen im Engineeringprozess skizziert. Als offene Herausforderung beschreibt Eggersmann die Erfassung der Informationsflüsse zwischen allen am Engineering beteiligten Gewerken. Für die Modellierung der Informationsflüsse bedarf es entsprechender Vorgehensweisen und Methoden, um dies effizient zu realisieren.

Die Methoden und Ansätze zur Modellierung von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen (3.4) bieten eine Grundlage, entsprechende Sichten mittels einer einheitlichen Darstellung auf Systeme modellieren zu können. So stellte Walther fest, dass diese Abbildungen eine Grundlage für die Überprüfung von Änderungen am Gesamtsystem bieten können. Die Modellierung ermöglicht eine Bewertung von Ein- und Auswirkungen, auch unscharfe Abhängigkeiten und mögliche Wechselwirkungen werden darstellbar [WALT01]. Die beschriebenen Forschungsergebnisse fokussieren jedoch bisher insbesondere auf das Engineering komplexer Produkte und nicht auf das Engineering automatisierter Anlagen. Die Betrachtung des Engineerings automatisierter Anlagen, über eine reine Abbildung des jeweiligen Projektplans zum Zwecke der Ablaufoptimierung hinaus, findet nicht statt. Im Gegensatz zum Ent-

wurfsvorgehen DeCoDe bieten die Ansätze im Kontext der DSM die Möglichkeit, iterative- und rekursive Zusammenhänge und Abhängigkeiten explizit abzubilden. Insbesondere für die generelle Eignung der mit der DSM verbundenen Methoden besteht eine Vielzahl an Belegen aus der praktischen Anwendung.

Trotzdem bestehen weiterhin Herausforderungen bezüglich der Abbildung von komplexen Zusammenhängen innerhalb von DSM. Maurer stellt in seiner Dissertation fest, dass es an entsprechenden Kriterien fehlt, um mehr qualitative Informationen innerhalb der Matrizen abbilden zu können. Die Integration dieser Kriterien würde einen wesentlichen Potentialhub für die DSM-Methoden bedeuten [MAUR07]. Ergänzend fehlt es an entsprechenden Vorgehensweisen für eine effiziente Erfassung der notwendigen Inhalte und an einer Möglichkeit, diese entsprechend zu beschreiben. Diese Herausforderungen werden zusätzlich durch den großen Umfang der einzelnen Entitäten, die modelliert werden müssen, erschwert [MAUR07]. Es gibt heute keine systematischen Möglichkeiten, durch geeignete Abstraktionen den Modellierungsaufwand gering zu halten und so eine systematische Fokussierung vorzunehmen [LIN+08]. Dieser Forschungsbedarf wurde zuletzt in der DSM-Community nochmals bekräftigt [WHIT11].

Um das gewerkeübergreifende Engineering automatisierter Anlagen hinsichtlich der technischen Abhängigkeiten und möglicher Wechselwirkungen zu durchdringen, besteht demnach weiterhin Forschungsbedarf. Die notwendige Lösung muss in Aufwand und Umfang anpassbar sein, um die wesentlichen kritischen Schnittstellen und Informationen innerhalb des gewerkeübergreifenden Engineerings zu identifizieren. Die umfassende Kenntnis dieser erlaubt eine konsekutive systematische Optimierung des Engineerings.

Es bedarf daher eines geeigneten Vorgehens, geeigneter Identifikationsstrategien und Beschreibungsformen zur Identifikation technischer Risiken anhand von Engineeringprozessen. Die identifizierten Risiken müssen die Grundlage für geeignete konsekutive Maßnahmen zur Optimierung des Engineerings bieten.

Die einzelnen Anforderungen an ein Vorgehen zur Bildung und Modellierung eines entsprechenden Engineeringprozessmodell werden im folgenden Kapitel erläutert.

4 Anforderungen und Randbedingungen an ein Modell des Engineeringprozesses zur Identifikation von technischen Abhängigkeiten und möglichen Wechselwirkungen

Die rahmengebenden Anforderungen an die Erstellung eines geeigneten Lösungskonzeptes zur Identifikation von technischen Abhängigkeiten anhand modellierter Engineeringprozesse werden im folgenden herausgestellt und detailliert beschrieben.

Modell des Engineeringprozesses

Wie in Abschnitt 2 beschrieben, entstehen die Lösungen im Engineering im wechselseitigen Zusammenspiel der beteiligten Gewerke. Für die Nachvollziehbarkeit des Zusammenspiels bedarf es daher eines entsprechenden Modells des Ist-Prozesses. Dieses Modell muss die Besonderheiten des Engineerings entsprechend berücksichtigen (vgl. Abschnitt 3.2 Modellierung des Engineeringprozesses automatisierter Anlagen). Ein wesentliches Kriterium ist die Unterscheidung zwischen den Tätigkeiten und den hieraus entstehenden Resultaten. Bei der Modellierung der Resultate muss darauf geachtet werden, in welcher Form, Art, Reife und Vollständigkeit diese dokumentiert und zwischen den Gewerken ausgetauscht werden. Weiterhin sind entsprechende Eigenschaften zur Beschreibung der Tätigkeiten und Resultate zu definieren.

Die reinen Vorgänger- und Nachfolgerbeziehungen in der Durchführung und Abwicklung von Engineeringprojekten sind bereits heute durch die jeweilige Projektplanung dokumentiert und anhand der zu erwartenden Lösungen beschrieben. Diese bestehenden Dokumentationen müssen Teil eines entsprechenden Modells des Engineeringprozesses sein. Ausgehend von dieser abstrakten Betrachtung muss eine feingranulare Durchdringung ermöglicht werden. Die feingranulare Durchdringung muss eine detaillierte Beschreibung der Schnittstellen zwischen Aktivitäten und ausgetauschten Informationen zwischen den Gewerken ermöglichen. Für ein Modell des Engineeringprozesses bedarf es daher entsprechender Strukturvorgaben für die Modellierungsgranularität. Die Modellierungsgranularität muss so gewählt werden, das eine vertiefende Analyse der bestehenden Abhängigkeiten und Wechselwirkungen ermöglicht wird. Diese Abhängigkeiten und Wechselwirkungen entspringen insbesondere der technischen Spezifität des Engineeringprojekts (vgl. Abschnitt 2.6).

Eindeutige Abbildung von Iterationszyklen

Da das Engineering von Anlagen insbesondere durch Iterationen und kontinuierliche wechselseitige Anreicherung von Merkmalen der technischen Lösung zwischen Gewerken bis zur endgültigen Lösung gekennzeichnet ist, muss diese Merkmale dokumentiert werden und der Lösungsfortschritt eindeutig identifizierbar sein. Eine eindeutige Beschreibung muss die Identifikation von entsprechenden Zyklen ermöglichen. Die Betrachtung dieser Zyklen muss eine Identifikation von möglichen technischen Risiken erlauben.

Inhaltliche Durchdringung des Engineerings bis auf die Ebene technischer Merkmale

Um die Abhängigkeiten und mögliche Wechselwirkungen zwischen einzelnen Merkmalen technischer Objekte zu identifizieren, muss die Entstehung dieser durch die Prozessmodellierung dokumentiert werden. Anhand dieser einzeln erfassten Informationen können so direkt Aussagen zur Abhängigkeit und zu möglichen Wechselwirkungen getroffen werden. Eine derartige Aufbereitung zeigt auf, welche Eigenschaften eines technischen Planungsobjekts tatsächlich für die Durchführung einer nachfolgenden Planungsaufgabe eines Gewerks notwendig sind. Entsprechend ist es zur Erfassung der Abhängigkeiten und Wechselwirkungen nicht unbedingt notwendig, diese innerhalb von Gewerken zu erfas-

sen. Da die Gewerke an den Teillösungen jeweils innerhalb eigener Modellvorstellungen (vgl. Abschnitt 2.4 Gewerkespezifische Modelle- Dokumentation und Austausch von Engineeringergebnissen) arbeiten, liegt der wesentliche Bedarf der inhaltlichen Betrachtung in der Identifikation der ausgetauschten technische Merkmale an den Schnittstellen zwischen den Gewerken im Engineeringprozess.

Fokussierung auf Ausschnitte und generelle Skalierbarkeit der Aufwände

Aufgrund des Umfangs der zu erwartenden Aktivitäten und übergebenen Informationen im gewerkeübergreifenden Engineering und der damit einhergehenden Komplexität bedarf es weiterhin einer Möglichkeit der Fokussierung. Die Fokussierung muss eine frühzeitige Identifikation der detailliert zu modellierenden Aktivitäten erlauben, da eine vollständige Erfassung unnötigen Aufwand verursachen würde. Eine Möglichkeit hierzu kann die Beschreibung der Schnittstellen im Engineeringprozess mittels geeigneter Merkmale sein. Diese Merkmale müssen neben quantitativen Eigenschaften auch qualitative Eigenschaften wiederspiegeln können, die die ausgetauschten Informationen miteinander vergleichbar machen.

Grundlage für die Optimierung des Engineeringprozess

Über die Modellbildung hinaus sollten konkrete Methoden bereitgestellt werden, die eine Optimierung des Engineerings ermöglichen. Diese Maßnahmen sollen das technische Risiko des einzelnen Projektes identifizier- und kontrollierbarer machen. Die möglichen Maßnahmen müssen anhand des Modells überprüf- und nachvollziehbar sein, so dass die Wirksamkeit anhand des Modells überprüft werden kann.

Das Modell muss für alle beteiligten Experten nachvollziehbar und intuitiv verständlich sein. Zusätzlich muss die Arbeit und Optimierung auch ohne Einbindung der Experten stattfinden können.

5 Lösungskonzept – Aufbereitung, Analyse und Optimierung des Engineeringprozesses

Um den in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Herausforderungen im Engineering automatisierter Anlagen zu begegnen, wird im Folgenden ein Lösungskonzept vorgestellt. Ziel des Konzeptes ist die Optimierung des gewerkeübergreifenden Engineerings automatisierter Anlagen durch Identifikation der technischen Abhängigkeiten und möglicher Wechselwirkungen. Das Konzept umfasst drei Phasen: die systematische Aufbereitung und Erfassung des Engineeringprozesses zur Bildung eines umfassenden Modells (Kapitel 5.2), den Aufbau eines systematischen Verständnisses der technischen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen auf Basis dieses Modells (Kapitel 5.3) sowie auf dem Modell basierende konsekutive Maßnahmen zur Optimierung des Engineeringprozesses (Kapitel 5.4). Eine bildliche Übersicht dieser Schritte zeigt Abb. 5-1. Durch das Lösungskonzept wird ein systematischer Zugang zu den organisatorischen, aber insbesondere auch technischen Gesichtspunkten ermöglicht, so dass die existierenden vielfältigen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen im Engineering berücksichtigt werden. Dieses Konzept folgt den Forderungen an eine signifikante Produktivitätssteigerung im Engineering von Anlagen beschrieben in [BUCC94B]. Das Konzept wird ebenfalls den Anforderungen von Pinto an das Engineering Management gerecht [PINT]. Diese Anforderungen an eine Transparenz der vielfältigen Wechselwirkungen im Engineering wurden im Editorial der IEEE Transactions on Engineering Management artikuliert[RUBE04].

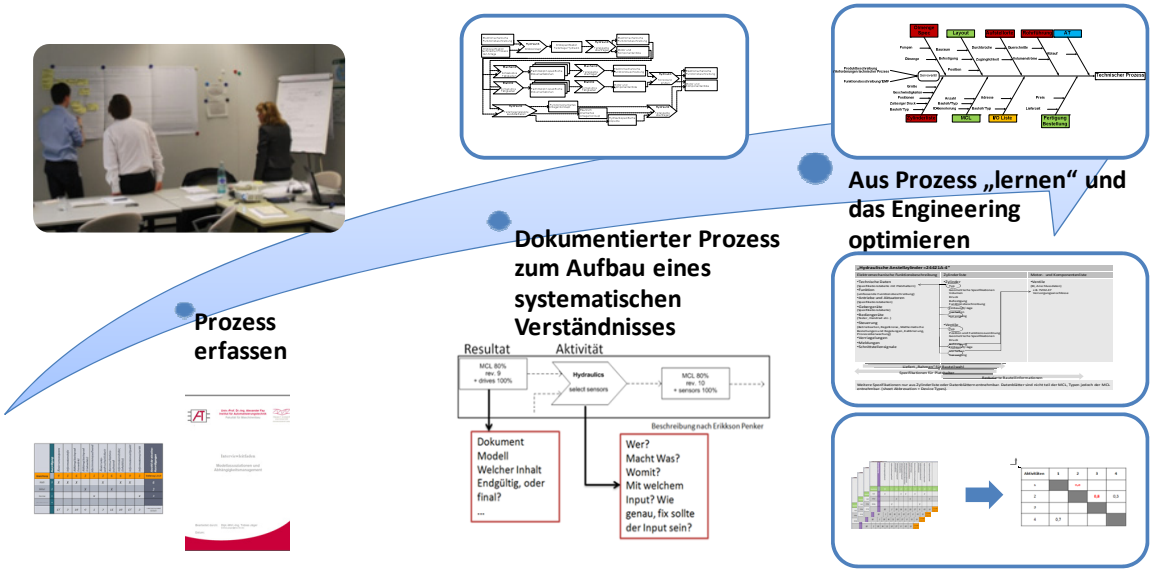


Abb. 5-1 Drei Phasen Vorgehensmodell

Um die technischen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen im gewerkeübergreifenden Engineering gezielt zu identifizieren, wird der Untersuchung ein hierarchisches Betrachtungsmodell des Prozess zu Grunde gelegt. Dieses Modell wird im nachfolgenden Kapitel 5.1 entsprechend beschrieben.

5.1 Hierachisches Betrachtungsmodell für Engineeringprozesse

Für eine gezielte Durchdringung des Engineeringprozesses hinsichtlich der technischen Abhängigkeiten wird ein hierachisches Betrachtungsmodell zu Grunde gelegt. Das in Abb. 5-2 dargestellte Modell

umfasst fünf Ebenen: die Organisations-, Gruppen-, Aktivitäts-, Ergebnis- und Informationsebene. Erarbeitet und diskutiert wurde es innerhalb von [JÄG+11; GEL+12; JÄG+12A]. Über die einzelnen Ebenen des Modells hinweg nimmt die Informationstiefe zu. Dies ist in Abb. 5-2 beispielhaft anhand eines Tanks erläutert. Ausgehend von der Organisationsebene, auf der stellvertretend die Apparatetechnik als ein Gewerk eines Anlagenprojektes dargestellt ist, nimmt die Detailtiefe an technischen Eigenschaften zu. Auf der unterlagerten Gruppenebene lässt sich der Tank bereits in den Behälter, Pumpen und weitere Bauelemente zergliedern. Auf der Aktivitätsebene finden sich die für die Auslegung und Konstruktion notwendigen Prozessschritte wieder, die durch die Apparatetechnik im Rahmen des Engineerings beigetragen werden wieder. Den Aktivitäten sind wiederum dokumentierte Ergebnisse unterlegt. In diesen Ergebnissen sowie bei der Erstellung dieser Dokumente werden einzelne Informationen zusammengetragen, bzw. durch Auslegungsentscheidungen definiert. Diese finden sich auf der Informationsebene wieder.

Nicht dargestellt sind die einzelnen Querbeziehungen auf den jeweiligen Ebenen des Modells. Auf der Organisationsebene werden die Querbeziehungen typischerweise in Organigrammen der Aufbauorganisation dargestellt.

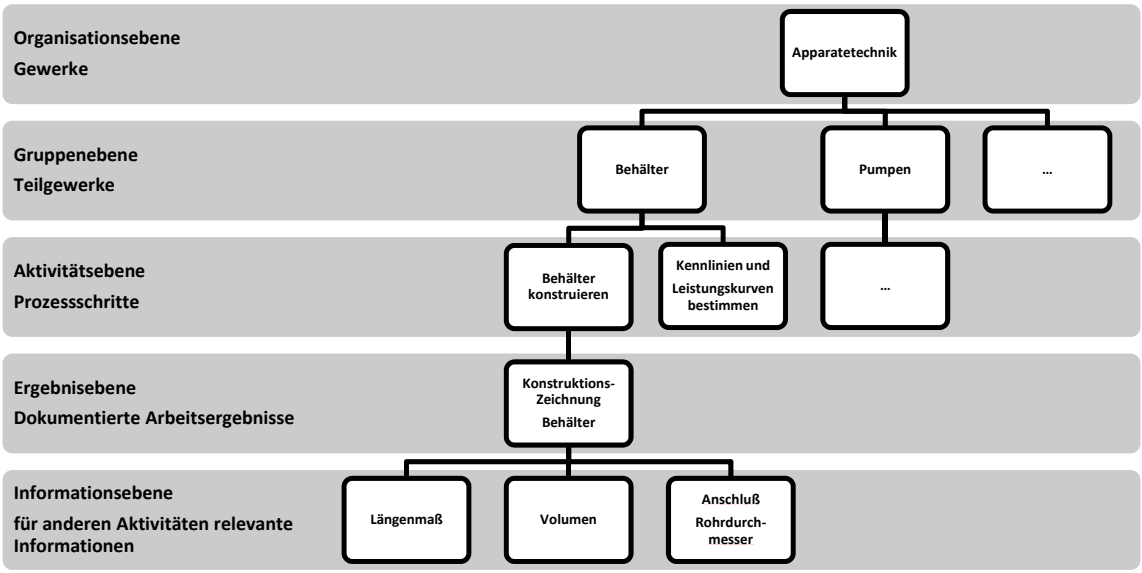


Abb. 5-2 Hierarchisches Betrachtungsmodell des Engineeringprozess [GEL+12]

Die Betrachtung der Beziehungen auf der Gruppen- und Aktivitätsebene findet heute, wie im Stand der Forschung und Technik im Abschnitt 2 beschrieben, durch Projektpläne statt. Im Rahmen der Projektplanung werden klassischerweise Phasen- und Meilensteindiagramme sowie Gantt-Charts zur Darstellung verwendet.

Die bestehenden Aktivitäten der Forschung wiederum, beschrieben in Kapitel 3, setzen direkt auf der Ergebnisebene an. Hierbei wird jedoch ein enormer Aufwand betrieben, um die bereits vorhandenen Informationen der übergeordneten Ebenen zu rekonstruieren. In diesen Ansätzen wird eine umfassendere Untersuchung hinsichtlich der technischen Eigenschaften und Zusammenhänge der Informationsebene nicht weiterverfolgt.

Nachfolgendes Konzept beschreibt im Abschnitt 5.2, wie ein vollständiges Modell des Engineeringprozess über diese fünf Ebenen hinweg erstellt werden kann. Dieses Modell ermöglicht, das gewerkeübergreifende Engineering systematisch zu untersuchen. Diese Möglichkeiten der systemati-

schen Analyse und Auswertung werden im Abschnitt 5.3 beschrieben. Die umfassende Kenntnis erlaubt ein verbessertes Zusammenspiel aller am Engineering beteiligten Gewerke, hierfür werden im Abschnitt 5.4 Maßnahmen zur Optimierung beschrieben.

5.2 Systematische Aufbereitung und Dokumentation des Engineeringprozesses

Im Folgenden werden nun die einzelnen Schritte zum Aufbau eines den in 5.1 beschrieben Ebenen entsprechenden Modells des Engineeringprozesses vorgestellt. Dieses Vorgehen ist in Abb. 5-3 zusammengefasst. Im ersten Schritt (5.2.1) werden bestehende Informationen der Organisations-, Gruppen- und Aktivitätsebene systematisch aufbereitet. Diese Informationen können bestehende Projektpläne und Dokumentationen sein. Sofern zusätzlich Dokumentationen vorhanden sind, so können hieraus bereits erste Informationsstränge identifiziert werden. Diese dienen im zweiten Schritt (5.2.2) als Grundlage für Interviews und Workshops zur detaillierteren Modellierung des Engineeringprozesses. Hierbei können die einzelnen Übergabeschnittstellen zwischen den Gewerken identifiziert werden. Diese Schnittstellen liegen entlang der einzelne Informationsstränge, im Sinne der Anreicherung mit Details, und zwischen einzelnen Strängen, wenn die jeweilige Information Grundlage für Entscheidungen eines anderen Strangs ist. Durch diese Verknüpfung entsteht ein detailliertes Engineeringprozessmodell auf der Ergebnisebene. Die Erfassung der tatsächlich ausgetauschten und benötigten Informationen setzt die inhaltliche Durchdringung des Engineeringprozesses bis auf die Informationsebene fort. Da bei dieser Durchdringung die beeinflussenden Größen und Eigenschaften der zu erstellenden Lösung identifiziert und beschrieben werden, wird die Informationsebene erschlossen (vgl. Abb. 5-2).

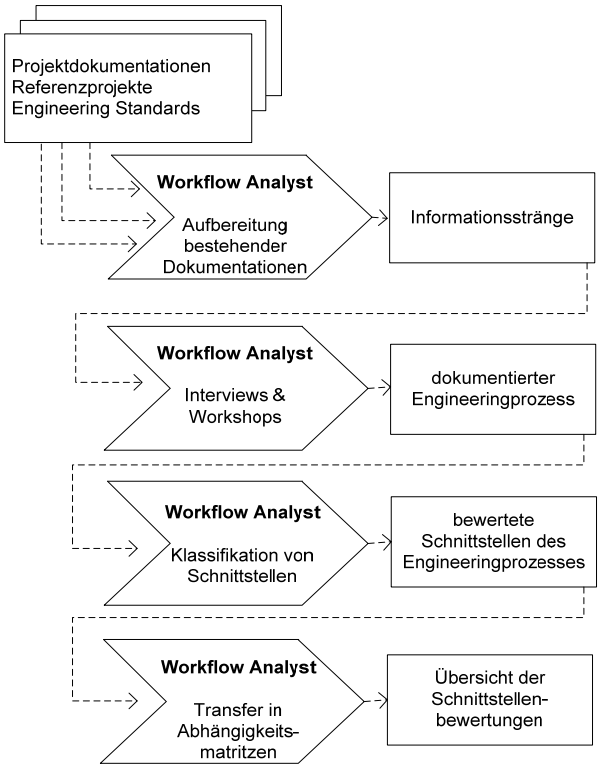


Abb. 5-3 Schritte zur Erstellung eines umfassenden Modells des Engineeringprozesses

Um eine spätere Auswert- und Analysierbarkeit zu bieten, wird zusätzlich ein Klassifikationsschema für die formale Beschreibung der ausgetauschten Informationen an den Übergabeschnittstellen der Informationsebene vorgestellt (5.2.3). Das Klassifikationsschema ermöglicht eine frühzeitige Fokussierung anhand von quantitativen Kriterien, schon vor einer detaillierten Erfassung auf der Informationsebene. Weiterhin erlaubt die Klassifikation auch die Aggregation quantitativer und qualitativer Bewertungen mittels Abhängigkeitsmatrizen (5.2.4). Die Aggregation ermöglicht, die identifizierten Eigenschaften des Informationsaustauschs als Indikatoren auf den überlagerten Ebenen der hierarchischen Betrachtung des Engineeringprozesses ebenfalls für Optimierungen zu nutzen.

5.2.1 Aufbereitung bestehender Dokumentation

Wie bereits im Abschnitt 2 zum Thema Engineering beschrieben sowie in der einleitenden Darstellung Abb. 5-2 skizziert, besteht bereits zu Beginn des Engineerings automatisierter Anlagen ein Grundgerüst an Informationen, das kontinuierlich gefüllt und erweitert wird. Dies sind unter anderem Vorlagen für die Projektabwicklung oder bestehende Dokumentationen mit Beispiellösungen und Referenzanlagen, die projektspezifisch angepasst werden. Ergänzend besteht ein großer Austausch an Informationen über Zwischen- und Endergebnisse einzelner Aktivitäten zur Lösung der Gesamtaufgabe. Alle diese Informationen werden im Rahmen der Projektierung und oftmals auch unabhängig, als Vorlage, strukturiert abgelegt. In einem ersten Schritt für die Bildung eines Engineeringprozessmodells kann daher auf diesen Bestand an Daten und Informationen zurückgegriffen werden. Diese bestehenden Informationen, reflektiert an der einleitenden Übersichtsdarstellung Abb. 5-2, spiegeln die Inhalte der Organisations-, Gruppen- und Aktivätsebene wieder. Diese Informationsbasis kann in Vorbereitung auf den später folgenden, vertiefenden zweiten Schritt als Ausgangsbasis genutzt werden. In diesem zweiten Schritt werden die vollständigen Beziehungen zwischen den Ergebnissen bis auf die Informationsebene explizit modelliert.

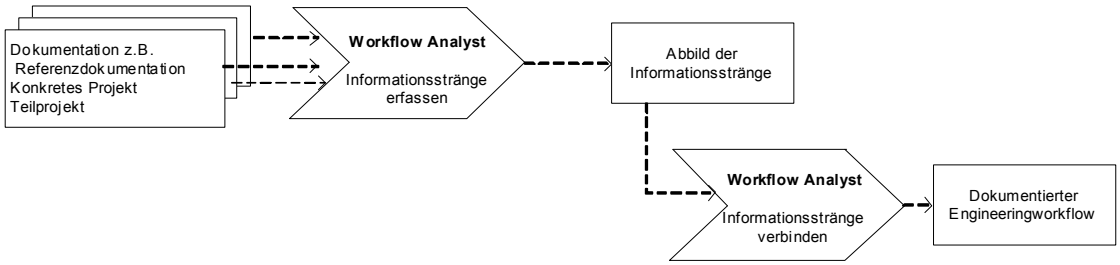


Abb. 5-4 Vorgehen zur Erfassung der gewerkeübergreifenden Schnittstellen im Engineering

Informationen aus dem Projektmanagement, wie beispielsweise Projektpläne und Meilensteinvorgaben, erlauben die chronologische Einordnung der vorhandenen Dokumentationen. In der Auswertung werden so die Dokumentationen den jeweiligen verantwortlichen Gewerken zugeordnet und in eine chronologische Reihe geordnet. Die Zuordnung ergibt sich aufgrund der Strukturierung der Datenstände, den Datenformaten und dem jeweiligen Inhalt. So können Entstehungs-, Zwischen- und Fertigstellungszeitpunkte der einzelnen Informationsstränge und die involvierten Gewerke erfasst werden. In Abb. 5-5 ist dies exemplarisch dargestellt. Unterhalb einer Zeitachse sind die einzelnen Revisionen, ausgehend von der Entstehung einzelner Dokumente, auf Strängen dargestellt. Diese werden Informationsstränge genannt.

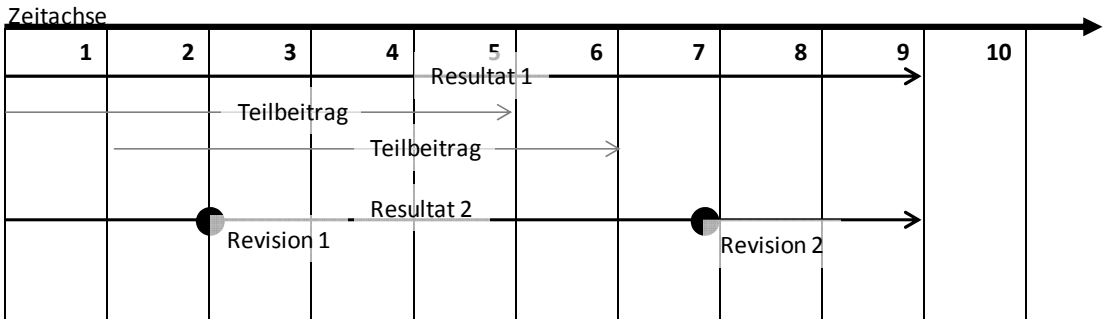


Abb. 5-5 Darstellung der Informationsstränge mit Entstehungszeitpunkt und Endzeitpunkt

Diese Aufbereitung bildet so, je nach zur Verfügung stehenden Quellen, die Entstehung von Informationen ab. Den dadurch entstandenen Informationssträngen kann gefolgt und die inhaltliche Anreicherung von Lösungen durch ergänzte Informationen festgestellt werden. Die Entstehung der technischen Aspekte, die das jeweilige Gewerk an einem betrachteten Objekt bearbeitet, kann so nachvollzogen werden. Die Informationsstränge zeigen so den jeweiligen Wissensstand der beteiligten Gewerke auf. Im Umkehrschluss besteht folglich die Möglichkeit, auch Nichtkenntnis über Inhalte festzustellen.

Diese erste Auswertung der bestehenden Dokumentation legt die vorhandenen Informationen über die einzelnen betrachteten Objekte zu verschiedenen Zeitpunkten in den einzelnen Gewerken offen. Die zwischen diesen Informationssträngen stehenden Aktivitäten, insbesondere zwischen den Gewerken, bleiben jedoch vorerst unsichtbar. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Strängen, wie beispielsweise, dass die Elektrik der Funktionsbeschreibung notwendige Anforderungen zur Auswahl eines Antriebs entnimmt, sind vorerst nicht ersichtlich. Die jeweils tatsächlich verwendeten Informationen für Aktivitäten können noch nicht abgelesen und müssen von Experten benannt werden. Die wechselseitige Anreicherung bei der Lösungsbildung im Engineering mit Informationen ist somit noch nicht erfasst.

5.2.2 Interviews und Workshops zur Dokumentation des Engineeringprozesses

Die vorbereiteten Informationsstränge bilden die Grundlage für Interviews und Workshops mit Repräsentanten der einzelnen Gewerke. Ziel der Workshops ist es, die einzelnen an den Schnittstellen zwischen den Gewerken übergebenen Resultate, in Abb. 5-5 als Revisionen bezeichnet, mittels Aktivitäten miteinander zu verbinden. Dieses Vorgehen zur Dokumentation des Engineeringprozesses lehnt sich an die Prozessmodellierung an (vgl. 2.5). Die so erfassten Abläufe ermöglichen es, die einzelnen Aktivitäten der Gewerke im Engineering zu dokumentieren. Hierbei sollen die Detailinformationen aus den einzelnen ausgetauschten Resultaten, die von den Gewerkeexperten entnommen werden, erfasst werden sowie die jeweilige Aktion, die mit diesen durchgeführt wird. Die resultierende Information aus diesen Aktionen, die wiederum durch das jeweilige Gewerk an die beteiligten weiteren Gewerke zurückgespielt wird, muss anschließend als Resultat im Engineeringprozessmodell dokumentiert werden. Durch diese Modellierung kann die wechselseitige Informationsanreicherung zwischen den Gewerken erfasst werden. Das Modell beschreibt so die bestehenden inhaltlichen Abhängigkeiten und mögliche Wechselwirkungen bezüglich der betrachteten Gegenstände des Engineerings zwischen den Gewerken.

Wie in Abschnitt 2.5 beschrieben, stehen für die Aufzeichnung von Prozessen eine Vielzahl an Beschreibungsmitteln zur Verfügung. Für eine Dokumentation des Engineeringprozesses und der cha-

rakteristischen Eigenschaft des wechselseitigen Anreicherns von Arbeitsständen innerhalb der Gewerke mit ausgetauschten Informationen zwischen den beteiligten Gewerken besteht eine Reihe von Anforderungen, die durch das Beschreibungsmittel erfüllt werden müssen. Die Anforderungen, die die hier vorgestellte Vorgehensweise an die Repräsentation stellt, sind in Abb. 5-6 dargestellt. Wesentlichste Anforderung ist es, Aktivitäten und Resultate separat zu modellieren. Dies ist notwendig, da verwendete Informationen oftmals abstrahiert werden und durch Kombination mehrerer Informationen aus unterschiedlichen Resultaten Aufgaben gelöst werden. Wird dies separat modelliert, so ist dies für alle Beteiligten offensichtlich.

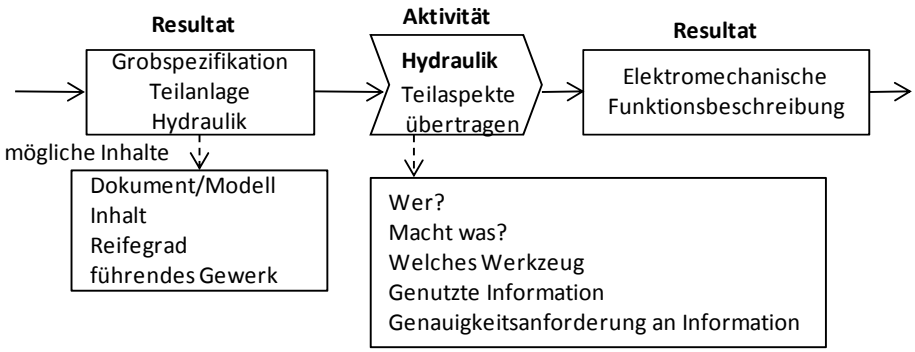


Abb. 5-6 Dokumentation des Engineeringprozesses mit Aktivitäten und Resultaten

Da die einzelnen ausgetauschten Resultate über den Prozess inhaltlich sowohl vervollständigt als auch verfeinert werden, muss diese Beschreibung der Resultate mit den jeweils konkreten Ausprägungen erfasst werden. Vervollständigung beschreibt die Ergänzung von Eigenschaften, Verfeinerung die Detaillierung von Eigenschaften. Eine typische Verfeinerung ist der Übergang der Angabe einer Bandbreite für einen Wert zu einem konkreten Einzelwert. Neben dem Namen als Bezeichner für das Resultat sollte die jeweilige Modellvorstellung und, sofern diese in einer Software gebunden ist, das Datenformat der Informationsablage erfasst werden. Weiterhin sind die zuletzt hinzugefügten Details sowie der Reifegrad dieser, wie „endgültig“, zu erfassen. Die Aktivitäten, die zwischen diesen Ergebnissen stehen, müssen mit dem ausführenden Gewerk und der entsprechenden Tätigkeit dokumentiert werden können. Zusätzlich sollten Informationen zur Genauigkeit der eingehenden Informationen erfasst werden. Diese beschreibenden Merkmale für Resultate und Aktivitäten müssen möglichst einfach erfasst und auch dargestellt werden können.

Durch die Fokussierung auf die Ebene des Informationsaustauschs (vgl. Abb. 5-2), insbesondere durch dokumentierte Resultate und ausgetauschte Informationen, wird die Betrachtungsgranularität des dokumentierten Prozesses festgelegt. Dieser Austausch kann entweder durch direkte Weitergabe des jeweiligen Modells, durch Listen der verwendeten Elemente und deren Eigenschaften oder durch ein Einpflegen der Ergebnisse in Fließtext-Dokumente, wie beispielsweise die elektromechanische Funktionsbeschreibung, stattfinden.

Neben den vorbereiteten Informationssträngen, wie im Abschnitt zuvor beschrieben, kann in den Workshops auf einen Interviewleitfaden zurückgegriffen werden (siehe Anhang). Hierfür wurde ein Leitfaden mit 74 Fragen, die sieben Teilgebieten zugeordnet werden können, erarbeitet. Es werden die folgenden Teilgebiete betrachtet: Informationsfluss, Abhängigkeiten, Modellvorstellung, Engineeringergebnis, Entscheidungsraum, Änderungen und Service-Aktivitäten. Beispielsweise wird im Teilgebiet „Informationsfluss“ berücksichtigt, ob die richtigen Informationen zur passenden Zeit empfangen werden, oder aber ein anderes Bedürfnis hinsichtlich Gehalt, Aufbereitung und Zeitpunkt besteht.

Für die Durchführung der Prozessaufzeichnungen empfiehlt es sich, diese getrennt mit den involvierten Gewerken durchzuführen, da so die beiderseitige, möglicherweise unterschiedliche, Wahrnehmung der Schnittstellen zwischen den Gewerken aufgedeckt werden kann. Durch die Kombination des Wissens von Spezialisten und Generalisten der Gewerke können die Aktivitäten innerhalb der bestehenden Informationsstränge aufgezeichnet werden. Bevor mit Experten die Prozesse mit dem vorgeschlagenen Formalismus modelliert werden können, müssen die bisherigen Annahmen und Ergebnisse der Datenauswertung bestätigt werden.

Die beschriebene Modellierung der notwendigen Eingangsinformationen für die einzelnen Aktivitäten und die entstehenden Ausgangsinformationen, in Resultaten dokumentiert, lassen eine Übersicht über den Engineeringprozess entstehen. Eine den Anforderungen entsprechende Repräsentation erlaubt es, die Vervollständigung der einzelnen ausgetauschten Teilinformationen zwischen Gewerken abzubilden. Der dokumentierte Engineeringprozess bietet so vielfältige Möglichkeiten, aus dem Prozess zu lernen und diesen zu verbessern.

5.2.3 Beschreibung und Klassifikation von Schnittstellen in Engineeringprozessen

Auf allen fünf Betrachtungsebenen des Engineeringprozesses, vorgestellt in Abb. 5-2, besitzen die beschreibenden Elemente charakteristische Eigenschaften. Die Eigenschaften können einerseits quantitativer Natur sein, andererseits aber auch qualitativer. Um ein umfassendes Verständnis und eine spätere Bewert- sowie Analysierbarkeit des Modells des Engineeringprozess zu gewährleisten, wird im nachfolgenden ein entsprechender Katalog an Kriterien zur Beschreibung dieser Eigenschaften vorgeschlagen. Die Kriterien können ebenfalls die Modellierung des Engineeringprozesses unterstützen.

In Tab. 5-1 ist eine Übersicht über 15 Kriterien gegeben. Diese Kriterien können zur Beschreibung der Schnittstellen zwischen Aktivitäten und Resultaten bei der Modellierung von Engineeringprozessen verwendet werden. Die einzelnen Kriterien lassen sich inhaltlich strukturieren nach Kriterien, die auf die Verfügbarkeit, Verlässlichkeit und Generierung der Informationen fokussieren. Die Kriterien zur Verfügbarkeit adressieren den Bereitstellungszeitpunkt der einzelnen Informationen. Kriterien zur Verlässlichkeit ermöglichen die Beschreibung von Genauigkeit und Gültigkeit der Eigenschaften. Mit den Eigenschaften zur Generierung werden Aufwände zur Erstellung, Beschreibung und Kommunikation der Informationen beschrieben.

Tab. 5-1 Kriterien zur Klassifikation und Bewertung von Schnittstellen in Engineeringprozessen

Kriterien		Betrachtungsbereich			Zielfunktionen		
		Generierende Aktivität	Arbeitsergebnis	nachfolgende Aktivität	Zeit	Kosten	technische Güte
Verfügbarkeit	inh. Informationsbedarf			X			X
	Informationszeitpunkt			X	X		
	Informationspriorität			X	X		
Verlässlichkeit	Änderungsaufwand			X	X		
	Änderungswahrscheinlichkeit	X					X
	Informationstiefe			X	X		
	Informationsgenauigkeit			X	X		
	Abhängigkeitsgrad (vorw.)			X			X
	Abhängigkeitsgrad (rückw.)	X					X
Generierung	Annahmenanzahl		X				X
	Abstimmungsaufwand	X					X
	Kommunikationsaufwand	X					X
	Formalisierungsgrad		X				X
	Individualisierungsgrad		X				X
	Arbeitsaufwand	X			X	X	

Zusätzlich wurden die Kriterien unterschiedlichen Betrachtungsbereichen zugeordnet. Der Betrachtungsbereich berücksichtigt, ob sich die Eigenschaft auf die erstellende Aktivität oder die nachfolgende Aktivität bezieht oder aber das zwischen den Aktivitäten ausgetauschte Resultat beschrieben wird. Anhand der Zielfunktionen können Eigenschaften, die dem magischen Dreieck des Projektmanagements entspringen, adressiert werden. Diese Kriterien fokussieren auf die Zeit- und Kostenplanung sowie die technische Güte des Projekts.

Die fünfzehn Kriterien wurden aufbauend auf dem Interviewkatalog zur Engineeringprozesmodellierung (vgl. Abschnitt 5.2.2) in Studien mit Gewerkexperten aus unterschiedlichen Anwendungsdomänen identifiziert. Anhand dieser Kriterien kann im Rahmen der Prozessmodellierung eine Beschreibung der einzelnen Schnittstellen vorgenommen werden. Hierbei werden die Kriterien durch die beteiligten Experten einzeln bewertet. Eine Bewertung der Ausprägung kann zum Beispiel nach der Ausprägung gering, mittel und hoch geschehen. Um diese einzelnen Aussagen zusammenzuführen, lassen sich diese, wie in der nachfolgenden Abb. 5-7 dargestellt, zusammenfassen. In diesem Beispiel wird die Bewertung einer Übergabeschnittstelle eines Resultats zwischen zwei Gewerken dargestellt.

	Ausprägung	Änderungsaufwand	Informationstiefe	Abhängigkeitsgrad (vorwärts)	Abhängigkeitsgrad (rückwärts)	Abstimmungsaufwand	Änderungs-wahrscheinlichkeit	Kommunikations-aufwand	Informationsbedarf (inhaltlich)	Informationszeitpunkt	Informationspriorität	Anzahl der einzelnen Ausprägungen
Gewichtung		9	3	6	3	1	3	6	6	9	3	Skalierung 1,3,6,9
Hoch	3	X	X	X			X		X	X		6
Mittel	2				X			X				2
Gering	1					X					X	2
Ohne Bewertung	0											
		27	9	18	6	1	9	12	18	27	3	130/147=0,884 6x hoch

Abb. 5-7 Exemplarische Bewertung einer Schnittstelle

Zehn ausgewählte Kriterien, Änderungsaufwand, Informationstiefe usw. sind horizontal oberhalb der einzelnen Zellen aufgetragen. Die Ausprägungen werden durch Kreuzmarkierungen in den Zellen unterhalb der Kriterien vorgenommen, so ist der Änderungsaufwand hoch bewertet worden. Die Bewertung weist darauf hin, dass eine Änderung der eingehenden Information in der nachfolgenden Aktivität zu einem hohen Änderungsaufwand führen würde. Aus diesem Grund ist der Änderungsaufwand in der Tab. 5-1 auch der Zielfunktion Zeit zugeordnet worden. In dem aufgezeigten Beispiel kommt ergänzend hinzu, das die Änderungswahrscheinlichkeit der Informationen ebenfalls als hoch angesehen wird. Diese Korrelation der beiden Bewertungen bedeutet für den Prozess ein Risiko, das zu zeitlichen Verzügen führen kann. In der Darstellung ist desweiteren die Zeile Gewichtung zu sehen. Diese Zeile erlaubt eine übergeordnete Priorisierung von bewerteten Eigenschaften. Die Priorisung kann einzelne Kriterien besonders betonen, oder durch Priorisierung Kriterien einer Zielfunktionsgruppe der entsprechenden Zielfunktion der Tab. 5-1.

Für die Klassifikation von Schnittstellen wird die Bewertung der qualitativen Eigenschaften durch das Schema in eine quantitative Bewertung überführt. Die bewerteten Ausprägungen werden mit den Werten eins bis drei repräsentiert, so lassen sich die gesetzten Kreuze repräsentieren. Im Beispiel ist eine zusätzliche Gewichtung, in der obersten orangen Zeile, vorgenommen worden, hierfür wurde ebenfalls eine entsprechende Skalierung vorgeschlagen. Aus dieser Kombination ergibt sich für die Bewertung des Änderungsaufwands ein Wert von 27. Diese Multiplikation wird für alle Bewertungen vorgenommen, die Ergebnisse sind in der letzten Zeile im Bewertungsbogen aufgereiht. Diese einzelnen Bewertungen können nun aufsummiert werden (hier „130“), als ein Gesamtwert für die betrachtete Schnittstelle. Dieser Wert kann nun noch ins Verhältnis zur maximal möglichen Bewertung (hier „147“) gesetzt werden für eine Normierung.

Durch die Bewertung können für jede einzelne Schnittstelle die qualitativen Ausprägungen der Eigenschaften in einen quantitativen Indikator überführt werden. Da durch die Interviews und Workshops qualitative Angaben erfasst wurden, stehen diese unabhängig von dieser Zusammenfassung weiterhin zur Verfügung. Aufgrund der hohen Anzahl an Schnittstellen in Engineeringprozessen können durch diese Klassifikation besonders wichtige und kritische Schnittstellen identifiziert werden.

Um in einer späteren Analyse gezielt auf ausgewählte Eigenschaften einzugehen, können einerseits nur ausgewählte Kriterien bewertet werden, oder andererseits entsprechende Kriteriengruppen gemäß der vorgeschlagenen Einordnung bewertet werden. Wird im Rahmen der Analyse der Schwerpunkt der Betrachtung der Zielfunktionen von der zeitlichen Bewertung auf die technische Bewertung verschoben, so kann dies durch eine nachträgliche Anpassung der Gewichtung stattfinden.

5.2.4 Transfer in Abhängigkeitsmatrizen

In Abschnitt 3.4 wurde die besondere Eignung von Design-Structure-Matrizen zur Darstellung von iterativen und rekursiven Zusammenhängen herausgestellt. Genau diese Eigenschaften kennzeichnen insbesondere auch das Engineering bzw. den Engineeringprozess automatisierter Anlagen (vgl. Abschnitt 2.1). Folglich kann das nach den Schritten in den vorhergehenden Abschnitten erstellte Modell des Engineeringprozess in eine entsprechende DSM überführt werden.

Exemplarisch kann dieser Transfer anhand der nachfolgenden fiktiven Kette von Aktivitäten und Resultaten, in Abb. 5-8 dargestellt, beschrieben werden. Diese Kette besteht aus den Aktivitäten eins bis vier und beinhaltet eine Aufteilung an der zweiten Aktivität in die Aktivitäten drei und vier. Weiterhin besteht eine Iteration zurück in die Aktivität eins. Es entsteht augenscheinlich eine Endlosschleife, wobei zu berücksichtigen ist, dass die DSM eine statische Darstellung ist. Für diese Iteration bestehen jedoch Abbruchbedingungen, die mit der Lösungserfüllung der Kette verbunden sind. Die Abbrucheigenschaften der Schleife wurden im Rahmen der vorhergehenden Prozessmodellierung explizit erfasst und dokumentiert.

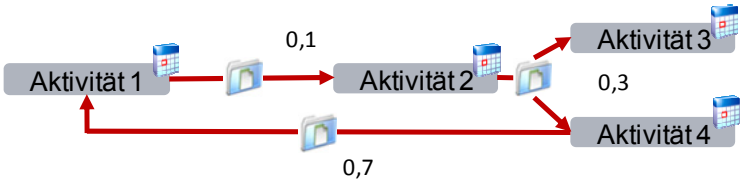


Abb. 5-8 exemplarische Abfolge von Aktivitäten

Die einzelnen Faktoren an den Pfeilen stehen exemplarisch für einen möglichen Indikator, der anhand der Schnittstellenklassifikation gebildet wurde (vgl. Abschnitt 5.2.3). In einem ersten Schritt kann die beschriebene Abfolge in eine DSM, wie nachfolgend in Abb. 5-9 dargestellt, übertragen werden.

Aktivitäten	1	2	3	4
1		x		
2			x	x
3				
4	x			

Aktivitäten	1	2	3	4
1		0,1		
2			0,3	0,3
3				
4	0,7			

Abb. 5-9 Transfer der Aktivitätsabfolge in eine DSM

Die linke DSM beschreibt die Abfolge der Aktivitäten durch entsprechende Markierungen. Die Markierungen oberhalb der Hauptdiagonalen beschreiben die Ablaufkette vorwärts, die rückwärtige Iteration zwischen den Aktivitäten vier und eins ist unterhalb markiert. In der rechten Abbildungshälfte,

in der zweiten DSM, wurden ergänzend die Indikatoren für die Schnittstellen zwischen den einzelnen Aktivitäten übernommen. Dieses Vorgehen erlaubt es, die detaillierten Bewertungen der Schnittstellenklassifikation in eine Gesamtübersicht zu überführen. Dieses Gesamtmodell kann als Übersicht, Informations- und Auswahlgrundlage für nachgelagerte Analysen und zur Optimierung genutzt werden. Die vorhandenen Methoden zur Optimierung dynamischer DSM (vgl. Abschnitt 3.4.3) werden hierbei zusätzlich durch die einzelnen Indikatoren unterstützt.

5.3 Systematische Analyse und Auswertung des Prozessmodells

Nachdem ein Modell des Engineeringprozesses in Zusammenarbeit mit den beteiligten Experten erstellt worden ist, bietet dieses dokumentierte Erfahrungswissen eine umfassende Grundlage für Analysen und Auswertungen. Bereits der Aufbau des Modells stellt eine Analyse und Optimierung der bisherigen Situation dar, bedingt durch die gegenseitige Klärung der tatsächlich ausgetauschten und relevanten Informationen an den Schnittstellen zwischen den einzelnen Gewerken.

Anhand des dokumentierten Prozesses kann die Fertigstellung der Gesamtanlage und von Teilanlagen anhand der konkreten ausgetauschten Informationen nachvollzogen werden. Die inhaltliche Anreicherung und Vervollständigung der technischen Eigenschaften werden so transparent in zeitlicher und inhaltlicher Abhängigkeit aufbereitet. Anhand des Prozessmodells können die technischen, zeitbasierten und logischen Abhängigkeiten und mögliche Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Gewerken, zwischen den technischen Objekten und auch zwischen Gewerken und Objekten nachvollzogen und berücksichtigt werden. Hierfür werden nachfolgend unterschiedliche Möglichkeiten der Betrachtung vorgeschlagen: die Identifikation von Informationsschnittmengen in Modellen und Dokumenten zwischen Gewerken, die Identifikation von technischen Zusammenhängen sowie das Nutzen der Schnittstellenindikatoren zur Identifikation kritischer Pfade im Engineering.

5.3.1 Schnittmengen in Modellen und Dokumenten zwischen Gewerken im Engineering

Das Modell des Engineeringprozess, bei dem die einzelnen ausgetauschten Informationen zwischen den beteiligten Gewerken herausgestellt werden, erlaubt eine systematische Verfolgung der Informationsanreicherung in den einzelnen Resultaten. Die für die jeweils nachfolgende Aktivität notwendigen Informationen können identifiziert werden. Dies können einzelne Leistungsattribute oder aber auch vollständig gewählte Baugruppen sein. In Konsequenz können zu jedem Zeitpunkt entlang des Prozesses die bereits vorhandenen Informationsstände innerhalb der beteiligten Gewerke herausgestellt und dokumentiert werden. Diese Basis erlaubt die Identifikation der gemeinsam zwischen zwei oder mehr Gewerken vorhandenen Informationen. Diese Informationen können als gemeinsame Schnittmenge bezeichnet werden. Diese Schnittmengen können zum Beispiel bezüglich einzelner technischer Objekte durch eine Auswertung erfasst werden. Auch bezüglich der verwendeten Modellvorstellungen der Gewerke kann dies im Kontext der jeweiligen Anlage analysiert werden.

Zur Betrachtung der Schnittmengen zwischen den Gewerken besteht somit eine entsprechende Ausgangsbasis. Erlaubten bereits die in 5.2.1 beschriebenen Informationsstränge eine Aussage bezüglich des aktuell dokumentierten Wissensstands innerhalb der einzelnen Gewerke, wurde durch die weitere Dokumentation die wechselseitige Anreicherung zwischen diesen Zwischenständen systematisch offengelegt. Abb. 5-10 beschreibt dies mit den zusätzlich dokumentierten Eigenschaften. Diese Eigenschaften ermöglichen die Analyse von Schnittmengen.

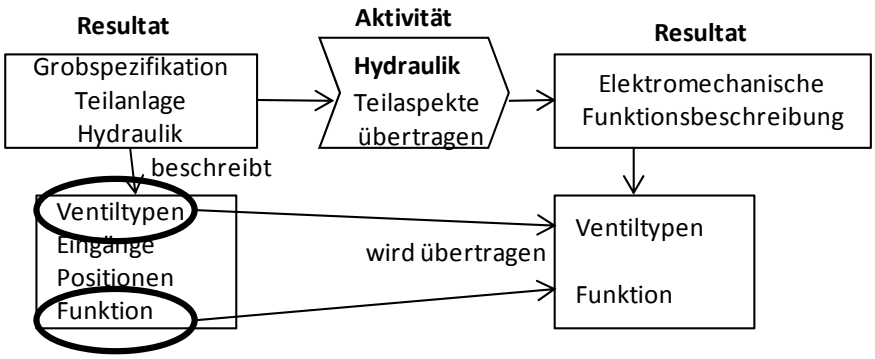


Abb. 5-10 Dokumentation des Engineeringprozesses mit Aktivitäten und Resultaten

Die verwendeten Modelle und Dokumente sind in den einzelnen Resultaten im dokumentierten Prozess explizit benannt, daher können diese direkt identifiziert werden. Durch die Verknüpfung mit den Aktivitäten der beteiligten Gewerke kann eine entsprechend eindeutige Zuordnung vorgenommen werden.

Da die einzelnen Resultate übergeben werden, können die gemeinsamen Schnittmengen zwischen Gewerken im Detail abgelesen und benannt werden. Diese Informationen bilden die gemeinsame Schnittmenge zweier oder mehrerer Gewerke innerhalb eines Resultats ab. Diese Anteile werden mitunter in die jeweilige gewerkespezifische Modellvorstellung übernommen. Eine weitere wesentliche Aussage ergibt sich im Bezug auf die jeweilige Informationsgenauigkeit, die das jeweilige Gewerk benennt. Die Genauigkeit ist ein wesentlicher Beitrag bei der Beschreibung der Schnittmenge. So können sowohl Mechanik als auch Automatisierungstechnik ein Ventil dem Rohr und Instrumentenfließbild entnehmen. Für die Mechanik dient die Typeninformation als Grundlage für eine Befestigungskonstruktion. Die Genauigkeit wird, da der Typ bekannt ist, als hoch bewertet (vgl. auch Abschnitt 5.2.3). Die Automatisierungstechnik jedoch bewertet die Genauigkeit niedriger, da das Ventil noch keine vollständige Kennzeichnung für die Prozessleittechnik besitzt. Die Kennzeichnung wird erst in einer Folgeaktivität ergänzt.

Auf Basis des Engineeringprozessmodells können die verwendeten Modellvorstellungen der einzelnen beteiligten Gewerke effektiv erfasst werden sowie die gemeinsamen Teilmengen innerhalb dieser Modelle zwischen den Gewerken identifiziert werden. Durch die Verknüpfung der ausgetauschten Resultate mit Aktivitäten werden bestehende Brüche zwischen einzelnen Modellvorstellungen sichtbar. Der Aufwand im Engineering für den Transfer von Informationen aus Resultaten durch die Pflege von Austauschdokumenten wird ebenfalls transparent beschrieben. Das Engineeringprozessmodell bietet so eine umfassende Grundlage für eine Optimierung in der Zusammenarbeit sowie der effizienteren Lösung von technischen Problemen.

5.3.2 Technische Abhängigkeiten und Wechselwirkungen

Der umfassend auf der Informationsebene dokumentierte Engineeringprozess enthält alle für die jeweiligen gewerkespezifischen Tätigkeiten notwendigen Informationen zur Lösung des technischen Projektziels. Im Umkehrschluss sind alle Größen, die das Endergebnis definieren, systematisch erfasst worden. Dies schafft die Grundlage, um einerseits mögliche Veränderungen dieser Informationen und deren Auswirkungen auf das Gesamtergebnis des Engineerings abschätzen zu können, bzw. dieses für ausgewählte Teillösungen, Komponenten und Baugruppen methodisch für Analysen zu nutzen. Da die notwendigen Informationen für die Durchführung von Aufgaben erfasst sind, können die Auswirkun-

gen von technischen Änderungen eines Objekts auf abhängige Objekte systematisch abgeschätzt werden. Diese Analyse legt mögliche Wechselwirkungen offen. Gleichzeitig können ebenfalls bisher bestehende Missverständnisse zwischen den Gewerken identifiziert und gelöst werden. Auch Auswirkungen von Ablaufveränderungen des Arbeitsprozesses auf die technischen Objekte sind abschätzbar.

Um diese Analyse grafisch zu unterstützen, können sogenannte Fischgrätendiagramme, auch als Ishikawadiagramme [ISHI90] oder Ursache-Wirkungsdiagramme bezeichnet, verwendet werden, dies ist in der Abb. 5-11 beschrieben. Die Hauptgräte des Diagramms repräsentiert im Kontext dieser Arbeit die Zeitachse des dokumentierten Engineeringprozesses, beginnend mit den Anforderungen und resultierend im jeweiligen technischen Objekt, das Kern der Betrachtung ist. Jede Gräte steht stellvertretend für die entsprechenden im Modell dokumentierten Resultate, die Einfluss auf das technische Objekt haben. Weiterhin ist das für das Resultat jeweils verantwortliche Gewerk benannt.

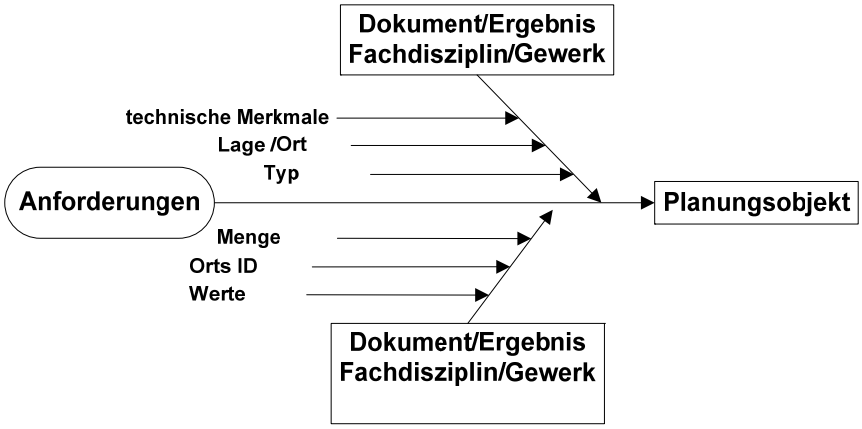


Abb. 5-11 Verwendung eines Ishikawadiagramms zur Beschreibung der mit einem Planungsobjekt im Zusammenhang stehenden Resultate der am Engineering beteiligten Gewerke

Durch diese Repräsentation wird eine Fokussierung auf die wesentlichen Aspekte für das jeweilige Planungsobjekt vorgenommen. Nach diesem Transfer kann der kontinuierlichen Entwicklung und Detaillierung des Planungsobjekts, ausgehend von den Anforderungen bis zur vollständigen Lösung, gefolgt werden. Bei dieser Betrachtung kann für jedes Resultat und die in diesem enthaltenen Attribute festgestellt werden ob eine technische Abhängigkeit vorliegt. Handelt es sich hierbei um eine Wechselwirkung, so kann auch der Umfang der möglichen gegenseitigen Beeinflussung identifiziert und dokumentiert werden.

Diese Aufbereitung bietet neben der expliziten Darstellung der Abhängigkeiten und möglicher Wechselwirkungen Möglichkeiten der Analyse. Anhand der Ursache-Wirkungs-Darstellung können Fehlerzusammenhänge nachvollzogen werden. Der aufgetretene Fehler kann als Symptom einer Ursache verstanden werden. Ausgehend vom Objekt, an dem der Fehler aufgetreten ist, können die einzelnen beeinflussenden Ergebnisse rückwärts auf die ursprünglichen Anforderungen entlang der Hauptgräte aufgezeichnet werden. Die möglichen Einflüsse, die zum Fehler führten, sind durch die Darstellung der Resultate als Nebengräte abgebildet. Einflüsse können entsprechende Dimensionierungsentscheidungen vorgelagerter Gewerke, in Resultaten dokumentiert, sein, da sich das jeweilige nachfolgende Gewerk in der Ausgestaltung auf diese Angaben stützt. In Konsequenz können mögliche Lösungen entlang des Diagramms identifiziert werden. Weiterhin können entsprechend des beschriebenen Vorgehens mögliche hierbei entstehende Wechselwirkungen mit berücksichtigt werden. Diese Form der systematischen Analyse unterstützt die Identifikation von (technischen) Wechselwirkungen und der Tragweite möglicher Einflüsse und Veränderungen.

5.3.3 Identifikation kritischer Pfade – der technisch kritische Pfad

In 5.2.3 wurde aufgezeigt, dass anhand der Bewertung von Schnittstellen mittels Kriterien potenziell kritische Schnittstellen im modellierten Prozess identifiziert werden können. Entsprechend einer jeweils zu definierenden Skalierung kann eine Werteschwelle für die Kritikalität aller modellierten Schnittstellen gesetzt werden, zum Beispiel 75% der möglichen maximalen Ausprägungen der Bewertung. Durch den Transfer in Abhängigkeitsmatrizen, wie in 5.2.4 beschrieben, kann eine Übersicht über sämtliche kritischen Schnittstellen gegeben werden. Abb. 5-12 zeigt dies exemplarisch für die Abfolge von der Aktivität 1 zur Aktivität 2, sowie fortgeführt zur Aktivität 3. Der Übergang von der Aktivität 2 zur Aktivität 4 ist hingegen als nicht kritisch im Sinne der Werteschwelle bewertet worden.

Aktivitäten	1	2	3	4
1		0,8		
2			0,8	0,3
3				
4	0,7			

Abb. 5-12 Exemplarische Darstellung eines kritischen Pfads innerhalb einer DSM

Über die einzelnen Schnittstellen hinaus können innerhalb der DSM die einzelnen Informationspfade anhand der Vorgänger-Nachfolgerbeziehungen nachverfolgt werden. Dies bedeutet in Konsequenz, dass anhand der Kritikalitätsindikatoren entsprechend Pfade mit Schnittstellen hoher Kritikalität identifiziert werden können. Werden insbesondere die Kriterien bewertet und mit zusätzlichem Gewicht belegt, die die technischen Abhängigkeiten adressieren, wird so ein Pfad identifiziert, der für den technischen Projekterfolg maßgeblich ist. Dieser Pfad kann als technisch kritischer Pfad des Projektes bezeichnet werden. Entsprechend gilt dies auch für die weiteren Kategorien des Kriterienkatalogs sowie für die individuelle Gewichtung der jeweiligen Analyseschwerpunkte. Die explizite Kenntnis dieser Pfade bietet eine solide Unterstützung, sowohl für die erfolgreiche Abwicklung eines Engineeringprojektes als auch für mögliche Maßnahmen zur Senkung der identifizierten Risiken.

Neben diesen kritischen Pfaden ermöglicht die Abbildung in Abhängigkeitsmatrizen insbesondere auch, kritische Iterationen zu identifizieren. Ergibt sich aus einzelnen Vorgänger Nachfolgerbeziehungen eine Schleife zwischen vermeintlich kritischen Elementen, so kann dies als kritischer Informationszyklus identifiziert werden. Gerade diese geschlossenen Zyklen haben ein großes Risikopotential für den Erfolg des Engineerings und sollten entsprechend untersucht werden. Informationsgrundlage, nach der Identifikation in der DSM, sind hier die Bewertungsbögen der Schnittstellenklassifikation, das Prozessmodell und die entsprechenden Expertenaussagen aus den Workshops und Interviews.

Diese inhaltliche Betrachtung von Pfaden stellt einen umfassenden Fortschritt gegenüber bisherigen Betrachtungen des Engineeringprozesses dar. Die in der Praxis verwendete Berechnung zeitkritischer Pfade basiert lediglich auf prognostizierten Durchlaufzeiten. Ebenfalls wird ein Fortschritt durch Begegnung der geäußerten Herausforderungen der begleitenden Arbeiten aus Abschnitt 3.2 erreicht. Die Abbildung und Analyse ermöglicht eine gezielte Fokussierung auf die mit dem Prozess verknüpften technischen Zusammenhänge zwischen den Gewerken. Diese Fokussierung ermöglicht fortgesetzt das Eingrenzen auf die im Sinne der Analyse relevanten Schnittstellen, die Vollständigkeit in der Erfassung wird hierbei ebenfalls garantiert.

5.4 Ansätze und Maßnahmen zur Optimierung des Engineeringprozesses

Bereits die systematische Erfassung des Engineeringprozesses stellt eine Optimierung dar. Durch die Abstimmung und dezidierte Beschreibung der Schnittstellen mit allen involvierten Gewerken entsteht eine Transparenz über die tatsächlich ausgetauschten Informationen und technischen Details. Während der Prozessaufzeichnung werden mögliche Missverständnisse, unterschiedliche Erwartungshaltungen und Fehleinschätzungen der beteiligten Gewerke offengelegt und durch den Dialog konsolidiert. In der Konsequenz dieses notwendigen Vorgehens zur Aufzeichnung hat so bereits eine erste Optimierung stattgefunden. Über diesen Aspekt hinaus kann basierend auf den Auswertungsergebnissen des vorhergehenden Kapitels eine weitere systematische Optimierung des Engineerings durch geeignete Maßnahmen stattfinden. Die Auswirkungen, gewollter und ungewollter Natur, der Optimierungsmaßnahmen können innerhalb des in Abhängigkeitsmatrizen abgebildeten Engineeringprozess systematisch mit berücksichtigt werden.

Nachfolgend werden in drei Abschnitten entsprechende Herangehensweisen zur Optimierung des Engineeringprozess skizziert:

- das Anpassen und Ändern des Prozessablaufs,
- die Auflösung von technischen Spannungsfeldern,
- die Aggregation der Einzelbewertungen von Schnittstellen zwischen den Gewerken über die Ebenen des Gesamtmodells hinweg, um übergeordnete Handlungssfelder innerhalb der Aktivitäts-, Gruppen- und Organisationsebene zu identifizieren.

5.4.1 Anpassen von Schnittstellen und Verändern des Ablaufs des Engineeringprozesses

Die in Abschnitt 5.2.3 identifizierten kritischen Schnittstellen, die kritischen Pfade (5.3.3) und insbesondere kritischen Iterationen (5.3.3) im Engineeringprozess können durch Anpassungen der Schnittstellen sowie Veränderungen des Ablaufs aufgelöst werden. Die notwendige Informationsgrundlage liefert hier das umfassende Modell des Engineeringprozess. Bei den optimierenden Maßnahmen ist zwischen verändernden Eingriffen in den Ablauf und der genaueren Beschreibung der an der Schnittstelle auszutauschenden Inhalte zu unterscheiden.

Werden die auszutauschenden Inhalte umfassender beschrieben, so werden die Schnittstellen im Engineeringprozess detaillierter definiert. Anhaltspunkte für diese Abstimmungen liefern Bewertungen anhand der Kriterien der Schnittstellenklassifikation. Wird z.B. die Informationsgenauigkeit als kritisch angesehen, bedarf es anderer Maßnahmen, als wenn der Zeitpunkt der Informationsbereitstellung die wesentliche Größe an einer Schnittstelle darstellt. Weitere Hinweise liefern die dokumentierten Expertenaussagen aus den Workshops zur Prozessaufzeichnung. Die Auswertung dieser Indizien bietet eine zusätzliche Unterstützung. Auf dieser Grundlage kann die Form und möglicherweise auch der Umfang der ausgetauschten Informationen angepasst werden. Zusätzlich können neue Vorlagen für die auszutauschenden Informationen und Checklisten zur Prüfung der inhaltlichen Konsistenz erarbeitet werden. Anhand dieser Maßnahmen wird das identifizierte Risiko, durch eine entsprechende Formalisierung, überprüf- und nachverfolgbar.

Über diese definierenden Maßnahmen hinaus kann es notwendig sein, die bisherige Schnittstelle aufzuteilen. Aufteilen kann bedeuten: in mehrere zeitgleiche Schnittstellen, in mehrere aufeinanderfolgende Schnittstellen oder eine Kombination daraus. Eine Aufteilung bietet sich für zwei Ursachen an, bei einer großen Menge an Informationen, oder um die Kritikalität, durch Aufteilung in einen kontinuierlichen Austausch der Informationen, aufzulösen. Gerade bei einer hohen Bewertung des Änderungsaufwands bietet sich diese Auflösung an. Bei der Aufteilung können die unkritischen Informati-

onen im normalen Ablauf verbleiben, während die als kritisch identifizierten Anteile nun separat herausgestellt und verfolgt werden können.

Als letzte, noch umfassendere Variante kann der Ablauf des Informationsaustauschs angepasst werden. Informationsstände werden nun zu früheren Zeitpunkten bereitgestellt und ausgetauscht. Diese Maßnahme kann zusätzlich mit der Aufteilung in mehrere Schnittstellen einhergehen. Dieser Austausch verbessert die Synchronisation in der Entstehung der späteren Ergebnisse. Zu berücksichtigen sind hierbei jedoch die weiteren inhaltlichen Abhängigkeiten der durch diese Änderung betroffenen Schnittstellen. Diese Beziehungen sind in der quantitativen Abhängigkeitsmatrix direkt ablesbar.

5.4.2 Auflösung von technischen Spannungsfeldern

Technische Spannungsfelder sind Bereiche oder Teile der Anlage, in denen Fehler im Rahmen des Engineerings entstanden sind. Weiterhin können technische Spannungsfelder auch technisch komplexe Zusammenhänge zwischen mehreren Gewerken sein, die mittels einer systematischen Analyse aufgelöst werden sollen. Oftmals sind diese Felder den Experten aus vorherigen Projekten und wiederkehrenden Schwierigkeiten und Fehlern bereits bekannt.

Die Beschreibung von technischen Spannungsfeldern wurde in Abschnitt 5.3.2 mittels des Transfers aus dem Modell des Engineeringprozesses in Ursache-Wirkungsdiagramme beschrieben. In diesem Diagramm sind die beeinflussenden Informationen und technischen Größen zur Lösung der Anforderung an technische Objekte identifiziert worden. Entlang der einzelnen Gräten können die vorherrschenden technischen Wechselwirkungen des konkreten Anwendungsfalls nachvollzogen werden. Bei der Auflösung von Spannungsfeldern können nun einzelne Informationen und Größen geändert und der jeweilige Einfluss auf die technische Lösung systematisch abgeschätzt werden. Durch die zuerst theoretische Erprobung in den Ursache-Wirkungsdiagrammen kann die am besten geeignetste Maßnahme identifiziert werden. Dies kann beispielsweise die Änderung von Steuerungsparametern in der Automatisierungssoftware sein. Es kann aber auch sein, dass ganze Bauteile oder Baugruppen ausgetauscht werden müssen. Die theoretische Analyse umfasst dabei neben der Aufläsung des Spannungsfelds auch die Berücksichtigung möglicher Folgeeffekte, die durch die notwendige technische Veränderung stattfinden.

Die Auflösung von Spannungsfeldern bietet für projektübergreifende Optimierung ebenfalls Anhaltspunkte. Dies betrifft die Bildung von Gleichteilen und von größeren gewerkeübergreifenden Modulen. Bei der Betrachtung von Gleichteilen können anhand der gewonnenen Aufbereitung die für den Anwendungskontext tatsächlich relevanten technischen Eigenschaften des jeweiligen Objektes und der in Wechselwirkung stehenden Objekte explizit benannt werden. Diese Eigenschaften können systematisch bei der Auswahl von Bauteilen und einer möglichen Alternativlösung berücksichtigt werden. Die so identifizierten relevanten Informationen können entsprechend dokumentiert werden. Auf ähnliche Weise können auch zusammengehörende gewerkeübergreifende Einheiten identifiziert werden. Da die notwendigen Einflüsse für die Ausgestaltung dieser Einheiten beschrieben sind, können beeinflussende Parameter berücksichtigt werden. Durch die einwirkenden Nebengräten auf die Gesamtlösung werden ebenfalls Indikatoren für eine mögliche Variabilität in der Anpassung gegeben.

Weitere Unterstützung aufgrund der technischen Betrachtung der ausgetauschten Informationen kann ebenfalls bei der Veränderung des Engineeringablaufs gegeben werden. Die Aufbereitung im Ursache-Wirkungsdiagramm enthält die Bereitstellungszeitpunkte von Informationen, bei einer Ablaufveränderung wechseln diese daher die Position an der Hauptgräte. Die Umsetzbarkeit der Ablaufveränderungen sowie mögliche Auswirkungen und Konsequenzen auf technische Objekte sind direkt

gewerkeübergreifend ablesbar. Mögliche Folgemaßnahmen, wenn Fehler verursacht würden, lassen sich so entsprechend ableiten und in den Engineeringprozess übertragen.

5.4.3 Verdichtung der Schnittstellenklassifikation auf übergeordnete Ebenen des Engineeringprozessmodells

Neben den beschriebenen lokalen Eingriffen auf Ebene der ausgetauschten Informationen, aufbauend auf den Detailaspekten und Bewertungen, kann diese umfassend dokumentierte Basis des Engineeringprozess auch wieder auf die Gruppen- und Organisationsebene zusammengefasst werden. Die Zusammenfassung verdichtet dabei die einzelnen Schnittstellenbewertungen zwischen Aktivitäten und Resultaten des Engineeringprozess zu Indikatoren zwischen den einzelnen Gewerken.

Aufbauend auf dem Transfer des Engineeringprozess in eine DSM, wie er in Abschnitt 5.2.4 beschrieben ist, kann entsprechend der MDM-Methodik eine Verdichtung der Detailbewertung auf die übergeordneten Ebenen des hierarchischen Engineeringprozessmodells stattfinden. Die Nutzung der Methodik ermöglicht hierbei den Aufbau eines Gesamtmodells, so dass auf alle Informationen direkt zugegriffen werden kann. In Abb. 5-13 ist dies in einer Übersicht dargestellt. Entlang der Hauptdiagonalen ordnen sich die einzelnen DSMs, die die Abhängigkeiten zwischen den ausgetauschten Informationen der Ergebnisse, den Aktivitäten und den Gruppen darstellen. Für die Erstellung dieser MDM bedarf es einiger Schritte, so dass alle DSM mit Werten befüllt sind.

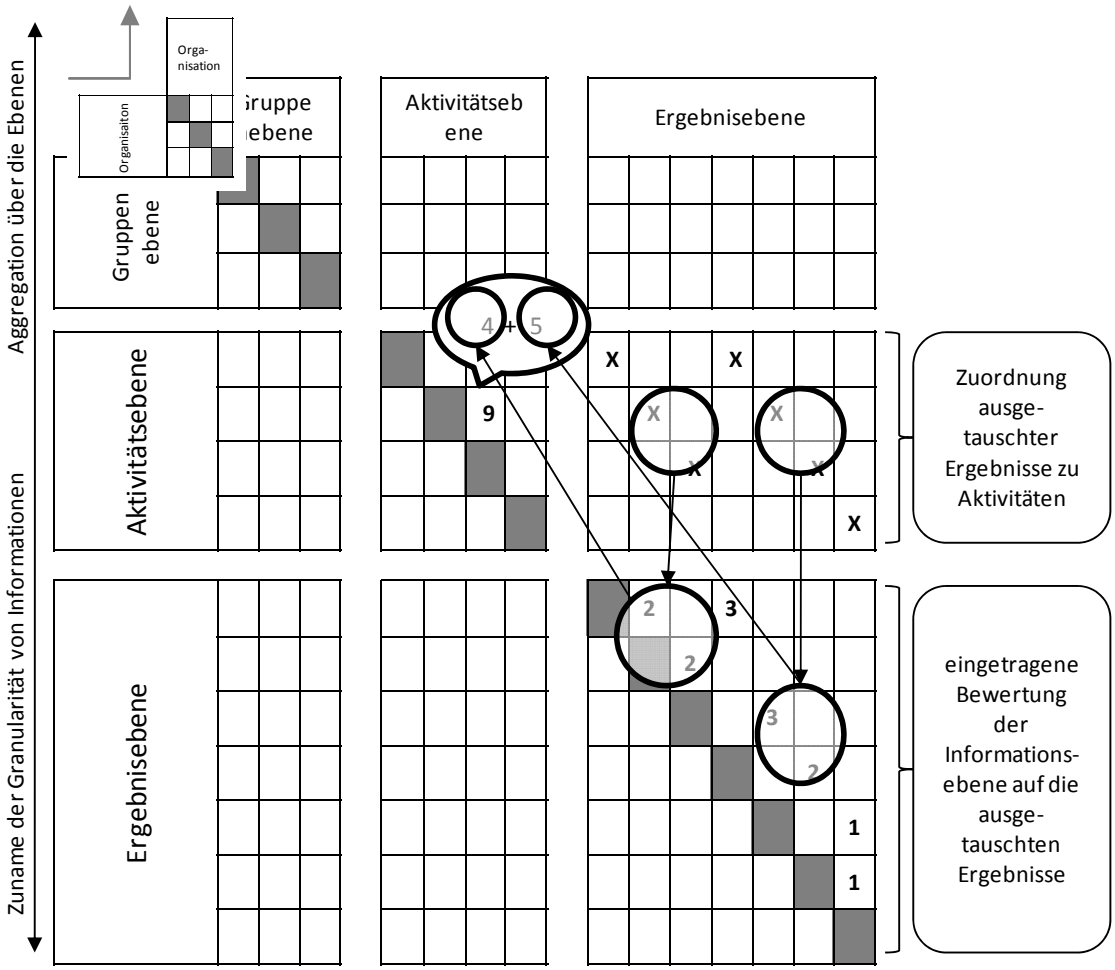


Abb. 5-13 Verdichtung der Detailbewertungen von Schnittstellen mittels Multidomänen Modellierung

In der Ergebnis-DSM sind exemplarisch zwei Zusammenhänge mit Indikatoren markiert worden. Anhand der Ergebnis-Aktivitäts-DMM ist erkennbar, dass die markierten Ergebnisübergänge zwischen denselben Aktivitäten stattfinden. Die generelle Abfolge zwischen den beiden Aktivitäten ist auch in der Aktivitäten-DSM erkennbar (hier bereits mit dem Wert 9 belegt). Die detaillierten Indikatoren zwischen den vier ausgetauschten Ergebnissen können nun zusammengefasst werden. Durch Summenbildung ergibt sich für den Übergang zwischen den Aktivitäten, in die die Ergebnisse einfließen, ein Wert von neun. Der Zusammenhang zwischen den Aktivitäten, abgebildet in der Aktivitäten-DSM, ist somit neun. Diese Form der Wertebildung erfasst die Ergebnisse beider Aktivitäten, würden nur die Werte der Folgeaktivität berücksichtigt, dann beschriebe dies nur die fortgesetzte Kritikalität des Prozesses. Die gemeinsame Summe der Werte erfasst die vorherrschende Kritikalität aus der Vorgänger-Nachfolgerbeziehung der Aktivitäten. Dieser Wert basiert auf der detaillierten Bewertung der Schnittstellen. Diese Berechnung ist für alle Abfolgen vorzunehmen.

Diese erste Aggregation der Ergebnis- auf die Aktivitätsebene kann entsprechend zwischen der Aktivitäten- und Gruppenebene fortgeführt werden. Die notwendigen Beziehungen für die entsprechende DMM sind ebenfalls bekannt, da die Aktivitäten durch die beteiligten Gewerke durchgeführt werden. Dies gilt auch für die weitere Aggregation auf die Organisationsebene. Der Vereinfachung halber ist dies in der Abb. 5-13 nur angedeutet.

Die Aggregation über die einzelnen Ebenen ermöglicht die Identifikation von generellen Handlungsfeldern für das gesamte Engineeringprojekt, bzw. auch in der übergeordneten Organisation. Diese Handlungsfelder können in den jeweiligen aufsummierten DSMs identifiziert werden.

Die Betrachtung der Werte innerhalb der Aktivitätsebene ermöglichen Rückschlüsse auf die Eignung und vorhandene Risiken der aktuellen Ablauforganisation des Engineeringprojekts, da kritische Übergänge und Abhängigkeiten sichtbar sind. Mögliche Veränderungen der Abläufe, um identifizierten Risiken zu begegnen, als auch die Auswirkung von Veränderungen können innerhalb der Matrix evaluiert werden. Hohe Indikatoren weisen auf einen möglichen Handlungsbedarf hin, bzw. niedrige Indikatoren auf ein im Sinne der vorgenommenen Bewertung unproblematischen Bereich.

Die Aggregation auf die Gruppen- und Organisationsebene ermöglicht Rückschlüsse auf die vorhandene Aufbauorganisation des Engineeringprojektes sowie die Einbettung in mögliche übergeordnete Organisationen. Die Aggregation stellt sowohl die direkten Beziehungen als auch die indirekten Beziehungen zwischen den einzelnen Einheiten dar. Durch die Aggregation weisen auch hier alle Markierungen einen entsprechenden Kritikalitätswert auf, der eine Entscheidungsgrundlage für Maßnahmen bietet. Die Berücksichtigung dieser Werte erlaubt Entscheidungen hinsichtlich örtlicher Verteilung der durchführenden Gewerke und zur generellen Arbeitsteiligkeit für das Engineeringprojekt zu treffen. Insbesondere in Feldern mit hoher Kritikalität können umfassendere Analysen durchgeführt werden, um Maßnahmen abzuleiten. Maßnahmen können eine erhöhte Integration zwischen den betroffenen Gewerken sein oder zusätzliche Investitionen in Kompetenzaufbau und Fortentwicklung der technischen Aspekte, die durch die Gewerke gelöst werden. Felder mit niedrigen Werten deuten auf eine Beherrschung der technischen Herausforderungen hin. Die entstandenen DSMs erlauben auch die Unterstützung bei der Aufteilung und externen Vergabe von Teilgewerken.

5.5 Begegnung der Herausforderungen für ein technisch inhaltliches Wissen für eine Optimierung des Engineerings

Das beschriebene Konzept liefert einen Beitrag, um den in den Kapiteln „2.6 Herausforderungen im Engineering automatisierter Anlagen“ und „3.5 Bestehende Herausforderungen zur Identifikation

technischer Abhängigkeiten zur Optimierung des gewerkeübergreifenden Engineerings“ beschriebenen Herausforderungen im Engineering zu begegnen. Die Bildung eines Modells des Engineeringprozesses erlaubt, die tatsächlichen Entscheidungen und Tätigkeiten der beteiligten Gewerke zu identifizieren und für konsekutive Maßnahmen zur Optimierung systematisch aufbereitet bereitzustellen. Die gewählte Form der Aufbereitung ermöglicht eine Analyse der bestehenden Abhängigkeiten und möglicher Wechselwirkungen. Kritische Iterationen und Pfade im Engineering automatisierter Anlagen können benannt werden.

Die dargestellte Anwendung der MDM-Methoden stellt eine Fortführung und Erweiterung der bisherigen Methoden im Sinne der Herausforderungen von Maurer [MAUR07] dar. Auch der notwendige Bedarf an geeigneten Methoden für eine effiziente Erfassung des Engineerings über Gewerke hinweg, geäußert von Eggersmann [EGGE05], konnte durch das Vorgehen aufbauend auf bestehenden Dokumentationen und die vorgeschlagenen Kriterien zur frühen Identifikation von Spannungsfeldern entsprechend begegnet werden. Durch die Lösung beider Herausforderungen und der Kombination in einem entsprechenden Modell des Engineeringprozess kann ein systematisches Verständnis vom Engineeringprozess gewonnen werden. Dieses Verständnis ermöglicht eine inhaltliche Betrachtung mit Fokus auf die technischen Zusammenhänge.

Die vorgeschlagenen Schritte zur Modellbildung und Möglichkeiten zur Auswertung und Optimierung können einzeln oder in Kombination genutzt werden. Der so entstandene Baukasten ermöglicht in den jeweiligen Anwendungsfällen eine Anpassung in Aufwand und Umfang. Die praktische Anwendbarkeit des Lösungskonzepts und die sich ergebenden Möglichkeiten werden exemplarisch anhand von Fallstudien im Abschnitt 8 beschrieben.

6 Konzept für eine werkzeugtechnische Unterstützung im Engineering

Die softwaretechnische Implementierung des Lösungskonzepts in einem Werkzeug ist nicht der Schwerpunkt dieser Arbeit, trotzdem soll dieser Transfer anhand einer exemplarischen Architektur beschrieben werden. Für die softwaretechnische Realisierung besteht die Möglichkeit, die Engineeringprozessmodellierung und Analyse durch ein entsprechendes Werkzeug zu unterstützen. Dies würde im wesentlichen der Aussage von Willars [WILL99] entsprechen, das jede Prozessmodellierung eine eigene Beschreibungsform, Optimierung und Werkzeug verwendet. Dieser Ansatz würde jedoch der Anforderung widersprechen, an bestehende Modelle und Dokumente anzuknüpfen. Die Anknüpfung an bestehende Modelle und Dokumente kann innerhalb der einzelnen Werkzeuge der beteiligten Gewerke stattfinden. Üblicherweise werden heute Arbeitsergebnisse in Form von Dokumenten, Dateien und mittels Datenbanken abgelegt und ausgetauscht. An diesen bestehenden Austausch kann mit dem Klassifikationsschema zur Beschreibung von Schnittstellen in Engineeringprozessen aus Abschnitt 5.2.3 angeknüpft werden.

Die beschriebenen Kriterien können teilweise automatisiert durch die jeweiligen Werkzeuge erfasst werden, dies ist zum Beispiel beim Informationszeitpunkt der Fall. Die Ablage und der Austausch von Dokumenten und Informationen finden schon heute mit Zeitstempel in den vorhandenen Werkzeugen statt. Wird im Rahmen dieses Zeitstempels auch noch die Veränderung zum Ausgangszustand erfasst, so sind die ergänzten Eigenschaften mit Zeitstempel bekannt. Die inhaltliche Vervollständigung von Resultaten kann rechnerbasiert ausgewertet werden. Diese Funktion ist in heutigen Werkzeugen nicht im Fokus.

Kriterien qualitativer Natur, wie die Änderungswahrscheinlichkeit, die Genauigkeit oder Anzahl getroffener Annahmen, können nur im Dialog mit den Experten erfasst werden. Dieser Dialog kann durch eine Ergänzung in den ausgetauschten Spezifikationen vorgenommen werden, so dass technische Merkmale wie die Masse eines Objektes mit einem zusätzlichen Hinweis zur Genauigkeit und Endgültigkeit versehen werden. Hierfür sind entweder in den ausgetauschten Informationen zusätzliche Felder vorzusehen, oder eine entsprechende Dialogkomponente ist ergänzend bereitzustellen. Diese von Experten benannten Informationen können nachfolgende Gewerke dann für konsekutive Tätigkeiten nutzen.

Der nachfolgend beschriebene Ansatz beschreibt eine Anreicherung der bestehenden Informationsbasis, die im Lösungskonzept (5.2.1) als Ausgangsbasis verwendet wird. Die Umsetzung würde den Aufwand bei den konsekutiven Tätigkeiten der Modellaufbereitung und Analyse verringern. Die Erstellung von Informationssträngen (5.2.1) kann aus den heutigen Werkzeugen heraus automatisiert durchgeführt werden. Wird eine Werkzeugumgebung von mehreren Gewerken gemeinsam verwendet, so kann durch die Aufzeichnung der Zugriffe durch die Gewerke ebenfalls ein Prozessmodell bestehend aus Aktivitäten und Resultaten vorbereitet werden. Die Resultate mit den ergänzten Informationen können generiert werden, die Konkretisierung der Aktivitäten hinsichtlich der Beschreibung zu Annahmen und Transfers muss jedoch weiter moderiert werden.

Eine umfassende Unterstützung durch softwaretechnische Werkzeuge ist in der Kombination mit PLM-Systemen zu erwarten. PLM-Systeme werden zum Daten- und Workflowmanagement im Engineering verwendet. Diese Systeme werden oft auch als PDM, Produktdatenmanagement, oder PLM, Produkt Lifecycle Management System, bezeichnet [2219]. Diese Systeme stellen eine erweiterte Datenablage dar. Die typischen Merkmale sind [PTC; 2219]:

- Dokumentverwaltung
- eingebettete Visualisierung
- Workflow / Ablaufketten
- standardisierte Arbeitspakete
- Verteilte Zusammenarbeit
- Multi-CAD-Datenmanagement
- vollständiges Stücklistenmanagement
- Änderungs- und Konfigurationsmanagement

Bei Zugriff aus dem PLM-System auf diese Daten wird üblicherweise das spezifische Werkzeug geöffnet. Dem Experten wird die Arbeitsgrundlage zur Erstellung des nächsten Resultates bereitgestellt. Wie in Abschnitt 2 beschrieben, wird im heutigen industriellen Lösungsgeschäft die Aussteuerung des Engineeringablaufs auf einer abstrakteren Ebene mittels Projektmangementwerkzeugen realisiert. Ein Transfer des im vorhergehenden Kapitel vorgestellten Ansatzes zur Verknüpfung von PLM-Systemen und der fortgesetzten Durchdringung des Engineeringprozesses kann daher einen signifikanten Hebel bieten.

6.1 Architekturbeschreibung zur Kopplung des Lösungskonzeptes mit einem PLM System

Nachfolgende Übersicht beschreibt eine mögliche Architektur zur Kombination des Lösungskonzeptes mit einem PLM-System. Für diese Beschreibung wurde eine allgemeingültige Beschreibung des Aufbaus von PLM-Systemen verwendet [2219].

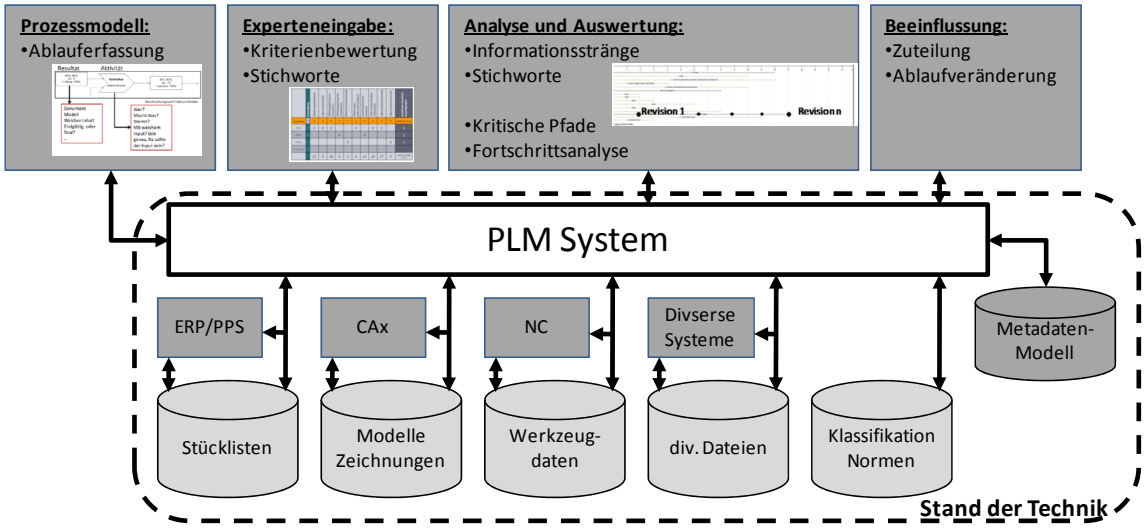


Abb. 6-1 Konzept für eine werkzeugtechnische Unterstützung

Das in Abb. 6-1 abgebildete Konzept umfasst vier ergänzende Module, die an ein bestehendes PLM System angeknüpft werden können, diese sind oberhalb des PLM Systems abgebildet. Die einzelnen Module sind die Prozesserfassung, ein Expertenbewertungsmodul, eine Analyse- und Auswertungsfunktion sowie ein Beeinflussungsmodul.

Prozessmodell

Schon jetzt wird innerhalb von PLM-Systemen der Engineeringablauf berücksichtigt und im Metadaten-Modell abgebildet. In diesem Modell werden einzelne Nutzerrollen sowie Verknüpfungen zwischen den Resultaten, die im System abgelegt werden, und Aufgaben für eine semiautomatische Bereitstellung dieser definiert. Die Bereitstellung wird zum Start von Prozessen genutzt. Nach der Anmeldung am System und der Nutzerauswahl bezüglich des zu erstellenden technischen Objektes bekommt dieser die erste Arbeitsgrundlage bereitgestellt. Nach Ablage eines erzielten Resultats wird dieses den nachfolgenden Experten zur Einbringung der nächsten Teillösung automatisiert zur Verfügung gestellt.

Mittels eines Moduls zur Prozesserfassung kann diese Funktion erweitert werden. Dieses Modul erlaubt es Experten aus dem Engineering, Abläufe einzuspielen. Entsprechend Kapitel 5.2 kann die Prozessmodellierung auch durch beteiligte Experten vorgenommen werden. Hierbei können bei der Modellierung von Ablaufverkettungen weitere Entscheidungsmerkmale für den Prozessablauf erfasst werden. So können mögliche Ablaufalternativen explizit erfasst werden, die in den heutigen realisierten Ablaufketten nur bedingt erfasst sind. Anhand der Berücksichtigung eines Merkmals bezüglich der Vollständigkeit von eingespielten Ergebnissen können Iterationen vorgegeben werden, bevor Weiterleitungen stattfinden können.

Expertenbewertungsmodul

Unabhängig von der Prozessbeschreibung, können die Kriterien zur Bewertung der ausgetauschten Informationen (Tab. 5-1) integriert werden. In einer Expertenschnittstelle können diese bei der Ablage und Einspielung von Ergebnissen, Modellen und Zeichnungen den Daten angehängt werden. Neben den Merkmalsausprägungen können ebenfalls entsprechende Stichworte und Hinweise annotiert werden. In Folge dessen entsteht in der bisherigen Datenbank ein entsprechendes Fortschrittsabbild des Engineeringprozesses. Die abgelegten Stichworte und Kommentare bieten den nachfolgenden Bearbeitern eine zusätzliche Informationsbasis. Heutige Systeme prüfen lediglich die Existenz von Daten, sofern das hierfür notwendige Wissen im System vorhanden ist.

Analyse- und Auswertungsfunktion

Nachgeschaltet an das Expertenbewertungsmodul kann ein Analyse- und Auswertungsfunktion entsprechend wirken. Auch ohne die Bewertungen können die in Abschnitt 5.2.1 beschrieben Informationsstränge bereitgestellt werden. Wird bei der Bearbeitung das Bewertungsmodul eingesetzt, können auch umfassendere Auswertungen anhand der Merkmale vorgenommen werden. Messungen zur Vollständigkeitsbewertung können durchgeführt werden.

Die Merkmale erlauben kritische Zusammenhänge zwischen Ergebnissen automatisiert bereitzustellen. Eine Abfrage der Werte zur Informationsgenauigkeit kann so durchgeführt werden. Durch diese bewerteten Kriterien können kritische Elemente und entsprechende Pfade ausgegeben werden, wie in Abschnitt 5.3.3 beschrieben. Diese Analysen sind kontinuierlich zum Fortschritt des Engineerings möglich. Die Auswertungen können mit Erwartungswerten verglichen werden.

Beeinflussungsmodul

Auf Grundlage der Auswertung und Analyse bietet das Beeinflussungsmodul die Möglichkeit, dezidiert Aufgaben den Experten über das System nochmals zuzuweisen. Weiterhin können vormals definierte Abläufe verändert werden. Diese Veränderungen können Sprünge sein, wie die zusätzliche Verknüpfung mit bisher unverbundenen Informationssträngen, oder auch eine entsprechende Entkopplung. Die Maßnahmen und Eingriffe überstimmen die bestehenden Vorgaben des Systems, so-

wohl aus dem Metadatenmodell, als auch aus einer möglichen Vordefinition durch das Prozessbeschreibungsmodul, in Anlehnung an die Maßnahmen aus Kapitel 5.4.

Im Gegensatz zu den Arbeiten von *Eggersmann* [EGGE05], *Sokolov[* SOK+12] und *Libuda* [LIBU10] wird in diesem Vorschlag ein bestehendes Unterstützungssystem aufgegriffen. Es werden einzelne Module vorgeschlagen, die ergänzend in dieses System eingreifen können. Ein solcher Ansatz ermöglicht eine systematische Aussteuerung des Prozesses, hierbei werden insbesondere die technischen Zusammenhänge zwischen den Gewerken zur Entscheidungsfindung mit eingebunden.

7 Einordnung der Fallstudien

Eine wesentliche beeinflussende Größe für das Engineering automatisierter Anlagen ist die Branche, in der die Anlagen zum Einsatz kommen (vgl. Kapitel 2.3). Der zu realisierende technische Prozess dominiert als das jeweilige führende Gewerk im Engineering das Projektvorhaben. Durch Integration aller beteiligten Gewerke entsteht am Projektende eine den Anforderungen entsprechende Lösung. Da je nach Verwendungszweck der Anlage, wie Prozess- oder Fertigungsindustrie, andere technische Prozesse realisiert werden, unterscheidet sich die Intensität der Beteiligung der einzelnen Gewerke. Unabhängig von der Intensität der Einbindung werden jedoch die für die einzelnen Gewerke charakteristischen Modelle und Methoden eingesetzt. Diese Tatsache ermöglicht den Umkehrschluss, dass unabhängig von der Anwendungsdomäne entsprechende Gemeinsamkeiten vorhanden sind.

Die nachfolgend aus dem Kapitel 2.4 wieder aufgegriffene Tab. 7-1 ordnet die Fallstudien ein. Die Tabelle ordnet die typischen Aktivitäten dem in der jeweiligen Anwendungsdomäne hauptverantwortlichen Gewerk zu. Diese Übersicht verdeutlicht die domänenübergreifende Gültigkeit der einzelnen Erkenntnisse, da der hohe Grad an Gemeinsamkeit dargestellt werden kann. Für die einzelnen Fallstudien werden nachfolgend die aktiv treibenden Gewerke mit einem „x“ markiert, begleitende Gewerke, die Detailinformationen beisteuern, werden mit „–“ markiert. Unterhalb des jeweiligen Gewerks sind die einzelnen Fallstudien vermerkt. Diese Einordnung gilt für die betrachteten Fallbeispiele, das Engineering von Walzwerken (Kapitel 7.1), Kraftwerken (Kapitel 7.2) und Schaltanlagen (Kapitel 7.3). Die Einordnungen sind dabei nicht generell für die Anlagentypen zu sehen, sondern direkt auf die jeweilige Organisation und den Betrachtungsausschnitt der Fallstudien bezogen. Diese drei unterschiedlichen Anlagentypen bilden die Grundlage der einzelnen Fallstudien in Abschnitt 8.

Tab. 7-1 Einordnung der Fallstudien

	Gewerke																										
	Prozesstechnologe			Mechanik			Bau			Fluidtechnik			Anlagen Design			Elektrik			Energietechnik			Antriebe Sensoren			Steuerungstechnik		
Fallstudien (W=Walzwerk, K=Kraftwerk, S= Schaltanlage)	W	K	S	W	K	S	W	K	S	W	K	S	W	K	S	W	K	S	W	K	S	W	K	S	W	K	S
Planung und Kalkulation	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Anlagen Layout Design	x	x			-			x	x				x		x		-				x						
Prozess Engineering	x	x	x								x		x					x	-		x	-			-		
Rohr und Instrumenten Schemata		x									-																
Rohrplanung				x	-	x		-		x	x		x					x				-					
Fluid/hydr./pneum. Planung		-		-						x	x		x						-			-			-		
Elektrik und Steuerung	x		x				-								x	x	x	x	-		x	x			x		x
Automation und Prozesssteuerung	-	x	x														x	x	-	x	x	-	-	x	x	x	x
Gebäudeplanung, Struktur und Unterstützungsplanung				x	-		x	x	x		-		x					x			x						
Mechanik Konstruktion	-	-		x	x	x	-						x					-		-							

Die Planung von Rohr- und Instrumenten-Schemata stellt eine Besonderheit in der Planung von verfahrenstechnischen Anlagen dar. Die Beschreibung des technischen Prozesses anhand einheitlicher Fliessbilder als gemeinsames Beschreibungsmittel [SCH+08] hat hier eine Sonderstellung. In anderen Anwendungsbereichen kommen andere, nicht genormte Bechreibungsformen für ein gemeinschaftliches Bild des zu realisierenden technischen Prozess zum Einsatz. Im Fall von Walzwerken werden sogenannte Stichpläne von den Metallurgen angefertigt und zur Verfügung gestellt.

Den Einfluss der jeweils zu realisierenden Anlage zeigt die Markierung beim Anlagen-Layout beispielsweise auf. Beim Engineering von Walzwerken ist hier der Prozesstechnologe jeweils verantwortlich, bei Schaltanlagen übernimmt dies die Elektrik.

Das Beispiel Rohrplanung- und Fluid-Planung zeigen, dass in der Schaltanlage diese Gewerke keine wesentliche Rolle spielen. Die Fluidtechnik ist nur an der Kalkulation explizit beteiligt.

7.1 Walzwerkengineering

Walzwerke für Stahl werden für eine stetige oder schrittweise Umformung von Stahl durch sich drehende Werkzeuge, die Walzen, gebaut. Der Stahl wird durch die sich entgegengesetzt drehenden Walzen hindurchgeführt, um vordefinierte Beeinflussungen des Werkstoffs zu erreichen. Beeinflussungen können neben Dicken-, Breiten und Längenänderungen auch Beeinflussungen hinsichtlich der Materialeigenschaften sein. Alle diese Veränderungen geschehen durch den ausgeübten Druck der Walzen. Demgemäß wird das Walzen der Verfahrensgruppe *Druckumformen* [8583] zugerechnet. Der Walzprozess schließt sich an das Urformen an. Ausgangsprodukte für das Walzen sind Barren, Brammen, Blöcke oder Knüppel. Die Erzeugnisse des Walzens sind Halbzeuge für nachfolgende Prozesse. Abb. 7-1 zeigt beispielhaft die typische Zusammenstellung für ein Warmbandwalzwerk.

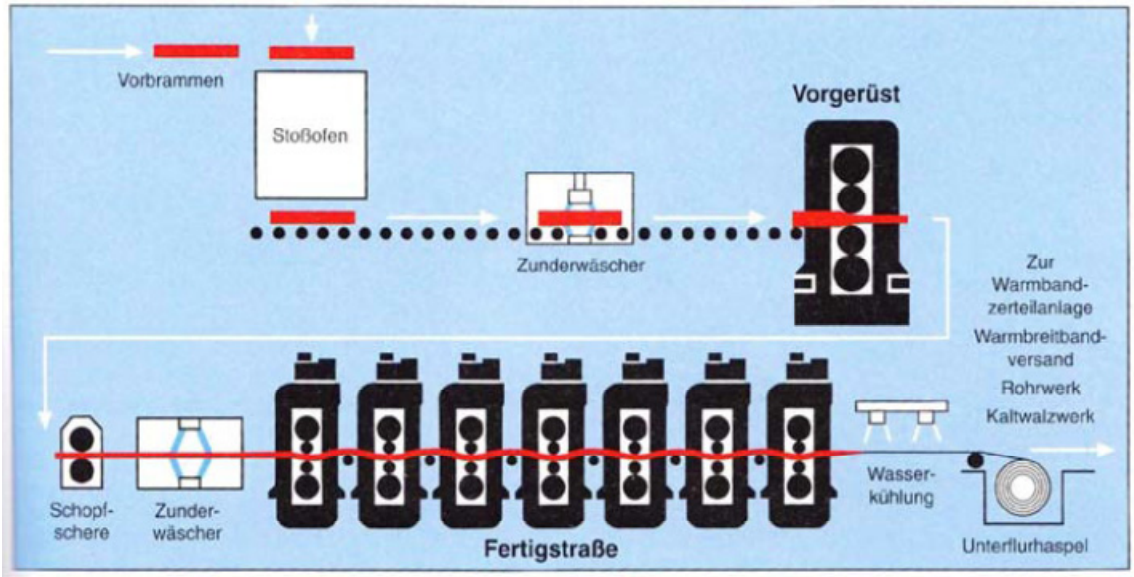


Abb. 7-1 Aufbau eines Warmbandwalzwerks [DEG+07]

Im Warmbandwalzwerk werden die zuvor gegossenen Brammen in einem Stoßofen erneut aufgewärmt. Anschließend durchfahren sie einen Zunderwäscher, der oberflächlich anhaftende Verschmutzungen, den Zunder, entfernt. Im Vorgerüst wird die Bramme das erste Mal gewalzt. Die Schopfschere bringt das Walzgut auf die richtige Breite für die folgende Fertigstraße. Nach einer erneuten Zunderwäsche, werden mehrere Walzstufen durchlaufen, um das gewünschte Walzergebnis zu erreichen. Abgekühlt kann das Band aufgerollt werden.

7.2 Kraftwerksengineering

Eine Möglichkeit zur Erzeugung elektrischer Energie ist die Nutzung von Dampfkraftwerken, hierbei wird thermische Energie zu elektrischer umgewandelt. Dieser Umwandlungsprozess wird sich in einem Dampfkraftwerk mehrfach zu Nutze gemacht. Die dabei dominierenden Energiequellen sind Kohle, Erdgas und Kernkraft. Im Dampfkraftwerk wird aufbereitetes Wasser verdampft und überhitzt, sodass ein entsprechend größeres spezifisches Volumen an Dampf erreicht wird. Nach dieser Dampferzeugung wird dieser auf eine Turbine geführt, um diese anzutreiben, dabei findet entlang der einzelnen Stufen der Turbine eine entsprechende Entspannung statt. Dies ist in Abb. 7-2 exemplarisch anhand eines Kernkraftwerks beschrieben. Hier findet die Dampferzeugung durch einen Kernreaktor statt, bei anderen Kraftwerkstypen kann dies zum Beispiel auch durch Verbrennungsöfen stattfinden. Durch die Drehung der Turbine wird die Welle, auf der sich die einzelnen Turbinenschaufeln befinden, angetrieben und erzeugt mittels eines angekoppelten Generators elektrische Energie. Um den Kreisprozess zu schließen, muss der Dampf, der aus der Turbine kommt, kondensiert und dem Speisewasserbehälter zugeführt werden.

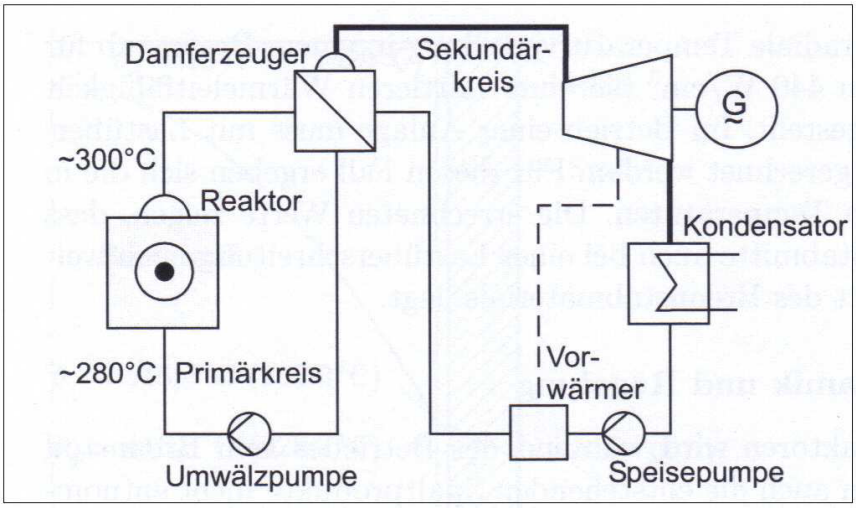


Abb. 7-2 Schematische Abbildung eines Kernkraftwerks [STRA07]

Aus physikalischer Sicht stellt die Kondensation die Umkehrung des Verdampfungsprozesses dar, da eine Aggregatzustandsänderung von gasförmig zu flüssig vorgenommen wird. Um beim Durchtritt durch die Turbine ein großes Druckgefälle zu erzeugen, muss dieser Vorgang bei möglichst niedriger Temperatur erfolgen. Zur Abfuhr der Wärme werden Kühlgewässer benötigt, über deren Oberfläche die überschüssige Wärme abgegeben wird. Dazu wird das Kühlwasser durch die Kondensatorrohre gepumpt um die thermische Energie des Dampfes, der aus der Turbine tritt, aufzunehmen. Im Kondensator wird dabei ein hohes Vakuum erzeugt, um den Prozesswirkungsgrad zu erhöhen.

In modernen Kraftwerken hat der Kondensator noch eine weitere Aufgabe, er muss gegebenenfalls den kompletten Dampf aus dem Kessel kondensieren können. Dies kann nötig sein, wenn die Anlage herunter gefahren wird oder es zu Störfällen in der Turbogruppe, welche aus Turbine und Generator besteht, kommt. Des Weiteren gelangen durch Undichtigkeiten im Wasser-Dampfkreislauf auch nicht kondensierbare Bestandteile in den Kondensator, die abgepumpt werden müssen.

7.3 Schaltanlagenengineering

Schaltanlagen werden an Knotenpunkten in Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetzen zur Verteilung elektrischer Energie eingesetzt. Hierbei sind Schaltanlagen für die eigentliche Stromverteilung und die Zusammenfassung von Lasten zuständig. Schaltanlagen ermöglichen eine Veränderung der Netztopologie im Fall von Störungen. Im Wartungsfall werden die Schaltanlagen zur Erdung der Betriebsmittel genutzt. Schaltanlagen sind in sich geschlossene Baugruppen, bestehend aus elektrischen Komponenten und mechanischen Strukturbauteilen, sie können luft- oder gasisoliert ausgeführt werden. Abb. 7-3 stellt eine gasisolierte Schaltanlage dar.

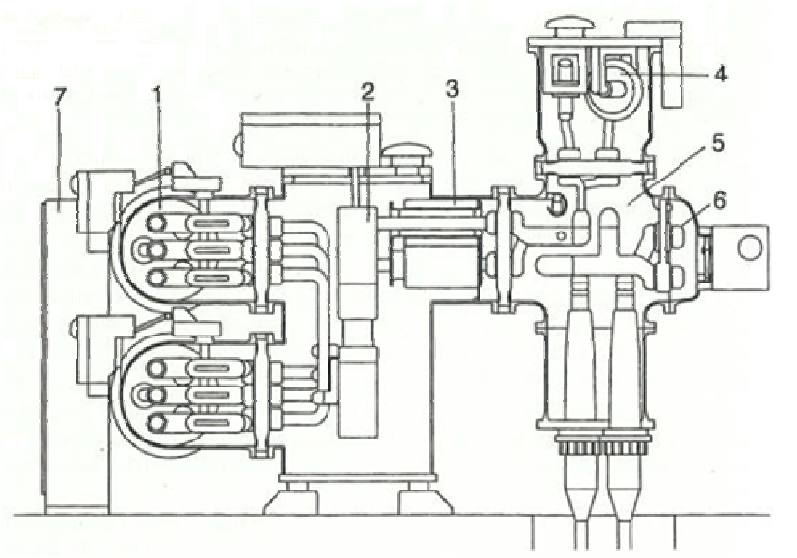


Abb. 7-3 Übersichtsdarstellung einer gasisolierten Schaltanlage [GREM99]

Die dargestellte gasisolierte Schaltanlage verfügt über zwei Sammelschienen, mit je drei Phasen (Ziffer 1 in der Abbildung). Der Leistungsschalter (2) ermöglicht das Schalten der verfügbaren Leistung auf das Versorgungsnetz, die notwendigen Abgänge in das Netz befinden sich unten rechts in der Abbildung. Für die Umschaltung auf Erde ist der entsprechende Bereich mit 5 und 6 markiert. Die Ziffer 3 kennzeichnet den Stromwandler und die 4 den Spannungswandler. Diese in einem geschlossenen Gehäuse liegenden Elemente sind üblicherweise durch eine Atmosphäre mit Schutzgas gefüllt, daher die Namensgebung Gasisolierte Schaltanlage. Ein häufig verwendetes Schutzgas ist Schwefelhexafluorid SF_6.

8 Fallstudien im Engineering automatisierter Anlagen

Das in den vorhergehenden Abschnitten entwickelte Vorgehen zur Bildung eines Modells des Engineeringprozesses (Kap. 5.1 und 5.2) wurde anhand unterschiedlicher Projekte aus dem Engineering automatisierter Anlagen erprobt. Hierbei wurden die unterschiedlichen Möglichkeiten hinsichtlich der Analyse(Kap. 5.3) und Optimierung (Kap. 5.4) exemplarisch angewendet und deren Wirksamkeit in der Praxis bestätigt. Die Fallbeispiele entstammen, wie bereits in der Einordnung in Kapitel 7 dargestellt, dem Engineering von Walzwerken für Stahl, dem Engineering von Kraftwerken und dem Engineering von Schaltanlagen in elektrischen Netzen. Allen drei Anwendungsgebieten des Engineerings ist die intensive Fokussierung auf die kunden- und anwendungsspezifische Lösung sowie ein hoher Grad an notwendiger Automatisierungstechnik gemein. Über alle drei Fallstudien hinweg entstand ein großer Mehrwert in der reinen Aufstellung des jeweiligen Modells des Engineeringprozesses, da hierbei bereits eine umfassende Klärung der gewerkespezifischen Wahrnehmungen stattfand.

Tab. 8-1 beschreibt eine Zuordnung der einzelnen Bausteine des Lösungskonzepts zu den Fallstudien. Die grundlegende Betrachtung des Engineeringprozess basiert immer auf der hierarchischen Betrachtung des Engineeringprozess (vgl. Kap. 5.1). Für die Identifikation von technischen Abhängigkeiten und möglicher Wechselwirkungen anhand der Engineeringprozesse sind die Schritte der Kapitel 5.2, 5.2.1 und 5.2.2 immer notwendig, entsprechend wurden diese zum Aufbau der jeweiligen Prozessmodelle angewendet (vgl. Tab. 8-1). Ebenfalls wurden immer die allgemeinen Analyse Tätigkeiten nach Kapitel 5.3 und Optimierung nach Kapitel 5.4 angewendet.

In der Fallstudie Walzwerk wurden zusätzlich die Schnittmengen zwischen Gewerken betrachtet, durch Analyseschritte nach Abschnitt 5.3.2 und Maßnahmen nach Abschnitt 5.4.1.

Die Modelbildung der Fallstudie Kraftwerk wurden durch die Schritte nach Abschnitt 5.2.3 und 5.2.4 ergänzt, die Klassifikation von Schnittstellen und der Transfer in Abhängigkeitsmatrizen wurde angewandt. Diese Schritte waren notwendig, um aus einer Vielzahl von Schnittstellen potentiell kritische nach Abschnitt 5.3.3 zu identifizieren. Ergänzend wurden detaillierte Bewertungen einzelner Informationen im Sinne von Abschnitt 5.4.3 für die Analysen zusammengefasst.

Abschnitt 5.2.3 und 5.3.3 fanden ebenfalls Anwendung in der Fallstudie Schaltanlage, hier jedoch als ergänzende Unterstützung bei der erstmaligen Definition von Engineeringprozessen für die Organisation. Entsprechend wurden die Kriterien als Grundlage für die Maßnahmen nach Abschnitt 5.4.1 verwendet. Die Kriterien gaben Hinweise an welchen Stellen umfassendere Definitionen und Verfeinerungen des Prozess und der Schnittstellen notwendig sind und welche modellierten Schritte bereits einen stabilen Engineeringprozess ermöglichen können.

In Tab. 8-1 ist diese Zuordnung zusammengefasst. Allgemein verwendete Schritte sind mit „x“ markiert, die jeweiligen Schwerpunkte der Analysen mit konkretem Bezug zu den nachfolgenden Abschnitten.

Tab. 8-1 Zuordnung der Fallstudien zu den Bausteinen des Lösungskonzepts

	Abschnitte	Fallstudien		
		Walzwerk	Kraftwerk	Schaltanlage
5.1	Hierachisches Betrachtungsmodell für Engineeringprozesse	x	x	x
5.2	Systematische Aufbereitung und Dokumentation des Engineeringprozesses	x	x	x
5.2.1	Aufbereitung bestehender Dokumentation	x	x	x
5.2.2	Interviews und Workshops zur Dokumentation des Engineeringprozesses	x	x	x
5.2.3	Beschreibung und Klassifikation von Schnittstellen in Engineeringprozessen		x	x
5.2.4	Transfer in Abhängigkeitsmatritzen		x	
5.3	Systematische Analyse und Auswertung des Prozessmodells	x	x	x
5.3.1	Schnittmengen in Modellen und Dokumenten zwischen Gewerken	8.1.2		
5.3.2	Technische Abhängigkeiten und Wechselwirkungen	8.1.1		
5.3.3	Identifikation kritischer Pfade - der technisch kritische Pfad		8.2.1	8.3.1
5.4	Ansätze und Maßnahmen zur Optimierung des Engineeringprozesses	x	x	x
5.4.1	Anpassen von Schnittstellen und Verändern des Ablaufs desEngineeringprozesses	8.1.3		8.3.1
5.4.2	Auflösung von technischen Spannungsfeldern	8.1.1		
5.4.3	Verdichtung der Schnittstellenklassifikation auf übergeordnete Ebenen des Engineeringprozessmodells		8.2.1	

8.1 Untersuchung von technischen Spannungsfeldern zwischen Gewerken

Im Engineering von Walzwerken wurde die gewerkeübergreifende Zusammenarbeit zwischen den Gewerken Mechanik, Hydraulik, Elektrik und Automatisierungstechnik systematisch erfasst. Die Fokussierung in der Betrachtung lag insbesondere auf dem Informationsaustausch an den Schnittstellen im Kontext der hydraulischen Anlagenaspekte. Hierfür wurde der entsprechende wechselseitige Informationsaustausch an den betroffenen Schnittstellen zwischen den einzelnen Aktivitäten der Gewerke erfasst. Anwendung bei der Prozessmodellierung fand das in Kapitel 5.2 und den entsprechenden Unterkapiteln beschriebene Vorgehen zur Erstellung eines Modells des Engineeringprozesses.

An der Erstellung eines Walzwerks ist eine Vielzahl von Gewerken beteiligt. Im Rahmen dieser Fallstudie, bestätigt durch die Expertenworkshops, konnten die folgenden Gewerke in der Fallstudie identifiziert werden. Diese Gewerke sind in Tab. 8-2 aufgeführt und kurz umschrieben.

Tab. 8-2 Beteiligte Gewerke in der Fallstudie Walzwerkengineering

Gewerk	Kurzbeschreibung
Mechanik	Gestelle und Abstützungen
Civil	Belange des Baus und der Standort Infrastruktur

Hydraulik	Fluidtechnische Einrichtungen und Versorgung der Anlage
Designer/Konstrukteur	3D Modelle und Konstruktion der Anlage
Metallurge	Wissen über technischen Prozess des Walzens
Plant Designer	Anordnung und Strukturierung der Gesamtanlage
Elektrik	
Power	Energieversorgung des Standorts und der Ausrüstung
Drives	elektrische Antriebe im Werk und Standort
Automation	
Automation Level 1	Basisautomation (Abläufe und Steuerung)
Automation Level 2	Prozessregelung
HMI Automation	Bedienschnittstellen und Visualisierung

Im ersten Schritt bei der Modellierung des Engineeringprozess konnte anhand der Projektplanung die große Anzahl an abgelegten Dokumenten im Kontext der Hydraulik in einen zeitlichen Zusammenhang gebracht werden in Form von Informationssträngen. Die Dokumente entsprangen den einzelnen beteiligten Gewerken. Die Bandbreite der Dokumente umfasste unter anderem verschiedenartige Listen, wie die Motoren- und Komponentenliste, Referenzdatenblätter für Versorgungsmedien und Anforderungen an den Aufstellort, Datenblätter und Funktionsbeschreibungen. Entsprechend dieser Vielzahl wurden viele verschiedene Beschreibungsmittel für die zu dokumentierenden Aspekte der Hydraulik durch die Gewerke verwendet. In Summe wurden in der Fallstudie für den betrachteten Bereich 52 Dokumente erfasst, die einzelnen Zwischenstände und Dokumentationen innerhalb der Gewerke sind dabei nicht mitgezählt worden. Die nachfolgende Tab. 8-3 fasst diese Menge an Dokumentation, die ausgetauscht wird, in einer Übersicht zusammen. Die Ausgetauschte Dokumentation lässt sich in Zeichnungen, textuelle Beschreibungen und Listen einordnen. In der Spalte „Gewerk“ ist der Urheber und Verantwortliche für das jeweilige Dokument benannt.

Tab. 8-3 Übersicht Austauschdokumente Hydraulik mit Urhebern

Dokumente	Gewerk	Kurzbeschreibung	Werkzeug
Zeichnung			
Übersicht Energieversorgung	Elektrik		Visio Draw
Kommunikations-Übersicht	AT	Übersicht der Kommunikations-ströme der Steuerungen	Visio Draw
Coil-Überprüfungsstation	Mechanik	Konstruktionsplan	CAD
Kommunikation Netzwerk	Elektrik	Übersicht der Kommunikations netzwerke in der Anlage	Visio Draw
Kommunikation Automation	AT	Kommunikation der Automations-	Visio draw

		stationen	
Anschlussverkabelung Hydraulik Unterstützung	Lieferant	Übersicht elektrische Einbindung	Visio Draw
Platzanforderungen HMI	AT	Platzbedarf und Montage der Bedieneinheiten	2D CAD
Abmessung Antriebe	Mechanik	Befestigungen, Abmessungen und Bauraum	2D CAD
Beschreibung			
Kühlwasseranforderungen	Hydraulik	Menge, Beschaffenheit	Word
HAGC Reference	Hydraulik	Zylinderspezifikationen	Word
EMF-Herunterfahren	Hydraulik	Anforderungen bei Systemabschaltung	Word
Anforderungen geregelte Antriebe	Technologe, Hydraulik	Anforderungen an Antriebe	Word
geregelte Antriebe	Elektrik	Beschreibung gewählter Antriebe	Word
Kennzeichnungssystematik	Elektrik	Listung Abkürzungen, OKZ usw.	Word
Lageranweisung kleine und große Räume	Hydraulik	Anforderungen an Lagerraum	Word
Elektro-Mechanische-Funktionsbeschreibung (EMF) -Gemeinsame Steuerung	Technologe	Übersicht generelles Steuer- und Regelkonzept	Word
EMF-Einzug- Auslauf	Technologe	Steuer- und Regelkonzept Einzug und Auslauf Walzgut	Word
Transportanweisungen	Mechanik	Frachtinformationen, Hebeanweisungen und Befestigung	Word
Listen			
Motoren- und Komponentenliste (MKL)	Mechanik	elektromechanisches Grundgerüst	Excel
Ausrüstungsübersicht nach Ortskennzahl (OKZ)	Elektrik	Übersicht elektrische Ausrüstung nach Ortskennzahl	Excel
Signalliste und Signalliste Hebeeinrichtung	Elektrik	Übersicht der Signale [Werte und Bereiche]	Excel
Übersichtsliste Stromlaufpläne	Elektrik	Aufzählung und Zuordnung der Stromlaufpläne	Excel

Auf der so erfassten Basis der Informationsstränge (Kap. 5.2.1) konnten anhand der in Kapitel 5.2.2 beschriebenen Weise die bereits erfassten, dokumentierten und ausgetauschten Resultate mittels Aktivitäten zu einem entsprechenden Modell des Engineeringprozesses verknüpft werden. Eine Zusammenfassung des Prozessmodells ist in Abb. 8-1 dargestellt. Die Workshops mit den einzelnen Experten der beteiligten Gewerke wurden unterstützt durch die bereits erfassten Informationsstränge, durch eine Konfrontation mit den Inhalten der bestehenden Dokumente und durch die zusätzliche Berücksichtigung des Fragenkatalogs und Leitfadens (Kap. 5.2.2). Anhand des vollständigen Abbilds des Ist-Prozesses konnten die durch die Gewerke jeweils entnommenen Informationen aus den Resultaten für die nachfolgende Aktivität detailliert beschrieben werden.

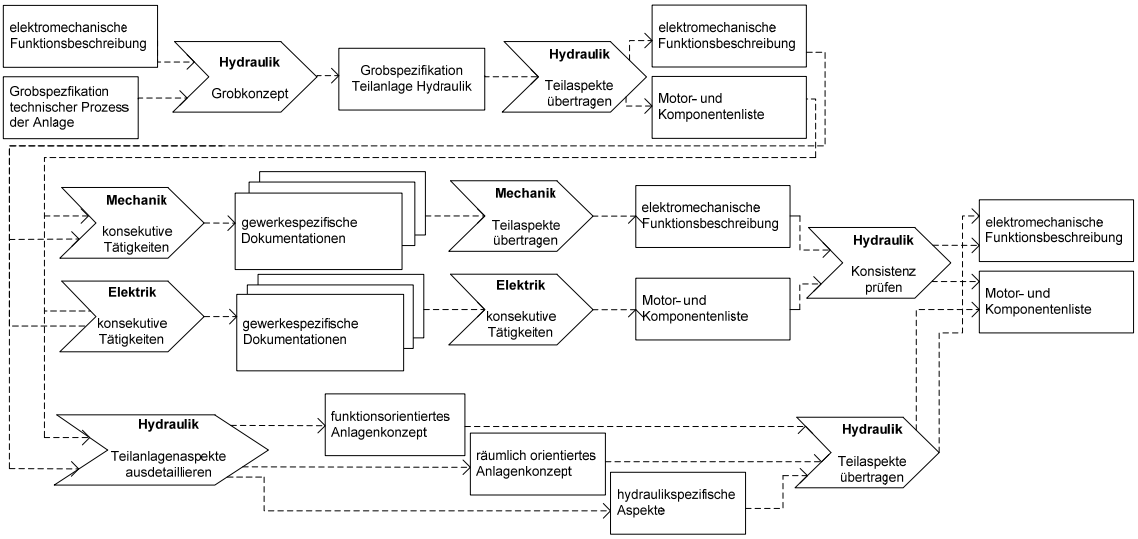


Abb. 8-1 Zusammenfassung des Engineeringprozess der Fallstudie Walzwerk

Das Engineering im betrachteten Projekt beginnt mit einer elektromechanischen Funktionsbeschreibung und einer Grobspezifikation der zu erstellenden Anlage. Da in dieser Fallstudie die Hydraulik in den Fokus gerückt wurde, wird diese Grundlage entsprechend für ein hydraulisches Grobkonzept aufgegriffen. Im weiteren Verlauf wird an der Hydraulik teilweise parallel durch die Gewerke Mechanik und Elektrik gearbeitet. Die wesentlichen Synchronisationen und Abstimmungen finden über die fortgesetzte Vervollständigung der elektromechanischen Funktionsbeschreibung (EMF) und der Motoren- und Komponentenliste (MKL) statt. Die EMF enthält die Beschreibung aller wesentlichen Funktionen hinsichtlich involvierter Komponenten und Zeitverhalten. Die MKL ist das Mengengerüst der ausgewählten Sensorik und Aktorik mit den wesentlichen Attributen, wie Anschluss, Versorgung und Leistungsbreite.

Bereits die Erstellung des Engineeringprozessmodells in Workshops mit den involvierten Gewerken stellte eine erste Klärung der bestehenden Vorgehensweisen dar. So bestanden unterschiedliche Sichtweisen in den Gewerken auf die jeweils ausgetauschten Informationen und –zeitpunkte im Engineeringprozess. Das Prozessmodell stellt so bereits eine klärende Optimierung des Prozesses, ohne verändernde Eingriffe, dar. Aufbauend auf dem Prozessmodell konnten drei Themen verfolgt werden: Die Analyse der Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen Gewerken an technischen Spannungsfeldern (Kap. 8.1.1), die Identifikation und Zuordnung der genutzten Modelltypen und Werkzeuge (Kap. 8.1.2), um die bestehenden Schnittmengen zwischen den Gewerken herauszustellen, sowie aus dem bestehenden Engineeringprozess resultierende Implikationen für die Auswahl der jeweiligen Vorgehensweise zur Lösung der gestellten Aufgaben (Kap. 8.1.3).

8.1.1 Nachverfolgung technischer Änderungen und deren Auswirkungen

Das nach den Vorgaben des Lösungskonzeptes erstellte Modell des Ist-Engineeringprozesses für den Ausschnitt der Hydraulikaspekte konnte zur Betrachtung von aufgetretenen technischen Spannungsfeldern verwendet werden. Die Beschreibung der Spannungsfelder wurde nach dem Vorgehen aus 5.3.2 durchgeführt und die Auflösung der Spannungsfelder anhand der Beschreibung in Abschnitt 5.4.2. Die vorgefundenen Spannungsfelder und die damit verbundenen technischen Schwierigkeiten konnten im dokumentierten Modell des Engineeringprozesses inhaltlich detailliert zwischen den Gewerken zurückverfolgt werden. Bei der Beschreibung der Spannungsfelder wurden etwaige Ursachen sowie gleichzeitig mögliche Lösungen für das Spannungsfeld identifiziert. Die Analyse berücksichtigt die hiermit weiter verbundenen Einwirkungen auf andere technische Aspekte im Kontext des jeweiligen Betrachtungsobjektes. Auf dieser Betrachtung aufbauend kann dann eine technische und prozessorientierte Optimierung zum Abbau des Spannungsfeldes vorgenommen werden.

Nachfolgend werden exemplarisch vier Anwendungsfälle vorgestellt. Hierzu wurden die Spannungsfelder als technische Auswirkungskette visualisiert. Die identifizierten Ursachen wurden an den Beginn der Kette gestellt. Das erkannte Symptom, zumeist ein Prozessabbruch, steht am Ende der Kette.

Anwendungsfall 1: Tausch eines Servoventils

Gegen Ende des Engineeringprozesses wird ein Servoventil, das den Druck der Walzenanstellungszylinder in einem Walzgerüst steuert, gegen ein anderes, vermeintlich gleiches Ventil ausgewechselt. Dieser Wechsel kann verschiedene Ursachen besitzen. Die Hydraulik wird durch eine externe Partei anhand der Vorgaben des Errichters erstellt. Ein Fachplaner der fremden Partei hat nach seiner Einschätzung keinen Fehler begangen und ein gleichwertiges Ventil ausgewählt. Das Ventil könnte im Rahmen der Inbetriebnahme ausgetauscht worden sein. Das Ventil besitzt die gleichen Spezifikationen, unterscheidet sich jedoch in Nuancen im Verhalten vom sonst verwendeten Ventil. Hieraus resultiert folgende Fehlerverkettung:

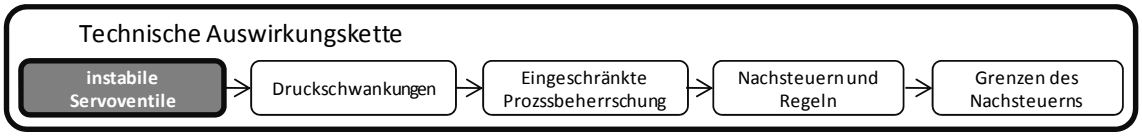


Abb. 8-2 Technische Auswirkungskette durch Wechsel eines Servoventils

Der Druck wird durch das Verhalten der Ventile nicht mehr stabil gehalten. Die Verhaltenseigenschaften sind in der elektromechanischen Funktionsbeschreibung gefordert, entsprechend im Engineering berücksichtigt worden und in der Zylinderliste der Hydraulik dokumentiert. Diese inhaltliche Verkettung der Gestaltung der Ventile, als technisches Objekt, wurde dem Engineeringprozessmodell entnommen. In diesem in Abb. 8-2 beschriebenen Spannungsfeld kommt es zu Druckschwankungen, verbunden mit einem Kontrollverlust des technischen Prozesses. Die Nachsteuereingriffe, die aufgrund der vom Automatisierer realisierten Funktionsabläufe auf das Ventil eingreifen, reichen nicht mehr aus, es kommt zum Prozessabbruch.

Die Nachverfolgung der Auseinandersetzung der einzelnen Gewerke mit dem betroffenen Ventil entlang des Engineeringprozesmodells, dies ist in Abb. 8-3 dargestellt, ermöglicht die Aufstellung des nachfolgenden Ursache-Wirkungsdiagramm in Abb. 8-4. Die einzelnen Aktivitäten und Resultate der beteiligten Gewerke im Zusammenhang mit dem Ventil wurden entsprechend für die Aufstellung des Diagramms identifiziert. Bei der Identifikation ist zwischen Aktivitäten zu unterscheiden, die direkt mit der Ausgestaltung der Ventillösung zusammenhängen, Aktivitäten, die die Vorrausetzungen hier-

für schaffen, und Aktivitäten, die auf den Ergebnissen aufbauen. Bei den dokumentierten Resultaten ist zu unterscheiden zwischen direkt resultierenden Dokumentationen und aggregierenden Dokumenten, in denen lediglich Ausschnitte der Informationen weiter zur Verfügung gestellt werden.

In der nachfolgenden Abb. 8-3 sind alle involvierten Aktivitäten (oval) und Resultate (rechteckig) gelb markiert worden. Aktivitäten, die einen direkten Einfluss auf die Ausgestaltung der Hydraulik haben, sind zusätzlich durch einen fetten roten Rahmen markiert.

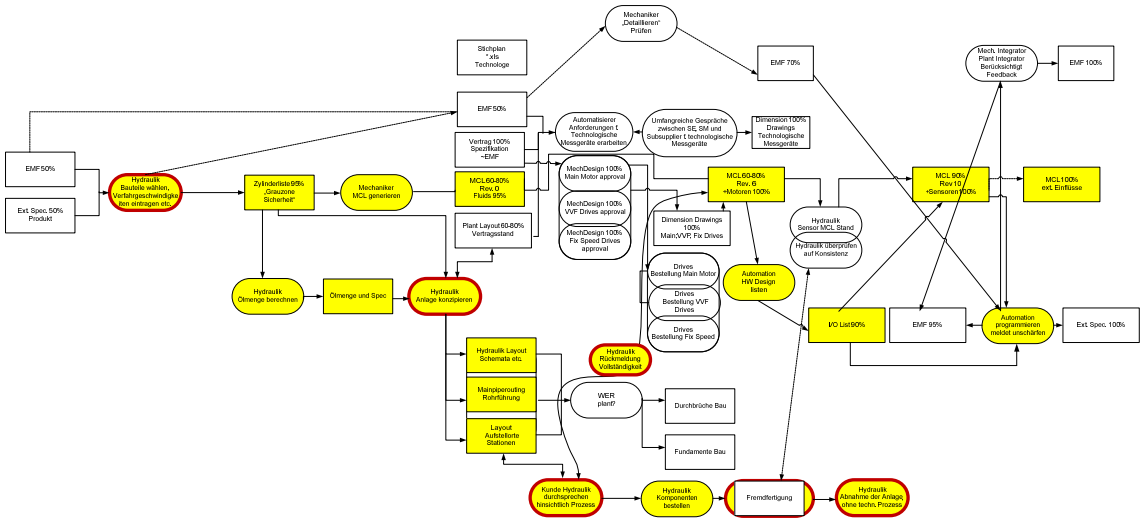


Abb. 8-3 Aktivitäten und Resultate im Kontext des Anwendungsfalls 1

Im vorliegenden Engineeringprozess werden aufbauend auf der elektromechanischen Funktionsbeschreibung die notwendigen Zylinder ausgewählt. Anhand der Zylindereigenschaften kalkuliert die Hydraulik die notwendige Ölversorgung und legt die Versorgungspumpen aus. Diese Informationen werden durch die Mechanik für die Layoutplanung verwendet sowie zusätzlich als Information in der Motoren- und Komponentenliste mit dokumentiert. Nachfolgend detailliert die Hydraulik die notwendigen Aspekte für die Installationshinweise der Komponenten und Pumpendokumentationen aus. Parallel zu diesen Aktivitäten werden die notwendigen Sensoren und Aktoren in der I/O Liste der Elektrik für die notwendige Planung erfasst. Nach Abschluss dieser Tätigkeiten erfolgen die Bestellung der Elemente und die Feinkonstruktion der Mechanik. Ebenfalls zeitgleich beginnt die Automatisierungstechnik mit der Anpassung der notwendigen Steuerungsbefehle für die Komponenten. Übertragen in das Ursache-Wirkungsdiagramm zur weiteren Analyse ergibt sich folgende Darstellung Abb. 8-4.

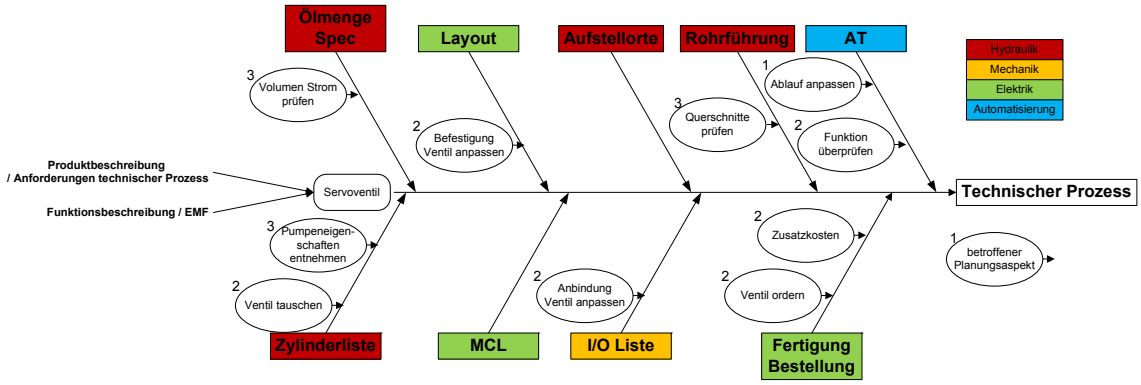


Abb. 8-4 Ursache- Wirkungsdiagramm mit relevanten Attributen

Nachdem die im Einsatzkontext des Ventils beeinflussenden und abhängigen technischen Aspekte durch die Analyse identifiziert worden sind, können mögliche Lösungen für ein Spannungsfeld gewerkeübergreifend erarbeitet werden. Diese sind in der Abb. 8-4 aufgezeigt, die Ziffern referenzieren die Maßnahmen der nachfolgenden Tabelle. Je nach Randbedingungen kann dieses Problem durch verschiedene alternative Aktivitäten gelöst werden, wie folgende Tabelle möglicher Maßnahmen zusammenfasst:

Tab. 8-4 Übersicht möglicher Maßnahmen

	Korrigierendes Gewerk und Korrekturmaßnahme	Auswirkung	Folge Auswirkung (Gewerk : Tätigkeiten)
1	**Automatisierung verändert Ablauf (längeres Öffnen)**	Prozess wieder stabil	
2	**Hydraulik wählt ein anderes Ventil**	Kosten, Zeitverzögerung	Mechanik: Layout und MKL Elektrik: I/O und Wiring Automatisierung: Konsistenz prüfen
3	**Hydraulik Volumenstrom anheben (Pumpenleistung, Rohrquerschnitte)**	Ausreichende Versorgung	Hydraulik: Auslegung Versorgung Mechanik: Layout Elektrik: I/O, Verdrahtung Automatisierung: Konsistenz prüfen Civil: bauliche Maßnahmen

Der vermeintlich einfachste Eingriff, beschrieben in der ersten Zeile der Tab. 8-4, ist es, die Automatisierungssoftware des Ventils anzupassen, so dass ein wirkungsvolles Nachregeln ermöglicht wird. Dies funktioniert jedoch nur in Abhängigkeit von den funktionalen Eigenschaften und entsprechenden Reserven im Kontext der Verwendung. Das Ventil reagiert möglicherweise nicht schnell genug auf

die Steuerbefehle der Automatisierung, oder aber die Steuerung bietet keine ausreichenden Reserven für die Realisierung der Funktion.

Es könnte auch ein Austausch des Ventils gegen das ursprünglich geplante vorgenommen werden, dies ist in der zweiten Zeile der Tabelle beschrieben. Dieser Eingriff hat in erster Linie Auswirkungen auf den Projektfortschritt, durch Wartezeiten und entsprechende Mehrkosten. Der Austausch eines Ventils kann aber auch bedeuten, dass wegen anderer Abmessungen das Layout im Anbringungsbereich verändert werden muss; dies beeinflusst die Planer der Mechanik. Die Automatisierungstechnik könnte durch den Wechsel von Feldbuskommunikation auf konventionelle Verdrahtung beeinflusst werden sowie der Elektriker durch zusätzliche Aufwände zur Neueinbindung des Ventils.

In der letzten Zeile der Tabelle ist eine weitere Möglichkeit durch Anpassung des technischen Prozesses vorgeschlagen. Die Fachplaner der Hydraulik könnten auch versuchen, für einen schnelleren Druckaufbau den Volumenstrom zu erhöhen. Dies bedingt jedoch ausreichend vorhandene Ressourcen seitens der zentralen Versorgung, die auch andere Funktionseinheiten zuverlässig bedienen muss. Diese ist, wie im Engineeringprozessmodell dokumentiert, nach der Festlegung auf die Bauteile berechnet worden. Ist diese Möglichkeit gegeben, muss der zur Verfügung stehende Rohrquerschnitt, der von einem anderen Experten gewählt wurde, auf Reserven geprüft werden. Sollten jedoch die Grenzen in den zur Verfügung stehenden Ressourcen erreicht sein, so zieht das mitunter umfassende Mehraufwände im Bereich des Bauwesens mit sich. Diese Aufwände betreffen Fundamente für eine größere Pumpe und weitere Einheiten und Durchbrüche zur Führung von Rohren.

Anwendungsfall 2: gestiegene Anforderungen an die Überwachung eines Hydraulikzylinders

Ein anderes Problem sind gestiegene Anforderungen an einen Hydraulikzylinder. Die tatsächliche Position in der sich der Kolben befindet, soll erfasst werden, um eine umfassende Prozessüberwachung zu realisieren. Bisher ist lediglich eine Endlagenüberwachung vorgesehen. Eine mögliche Auswirkung dieses fehlenden Positionssensors ist in Abb. 8-5 beschrieben.

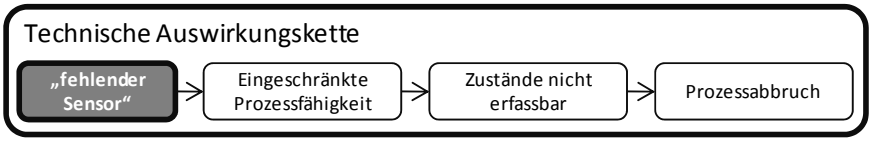


Abb. 8-5 Auswirkung eines fehlenden Positionssensors

Auch dieser Anwendungsfall lässt sich wie im ersten Anwendungsfall über das Engineerinprozessmodell inhaltlich nachverfolgen und systematisch in ein entsprechendes Ursache-Wirkungsdiagramm übertragen, dieses Diagramm ist in Abb. 8-6 dargestellt. Das Diagramm enthält ebenfalls die möglichen Anpassungen von Planungsaspekten mit Bezug zu den Maßnahmen. Zu Anfang des Engineerings wurde durch die Hydraulik eine Vorauswahl an Komponenten getroffen und in der Zylinderliste dokumentiert, Grundlage für diese Entscheidung waren die erfassten Anforderungen an den technischen Prozess und die zum Angebot gehörende Funktionsbeschreibung. In den nachfolgenden Nebengräten des Ursache-Wirkungsdiagramm sind mögliche Eingriffspunkte für die finale Ausgestaltung der Hydraulik aufgeführt.

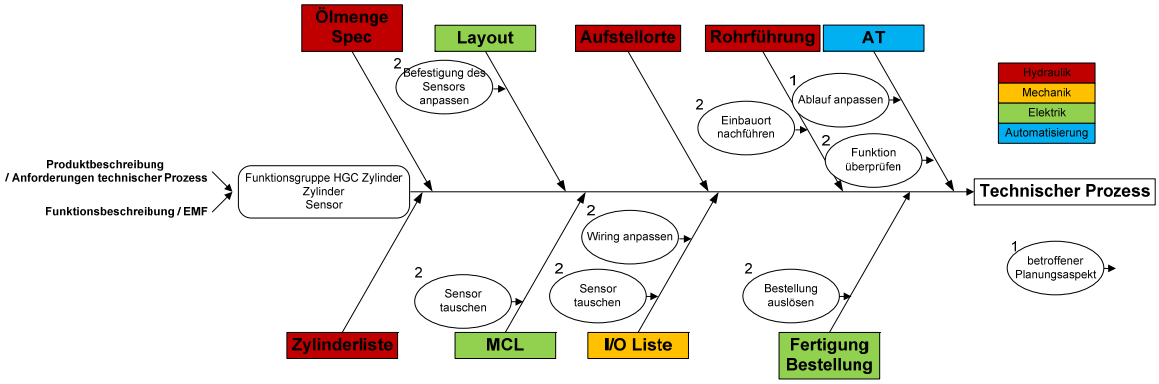


Abb. 8-6 Ursache- und Wirkungsdiagramm Anwendungsfall 2

Die aufgeführten Punkte, neben dem Ursprung der falschen Auswahl zu Beginn, können nun bezüglicher Lösungen geprüft werden. Eine Übersicht der Maßnahmen ist in Tab. 8-5 zusammengefasst beschrieben. Zuerst die mögliche Korrektur durch ein Gewerk, dann mögliche Folgeauswirkungen aufgrund der technischen Wechselwirkungen auf weitere technische Objekte und Gewerke.

Tab. 8-5 Übersicht möglicher Maßnahmen

	Korrigierendes Gewerk und Korrekturmaßnahme	Auswirkung	Folge Auswirkung (Gewerk : Tätigkeiten)
1	**Automatisierung berücksichtigt Eigenschaften**	Prozess möglich	
2	**Elektrik : Sensor tauschen**	genaue Überwachung, Prozess möglich	Mechanik: Layout und MKL Elektrik: I/O und Wiring Automatisierung: Konsistenz prüfen

Die erste mögliche Maßnahme zur Auflösung des Spannungsfelds betrifft die Automatisierung, diese kann die Steuerung des Prozessablaufs anpassen. Für die Anpassung könnte die Automatisierung die Füllung des Hydraulikzylinders in einer Steuerungsfunktion berechnen und so den aktuellen Zustand abschätzen. Bei dieser Lösung bleibt ein Restrisiko bestehen, falls beispielsweise eine Leckage auftritt. Hinsichtlich der technischen Abhängigkeiten und auch der prozessualen Auswirkungen hat diese Maßnahme keine Risiken, da die Automatisierung als letztes Gewerk an der Lösungsbildung beteiligt ist (vgl. Abb. 8-6).

Die zweite Maßnahme betrifft das Gewerk Elektrik. Lösungsansatz ist der Austausch eines bestehenden Endlagensensors gegen einen Drucksensor. Dieser Ansatz kann eine Anpassung durch mechanische Nacharbeiten am Druckkörper erfordern, um den Einbau des Sensors zu ermöglichen. Es kann weiterhin zu einer zusätzlichen Veränderung in der elektrischen Anbindung sowie weiteren Einflüssen auf das Layout und die Rohr- und Leitungsführung führen. In Konsequenz wären alle im Ursache-Wirkungsdiagramm aufgeführten Gewerke (Hydraulik, Mechanik, Elektrik und Automation) und deren eingebrachten Entwurfsentscheidungen betroffen.

Anwendungsfall 3: Abweichende örtliche Lage eines Sensors zur Drucküberwachung

Bei der Errichtung und Realisierung der Hydraulikkomponenten wurde ein Drucksensor zur Überwachung an einer zum Druckkörper näher liegenden Position der Versorgungsleitung als in der Planung vorgesehen eingesetzt. Durch die geringere Entfernung zum Druckkörper wird früher die Messwertschwelle zur Abschaltung der Versorgung erreicht. Dies hat eine frühere Abschaltung der Versorgung zur Folge als eigentlich geplant. Die Folge ist die Einschränkung der Prozessfähigkeit, da keine genaue Überwachung der Zustände erfolgen kann. Die Auswirkungskette ist in nachfolgender Abbildung visualisiert.

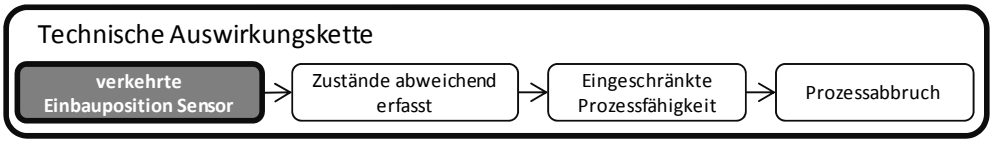


Abb. 8-7 Auswirkungskette eines verkehrt positionierten Sensors

Die Nachverfolgung entlang des Engineeringprozesses für die hydraulischen Komponenten und zugehörigen Lösungen weiterer Gewerke ermöglicht folgende in Abb. 8-8 übertragende Darstellung in ein entsprechendes Ursache-Wirkungsdiagramm.

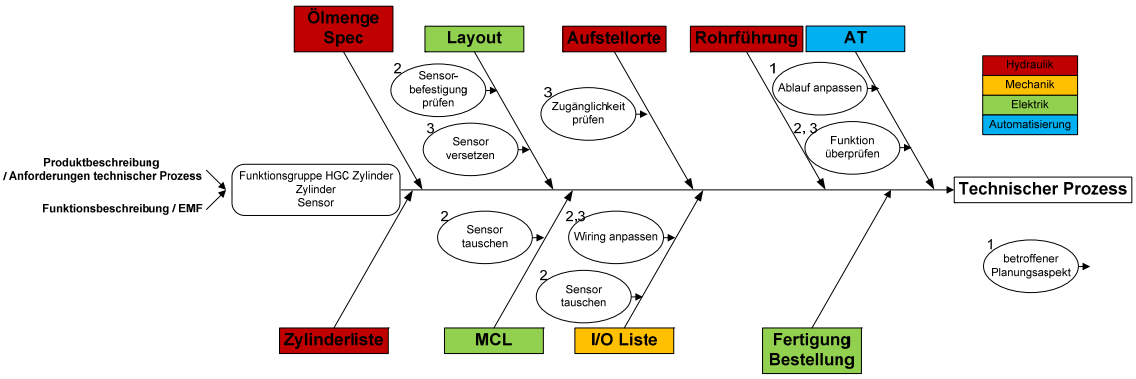


Abb. 8-8 Darstellung des Anwendungsbeispiels 3 in einem Ursache-Wirkungsdiagramm

Um die Prozessfähigkeit wieder herzustellen, kann durch die Automatisierung der entsprechende Druckwert, der sich aufgrund der veränderten Einbaulage ergibt, erfasst und zur Auswertung berücksichtigt werden. Dies setzt jedoch voraus, dass der Sensor über einen entsprechenden Messbereich und eine geeignete-auflösung verfügt.

Wenn die erste Maßnahme nicht möglich ist, könnte die Elektrik den Sensor austauschen, mit möglichen Folgeeffekten bei der elektrischen Einbindung. Auswirkung auf die Mechanik kann die entsprechende Montage und Befestigung haben. Zusätzlich muss die Automatisierung die Funktionen bezüglich der Messwerte anpassen.

Eine dritte Möglichkeit ist das Versetzen des Sensors an die ursprünglich geplante Position. Voraussetzung für das Versetzen ist die grundsätzliche Zugänglichkeit der „neuen“ Messstelle. Bei einer zugänglichen Messstelle muss auch die Elektrik nacharbeiten, um den Sensor weiter einzubinden.

Die möglichen Maßnahmen und Auswirkungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 8-6 Übersicht möglicher Maßnahmen

	Korrigierendes Gewerk und Korrekturmaßnahme	Auswirkung	Folge Auswirkung (Gewerk : Tätigkeiten)
1	**Automatisierung berücksichtigt Eigenschaften bzgl. Ort**	Prozess möglich	
2	**Elektrik : Sensor tauschen**	Drucküberwachung möglich	Mechanik : Layout und MKL Elektrik : I/O und Verdrahtung Automatisierung : Funktion anpassen und Konsistenz prüfen
3	**Mechanik versetzt Sensor**	Prozess möglich	Elektrik: Verdrahtung

Anwendungsfall 4: Unzureichende Versorgung von zwei Aktoren

Die Druckversorgung einer Hydraulikanlage ist so konzipiert, dass nicht sämtliche Verbraucher gleichzeitig versorgt werden können, dies ist auch für den Betrieb nicht notwendig. Eine ausreichende Berücksichtigung findet in der Auslegung durch Rechnungen mit Gleichzeitigkeitsfaktoren statt. Sind jedoch über längere Zeiten mehr Ressourcen aktiv als abgeschätzt, so kann eine ausreichende Versorgung nicht mehr sichergestellt werden, wie die nachfolgende Auswirkungskette beschreibt.

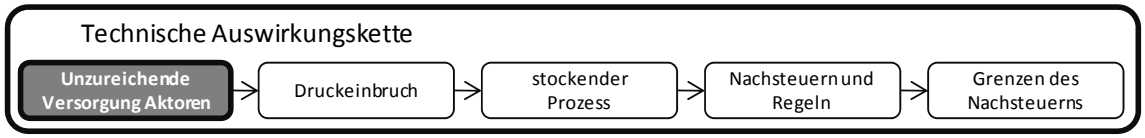


Abb. 8-9 Auswirkungen unzureichender Hydraulischer Versorgung

Wie die Anwendungsfälle zuvor kann auch dieses Spannungsfeld im Engineeringprozessmodell nachverfolgt und aufbereitet werden. Die Schwierigkeiten dieses Spannungsfelds betreffen insbesondere die Aktorik der Seitenführungen für das Walzband, diese sorgen für eine gleichbleibende Lage des Bandes im Einzug. Das entsprechende Diagramm, das die involvierten Gewerke und dokumentierten Auslegungsentscheidungen wiedergibt, ist in der Abb. 8-10 dargestellt.

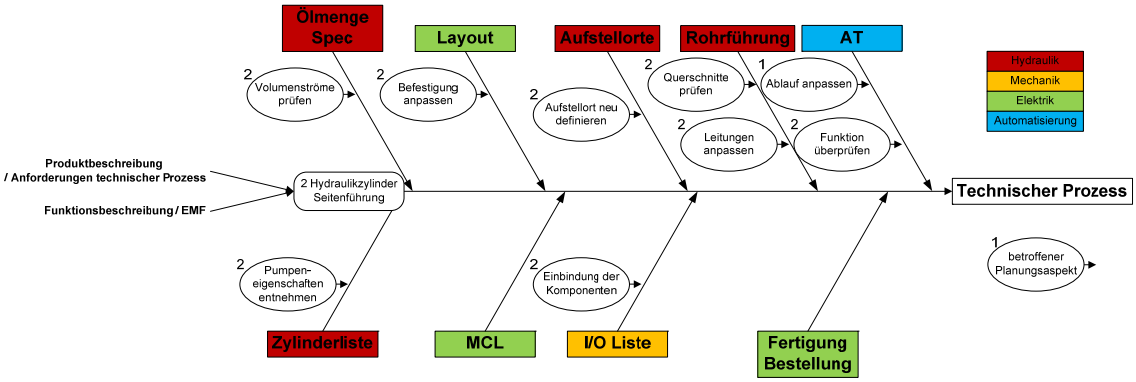


Abb. 8-10 Ursache und Auswirkungsdiagramm Anwendungsfall 4

Aufbauend auf dieser Aufbereitung können mögliche Eingriffe zur Auflösung identifiziert werden. Ein verhältnismäßig leichter Eingriff ist durch die Automatisierung möglich, wenn gleichzeitige Aktivitäten leicht versetzt durchgeführt werden können. Dies bedingt jedoch, dass der technologische Prozess dies zulässt. Mitunter besteht hier auch Spielraum in der Geschwindigkeit, so dass Vorgänge langsamer ablaufen dürfen. Für diese Entscheidungen ist jedoch ein gemeinsames Wissen zwischen den beteiligten Gewerken über den Prozess notwendig. Muss in der Versorgung nachgebessert werden, so hat dies weitreichende Auswirkungen auf die Gesamtanlage, wenn mehr Platz benötigt wird. Die Rohrführung muss angepasst werden. Eine neue Rohrführung kann zusätzliche Durchbrüche im Gebäude zur Folge haben. Ebenfalls müssen diese Rohre mechanisch neu befestigt werden.

Tab. 8-7 Übersicht möglicher Maßnahmen

	Korrigierendes Gewerk und Korrekturmaßnahme	Auswirkung	Folge Auswirkung (Gewerk : Tätigkeiten)
1	**Automation ändert den Funtkionsablauf**	Prozess möglich	
2	**Hydraulik erhöht den Volumenstrom (Pumpenleistung, Rohrquerschnitte)**	ausreichende Versorgung	Hydraulik: Leitungen Mechanik: Aufstellorte und Layout Elektrik: Einbindung Automatisierung: Konsistenz prüfen

Bei allen vier beschriebenen Anwendungsfällen gibt es keine eindeutige Lösung für ein Vorkommnis, es müssen immer mögliche Freiheiten, die durch vorhergehende Entscheidungen der Planer entstanden sind, aufgedeckt werden. Diese Freiheitsgrade können für eine effektive Problemlösung genutzt werden. Sind diese Freiheitsgrade aufgedeckt, so sind trotzdem Mehraufwände durch die verschiedenen Planer vorzunehmen, um die Veränderungen zu realisieren. Der mitunter einfachste Eingriff ist eine Anpassung des automatisierten Prozessablaufs, da dies durch Softwareanpassungen lösbar ist. Viele andere Eingriffe geschehen jedoch durch konstruktive und bauliche Anpassungen. Zusätzlich bedingt generell jeder Eingriff eine weitergehende Beeinflussung auf mögliche benachbarte oder verflochtene technische Bereiche der Anlage und die eingebrachten Teillösungen der beteiligten Gewerke. Eine wesentliche Unterstützung stellt hierbei das Modell des Engineeringprozesses mit den einzelnen Aktivitäten und Resultaten dar.

8.1.2 Schnittmengen und Abstraktionsgrade in Beschreibungen

Wie einleitend in Kapitel 8.1 beschrieben, wurden im Rahmen der Vorbereitung und Durchführung der Workshops und Interviews zur Modellierung des Engineeringprozessmodells die beteiligten Gewerke, deren ausgetauschten Resultate und Modellvorstellungen systematisch dokumentiert. Im Rahmen der Modellierung wurden die einzelnen Zeitpunkte der Erstellung und des Austauschs zwischen den Gewerken umfassend dokumentiert und durch die Experten bestätigt. Auf Basis des erstellten Modells wurden exemplarisch die Informationsschnittmengen (vgl. Kap. 5.3.1) zwischen den Gewerken Hydraulik, Mechanik und Elektrik anhand einer hydraulischen Funktionsgruppe identifiziert.

Die gewählte hydraulische Funktionsgruppe ist für die Einstellung des Walzspalts im Walzwerk zuständig. Mit der aufgebrachten Kraft werden die Walzen kontinuierlich in der richtigen Position gehalten, um eine gleichbleibende Dicke und Güte des Walzguts zu erzielen.

Für die Identifikation und den Vergleich der Informationsstände zwischen den Gewerken wurden die jeweiligen zentralen Austauschdokumente herangezogen: die Elektromechanische Funktionsbeschreibung der Elektrik, die Zylinderliste der Hydraulik und die Motoren- und Komponentenliste der Mechanik. Die Elektromechanische Funktionsbeschreibung ist eine Mischung aus Text und Tabellen für die einzelnen Funktionsabschnitte des Walzwerks, sie steht ab Beginn des Projektes zur Verfügung und ist zu Anfang mit leeren Platzhaltern gefüllt. Diese erste Fassung des Dokuments ist möglich, da bereits am Anfang das grobe Anlagenkonzept bekannt ist. Die Zylinderliste ist eine zusammenfassende Dokumentation aller Komponenten innerhalb der Hydraulik, die sukzessive mit erzielten Lösungen der Hydraulik gefüllt wird. Weiterhin ist die Zylinderliste im Engineering der Hydraulik die zentrale Informationssammelstelle für die auf Basis des Stichplans und der elektromechanischen Funktionsbeschreibung getroffenen Engineeringentscheidungen. In diesem Dokument sind die technischen Anteile der Hydraulik detailliert beschrieben. Die Zylinderliste stellt somit das umfassendste Informationsgerüst über die Hydraulik. Ein Teil dieser Informationen wird zu einem definierten Zeitpunkt automatisch in die Motoren- und Komponentenliste transferiert. Weitere Informationen aus der Zylinderliste werden innerhalb der Elektromechanischen Funktionsbeschreibung in die dafür vorgesehenen Lücken übertragen und vervollständigen diese so. Über den hier beschriebenen Anwendungsfall im Kontext der hydraulischen Anlagenaspekte bestehen für andere Aspekte der Anlage ebenfalls Austausche und Synchronisationen zwischen der Motoren- und Komponentenliste und der elektromechanischen Funktionsbeschreibung. Eine Übersicht der Anreicherungen und die Beziehungen der Inhalte zueinander, ausgehend von der Zylinderliste, ist in der Abb. 8-11 gegeben.

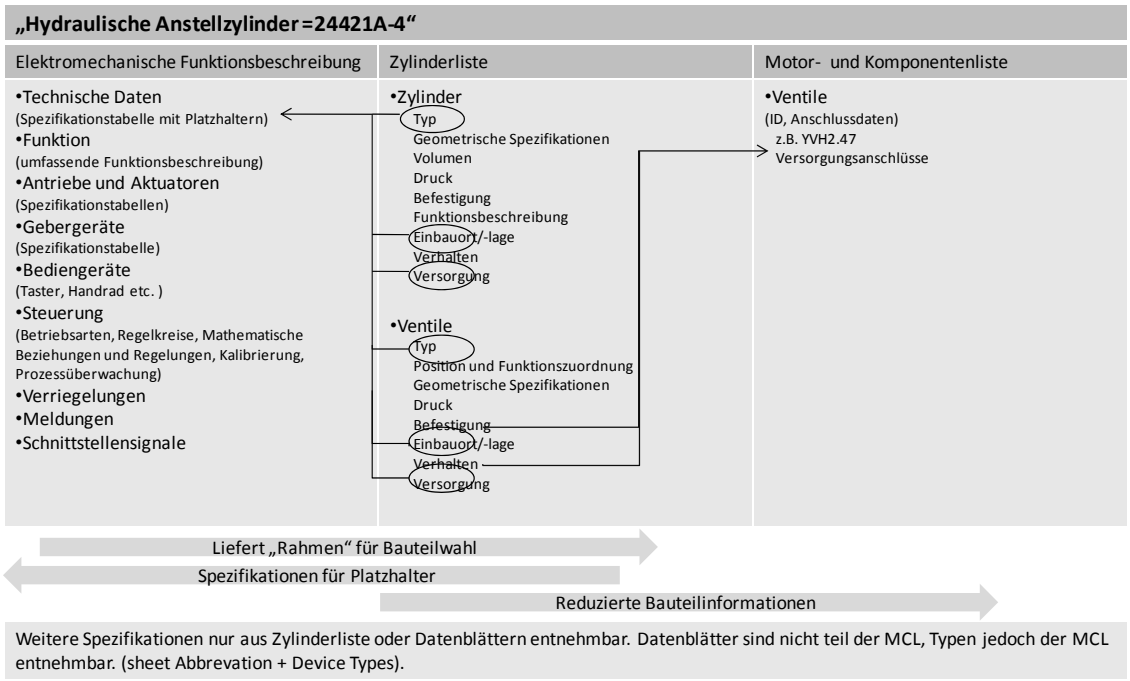


Abb. 8-11 Exemplarische Darstellung der Informationsgranularität und Schnittmengen zwischen den Gewerken Elektrik, Hydraulik und Mechanik bezüglich hydraulischer Aspekte

Aus der Analyse ergibt sich, dass aus Perspektive der Automatisierung lediglich die Bautypen und generellen Eigenschaften beschrieben sind. Die Informationen werden mit dem Bezeichner YVH codiert. Die einzelnen Positionen des Ventils, die den jeweiligen Zustand wiedergeben würden, werden im Betrachtungsobjekt dieser Fallstudie nicht dokumentiert weitergegeben. Die Automatisierung baut lediglich auf den zusammengefassten Informationen, ohne Kenntnis der Zylinderliste oder weiterer Hydraulikdetailinformationen, auf.

Die Analyse zeigt auf, dass die Automatisierungstechnik nur auf Basis der ausgetauschten Dokumente nicht vollständig projektiert werden kann. Die Automatisierungstechnik benötigt für die Realisierung der geforderten Funktionsabläufe die jeweiligen Positionen der Ventile. Ohne diese Information können Funktionen genau umgekehrt, als gefordert umgesetzt werden, so wird beispielsweise aus Befüllen ein Entleeren. Es muss neben diesem dokumentierten Austausch demnach auch einen informellen, nicht dokumentierten Austausch an Informationen geben. Da keine Dokumentationsaspekte vorhanden sind, liegt die Annahme nahe, dass die Automatisierung entsprechende Anstrengungen zur Informationsbeschaffung unternehmen muss. Die Form des informellen und nicht dokumentierten Austauschs birgt mehrere Risiken, Missverständnisse zwischen den Beteiligten Personen und mögliche Verzögerungen bis die Abstimmung erfolgen kann. Ein signifikantes weiteres Risiko ist, dass die für die Realisierung der Automatisierungsaufgabe notwendigen Informationen so später nicht zur Verfügung stehen, im Fall von Fehlern, Wartung oder Umbau müssen diese erneut aufwendig beschafft oder rekonstruiert werden.

Die in dieser Fallstudie angewendete systematische Auswertung des Engineeringprozessmodells erlaubte die Informationsverdichtung zwischen den Gewerken offenzulegen sowie Abfolge und Ursprung der Informationen. Anhand der Auswertung wurden die für das jeweilige Gewerk wesentlichen Eigenschaften und Informationen für die jeweiligen disziplinspezifischen Modelle offengelegt und benannt. Diese Informationslage konnte auch für weitergehende Maßnahmen verwendet werden. Die fehlenden Aspekte für die Automatisierung werden nun ergänzend in der EMF dokumentiert.

8.1.3 Betrachtung des bestehenden Ablaufs und der zugehörigen Aufbauorganisation

Im Rahmen der in der Fallstudie identifizierten Maßnahmen und Optimierung, fand auch eine detailliertere Betrachtung der generellen Eignung des bestehenden Ablaufs mit der vorhandenen Aufbauorganisation statt. Für die Prüfung stellt das umfassende Engineeringprozessmodell, mit den einzelnen dokumentierten und detailliert ausgetauschten und betrachteten Informationen an den Schnittstellen, eine entsprechende Analysebasis dar (vgl. Kap. 5.4.1). Die bestehende Organisation verteilt sich über drei Standorte, hierbei sind Mechanik, Elektrik und Hydraulik entsprechend je an einem Ort aufgestellt. Im Fokus der Prüfung stand, ob der erfasste Ist-Prozess mit den bestehenden Schnittstellen zu dieser globalen Verteilung passt. Alternative Konzepte, die in anderen Teilbereichen des Unternehmens zum Einsatz kommen, sind lokale gewerkegeprägte Teams, bei komplexen Themenstellungen gemischte Teams sowie Teams unter Anleitung von einzelnen Experten. Diese Konzepte würden jedoch eine Anpassung des Vorgehens und eine entsprechende Umverteilung von Mitarbeitern zwischen den Standorten bedeuten. Für die Analyse können diese Grundkonzepte gegen die bestehenden Abläufe und Schnittstellen zwischen den Gewerken gelegt werden.

Wie in der Grobübersicht des Modells in Abb. 8-1 zusammengefasst dargestellt ist, bestehen nur wenige Schnittstellen der aktiven Zusammenarbeit zwischen den Gewerken. Der wechselseitige Informationsaustausch, in dem kontinuierlich die Lösung erarbeitet wird ist, iterationsfrei. Die Hydraulik wird auf Basis der Kundenanforderungen grob konzipiert, die Ergebnisse dieses Arbeitsschritts rei-

chen als Ausgangsbasis für die nachfolgenden Gewerke. Diese Ergebnisse können nun gleichzeitig von der Mechanik und Elektrik weiterverwendet werden sowie ebenfalls innerhalb der Hydraulik, z. B. für die Berechnung der Ölmengen und weiterer Ausdetaillierungen. Erst später wird die Hydraulik, mittlerweile fertig konzipiert, als fertige Teillösung im Rahmen der Layoutplanung für das Gesamtwalzwerk wieder aufgegriffen. Für diese Trennung gibt es verschiedene begünstigende Faktoren, wie z. B. klare Absprachen bezüglich räumlicher Aspekte in der Anlagenplanung sowie Strategien der zentralen Versorgung von Funktionseinheiten. Durch diese Aufteilung kommt es nur zu geringen Überschneidungen in betrachteten Aspekten der Anlage zwischen den beteiligten Gewerken, die zu berücksichtigen wären.

Der bestehende Ist-Prozess zeigt auf, dass die aktuelle Form der getrennten Arbeit für die Abwicklung von Projekten geeignet ist. Das Vorgehen ist weitestgehend iterationsfrei, so dass keine übergreifende Zusammenarbeit notwendig erscheint. Die Nutzung eines Expertencoachings würde im Kontext des Prozessmodells bei bisher kritischen Schnittstellen eine Möglichkeit zur Risikominimierung bieten, da die Erfahrung der Experten genutzt werden kann. Diese Maßnahme kann zu einem wohldefinierten Austausch führen.

8.1.4 Anwendbarkeit im Kontext des Engineerings von Walzwerken

Anhand der Aussagen in den durchgeführten Workshops und vertiefenden Interviews konnte ein Modell des Engineeringprozess erstellt werden. Die Schnittstellen zwischen den Gewerken zum Informationsaustausch konnten umfassend beschrieben werden. Unterstützt wurden die Klärungen durch den Fragenkatalog und das umfassende Engineeringprozessmodell.

Das mit den Experten auf der bestehenden Informationslage erarbeitete Modell des Engineeringprozesses ermöglichte eine vertiefende Analyse von technischen Spannungsfeldern. Diese Analyse konnte rein auf dem Prozessmodell aufbauend durchgeführt werden, eine Einbindung von Experten war für diese Arbeit nicht notwendig. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Analyse bezüglich Ursache- und Auswirkungen konnten bestätigt werden. Auch die möglichen Lösungen entsprachen den Optionen im Anwendungskontext, die bisher von den Experten aus Erfahrung gewählt wurden.

Die umfassende inhaltliche Kenntnis der technischen Zusammenhänge zwischen den beteiligten Gewerken und deren Schnittstellen untereinander erlaubt es, Aussagen hinsichtlich der möglichen Arbeitsweisen zu treffen. Die bisherige Durchführung, losgelöst von der Vielzahl weiterer Engineeringaktivitäten, konnte als insoweit unproblematisch eingeordnet werden, als dass alle notwendigen Aspekte zuverlässig inhaltlich und zeitlich rechtzeitig kommuniziert werden. Für alle beteiligten Gewerke reicht die Existenz der Informationen an den bedienten Schnittstellen. Diese Aussage bezieht sich auf die Ist-Situation, mögliche Aspekte der Optimierung des Prozesses wurden hierbei vorerst nicht berücksichtigt.

8.2 Fokussierung auf Ausschnitte des Engineeringworkflows

Die Fallstudie Kraftwerk betrachtet das Engineering des konventionellen Teils eines Kraftwerks. Dieser Teil beginnt nach der Dampferzeugung und besteht aus den Turbinen und endet an der Übergabestelle des elektrischen Stroms an das Energienetz zur Versorgung von Verbrauchern. Die Komplexität eines Kraftwerksprojekts ist immens und ergibt sich aus der Dauer, der Menge an Teilaufgaben und der hierfür notwendigen Vielzahl an einzelnen Gewerken. Kraftwerke werden zwar oftmals

vom jeweiligen Energieversorger bei einem Unternehmen in Auftrag gegeben, zur Erbringung der Leistung wird jedoch eine große Anzahl weiterer Unterauftragnehmer eingebunden.

Das für diese Arbeit betrachtete Projekt besteht aus 82 einzelnen Engineeringprozessmodellen, die für einzelne Phasen des Projektes erarbeitet worden sind. In diesen Phasen teilen sich die Modelle nochmals auf einzelne Anlagenabschnitte auf. Am Ende dieser Prozessmodelle steht jeweils nur eine Übergabeschnittstelle für Informationen großen Umfangs für die weiteren anschließenden Phasen des Projektes. In Summe enthalten diese Modelle rund 1200 Aktivitäten die durch die involvierten Gewerke zu lösen sind. Für die Verknüpfung der entstehenden Resultate sind wiederum 1300 Schnittstellen für den Dokumentenaustausch notwendig. Der Anteil gewerkeübergreifender Schnittstellen beträgt 84%. Dieses umfassende Ausgangsmodell des Engineeringprozess wurde zur Beherrschung der Komplexität in Abhängigkeitsmatrizen überführt, es wurden alle Schritte nach Kapitel 5.2 angewandt. Abb. 8-12 fasst die Basis der Fallstudie nochmals zusammen, so wurden die detaillierten Prozesse, mit beschriebenen Eigenschaften nach Kapitel 5.2.3, anhand des Vorgehens von Abschnitt 5.4.3 entsprechend zusammengefasst. Das hierbei entstandene Modell wurde für Analysen und Auswertungen der bestehenden Beziehungen zwischen den Gewerken genutzt (vgl. Kap. 5.3.3).

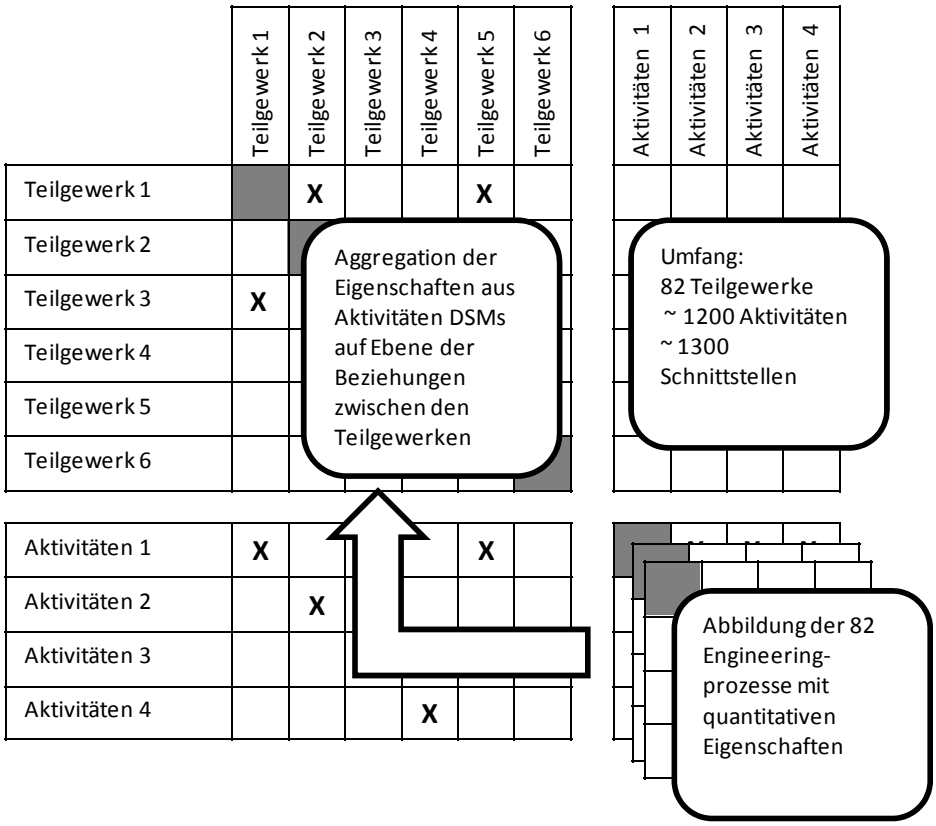


Abb. 8-12 Übersicht der Analyseebenen der Fallstudie Kraftwerk und der entsprechenden Abhängigkeitsmatrizen

8.2.1 Fokussierung der Kritikalitätsanalyse anhand statistischer Eigenschaften

Um den Aufwand für die Schnittstellenbewertung zu reduzieren, wurde eine erste Fokussierung anhand der quantitativ zu bewertenden Kriterien der Schnittstellenklassifikation (Kap. 5.2.3) durchgeführt. Folgende Fragen wurden adressiert:

- Wie viele Dokumente werden von einem Organisationsbereich erzeugt?
- Wie viele Dokumente benötigt ein Organisationsbereich?
- Welchen Status müssen die jeweiligen Dokumente aufweisen (Input/Output)?
- Wie viele Dokumente sind für die Erzeugung eines einzelnen Dokumentes notwendig?

Die ersten beiden Fragen betrachten rein quantitative Angaben im Prozessmodell. Die Beurteilung des Status der in den Dokumenten enthaltenen Informationen berücksichtigt jedoch bereits die inhaltlichen Bedarfe der involvierten Gewerke. Beim Status ist zwischen Entwürfen, Zwischenständen, finaler Bereitstellung und durch den Auftraggeber freigegebene Informationen zu unterscheiden. Die Unterscheidung betrifft einerseits die Genauigkeit sowie andererseits die Zuverlässigkeit und Verbindlichkeit der Angaben. Diese Eigenschaften wurden für alle 82 Engineeringprozessmodelle erfasst und in entsprechenden Abhängigkeitsmatrizen dokumentiert (vgl. Kap. 5.2.4). Aufgrund von Geheimhaltung muss auf eine detaillierte Darstellung an dieser Stelle verzichtet werden.

Die Teilmenge der Prozessmodelle, die in der Phase des Basic Engineerings mechanisch geprägter Anlagenteile liegen, wurde gemeinsam auf die Teilgewerke Ebene aggregiert. Durch die Aggregation wurden 34 Prozesse mit 13 Teilgewerken in einen Gesamtzusammenhang für die Betrachtung gebracht. Um einen Eindruck zu vermitteln ist in der nachfolgenden Abb. 8-13 eine Auswertung auf Basis der entsprechenden DSM abgebildet (aus Geheimhaltung unscharf dargestellt).

Die linke Seite der Tabelle listet die aggregierten Indikatoren bezüglich der vorwärtsgerichteten Beziehungen auf, die rechte Seite die rückwärtsgerichteten. Die farblich markierten Zeilen stehen jeweils für ein Subgewerk, sind mehrere Zeilen in der Färbung, so ist das Gewerk in der entsprechenden Menge an Prozessen führend. Entsprechend Oberhalb zugeordnet sind vertikal involvierte Teilgewerke. Die farbliche Markierung deutet auf die gleichen Gewerke wie in den Zeilen hin.

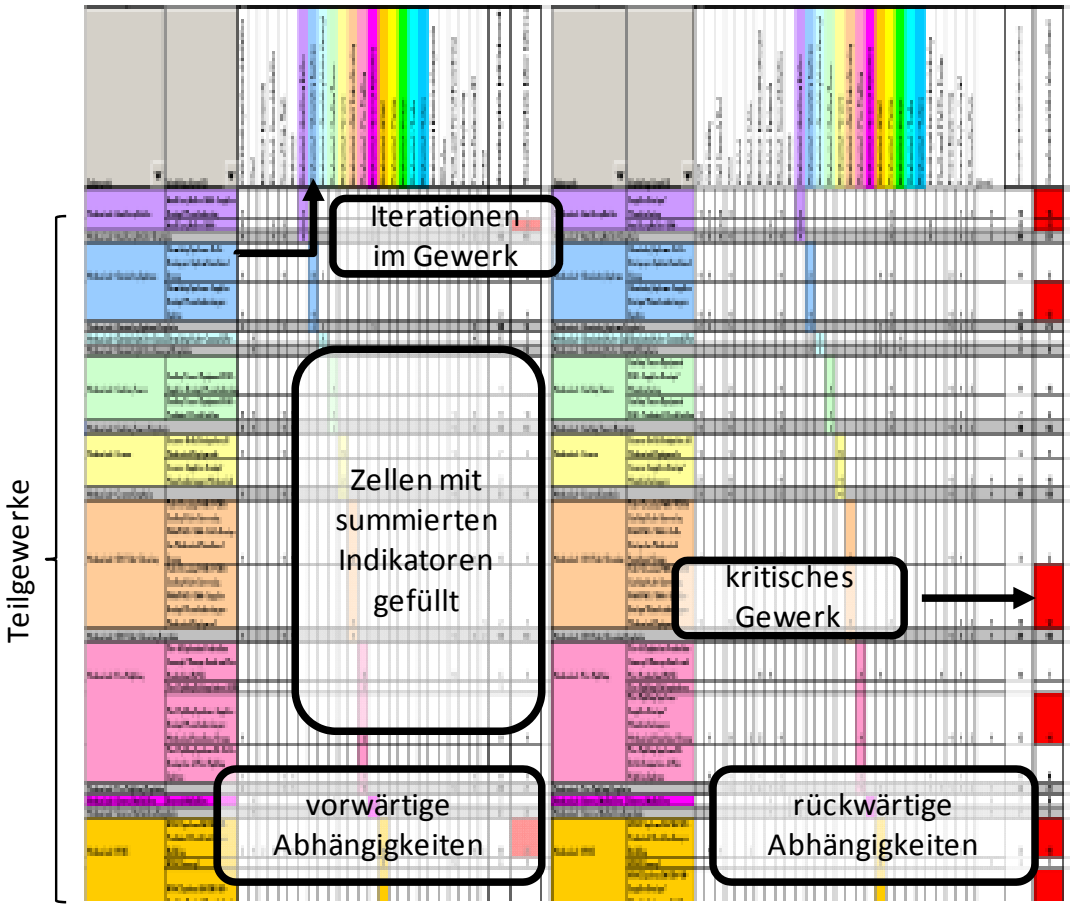


Abb. 8-13 Prototypische Auswertung kritischer Schnittstellen

In der Auswertung können die einzelnen Indikatoren zwischen den Teilgewerken abgelesen werden. Entsprechend dem Konzept dieser Arbeit wurde ein entsprechender Schwellwert gesetzt, um kritische Schnittstellen und Beziehungen zwischen Gewerken zu identifizieren (vgl. Kap. 5.3.3). In der Abbildung ist dies exemplarisch dargestellt im Bezug auf die Summe an Bewertungen, diese geben einen Hinweis, da die jeweiligen Prozesse für die das Teilgewerk führend verantwortlich ist potentiell kritisch sind.

Ein konkretes Beispiel ist in Abb. 8-14 und Abb. 8-15 für das Engineering der Hilfskessel dargestellt. Die erste Abbildung zeigt die Menge der eingehenden Informationen im Prozess durch die beteiligten Teilgewerken, die zweite Abbildung die Menge der ausgehenden Informationen zu den Teilgewerken. Die Beziehung zwischen dem Teilgewerk mit sich selbst gibt die Anzahl an Iterationen wieder.

Subgewerk	Workflow (Level 2)	Civil/ Plant Layout General Activities	Client	Electrical - Equipments	Electrical - General Activities	General Proj. Mgmt.	Mechanical	Mechanical - Auxiliary Boiler	Mechanical - Chemistry Systems	Mechanical - Chemistry Water Concept	Mechanical - Cooling Tower	Mechanical - Cranes	Mechanical - CW/ Tube Cleaning	Mechanical - Fire Fighting	Mechanical - General Activities	Mechanical - HVAC	Mechanical - Piping	Mechanical - Pumps	Mechanical - Tanks	Mechanical - Valves	Mechanical & Electrical Components	NI Partner	Plant Layout Overall Basic Design	Process Engineering	Process Engineering I&C	Product	Gesamtergebnis (mit internal Docs.)	Gesamtergebnis (ohne internal Docs.
Mechanical - Auxiliary Boiler	Auxiliary Boiler QHA - Supplier Design/ Manufacturing	1						1																			2	1
	Auxiliary Boiler QHA - Technical	3			1	1		2							2									1	2	2	14	12
Mechanical - Auxiliary Boiler Ergebnis		4			1	1		3							2									1	2	2	**16**	**13**
Mechanical - Chemistry Systems	Chemistry Systems - Delta Design per System Functional Group	1				1			3	2					1										3		11	8
	Chemistry Systems - Supplier Design/ Manufacturing per System	1							1																		2	1
Mechanical - Chemistry Systems Ergebnis		2				1			4	2					1										3		**13**	**9**
Mechanical - Chemistry Water Conc	Chemistry Water Concept (For		1							1															4		6	5

Abb. 8-14 Auswertung der eingehenden Informationen (Werte verfremdet)

Dieser Ausschnitt der Auswertung zeigt auf, wie ein vermeintlich kritisches Teilgewerk anhand der quantitativen Indikatoren identifiziert werden kann. In der Darstellung vereinfacht beschrieben anhand des Kriteriums der ausgetauschten Menge an Informationen, wird ab Überschreiten eines Schwellwertes eine entsprechende Markierung gesetzt (rot in der Abbildung). Entsprechend übertragen auf mehre Kriterien ist dies plakativ, ohne Details, in Abb. 8-13 ebenfalls dargestellt. Diesem Ausschnitt (Abb. 8-14) der Auswertung kann somit auch entnommen werden, aus welchen Gewerken Informationen übergeben werden sowie die jeweilige Anzahl dieser. Auf gleiche Weise gibt die nachfolgende Auswertung die Perspektive der ausgehenden Informationen wieder.

Subgewerk	Workflow (Level 2)	Civil	Civil Cladding	Civil Concrete Steel	Client	Electrical	Electrical - Cables	Electrical - Electrical Plant Layout	Electrical - Equipments	Electrical - General Activities	Mechanical	Mechanical - Auxiliary Boiler	Mechanical - Chemistry Systems	Mechanical - Chemistry Water Concept	Mechanical - Cooling Tower	Mechanical - Cranes	Mechanical - CW/ Tube Cleaning	Mechanical - Fire Fighting	Mechanical - General Activities	Mechanical - HVAC	Mechanical - Piping	Mechanical - Pumps	Mechanical - Tanks	Mechanical - Valves	Plant Layout Overall Basic Design	Plant Layout Plot Plan Design	Process Engineering	Process Engineering I&C	Site Execution Mech.	(Leer)	Gesamtergebnis (mit internal Docs.)	Gesamtergebnis (ohne internal Docs.)
Mechanical - Auxiliary Boiler	Auxiliary Boiler QHA - Supplier Design/ Manufacturing	1	1	3	4					1		2								2								1	2	1	18	16
	Auxiliary Boiler QHA - Technical		2	1					1			2								1					3			2		1	13	11
Mechanical - Auxiliary Boiler Ergebnis		1	3	4	4				1	1		4								3					3			3	2	2	**31**	**27**
Mechanical - Chemistry Systems	Chemistry Systems - Delta Design per System Functional Group	1	1		1					1			2						1	1							2	1			11	9
	Chemistry Systems - Supplier Design/ Manufacturing per System	1	1		4					1			1							1							1	1	2		13	12
Mechanical - Chemistry Systems Ergebnis		2	2		5					2			3						1	2							3	2	2		**24**	**21**
Mechanical - Chemistry Water Conc	Chemistry Water Concept (For												2	2					2		1							2			9	7

Abb. 8-15 Auswertung der ausgehenden Informationen (Werte verfremdet)

Für die Betrachtung der Auswertung im Bezug auf den jeweiligen Status der Informationen, als weiterer Indikator für die Identifikation kritischer Übergabeschnittstellen, konnte eine entsprechende Übersicht wie in Abb. 8-16 dargestellt erstellt werden. Die Informationen, die von der Rohrplanung (Mechanical Piping) übergeben werden, als Eingangsinformationen für andere Teilgewerke, sind signifikant von Kundenfreigaben abhängig. Den größten Anteil nehmen hier Informationen ein, die ergänzend einem Design-Freeze (DF) unterliegen. Design-Freeze bedeutet, das nachträgliche Änderungen ausgeschlossen sind.

Doc. State	Mechanical - Auxiliary Boiler	Mechanical - Chemistry Systems	Mechanical - Chemistry Water Concept	Mechanical - Cooling Tower	Mechanical - Cranes	Mechanical - CW/ Tube Cleaning	Mechanical - Fire Fighting	Mechanical - General Activities	Mechanical - HVAC	Mechanical - Piping	Mechanical - Pumps	Mechanical - Tanks	Mechanical - Valves	Gesamtergebnis
approved	3	4		2	2	3	5		6	1	2		2	33
available	6	4	3	4	2	3		2	9	15	3		4	64
DF	2	5		3	4	4	6		9	31	3	6	2	75
final	2		2	1		1	1		7	18	2	14	1	49
prel.	1		1	1		1	1		8	7	1	10		32
Gesamtergebni										72	11	36	9	##

Risikoindikator: Hohe Abhängigkeit von Dokumenten mit Kundenfreigabe

Abb. 8-16 Auswertung der Informationsstatus als Indikator

8.2.2 Anwendbarkeit im Kontext des Engineerings von Kraftwerken

Im Rahmen dieser Fallstudie konnten aus der großen Menge an Schnittstellen (rund 1300) für die einzelnen beteiligten Gewerke Hinweise für weitere inhaltliche Untersuchungen gegeben werden. Um dies zu ermöglichen, wurden 82 Engineeringprozesse mit quantitativen Indikatoren in ihrem Ablauf erfasst (vgl. Kap. 5.2.3 und 5.2.4). Diese Bewertungen und die Aggregation auf die Ebene der Teilgewerke (vgl. Kap. 5.4.3) ermöglicht eine erste Vorauswahl vermeintlich kritischer Teilgewerke und Prozesse, in denen diese führend sind (vgl. Kap. 5.3.3). Für die konsekutiven Schritte, um die Risiken genauer zu identifizieren, können nun die aufwendiger zu bewertenden qualitativen Kriterien (vgl. Kap. 5.2.3) verwendet werden. Durch diese erste Iteration wurden 70% der Schnittstellen als vorerst unkritisch identifiziert. In der Fallstudie generell besteht eine minimale Tendenz für eine höhere Kritikalität bei den eingehenden Informationen als für die ausgehenden. Dieses Bild ist konsistent für alle Bereiche, die durch die Auswertung analysiert wurden. Dieser Sachverhalt reflektiert, das im Engineering jedes Gewerk auf Teillösungen der anderen involvierten Gewerke zugreift, hierdurch ist die Menge an unterschiedlichen eingehenden Informationen zwangsläufig größer, als das jeweils entstehende Ergebnis eines Gewerks. Dieses Ergebnis kann jedoch ebenfalls durch einen großen Umfang an Informationen zu einem Risiko führen, da die Identifikation der relevanten Informationen sichergestellt werden muss.

Die Ergebnisse dieser Analyse auf umfassender Grundlage der Prozessdokumentation wurden durch Fachexperten dieser Anwendungsdomäne des Engineerings bestätigt. Die quantitativ beschriebenen Schnittstellen in 82 Engineeringprozessen konnten auf die Ebene der Teilgewerke aggregiert werden.

Sowohl innerhalb der erfassten 82 Prozesse könnten Spannungsfelder identifiziert werden, als auch durch die Aggregation zwischen den Teilgewerken. Bis zu dieser Analyse beruhten die Aussagen zu Spannungsfeldern lediglich auf Erfahrungswerten. Die Erfahrung wurde für Risikozuschläge in der Planung zur Vermeidung möglicher Verzüge in Zeit und Kosten genutzt. Aufbauend auf diese Analyse konnten diese Puffer eliminiert werden und für die spannungsverursachenden Teilgewerke notwendige Maßnahmen ergriffen werden. Zu den Maßnahmen zählten insbesondere die umfassendere Definition von anzufertigenden Dokumentationen und die Bereitstellung von Erwartungen von Informati-

onsempfängern bezüglich des notwendigen Detailgrads und der Informationen zu einzelnen Planungsaspekten.

8.3 Qualitative Bewertung von gewerkeübergreifenden Schnittstellen

Im Rahmen der Fallstudie Schaltanlage wurden einzelne Experteninterviews zur Anwendbarkeit und Gültigkeit des entwickelten Lösungskonzepts geführt. Beteiligt waren Fachexperten für das Anlagenkonzept, die Anlagenintegration und für die Abwicklung des Engineerings von Schaltanlagen.

Insbesondere die qualitativen Kriterien zur Schnittstellenklassifikation wurden in den Interviews detailliert betrachtet (vgl. Kapitel 5.2.3). Die Gültigkeit der Kriterien wurde durch Vergleiche mit der heutigen Situation durch die Experten bewertet. Für diesen Vergleich wurde ein bestehendes Projekt zur Aufbereitung und Klärung der Engineeringabläufe herangezogen. Die Beschreibung der betrachteten Abläufe orientiert sich an bestehenden Projektmanagementvorgaben und -richtlinien. Der Arbeitsschwerpunkt der interviewten Experten ist neben der Aufbereitung und Bereitstellung der Dokumentation des Engineeringprozesses, die Bildung einer Entscheidungsgrundlage für die globale Aufstellung der Organisation und die künftige Aufteilung der Arbeitsschritte zwischen den Gewerken. Im Rahmen der Interviews konnten Hinweise für die Fortführung der Prozessdefinitionsaktivitäten der Experten gegeben werden, diese Hinweise stützen sich auf die Maßnahmen nach Abschnitt 5.4.1 zur Anpassung von Schnittstellen.

8.3.1 Gültigkeit der Kriterien und des hierarchischen Modells

Die Modellierung des Engineeringprozesses auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen wird im Rahmen des Projektes der befragten Experten ebenfalls angewendet. Die Modellierung wird jedoch nur durch das gesetzte Ziel der Prozessdokumentation unterstützt, eine Festlegung der Informationsgranularität findet nicht statt. Es gibt auch keine definierte Metrik oder Kriterien, um die Sinnhaftigkeit von Aktivitätszuschnitten zu beurteilen. Die eigenen Handlungen der Experten reflektieren jedoch die in Kapitel 5.1 beschriebenen Ebenen eines Modells des Engineeringprozesses. Entsprechend wurde in einer ersten Iteration eine Dokumentation auf der Gruppenebene aufgebaut. Bei dieser Dokumentation sind jedoch die entstehenden Resultate und nicht die organisatorische Aufstellung im Fokus. Das Modell der Experten auf dieser Abstraktionsebene gibt wieder, welche Gewerke jeweils notwendig für die Erstellung der einzelnen Lösungen sind. In der Abb. 8-17 sind drei Ausschnitte des Flusses von Ergebnissen, an denen Gewerke beteiligt sind, dargestellt. Die farbliche Markierung wurde durch die Experten genutzt, um aufzuzeigen, dass an dem jeweiligen Ergebnis, entsprechend der Anzahl an Farben, Gewerke beteiligt sind. Am „Detailed Engineering for Technical Bid“ sind dies drei Gewerke (EN1, EN2, EN3). Dieser Schritt und seine benachbarten Schritte wurden für die abgebildeten Ausschnitte ausgewählt. Die Zeile „Beobachtung“ gibt Hinweise für eine mögliche Detaillierung des bestehenden Prozessmodells.

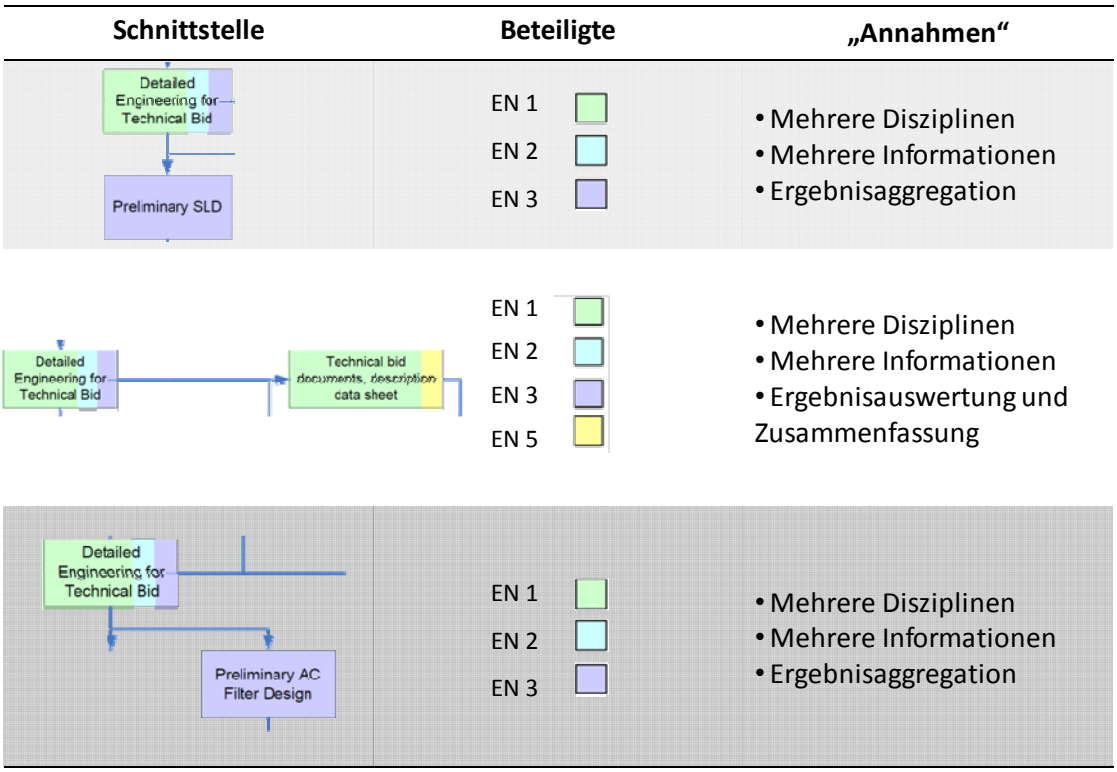


Abb. 8-17 Ausschnitt Engineeringprozessdefinition Schaltanlage

Der Ausschnitt zeigt bereits für eine frühe Phase der Prozessdefinition, das die Nutzung von quantitativen Kriterien (vgl. Kap. 5.2.3) eine Unterstützung bei der Bildung eines Engineeringprozessmodells bieten können. Aus dem Schritt „Detailed Engineering for Technical Bid“ entstehen mindestens zwei Resultate, fraglich ist jedoch was und wie viele in den Schritt, der in der mittleren Zeile abgebildet ist, übergeben werden. Auch die eindeutige Zuordnung, welches Gewerk ist verantwortlich, ist nicht gegeben. Anhand dieser einfachen Prüfregeln, sind die Resultate definiert und welches Gewerk ist verantwortlich, kann nachgeforscht werden, ob der Übergang der mittleren Zeile ausreichend definiert wurde. Bestätigt sich dies nicht, so wurde ein Hinweis auf eine notwendige weitere Detaillierung und Beschreibung der Schnittstelle gegeben. Ein möglicher Schwerpunkt zur Fortsetzung der Arbeit der Experten kann so identifiziert werden, im Sinne der in Kapitel 5.4.1 vorgeschlagenen Maßnahmen. Entgegen dem Vorschlag zur Optimierung durch klare Definition von Schnittstellen, oder Aufteilung, hier jedoch in einem proaktiven Sinn bei der Prozessdefinition.

Die Annahmen der Prüfregeln wurde bezüglich des Schritts „Detailed Engineering for Technical Bid“ bestätigt. In der nachfolgenden Aufbereitung wurde die Aktivität „Detailed Engineering für Technical Bid“ entsprechend weiter aufbereitet. Die Experten definierten diese Schnittstellen nach außen eindeutig bezüglich der auszutauschenden Resultate, sowie den unterlagerten Prozess zur Erstellung der Resultate.

Im Weiteren wurde mit den Experten eine exemplarische Schnittstellenbewertung, basierend auf deren Erfahrungswissen, durchgeführt. Im Rahmen dieser Bewertung wurden einerseits bekannte, kritische Schnittstellen, andererseits bekannt unproblematische Schnittstellen bewertet. Um die Gültigkeit der Bewertung zu erhöhen, wurden, gemäß der Methodik (vgl. Abschnitt 5.2.3), die Gewichtung und Bewertung durch unterschiedliche Personen durchgeführt. Die Bewertungsergebnisse reflektieren den Unterschied der Kritikalitäten deutlich. Auch gegen starke Variationen in der Gewich-

tung war die inhaltliche Bewertung robust. Die Experten bestätigten die Gültigkeit und Relevanz der vorgeschlagenen Kriterien.

8.3.2 Anwendbarkeit im Kontext des Engineerings von Schaltanlagen

Im Rahmen der Fallstudie konnten die in Abschnitt 5.2.3 vorgestellten Bewertungskritieren angewendet werden. Die Kriterien dienten hierbei unmittelbar zur Unterstützung bei der Bildung von Referenzprozessen für das Engineering von Schaltanlagen. In den einzelnen Interviews mit Fachexperten konnte die Anwendbarkeit und Gültigkeit der Kriterien bestätigt werden. Überdies hinaus wurden die Kriterien aufgegriffen zur Bildung der Referenzdokumentation. Die einzelnen Eigenschaften unterstützen die Experten bei der Definition und Dokumentation der einzelnen Aktivitäten und Schnittstellen.

8.4 Fazit zur Anwendbarkeit des Lösungskonzeptes

Zusammengefasst bestätigten alle Fachexperten der einzelnen Anwendungsdomänen den generellen Nutzen und Mehrwert des Lösungskonzepts. Das Lösungskonzept bietet eine Unterstützung für die Erfassung, Analyse und spätere Optimierung von Engineeringprozessen. In allen Fallstudien wurden Modelle der Engineeringprozesse erarbeitet, die sich auf die hierarchische Betrachtung des Engineeringprozesses wie im Abschnitts 5.1 beschrieben stützen. Als Grundlage für die Folgeaktivitäten wurde der jeweilige Engineeringprozess der Fallstudien entsprechend systematisch aufbereitet.

Bereits zu frühen Zeitpunkten der Prozessmodellierung konnte insbesondere für Kraftwerke und Schaltanlagen anhand der Klassifikation von Schnittstellen eine entsprechende Fokussierung auf Ausschnitte des gesamten Engineeringprozess stattfinden.

Eine inhaltliche Durchdringung des Engineeringprozess zur Analyse von technischen Spannungsfeldern wurde anhand des Gewerks Hydraulik im Kontext des Engineerings von Walzwerken durchgeführt. Bestehende technische Abhängigkeiten und vorherrschende Wechselwirkungen konnten identifiziert werden. Mögliche Maßnahmen zur Lösung ungewollter Wechselwirkungen wurden ebenfalls identifiziert und durch Experten der Anwendungsdomäne bestätigt.

Weiterhin fügen sich die einzelnen Elemente des Lösungskonzeptes nahtlos in bereits heute bestehende Vorgaben in Engineeringorganisationen zur Dokumentation von Prozessen ein. Das Lösungskonzept kann die notwendigen Tätigkeiten der Fachexperten bei der Prozessdokumentation beschleunigen. Dies zeigte sich im Besonderen anhand des Engineerings von Schaltanlagen, die verwendeten Bausteine des Lösungskonzeptes konnten im Sinne von Prüfregeln auf weitere notwendige Tätigkeiten hinweisen.

Das Lösungskonzept kann anwendungsdomänenübergreifend verwendet werden. Die Anwendbarkeit und der erzielbare Mehrwert durch die Modellierung des Engineeringprozesses zur strukturierten Abbildung des Erfahrungswissens der Experten wurden durch die involvierten Fachexperten entsprechend bestätigt.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Methodik zur Identifikation von technischen Abhängigkeiten und möglichen Wechselwirkungen im Engineering automatisierter Anlagen erarbeitet. Grundlage für die Identifikation von Abhängigkeiten und möglichen Wechselwirkungen ist ein Modell des Engineeringprozesses. Für die Bildung des Modells des Engineeringprozess wurde ein entsprechendes Vorgehen entwickelt. Dies Vorgehen baut auf bestehenden Ansätzen der Forschung zur Prozessmodellierung im Engineering automatisierter Anlagen auf. Für weitere Untersuchungen des Engineeringprozesses sowie Maßnahmen zur Reduktion des Modellierungsaufwands wurden bestehende Modellierungen für Abhängigkeiten und Wechselwirkungen untersucht. Ergebnis der Untersuchung ist die Verwendung der Methoden im Kontext der Design-Structure-Matrizen. Die bestehenden Methoden wurden erweitert um Möglichkeiten zur Abbildung qualitativer Eigenschaften in Form von Risikoindikatoren. Das Lösungskonzept dieser Arbeit begegnet den Herausforderungen des Engineeringings automatisierter Anlagen, es ermöglicht die Bildung eines Wissens über die technischen Abhängigkeiten und mögliche Wechselwirkungen zwischen den am Engineeringprozess beteiligten Gewerken.

Aufbauend auf dem nach dem Lösungskonzept dieser Arbeit erstellten Modell wurden konsekutive Analysen und optimierende Maßnahmen beschrieben. Dies sind die Identifikation von Schnittmengen zwischen Modellen und Dokumenten, die Identifikation und Analyse von technischen Spannungsfeldern und die Beschreibung kritischer Pfade und Iterationen im Engineeringprozess. Diese Iterationen und Pfade adressieren insbesondere technisch kritische Felder. Für den Umgang mit den identifizierten kritischen Feldern wurden im Abschnitt 5.4 geeignete Maßnahmen vorgestellt.

Das in dieser Arbeit erstellte Lösungskonzept zur Aufbereitung, Analyse und Optimierung des Engineeringprozess greift die Defizite und notwendigen Herausforderungen der im Stand der Wissenschaft (vgl. Abschnitt 3) beschriebenen Arbeiten auf. Dies betrifft insbesondere die von *Eggersmann* beschriebenen weiteren Heraus- und Anforderungen an eine effiziente Erfassung des gesamten Engineeringprozesses. Mit der Aggregation von Detailbewertungen des Informationsaustausch zwischen den einzelnen Gewerken in Design-Structure-Matrizen und der Verwendung des von *Maurer* entwickelten Multi-Domänen-Modellierungsansatz, wurde den von der DSM-Community adressierten geäußerten Herausforderungen begegnet. Die Möglichkeit der Zusammenfassung von detaillierten qualitativen Eigenschaften wurde erarbeitet und exemplarisch belegt. Die Verwendung von quantitativen Indikatoren zur Repräsentation von qualitativen Eigenschaften stellt einen weiteren Fortschritt für die DSM-Methoden dar.

Die Anwendbarkeit im Engineering automatisierter Anlagen wurde anhand von drei Fallstudien belegt. Diese Studien fanden in vollkommen unterschiedlichen Anwendungsdomänen statt: Dem Engineering von Walzwerken, dem Bau von Kraftwerken und dem Bau von Schaltanlagen. Da jedoch die gleichen Gewerke in je unterschiedlichem Umfang involviert sind und entsprechend die gleichen Modelle verwenden, konnte das Lösungskonzept ohne Mehraufwände angewendet werden. Die Wirksamkeit des Lösungskonzepts konnte sowohl auf Basis der erzielten Ergebnisse als zusätzlich aus den Rückmeldungen der an den Studien beteiligten erfahrenen Ingenieuren und Fachplaner bestätigt werden. Da je nach Fokus der Studien unterschiedliche Bausteine der Methodik miteinander kombiniert wurden (vgl. Tab. 8-1 Zuordnung der Fallstudien zu den Bausteinen des Lösungskonzepts), kann das Konzept auch als ausreichend flexibel erachtet werden.

Die Modellierung des Engineeringprozesses ermöglicht es, das Wissen der beteiligten Experten zu dokumentieren. Die Aktivitäten und Resultate der beteiligten Gewerke, die bei der Erstellung dieser häufig mittels spezieller Werkzeuge unterstützt werden, können zu einem Modell verbunden werden. Die vorherrschenden einzelnen Modellvorstellungen, die zur Lösung der spezifischen Aufgaben verwendet werden, sind in diesem Prozessmodell ebenfalls dokumentiert. Die Klassifikation der ausgetauschten Informationen an den Schnittstellen zwischen den Gewerken erlaubt weitreichende Analysen hinsichtlich unterschiedlicher Kritikalitäten. Um den Modellierungs- und Bewertungsaufwand begrenzen zu können, sind ebenfalls Eigenschaften vorgeschlagen worden, die eine frühzeitige Eingrenzung des Analyseschwerpunktes erlauben. Anhand des Modells des Engineeringprozesses können so insbesondere technische Abhängigkeiten und mögliche Wechselwirkungen identifiziert und gelöst werden.

9.2 Ausblick

Auf den Ergebnissen dieser Forschungsarbeit aufbauend können weitere Forschungsaktivitäten im Kontext des Engineerings automatisierter Anlagen vorgenommen werden. Im Rahmen dieser Arbeit sind die Möglichkeiten zur Identifikation technisch kritischer Pfade und Iterationen entwickelt worden, es fehlt jedoch an geeigneten Metriken für die Bewertung und Auswertung des technischen Erfolgs im Engineering automatisiert Anlagen. Für diesen Bedarf an Erfolgsindikatoren, auch als *KPI* bezeichnet, wurden erste Bedarfe in der VDI Richtlinie 3695 [3695] formuliert.

Die systematische Durchdringung und Dokumentation von Engineeringprozessen automatisierter Anlagen sowie die Bewertung der Schnittstellen zwischen Gewerken schaffen die Grundlage zur Bildung generischer Abläufe für Ausschnitte des Anlagenengineerings und ganzer Engineeringprojekte [JÄG+13]. Je nach Anwendungsfall sind die Eigenschaften der einzelnen Aktivitäten unterschiedlich zu bewerten. Eine systematische Beschreibung und Adaption dieser Merkmale schafft die notwendige Basis für generische Abläufe. Dieser Ansatz geht über die reine Bereitstellung von Aktivitäten, wie von Sokolov und Libuda erforscht, deutlich hinaus, da ganze Ablaufketten anhand der beschreibenden Merkmale in den jeweiligen Anwendungskontext gebracht werden können.

Das beschriebene Vorgehen zur Bildung eines Prozessmodells zur Analyse des Engineerings kann auch für die auf der errichteten Anlage zu produzierenden Produkte fortgeschrieben werden [FOE+11]. Auch die Produkte unterliegen einem Engineeringprozess, der jedoch disjunkt zum Engineering der fertigenden Anlage ist. Die Verbindung beider Modelle schafft die Möglichkeit einer integrierten Betrachtung von Produkt- und Herstellungsprozessqualität.

Fortgesetzter Bedarf an neuen Methoden und Algorithmen besteht im Kontext des Workflowminings. Wenn diese Technologien einen höheren Reifegrad aufweisen, könnten diese mit dem Werkzeugkonzept dieser Arbeit weitere Potentiale im Engineering automatisierter Anlagen heben. Es bedarf hierfür jedoch noch grundlegender Untersuchungen, wie die Entscheidungsrationalen der Ingenieure in der Ausführung der gewerkespezifischen Aufgaben aufwandsneutral mit erfasst werden können.

Glossar

Abhängigkeiten Unter Abhängigkeiten sollen die Beziehung zwischen Merkmalen einzelner Entitäten im Engineering von Anlagen verstanden werden, die Einfluss auf den technischen Projekterfolg haben. Entitäten sind hierbei die beteiligten Gewerke, Planungsobjekte und Tätigkeiten.

Abwicklungsmodell Abwicklungsmodelle sind im Sinne dieser Arbeit Beschreibungen zum Vorgehen im Engineering von Anlagen für konkrete Anwendungsdomänen oder vordefinierte Planungsergebnisse.

Ablauforganisation Das Vorgehen in der Abwicklung von Projekten und vordefinierten Tätigkeiten wird mit dem Begriff Ablauforganisation beschrieben. Übliche Darstellungen sind Prozessmodelle, Projektpläne oder Gantt Charts.

Anlage Unter diesem Begriff werden in dieser Arbeit technische Anlagen der Fertigungs- und Prozessindustrie verstanden. Dies sind beispielsweise Fertigungsstraßen, Walzwerke oder Kraftwerke.

Aufbauorganisation Die Struktur von Organisationen, wie beispielsweise in der Abwicklung von Engineeringprojekten, hinsichtlich Hierarchie und Weisung wird oft als Aufbauorganisation bezeichnet. Eine typische Darstellungsform von Aufbauorganisationen sind Organigramme. Das Vorgehen für die Projekte wird üblicherweise in Form von Ablauforganisationen beschrieben.

Domäne Der Begriff Domäne steht in dieser Arbeit stellvertretend für die verschiedenen Einsatzfelder technischer Produkte und Anlagen. Typische Domänen sind die Prozess- und die Fertigungsindustrie.

Elektromechanische Funktionsbeschreibung (EMF) Die EMF ist eine textuelle Beschreibung der wesentlichen Funktionen einer automatisierten Anlage, den einzelnen Funktionen werden die realisierenden Komponenten, oftmals in Tabellenform, zugeordnet.

Engineering Engineering als Begriff umfasst insbesondere Tätigkeiten im Kontext der Entstehung von Systemen, wie automatisierter technischer Anlagen der Fertigungs- und Prozessindustrie. Unter Engineering kann das interdisziplinäre Zusammenwirken verschiedener Gewerke verstanden werden. Kooperativ wird über einzelne Phasen hinweg an den entsprechenden Lösungen gearbeitet, um das gemeinschaftliche Ziel, die Errichtung und der Betrieb einer technischen Anlage, zu erreichen.

Fachdisziplin Fachdisziplin ist im Kontext dieser Arbeit eine am Engineering beteiligte Partei mit fachspezifischer Ausbildung.

Gewerk Gewerk wird im Anlagenbau oftmals synonym mit dem Begriff Fachdisziplin genannt. Der tatsächliche Unterschied im Kontext dieser Arbeit ist jedoch, das unter Gewerken meist spezifische Lösungsanteile im Kontext des Engineerings einer Anlage verstanden werden. Ein typisches Gewerk ist zum Beispiel die Prozessleittechnik. Dieses Gewerk wird sowohl durch Elektrotechnikingenieure oft aber auch durch Regelungstechnikingenieure ausgeführt.

Mechatronik Mechatronik im Kontext des Anlagenengineerings beschreibt die Integration von Lösungsanteilen unterschiedlicher Gewerke zu einem Lösungselement. Im Allgemeinen wird mit Mechatronik die Integration von Mechanik, Elektrik und Informationstechnik beschrieben.

Motoren- und Komponentenliste (MKL) Die MKL ist ein Verzeichnis der in einer Anlage verbauten elektromechansichen Komponenten. Neben Bezeichnern für die einzelnen Komponenten, oft nach EN 81346, sind wesentliche Parameter wie Anschluss- und Leistungsdaten hier dokumentiert. Die MKL repräsentiert das elektromechanische Grundgerüst der automatisierten Anlage.

Verfahrenstechnische Operation ist der Oberbegriff für technologische Prozesse die durch Anlagen der Verfahrenstechnik realisiert werden. Eine typische Operation ist das Mischen von Flüssigkeiten.

Vorgehensmodell Als Vorgehensmodelle können allgemeingültig verfasste Empfehlungen zum Vorgehen im Engineering verstanden werden.

Prozess Unter einem Prozess soll in dieser Arbeit insbesondere der Arbeitsablauf im Engineering verstanden werden. Ein Prozess gibt die Abfolge von einzelnen Aktivitäten wieder. Im Kontext des Engineerings von Anlagen wird oftmals auch der technologische Prozess nur als Prozess bezeichnet. Auch der englischsprachige Begriff Workflow wird oftmals synonym verwendet.

Technologischer Prozess Der technologische Prozess ist im Engineering von Anlagen der zu realisierende Herstellungs- und Fertigungsprozess durch die zu realisierende automatisierte Anlage.

Wechselwirkung Wechselwirkungen sind mögliche aus Abhängigkeiten resultierende Effekte, beispielsweise durch Veränderung eines technischen Merkmals. Wechselwirkungen sind im Gegensatz zu Abhängigkeiten nicht grundsätzlich vorhanden. Die Wirkung hängt von den Randbedingungen ab, die die Gültigkeit der Beziehung zwischen zwei abhängigen Merkmalen beschrieben.

Literaturverzeichnis

[AQUI10]
Aquimo: *Adaptierbares Moldellierungswerkzeug und Qualifizierungsprogramm für den Aufbau firmenspezifischer mechatronischer Engineeringprozesse ; ein Leitfaden für Maschinen- und Anlagenbauer.* Frankfurt, Main: VDMA-Verlag, 2010. ISBN 9783816305897

[AAL+04]
W. van der Aalst, T. Weijters, L. Maruster: *Workflow mining: Discovering process models from event logs.* In IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 16 (9), 2004, S. 1128–1142.

[AAL+10]
W. Aalst, V. Rubin, H. Verbeek, B. Dongen, E. Kindler, C. Günther: *Process mining: a two-step approach to balance between underfitting and overfitting.* Software & Systems Modeling, Vol. 9 (1), 2010, S. 87–111.

[ACHL05]
R. Achatz, U. Löwen: *Industrieautomation.* In: Liggesmeyer (Hrsg.): *Software Engineering eingebetteter Systeme: Grundlagen - Methodik - Anwendungen.* 1. Aufl. München: Elsevier, 2005, ISBN 3827415330.

[AKIY94]
K. Akiyama: *Funktionenanalyse: Der Schlüssel zu erfolgreichen Produkten und Dienstleistungen.* Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie Japan-Service, 1994. ISBN 911109

[Auer10]
J. Auersperg: *Frühzeitige Zuverlässigkeitsanalyse mechatronischer Systeme*. J. Gausemeier (Hrsg.). Mü nchen: Hanser, 2010.

[BAHG98]
A.T. Bahill, B. Gissing: *Re-evaluating Systems Engineering Concepts Using Systems Thinking - Systems, Man, and Cybernetics, Part C,* In: . In IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 28 , 1998, S. 516-527.

[BAYE03]
B. Bayer: *Conceptual information modeling for computer aided support of chemical process design.* Düsseldorf, Aachen,Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, 2003.

[BINH09]
T. Bindel, D. Hofmann: *Projektierung von Automatisierungsanlagen: Eine effektive und anschauliche Einführung*. 1. Auflage Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2009. ISBN 9783834803863 .

[BLAN12]
B.S. Blanchard: *System Engineering Management*. 4. Auflage: Wiley, 2012. ISBN 9780470167359 .

[BRAM97]
D. Braha, O. Maimon: *The design process: properties, paradigms, and structure*. In IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 27 (2), 1997, S. 146–166.

[BROE02]
T. Browning, S. Eppinger: Modeling impacts of process architecture on cost an schedule risk in product development. In IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 49 (4), 2002, S. 428–442.

[BROW01]
T. Browning: Applying the design structure matrix to system decomposition and integraton problems In IEEE Transactions on Engineering Management, , Vol. 48 (3), 2001, S. 292–306.

[BUCC94]
L.L. Bucciarelli: *Designing engineers.* Cambridge, Mass.: MIT Press, 1994 (Inside technology). ISBN 026 2023776 .

[CLA+04]
P.J. Clarkson, C. Simons, C. Eckert: *Predicting Change Propagation in Complex Design.* Journal of Mech anical Design, Vol. 126 (5), 2004, S. 788.

[CZIC89]
H. Czichos (Hrsg.): *Die Grundlagen der Ingeniuerwissenschaften*. 29. Auflage Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1989.

[DANB01A]
M. Danilovic, H. Börjesson: *Participatory Dependence Structure Matrix Approach.* In: Eppinger, Whitn ey. D., Yassine (Hrsg.): *3rd Design Structure Matrix Workshop.* Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 2001.

[DANB01B]
M. Danilovic, H. Börjesson: *Managing the Multiproject Environment.* In: Eppinger, Whitney. D., Yassin e (Hrsg.): *3rd Design Structure Matrix Workshop.* Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 2001.

[DANB07]
M. Danilovic, T.R. Browning: *Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices.* International journal of project management: the journal of The International Project Management Association, Vol. 25 (3), 2007, S. 300–314.

[DEUR12]
J. Deuse, G. Reinhart: *ADIFA - Standardisierter Austausch zeitwirtschaftlicher Daten in der Digitalen Fabrik: [Forschungs- und Entwicklungsvorhaben]; [Schlussbericht]; gefördert im Rahmenkonzept "Forschung für die Produktion von morgen".* Dortmund, 2012.

[EBEG04]
S. Eberle, P. Göhner: *Softwareentwicklung für eingebettete Systeme mit strukturierten Komponenten: Teil 1:Komponentenorientierte Zerlegung.* In: *atp Automatisierungstechnische Praxis,* 46 2004, S. 41–46.

[EGGE03]
M. Eggersmann: *Modeling and understanding different types of process design activities.* Latin Americ an applied research, Vol. 33, 2003, S. 167–175.

[EGGE05]
M. Eggersmann: *Analysis and support of work processes within chemical engineering design processe s.* Düsseldorf, Aachen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule 2005.

[EPPL11]
U. Epple: *Einfachheit als Konstruktionsprinzip.* In: *Automation 2011 Baden-Baden, VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik.* Düsseldorf: VDI-Verlag, 2011, ISBN 978-3-18-092143-3, S. 17–20.

[ERIP00]
H.-E. Eriksson, M. Penker: *Business modeling with UML: Business patterns at work.* New York: Wiley, 2000. ISBN 9780471295518 .

[FAY09]
A. Fay: *Effizientes Engineering komplexer Automatisierungssysteme.* In: Wird der Verkehr automatisch sicherer?, Braunschweig: iVA, 2009, ISBN 3980336301, S. 43–60.

[FELG12]
J. Feldhusen, K.-H. Grote (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8. Auflage. Berlin: Springer Berlin, 2012. ISBN 9783642295683.

[FER+09]
L. Ferrarini, A. Dede, P. Salaun, Tuan Dang, G. Fogliazza: *Domain specific views in model-driven em-*

bedded systems design in industrial automation. In: *7th IEEE International Conference on Industrial Informatics 2009. INDIN 2009,* S. 702–707.

[FOE+11]
M. Foehr, T. Jager, A. Luder, T. Wagner, A. Fay: *Development of a method to analyze the impact of man ufacturing systems engineering on product quality.* In: *Emerging Technologies in Factory Automation (ETFA 2011).*

[FRA+11]
H.-J. Franke, G. Grein, E. Türck: *Anforderungsmanagement für kundenindividuelle Produkte.* Shaker Verlag 2011 ISBN 978-3-8440-0517-2.

[FRIE09]
A.D. Friedrich: *Anwendbarkeit von Methoden und Werkzeugen des konventionellen Softwareengineering zur Modellierung und Programmierung von Steuerungssystemen.* Universität Kassel, 2009.

[GEL+12]
A. Gellermann, T. Jäger, A. Fay, T. Wagner, A. Müller-Martin: *Analyse und Optimierung von Engineering-Schnittstellen.* In: *Automation 2012: Der 13. Branchentreff der Mess- und Automatisierungstechnik.* Düsseldorf: VDI-Verlag (VDI-Berichte, 2171), 2012, ISBN 9783180921716.

[GREM99] H. Gremmel: *Schaltanlagen.* 10. Auflage. Berlin: Cornelsen Verlag 1999, ISBN 346448235-9.

[GRO+07]
K.-H. Grote, J. Feldhusen, H. Dubbel: *Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau*.
22Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2007, ISBN 9783540681915.

[GÜTF08]
K. Güttel, A. Fay: *Beschreibung von fertigungstechnischen Anlagen mittels CAEX.* Automatisierungstechnische Praxis, Vol. 50 (1), 2008, S. 34–39.

[HEFK05]
M. Hefke: *Modellbasiertes Anlagen-Engineering, kundenorientierte Dienstleistungen für Anlagensteuerung und -kontrolle: MODALE ; Abschlussbericht für das Vorhaben ; Laufzeit des Vorhabens: 1. Oktober 2003 bis 30. September 2005.*

[HELM03]
F.P. Helmus: *Anlagenplanung: Von der Anfrage bis zur Abnahme.* Weinheim: Wiley-VCH, 2003. ISBN 9783527304394 .

[HEP+07]
M. Hepp, J. Leukel, V. Schmitz: *A quantitative analysis of product categorization standards: content, coverage, and maintenance of eCl@ss, UNSPSC, eOTD, and the RosettaNet Technical Dictionary.* Knowledge and Information Systems, Vol. 13 (1), 2007, S. 77–114.

[INPR] *Verbundprojekt: Integrative Produktentwicklung mit virtuellen Prototypen - INPROVY: Gemeinsamer Ergebnisbericht.* http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/733703879.pdf .

[ISHI90]
K. Ishikawa: *Introduction to Quality Control. ISBN* 4-906224-61-X ,1990.

[JÄG+11]
T. Jäger, A. Fay, T. Wagner: *Systematische Erfassung und Bewertung von gewerkeübergreifenden Schnittstellen in Engineeringworkflows.* In: *Automation 2011 Baden-Baden, VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik.* Düsseldorf: VDI-Verlag 2011, ISBN 978-3-18-092143-3.

[JÄG+12A]
T. Jäger, A. Fay, C. Dachs, S. Horn: *Integration Flow Management für effizientes Engineering.* In: *Automation 2012 Baden-Baden.* Düsseldorf: VDI-Verlag 2012, ISBN 9783180921716.

[JÄG+12B]
T. Jäger, A. Fay, T. Wagner, U. Löwen: *Comparison of engineering results within domain specific languages regarding information contents and intersections.* In: *Systems, Signals and Devices (SSD), 2012 9th International Multi-Conference*.

[JÄG+13]
T. Jäger, M. Foehr, S. Horn, M. Mühlhause, H. Seidel, O. Lehmann, C. Diedrich: *Systematische Absicherung des Mehrwerts von Engineeringwkerzeugen: Aktivitätsmuster und Werkzeugfunktionen zur Sicherstellung der Workflow .* In: *AUTOMATION 2013 Baden-Baden.* Düsseldorf: VDI-Verlag, 2013, ISBN 978-3-18-092209-6.

[KIL+99]
S. Killich, H. Luczak, C. Schlick, M. Weissenbach, S. Wiedenmaier, J. Ziegler: *Task modelling for cooperative work.* Behaviour & Information Technology, Vol. 18 (5), 1999, S. 325–338.

[KIS+10]
M.P. Kissel, K.G.M. Eben, S. Braun, J. Schmidt-Colinet, M. Obermeier, U. Lindemann, B. Vogel-Heuser: *A Framework for Evaluating Product Architecture of Automation Production Facilities.* In: Wynn (Hrsg.): *Managing complexity by modelling dependencies: Proceedings of the 12th International DSM Conference Cambridge, UK, 22 - 23 July 2010.* München: Hanser, 2010, ISBN 9783446424739.

[KOR+10]
S. Kortler, K.J. Diepold, U. Lindemann: S*tructural complexity management using domain spanning structural criteria.* In: *International design conference – Design 2010 Dubrovnik - Croatia, May 17 - 20, 2010.* Dubrovnik - Croatia, 2010.

[KRAU02]
F.-L. Krause (Hrsg.): *Leitprojekt integrierte, virtuelle Produktentstehung: Abschlussbericht.* Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag, 2002. ISBN 3816761658.

[LIBU10]
L. Libuda*: Workflow-Modellierung für die Anlagenplanung Nutzbringend oder überflüssig?* In: ProcessNET (Hrsg.): *7. Symposium "Informationstechnologie für Entwicklung und Produktion in der Verfahrenstechnik".* Aachen, 2010.

[LIB+11]
L. Libuda, G. Gutermuth, S. Heiß: Arbeitsabläufe in der Anlagenplanung optimieren: IT Unterstützung für Engineering Workflows. In: *ATP Edition,* 09/2011, S. 40-51.

[LAUG99]
R. Lauber, P. Göhner: *Modellierungskonzepte und Automatisierungsverfahren, Softwarewerkzeuge für den Automatisierungsingenieur, Vorgehensweise in den Projektphasen bei der Realisierung von Echtzeitsystemen.* Berlin: Springer, 1999 . ISBN 3540653198.

[LEXW05]
A. Lex, P. Winzer: *Möglichkeiten des anforderungsgerechten Designs von mechatronischen Systemen.* In: Petersen (Hrsg.): *Qualitätsmanagement – Querschnittsaufgabe in Wirtschaft und Wissenschaft: Bericht zur GQW-Jahrestagung 2005, Bonn.* Aachen: Shaker (Berichte zum Qualitätsmanagement, 7), 2005, ISBN 383223571X, S. 103–114.

[LIN+08]
U. Lindemann, M. Maurer, T. Braun: *Structural Complexity Management: An Approach for the Field of Product Design.* http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-87889-6.

[Löw+05]
U. Löwen, R. Bertsch, B. Böhm, S.T.T. Prummer: *Systematisierung des Engineerings von Industrieanlagen.* In: *atp Automatisierungstechnische Praxis, Vol.* 47, S. 54–61.

[MAGJ10]
C. Maga, N. Jazdi: *Klassifizierung möglicher Beziehungen zwischen wiederverwendbaren Artefakten in der Automatisierungstechnik.* In: Jumar, Schnieder, Diedrich (Hrsg.): *Entwurf komplexer Automatisierungssysteme: EKA 2010 ; Beschreibungsmittel, Methoden, Werkzeuge und Anwendungen ; 11. Fachtagung mit Tutorium, 25. bis 27. Mai 2010 in Magdeburg , Denkfabrik im Wissenschaftshafen.* Magdeburg: ifak, 2010, ISBN 9783940961419.

[MARN04]
W. Marquardt, M. Nagl: *Workflow and information centered support of design processes - the IMPROVE perspective.* Aachen: LPT RWTH, 2004 (Technical report / LPT, Lehrstuhl für Prozesstechnik, RWTH Aachen, 2004,46).

[MAUR07]
M.S. Maurer: *Structural awareness in complex product design.* München: Verlag Dr. Hut, 2007 . ISBN 3899636325 .

[MÖHR04]
S. Möhringer: *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.* Paderborn: Heinz-Nixdorf-Institut, 2004 (HNI-Verlagsschriftenreihe, 156). ISBN 3935433654 .

[MOST85]
J. Mostow: *Toward Better Models of the Design Process.* In: *AI Magazine,* Volume 6, S. 44–57.

[MÜLL05]
J. Müller: *Workflow-based Integration: Grundlagen, Technologien, Management.*
Berin: Springer, 2005. ISBN 3540204393.

[OLDB03]
J. Oldenbourg, G. Bretthauer: *Zum Wechsel des Herausgebers.* at - Automatisierungstechnik, Vol. 51 (1-2003), 2003, S. 3–4.

[OTT09]
S. Ott: *Konzept zur methodischen System-Modellierung in der anforderungsgerechten Produktentwicklung.* Aachen: Shaker, 2009 (Berichte zum Generic-Management, 2009,3). ISBN 9783832284725.

[PATZ82]
G. Patzak: *Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme: Grundlagen, Methoden, Techniken.* Berlin: Springer, 1982. ISBN 0387117830.

[PETRI62]
C.A. Petri: *Kommunikation mit Automaten.* 1962, Institut für instrumentelle Mathematik der Universität Bonn.

[PINT]
J. Pinto: *Mission Statement: R&D and Engineering Projects.* In: *IEEE Transcations on Engineering Management. http://www.umsl.edu/~ieee-tem/depts.html*. [Abruf: 2013-01-20] .

[PIST94]
PI-Step: Process Plant Activity Model. Webseite des Process Industries STEP Consortium, http://www.pistep.co.uk. [Abruf: 2013-01-20] .

[PTC]
Sieben unverzichtbare PLM-Merkmale – PTC. http://de.ptc.com/solutions/product-lifecycle-management/plm-capabilities.htm [Abruf: 2013-01-20] .

[PUHL99]
H. Puhl: *Komplexitätsmanagement.* Kaiserslautern, Universität, 1999.

[RUBE04]
A. Rubenstein: *50 Years of Engineering and Technology Management.* IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 51 (4), 2004, S. 407–408.

[RUND11]
S. Runde: *Wissensbasierte Engineeringunterstützung in der Automatisierungstechnik am Beispiel der Gebäudeautomation.* VDI Verlag Düsseldorf, Hamburg, Helmut-Schmidt-Universität, 2011.

[SCH+08]
S. Schmitz, M. Schlütter, U. Epple: *R&I - Grundlage durchgängigen Engineerings.* In: *Automation 2008 - Lösungen für die Zukunft: Der Automatisierungskongress in Deutschland, 3. und 4. Juni 2008, Baden-Baden.* Düsseldorf: VDI-Verlag, 2008, ISBN 978-3-18-092032-0.

[SCH+95]
S. Schlund, F. Riekhof, P. Winzer: *Probleme bei der Entwicklung mechatronischer Systeme: Ergebnis einer Industriebefragung.* In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb: ZWF.* München: Hanser; GBI-Genios Deutsche Wirtschaftsdatenbank GmbH, 1995.

[SCHB10]
G. Schembecker, T. Bott: *Die 50%-Idee - vom Produkt zur Produktionsanlage in der halben Zeit: Positionspapier zu bestehendem Forschungsbedarf und Empfehlungen an die Forschungsförderung.* 16.03.2010.
http://www.processnet.org/processnet_media/XWu/Positionspapier+50+_+Idee+final.pdf [Abruf: 2012-12-29] .

[SCHI04]
G. Schimm: *Workflow Mining.* Berlin, Oldenburg, Universität, 2004.

[SCHM08]
T. Schmidberger: *Wissensbasierte Auswertung von Anlagen-Planungsdaten für die Unterstützung des Prozessleittechnik-Ingenieurs: Anwendung einer rollenbasierten Mustersuche.* Düsseldorf: VDI-Verl., 2008 . ISBN 978-3-18-341520-5 .

[SCHW89]
W. Schwanfelder: *Internationale Anlagengeschäfte: Anbieterkonsortium, Projektabwicklung, Projektcontrolling.* Wiesbaden: Gabler, 1989. ISBN 3409137173 .

[SCHW09A]
D. Schütz, A. Wannagat: *Domänenspezifische Modellierung für automatisierungstechnische Anlagen mit Hilfe der SysML.* In: *ATP Edition 03/2009,* S. 54-62.

[SCHW09B]
S. Schlund, P. Winzer: *DeCoDe-Modell zur anforderungsgerechten Produktentwicklung.* In: Bandow, Holzmüller (Hrsg.): *„Das ist gar kein Modell!“.* Wiesbaden: Gabler, 2009, ISBN 978-3-8349-1842-0, S. 277–293. DOI 10.1007/978-3-8349-8484-5_13 .

[SEIF05]
L. Seifert: *Integrative Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen (INERELA): BMBF-Rahmenkonzept "Forschung für die Produktion von morgen" ; Schlußbericht .* Büren: myview technologies GmbH, 2005.

[SHU+06]
Shuichi Sato, Christoph Roser, Fumiko Kubota, Masaru Nakano*: Methodology of outsourcing design and engineering process.* In: *12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, 2006:* IFAC, Elsevier, 2006, ISBN 9783902661043, S. 783–788.

[SITW07]
J. Sitte, P. Winzer: *Methodic Design of Robot Vision Systems.* In: *2007 International Conference on Mechatronics and Automation:* IEEE, 2007, ISBN 978-1-4244-0827-6, S. 1758–1763.

[SITW11]
J. Sitte, P. Winzer: *Demand Compliant Design*. In IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 41 (3), 2011, S. 434–448.

[SOK+11]
S. Sokolov, M. Mühlhause, C. Diedrich, H.-P. Fichtner, M. Kaiser: *Rechnergestützte Assistenz zur Risikobewertung und zum Ableiten von Handlungsvarianten in der Anlagenplanung.* In: Adolphs (Hrsg.): *Automation 2011: Der 12. Branchentreff der Mess- und Automatisierungstechnik ; Kongress Baden-Baden, 28. und 29. Juni 2011.* Düsseldorf: VDI-Verlag , 2011, ISBN 9783180921433.

[SOK+12]
S. Sokolov, C. Diedrich, H.-P. Fichtner, Z. Cihlar, M. Kaiser: *Ein prozessorientiertes Vorgehensmodell zur Unterstützung wissensintensiver Planungsaufgaben im Anlagenengineering.* In: *Automation 2012: Der 13. Branchentreff der Mess- und Automatisierungstechnik.* Düsseldorf: VDI-Verlag, 2012, ISBN 9783180921716.

[SPI+12]
B. Spiegelberger, S. Bonetsmüller, R. Stetter, B. Kausler: *Reifezeugnis für mechatronische Entwicklungsprozesse: Status Quo im Maschinen- und Anlagenbau / Status quo in machine and plant engineering.* In: *ATP Edition,* 10 2012 .

[STAC73]
H. Stachowiak: *Allgemeine Modelltheorie.* Wien: Springer, 1973. ISBN 0387811060 .

[STR+10]
T. Strasser, G. Ebenhofer , *M.Rooker, I. Hegny: *Domain-Specific Design of Industrial Automation and Control Systems: The MEDEIA Approach.* 10th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems (IMS 2010) Lisbon, Portugal.

[STAR]
R. Stark: *ISYPROM - modellbasierte Prozess- und Systemgestaltung für die Innovationsbeschleunigung: Überblick über die Ergebnisse des Verbundprojektes.* http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb12/730568601.pdf.

[STAU07]
M. Staudinger: *Supply Management im industriellen Großanlagenbau.* Münster, Westf, Oestrich-Winkel, European Business School, 2007.

[STEW67]
D. Steward: *The Design Structure System.* In: *General Electric internal report,* 67APE6, 1967 .

[STEW81]
D. Steward: *Design structure system: A method for managing the design of complex systems.* IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 28, 1981, S. 71–74.

[STR+10]
M. Strube, A. Fay, S. Truchat, H. Figalist: *Funktionale Anlagenbeschreibung als Basis der Modernisierungsplanung.* In: *Automation 2010: Der 11. Branchentreff der Mess- und Automatisierungstechnik ; Kongress Baden-Baden, 15. und 16. Juni 2010.* Düsseldorf: VDI-Verlag, 2010, ISBN 978-3-18-092092-4.

[STRA07]
K. Strauß: *Kraftwerkstechnik: Zur Nutzung fossiler, nuklearer und regenerativer Energiequellen*. 5. Auflage: Springer-Verlag, 2007. ISBN 978-3540296669 .

[SUH90]
N.P. Suh: *The principles of design.* New York: Oxford Univ. Pr, 1990 (Oxford series on advanced manufacturing, 6). ISBN 0195043456 .

[TUR+12]
C.J. Turner, A. Tiwari, R. Olaiya, Y. Xu: *Process mining: From theory to practice.* Business Process Management Journal, Vol. 18 (3), 2012, S. 493–512.

[ULRI09]
A. Ulrich: *Entwicklungsmethodik für die Planung verfahrenstechnischer Anlagen.* Düsseldorf, Hamburg , Universität der Bundeswehr, 2009.

[BEEK08]
T.T. van Beek: *Requirements for Complex Systems Modeling.* In: Houten (Hrsg.): *CIRP Design Conference 2008 ; April 7 - 9, 2008, Enschede.* Enschede: Laboratory of Design Production and Management Faculty of Engineering Technology Univ. of Twente, 2008, ISBN 9789036526340.

[VDI 12]
VDI VDE Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: *Pressegespräch zum Kongress AUTOMATION 2012: Ist die intelligente Produktion von morgen zu komplex?,* 2012. http://www.vdi.de/uploads/media/2012-06-13_PG_Ergebnisse_Umfrage_Komplexitaet_final.pdf.

[VDMA]
VDMA *Über uns*: http://www.vdma.org/article/-/articleview/695840. [Abruf: 2013-11-13]

[VDMA14]
VDMA: *Maschinenbau in Zahl und Bild 2014.* Frankfurt, März 2014.

[VERB04]
Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau: *Baukastenbasiertes Engineering mit Föderal: Ein Leitfaden für Maschinen- und Anlagenbauer.* Frankfurt am Main: VDMA Verlag, 2004 . ISBN 3816304788 .

[VOGE03]
B. Vogel-Heuser: *Systems Software Engineering:* Oldenbourg, 2003. ISBN 9783486270358 .

[WAGL10]
T. Wagner, U. Löwen: *Modellierung: Grundlage für integriertes Engineering: Modelling: Foundation of Integrated Engineering.* In: *Automation 2010: Der 11. Branchentreff der Mess- und Automatisierungstechnik ; Kongress Baden-Baden, 15. und 16. Juni 2010.* Düsseldorf: VDI-Verlag, 2010, ISBN 978-3-18-092092-4.

[WALT01]
C. Walther: *Systemtechnische Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und Funktionen großer Systeme: Methoden zur Darstellung von Änderungsauswirkungen.* München, Technische Universität, 2001.

[WEIL08]
T. Weilkiens: *Systems engineering mit SysMLUML: Modellierung, Analyse, Design.* Heidelberg: dpunkt-Verlag, 2008 . ISBN 978-3-89864-577-5 .

[WEST10]
E. Westkämper: *Hochauflösende Röntgen-Computertomographie-Messtechnik für mikromechatronische Systeme: Fraunhofer-IPA-Workshop, 2. Juli 2010, Stuttgart*. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, 207.

[WEY+11A]
M. Weyrich, F. Steden, J. Wolf, M. Scharf: *Identification of mechatronic units based on an example of a*

flexible customized multi lathe machine tool. In: *IEEE 16th Conference on Emerging Technologies Factory Automation (ETFA), 2011 .*

[WEY+11B]
M. Weyrich, P. Klein, M. Laurowski, Yongheng Wang: *Mechatronic Engineering of Novel Manufacturing Processes Implemented by Modular and Sensor-Guided Machinery.* In: *IEEE 16th Conference on Emerging Technologies Factory Automation (ETFA), 2011 .*

[WHIT11]
Whitney. D.: Perspectives on the DSM. In: Eppinger (Hrsg.): *Invest on visualization: Proceedings of the 13th International DSM Conference, Cambridge, MA, USA, 14 - 15 September 2011 ;* Munich: Hanser, 2011, ISBN 9783446430372.

[WILL99]
H. Willars: *Business Modeller's Checklist: "Dos" and "Don'ts" in Hands-on Practice.* In: Nilsson (Hrsg.): *Perspectives on business modelling: Understanding and changing organisations.* Berlin: Springer, 1999, ISBN 3540652493, S. 305–323.

[ZELE04]
S. Zelewski: *Kooperatives Wissensmanagement in Engineering-Netzwerken: (vorläufiger) Abschlussbericht zum Verbundprojekt KOWIEN.*

Normen- und Richtlinienverzeichnis

[35] Namur Arbeitsblatt 35 *Abwicklung von PLT-Projekten*

[10303] ISO 10303 *Standard for the exchange of product model data - STEP*

[2206] VDI Richtlinie 2206 *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*

[60812] DIN EN 60812 *Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen – Verfahren für die Fehlerzustandsart- und auswirkungsanalyse*

[2219] VDI Richtlinie 2219 *Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung: Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen*

[2221] VDI Richtlinie 2221 *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*

[2422] VDI/VDE Richtlinie 2422 *Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik*

[3682] VDI/VDE Richtlinie 3682 *Formalisierte Prozessbeschreibungen*

[3695] VDI/VDE Richtlinie 3695 *Engineering von Anlagen - evaluieren und optimieren*

[8583] DIN 8583 *Fertigungsverfahren Druckumformen*

[81346] EN 81346 *Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte – Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung*

Verzeichnis der Veröffentlichungen des Verfassers

T. Jäger, A. Fay, T. Wagner: Systematische Erfassung und Bewertung von gewerkeübergreifenden Schnittstellen in Engineeringworkflows. In: 8. Symposium "Informationstechnologien für Entwicklung und Produktion in der Verfahrenstechnik", Frankfurt am Main, 02.-03. März 2011.

Bamberg, S. Bleuel, L. Evertz, **T. Jäger**, H. Mubarak, T. Nekolla, S. Schmitz, L. Urbas, M. Vogel: Bericht aus dem NAMUR Ad hoc AK 1.12 - Anforderungen an die Modularisierung von Automatisierungstechnik. In: 8. Symposium "Informationstechnologien für Entwicklung und Produktion in der Verfahrenstechnik", Frankfurt am Main, 02.-03. März 2011.

T. Jäger, A. Fay, H. Figalist, T. Wagner: Systematische Risikominimierung im Engineering mit Abhängigkeitsanalyse und Schlüsseldokumenten. In: Tagungsband "Automation 2011", Baden-Baden, 28-29. Juni 2011.

L. Christiansen, **T. Jäger**, A. Fay: Werkzeug für die Formalisierte Prozessbeschreibung VDI/VDE-Richtlinie 3682 auf Basis von MS Visio®. In: Tagungsband "Automation 2011", Baden-Baden, 28-29. Juni 2011.

M. Strube, **T. Jäger**, A. Fay: Integriertes Engineering durch Zusammenführen von Prozess- und Anlagenbeschreibung – Ein Konzept zur ganzheitlichen Beschreibung von Produktionsanlagen. In: Tagungsband der 14. Tagung "IFF-Wissenschaftstage", Magdeburg, 28-30. Juni 2011.

T. Jäger, A. Fay, T. Wagner, U. Löwen: Mining technical dependencies throughout engineering process knowledge. In: Tagungsband der 16. Tagung "IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Toulouse, France, 5.-9. September 2011.

M. Foehr, A. Lüder, **T. Jäger**, A. Fay, T. Wagner: Development of a method to analyze the impact of manufacturing systems engineering on product quality. In: Tagungsband der 16. Tagung "IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Toulouse, France, 5.-9. September 2011.

L. Christiansen, **T. Jäger**, M. Strube, A. Fay: Integration of a formalized process description into MS Visio® with regard to an integrated engineering process. In: Tagungsband der 16. Tagung "IEEE International Conference on Emerging Technologies an Factory Automation (ETFA), Toulouse, France, 5.-9. September 2011.

L. Christiansen, **T. Jäger**, A. Fay: Werkzeug für die Formalisierte Prozessbeschreibung VDI/VDE-Richtlinie 3682 auf Basis von MS Visio®. In: „Jahrestreffen der Fachgemeinschaft Prozess-, Apparate- und Anlagentechnik“, Fulda 14.-15. November 2011.

L. Urbas, S. Bleuel**, T. Jäger**, S. Schmitz, L. Evertz, T. Nekolla: Automatisierung von Prozessmodulen. In: Zeitschrift "atp-edition / Automatisierungstechnische Praxis", Heft 1-2/2012, S. 44 - 53.

T. Jäger, A. Fay, T. Wagner, U. Löwen: Comparison of engineering results within domain specific languages regarding information contents and intersections. In Proceedings of 9th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, Chemnitz, 20.-23. März 2012.

S. Bleuel, A. Bamberg, **T. Jäger**, H. K. Mubarak, S. Schmitz, M. Vogel, L. Evertz, T. Nekolla, L. Urbas: Anforderungen an die Automatisierungstechnik durch die Modularisierung verfahrenstechnischer Anlagen. In: Modularisierung - Zukunft in der Prozesstechnik, 695. DECHEMA-Kolloquium 15. März 2012.

L. Christiansen, **T. Jäger**, F. Schumacher, A. Fay: Modellierungsvorschlag zur grafischen Beschreibung alternativer und paralleler Prozessabläufe auf Basis eines Vergleichs bestehender Beschreibungsmittel. In: Tagungsband Entwurf komplexer Automatisierungssysteme (EKA2012), 9.-10. Mai 2012 Magdeburg.

T. Jäger, L. Christiansen, M. Strube: Durchgängige Werkzeugunterstützung von der Anforderungserhebung bis zur Anlagenstrukturbeschreibung mittels formalisierter Prozessbeschreibung und AutomationML. In: Tagungsband Entwurf komplexer Automatisierungssysteme (EKA2012), 9.-10. Mai 2012 Magdeburg.

T. Jäger, A. Fay, S. Horn, C. Dachs: Integration Flow Management für effizientes Engineering. In: Tagungsband "Automation 2012", Baden-Baden, 13-14. Juni 2012.

A. Gellermann, **T. Jäger**, A. Fay, T. Wagner, A. Müller-Martin: Analyse und Optimierung von Engineering-Schnittstellen. In: Tagungsband "Automation 2012", Baden-Baden, 13-14. Juni 2012.

T. Holm, L. Christiansen, M. Göring, **T. Jäger**, A. Fay: ISO 15926 vs. IEC 62424 – Comparison of Plant Structure Modeling Concepts. In: Tagungsband der 17. Tagung "IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation" (ETFA), Kraków, Poland, 17.-21. September 2012.

M. Foehr, P. Leitao, T. Wagner, **T. Jaeger**, A. Lueder: Integrating mechatronic thinking and multi-agent approaches. In: Tagungsband der 17. Tagung "IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation" (ETFA), Kraków, Poland, 17.-21. September 2012.

T. Jäger, L. Christansen, M. Strube, A. Fay: Durchgängiges Engineering von der Anforderungserhebung bis zur Anlagenstrukturbeschreibung. In "at-Automatisierungstechnik ", Jahrgang 61 (2013), Heft 2, S. 92-101.

T. Wagner, J. Ch. Wehrstedt, U. Löwen, **T. Jäger**, A. Fay, P. Schuller: Application and Evaluation in the Automation Domain. In Model-Based Engineering of Embedded Systems – The SPES 2020 Methodology. K. Pohl, H. Hönninger, R. Achatz, M. Broy (Hrsg.) Springer Verlag 2012.

M. Göring, L. Christiansen, T. Holm, **T. Jäger**, A. Fay: ISO 15926 vs. IEC 62424 - Gegenüberstellung zweier Standards zur Modellierung von Anlagenstrukturen. In: „Jahrestreffen der Fachgemeinschaft Prozess-, Apparate- und Anlagentechnik“, Dortmund 19.-20. November 2012.

M. Obst, T. Holm, S. Bleuel, U. Claussnitzer, L. Evertz, **T. Jäger**, T. Nekolla, S. Pech, S. Schmitz, L. Urbas: Automatisierung im Life Cycle modularer Anlagen. In: Zeitschrift "atp-edition / Automatisierungstechnische Praxis", Heft 1-2/2013, S. 24-31.

S. Schmnitz, **T. Jäger**, S. Bleuel, L. Evertz, T. Nekolla, L. Urbas, S. Pech, U. Claussnitzer, T. Holm: NAMUR AK 1.12 "Anforderungen an die Automatisierungstechnik durch die Modularisierung verfahrenstechnischer Anlagen". In: „IDA 2013- Integrierte Digitale Anlagenplanung und –führung“, Frankfurt 21.-22. März 2013.

T. Holm, A. Friedrich, B. Engelke, **T. Jäger**, A. Fay: Methodik zur Einordnung und Auswahl von disziplinübergreifenden Vorgehens- und Datenmodellen für das Engineering automatisierter Anlagen. In: „IDA 2013- Integrierte Digitale Anlagenplanung und –führung“, Frankfurt 21.-22. März 2013.

M. Foehr, **T. Jäger,** C. Turrin, P. Petrali, A. Pagani: Methodology for consideration of product quality within factory automation engineering. In: ICIT 2013 - International Conference on Industrial Technology, Cape Town, South Africa, 25.-27.02.2013, 2013; S. 1333–1338.

C. Cristalli, M. Foehr, **T. Jäger**, P. Leitao, N. Paone, P. Castellini, C. Turrin, I. Schjolberg: Integration of process and quality control using multi-agent technology. In: ISIE2013 - International Symposium on Industrial Electronics, Taipei, Taiwan, 28.-31.05.2013, 2013.

M. Foehr, **T. Jäger**, C. Turrin, P. Petrali, A. Pagani, P. Leitao: Methodology for consideration of system quality within manufacturing. In: SysCon 2013 - IEEE International Systems Conference, Orlando, Florida USA, 15.-18.04.2013, 2013.

T. Holm, S. Schröck, A. Fay, **T. Jäger**, U. Löwen: Engineering von "Mechatronik und Software" in automatisierten Anlagen - Anforderungen und Stand der Technik. In: "ENVISION2020 - Zukunft der Entwicklung softwareintensiver, eingebetteter Systeme", Aachen, 27. Februar - 01. März 2013.

M. Foehr, **T. Jäger**, C. Turrin, P. Petrali, A. Pagani, P. Leitao: Implementation of a methodology for consideration of product quality within discrete manufacturing. In: MIM2013 - IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, Sankt Petersburg, Russia, 19.-.21.06.2013, 2013.

T. Jäger, M. Foehr, S. Horn, M. Mühlhause, H. Seidel, C. Diedrich: Systematische Absicherung des Mehrwerts von Engineeringwerkzeugen Aktivitätsmuster und Werkzeugfunktionen zur Sicherstellung der Workflows. In: Automation 2013, Baden-Baden, Germany, 25.-26.06.2013, 2013.

M. Foehr, **T. Jäger**, C. Turrin, P. Petrali, A. Pagani, P. Leitao: Methodik zur integrierten Betrachtung von Produktqualität in der Steuerung von Produktionssystemen. In: Automation 2013, Baden-Baden, Germany, 25.-26.06.2013, 2013.

A. Fay, A. Gellermann, **T. Jäger**: Method and System for Determining Critical Information Interfaces.
US 2013/0332221 A1, published Dec. 12, 2013.

T. Jäger: Benefits of Process Modeling within the Engineering of Automated Facilities. In: ICIT 2014 - International Conference on Industrial Technology, Busan, South Korea, 26.-01.03.2014, 2014.

T. Schaeffler, M. Foehr, **T. Jäger**, R. Kodes, A. Müller-Martin, A. Lüder: The Best Practices of Engineering Regionalization. In: ICIT 2014 - International Conference on Industrial Technology, Busan, South Korea, 26.-01.03.2014, 2014.

S. Schröck, **T. Jäger**, A. Fay: Konzept zur gewerkeübergreifenden systematischen Wiederverwendung funktionaler Einheiten im Engieering automatisierter Anlagen. Angenommen für die Tagung: Automation 2014, Baden-Baden.

S. Schröck, F. Zimmer, A. Fay, **T. Jäger**: Konzept zur funktionsorientierten systematischen Wiederverwendung im Engineering automatisierter Anlagen der Prozessindustrie. Angenommen für die Tagung: Entwurf komplexer Automatisierungssysteme 2014, Magdeburg.

Verzeichnis der betreuten studentischen Arbeiten

Studien- und Seminararbeiten

2009 Alexander Gellermann - *Abwicklungsmodelle für ein effizientes Engineering automatisierungstechnischer Anlagen*

2010 Markus Geißler - *Modellierung eines Prüfautomaten hinsichtlich verschiedener Sichten: Struktur, Verhalten und Abläufe*

2010 Robert Lehmann - *Vergleich der Beschreibungsmittel CAEX und UML am Beispiel der funktionalen Beschreibung eines Prüfautomaten*

2011 Christian Gebhardt - *Anforderungserhebung für Modularisierungsmöglichkeiten der Laborfertigungsanlage mittels der Formalisierten Prozessbeschreibung VDI/VDE-Richtlinie 3682*

2011 Sascha H. Schmidt - *Systematische Analyse bestehender fertigungsanlagen hinsichtlich Beschränkungen der möglichen Produktionsprozesse am Beispiel einer Wellenfertigung*

2012 Björn Engelke - *Datenmodelle im Engineering automatisierter Anlagen*

2012 Alexander Friedrich - *Fachdisziplinübergreifende Vorgehensweisen und Modellierungskonzepte im Engineering automatisierter Anlagen*

Bachelorarbeiten

2009 Daniel Brüning - *Organisation der Projektabwicklung bei mittelständischen Unternehmen des Anlagenbaus*

2009 Alexander Gellermann - *Organisation der Projektabwicklung in Großunternehmen des Anlagenbaus*

2011 Andreas Hastedt - *Analyse von Engineeringprozessen automatisierter Anlagen – Auswertung von Informationsschnittmengen*

Diplomarbeiten

2009 Sven Hering - *Modularisierungsstrategien und Schnittstellenanalyse für automatisierte Systeme*

Masterarbeiten

2011 Alexander Gellermann - *Methode zur Identifikation und Analyse von kritischen Schnittstellen in Engineeringprozessen*

2011 Simon Kudermann - *Modellierung der disziplinspezifischen Zusammenhänge automatisierter Anlagen*

Anhang

Dipl.-Wirt.-Ing.

Tobias Jäger

Tabellarischer Lebenslauf

1984	geboren am 5. Oktober in Bielefeld
06/2004	Erlangung der **Hochschulreife** am *Christian Dietrich Grabbe Gymnasium* in Detmold
09/2004- 03/2009	**Studium des Wirtschaftsingenieurwesens**, Fachrichtung Maschinenbau an der *Universität Paderborn*
04/2009 – 03/2012	**Wissenschaftlicher Mitarbeiter** an der *Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg* an der Professur für Automatisierungstechnik (Prof. Fay)
04/2012 – 02/2014	**Consultant** Siemens AG Erlangen Corporate Technology Engineering Methoden und Tools
seit 03/2014	**Portfolio Project Manager** Siemens AG Erlangen Corporate Technology Fachgruppenleiter Product and Production Engineering

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay
Institut für Automatisierungstechnik
Fakultät für Maschinenbau

Interviewleitfaden

Modellassoziationen und Abhängigkeitsmanagement

Bearbeitet durch: Dipl.-Wirt.-Ing. Tobias Jäger
(tobias.jaeger@hsu-hh.de)

Datum:

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2

1 Vorgehensweise 3

2 Interviewpartner 5

3 Leitfragen 6

3.1 Informationsfluss 6

3.2 Abhängigkeiten 7

3.3 Engineering Ergebnis 7

3.4 Entscheidungen 8

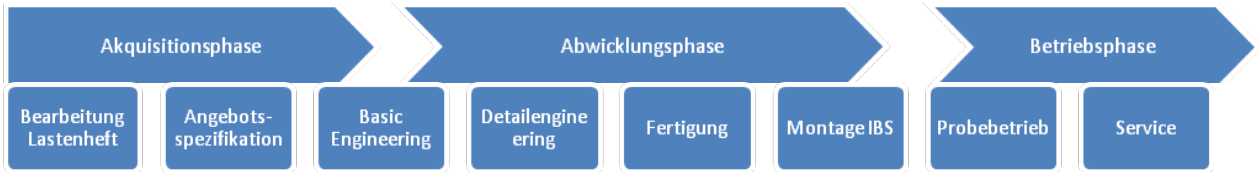
3.5 Modell 8

3.6 Änderungen 8

3.7 Service Prozesse 9

1 Vorgehensweise

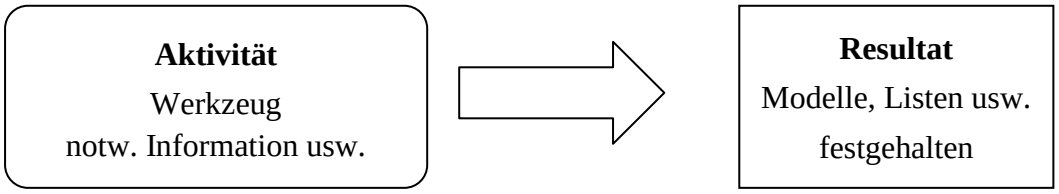
Dieser Leitfaden soll als Orientierungshilfe für geplante Expterteninterviews dienen. Ein Interview ist jeweils in zwei Phasen aufgeteilt. In der ersten Phase soll herausgefunden werden in welchen Engineeringphasen innerhalb der Anlagenprojektierung die Beteiligten Fachplaner und Experten involviert sind. Dies kann beispielsweise entlang einer Zeitachse passieren, die in die einzelnen Planungsschritte aufgeteilt wird, wie sie folgende Darstellung exemplarisch vorstellt. Experten sind unter anderem für dieses Interview Fachplaner, Engineering Verantwortliche und Konstrukteure der beteiligten Gewerke, sowie System Integratoren, Anlagenintegratoren und IBS-Gruppenleiter.



In Anlehnung an Bindel/Hoffmann Projektierung von Automatisierungsanlagen

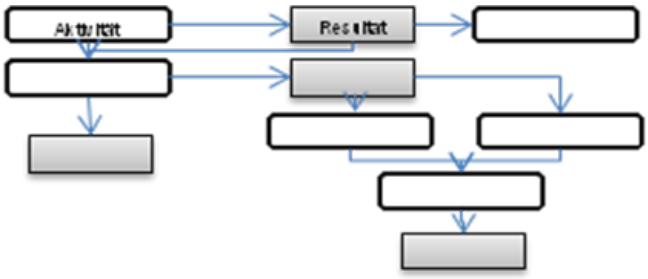
Diese Selbsteinordnung in den Prozess erlaubt festzustellen in welchen Phasen die einzelnen Experten involviert sind, so ergibt ein Gesamtbild des Engineeringablaufs über alle beteiligten Gewerke. Diese Einordnung erlaubt ebenfalls die konkrete Einordnung der später zu besprechenden Tätigkeiten in einzelne Phasen, ohne das es zu Missverständnissen führen würde.

Anhand der Aussagen können im zweiten Teil die einzelnen Arbeitsschritte in einer Arbeitsablaufanalyse zusammengefasst werden. Es ist davon auszugehen das erledigte Tätigkeiten, sogenannte Aktivitäten, als Arbeitsergebnisse, Resultate, im Engineeringprozess wieder aufgegriffen werden. Das Wiederaufnehmen der Ergebnisse, verbunden mit einer weiteren Verarbeitung geschieht in den benachbarten Gewerken durch die dortigen Fachplaner. Innerhalb einer Aktivität können Beispielsweise konstruktive Auslegungen anhand von Vorgaben und Richtlinien, sowie einer bestehenden Funktionsbeschreibung, erfolgen. Resultat kann hieraus die Auswahl eines Motors sein, der sowohl in die Motoren und Komponentenliste eingetragen wird, als auch in einer Verdrahtungsliste und Kabelstrangübersicht mit aufgenommen werden muss.



Ziel ist es somit innerhalb eines Gewerkes festzustellen welche Resultate produziert, in welcher Form und Art und an welchen Nachbarn diese kommuniziert werden. Dies bedeutet folglich auch, vom Entstehungsort die Entwicklung nachvollziehen zu können. Die Unterschiede zwischen den Resultaten können möglicherweise Aufschlüsse über die jeweiligen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Arbeitsschritten und somit auch

Gewerken geben, die Vernetzung zwischen den einzelnen Gewerken wird in Form von Aktivitäten und Resultaten ersichtlich, wie folgende Landkarte beispielhaft aufzeigt.



Für die Aktivitäten können die einzelnen Werkzeuge, Richtlinien und Arbeitsweisen innerhalb dieser Landkarte festgehalten werden. In den Resultaten befinden sich die festgehaltenen Arbeitsergebnisse.

Die in diesem Dokument aufgeführten Leitfragen für die geplanten Interviews sollen im zweiten Teil des Gesprächs als Unterstützung bei der Aufzeichnung dieser Landkarte dienen. So wird im gemeinsamen Dialog eine visuelle Dokumentation des Interviews angefertigt. Anhand der einzelnen Schritte, Tätigkeiten und Resultate finden sich alle Beteiligten in den Abläufen zurecht.

2 Interviewpartner

Wie bereits bei der Vorgehensweise beschrieben sind die möglichen Interviewpartner Fachplaner, Engineering Verantwortliche und Konstrukteure der beteiligten Gewerke, sowie System Integratoren, Anlagenintegratoren und IBS-Gruppenleiter. Um im Interview ein Gleichgewicht zwischen der Detailtiefe des Fachplaners und dem systemischen Überblick zu erhalten, sollten die Interviews paarweise durchgeführt werden. Eine typische Paarung hierfür wäre ein Gespräch gemeinsam mit dem involviertem Fachplaner und seinem Gruppenleiter.

Zur Vorbereitung der Interviews sollten die Interviewpartner informiert werden mögliche interessante Unterlagen und Dokumente mitzubringen. Dies können zum einen dokumentierte Arbeitsergebnisse, die bereits beschriebenen Resultate, als auch vorhandene Dokumentationsanweisungen und Verbesserungsvorschläge die im Umfeld der jeweiligen Arbeit vorgekommen sind sein. Gleichzeitig können die Partner aus dem eigenen Umfeld mögliche interessante Dokumente und Erfahrungen für den Kontext des Projektes mit einbringen. Auf all dies sollte bei der Einladung hingewiesen werden.

3 Leitfragen

Die hier aufgeführten Fragen zu den Bereichen Informationsfluss, Abhängigkeiten, Engineering Ergebnis, Entscheidungen, Modell, Änderungen und Service stecken die möglichen Bereiche der Fragen die im Rahmen der Arbeitsablaufanalyse gestellt werden können dar. Die Fragen sind als Stütze für die Vollständigkeit der zu gewinnenden Informationen gedacht.

3.1 Informationsfluss

Für die Unterstützung im Umgang mit Abhängigkeiten und vor allem die Identifikation ist eine umfassende Kenntnis über den Informationsfluss notwendig. Welche Informationen werden in welcher Form empfangen, wie umgewandelt, verarbeitet und anschließend wieder verteilt. Hierbei sind die Randbedingungen zusätzlich von Interesse, beispielsweise die Zeitpunkte. Bei den aufgenommenen Informationen steht zusätzlich die Verarbeitung im Fokus, sind es explizite, oder implizite Informationen. Insbesondere implizite Informationen werden von Experten verarbeitet, da sie aus den festgehaltenen Angaben ihre Schlüsse ziehen.

- Welche Informationen/Spezifikationen bekommen Sie?
- Welcher Form sind diese Informationen? (Dateiformat, Werkzeug etc.)
- Zu welchem Zeitpunkt erhalten sie die Informationen?
- Ist der Zeitpunkt der richtige?
- Wenn nicht, früher, oder später?
- Welche Informationen/Spezifikationen benötigen sie(Format, etc.) um Arbeitspakete bearbeiten zu können?
- Welche Arbeitspakete können sie unabhängig erledigen?
- Welche vollständig unabhängig?
    - Weil Expertenwissen vorliegt und daher Ergebnissen vorweggegriffen werden können?
- Sind die erhaltenen Informationen direkt verwertbar? (explizite/implizite)
- Sind die Inhalte spezifiziert/detailiert genug?
- Werden die wichtigen Informationen/Aspekte selbst hineininterpretiert in die Informationen?
- Sind die Informationen vollständig?
- Wie dokumentieren und spezifizieren sie ihre Arbeitsergebnisse für andere Gewerke?
- Wie weit werden die Inhalte ausgerichtet auf Bedürfnisse der "anderen"?
- Welche Informationen bekommen sie doppelt?
- Welche Informationen würden sie gerne bekommen, bekommen sie aber nicht?
- Müssen alle Informationen vollständige „Resultate“ sein, oder kann auf Teilergebnisse aufbauend schon mit der Arbeit begonnen werden? (Gedanke des Simultaneos Engineering?)
- Mit welcher Methode/auf welchem Weg werden Informationen ausgetauscht?

3.2 Abhängigkeiten

Im Bereich der Abhängigkeiten sollen bereits bekannte Tatsachen erfasst werden. Gleichzeitig ist es von besonderem Interesse welche Aktivitäten, die nicht unbedingt in direkter Verbindung stehen, in den Augen der Experten die Tätigkeiten nachhaltig beeinflussen. Insbesondere auch zu erkennen auf welche Aspekte die Experten gern Einfluss nehmen würden von denen ihr eigenes Gewerk abhängt. Mitunter besteht die Möglichkeit die Experten bei den einzelnen Aktivitäten der Phasenanalyse prozentual den Grad der Fremdbestimmtheit festzulegen.

- Wie "fremdbestimmt" sind ihre Arbeitsvorgänge?
- Wie reaktiv müssen sie arbeiten? (gesteuerte Abläufe, reaktive Aktionen=
- Wie häufig müssen Sie nachbessern? (Detailgrad der jeweiligen Aktivität, möglicherweise sind mehrfache Iterationen gewollt notwendig)
- Worauf würden Sie Einfluss nehmen wollen für ein besseres Ergebnis?
- Mit Blick auf den techn. Prozess?
- Im Hinblick auf den Konstruktionsprozess?
- Welche Anforderungen können Sie beeinflussen?
- Wie oft stimmen sie sich inhaltlich mit Kollegen ab? Worüber und auf welcher Grundlage?
- Welche Fragen werden Ihnen oft gestellt?
- Welche Aspekte lassen sich im Dialog am besten lösen?
- Welche Aufgaben/Tätigkeiten müssen mehrfach ausgeführt werden?
- Welche Informationen werden aus welchem Grund weitergegeben?
- Immer wiederkehrende Punkte, obwohl eigentlich obsolet?
- Welche technischen Abhängigkeiten sind Ihnen bewusst?
- Wo sind sie vom Engineering ablauf abhängig?
- Ursache und Wirkung möglicher Einflüsse, beispielhaft darstellen.

3.3 Engineering Ergebnis

Am Ende des Engineering Prozesses, sowie auch des Engineerings von Teilen einer Anlage steht das fertige Resultat. Hier ist es im Ganzen interessant die Abweichung zwischen Anforderung und Ergebnis zu erkennen und die möglichen Gründe hierfür herauszustellen. Bei den Gründen wiederum ist der Entstehungszeitpunkt von besonderem Interesse, so ist die Tragweite direkt erkennbar.

- Welches "Gewerk" dominiert das Ergebnis?
- Ist diese Dominanz sinnvoll?(Hintergedanke mechatronischer Prozess)
- Sollte ein anderes Gewerk dominieren?
- Welche Alternative halten siezusätzlich für sinnvoll?
- Messung von Abweichungen des Ergebnisses zu den Anforderungen?
- Gründe für Abweichungen?
- Positive und negative Abweichungen?

- Werden Fehler/Probleme dokumentiert, auf welche Art?
- Bis wann sind "tiefgreifende" Änderungen im Kontext ihrer Arbeit möglich?

3.4 Entscheidungen

Bei den Abhängigkeiten zwischen den Gewerkewelten besteht die Frage welche Entscheidungen Tragweite über das einzelne Gewerk hinaus besitzen. Es sollen tatsächlich beeinflussende Entscheidungen dokumentiert werden. Gleichzeitig können auch die unabhängigen erkannt werden.

- Welche "Auslegungen" treffen sie alleine? (Komponentenwahl, etc.)
- Fühlen sie sich sicher, dass sie keinen Kollegen benachteiligen hiermit?
- Kommunizieren sie dies?
- Gab es schon Rückfragen in solchen Situationen?

3.5 Modell

Innerhalb der Resultate, aber auch in den einzelnen Aktivitäten, werden Modellvorstellungen für die Bearbeitung und Dokumentation verwendet, Für die spätere Arbeit ist eine umfassende Kenntnis über die jeweils verwendeten notwendig um möglicherweise Informationen gezielt extrahieren zu können. In den Modellen kann so auch erforscht werden welche Aspekte bei der Modellerstellung betont werden und welche bewusst weggelassen werden. Diese Entscheidungen könnten zu einem späteren Zeitpunkt hinterfragt werden.

- Wie wird die Anlage betrachtet? (3D, Materialflussorientiert, usw.)
- Wie betrachten Sie die Anlage?
    - funktionell
    - räumlich
    - prozessorientiert
    - Produkt/Bauteil/Anlagensegment

3.6 Änderungen

Änderungen stellen Abweichungen vom tatsächlichen Prozess dar. Sie sind somit ein nur teilweise kalkulierbarer Mehraufwand, der durch verschiedene Ereignisse ausgelöst werden kann. Diese Ereignisse und Einflüsse sind von besonderem Interesse, Abhängigkeiten und Zusammenhänge können konkret erfasst werden. Durch die Kenntnis kann der Entwicklungsprozess effizienter gestaltet werden, da durch Vorsorge und Optimierung die Menge an Abweichungen minimiert werden kann.

- Welche typischen Änderungen treten auf?
- Wieviele Änderungen kommen von außen, Nachbargewerke oder Kunde?
- Gibt es noch andere „äußere“ Einflüsse hierfür?
- Wieviele Änderungen verbleiben innerhalb eines Gewerks/Fachplaner, wieviele müssen gemeinsam übergreifend bearbeitet werden?
- Welche Inkonsistenzen sind schon aufgetreten?

3.7 Service Prozesse

In der Service Phase ist die Kernaufgabe des Engineering bereits vollbracht. Die Anlage ist dem Kunden zur Produktion übergeben worden. Hier sind die auftretenden Reklamationen und Abweichungen von der vorgegebenen Funktion von Interesse. Verschleißteile oder Überarbeitungen auf eine aktuellere Ausstattung sind hier weniger von Interesse.

- Gibt es typische Problemstellen die häufig Nachbesserung nach dem SOP generieren?
- Ist ein Gewerk/Fachdisziplin besonders anfällig?
- Oder sind diese Vorkommnisse Disziplinübergreifen?
- Kann die Ursache konkret bestimmt werden?
    - Wird diese im Rahmen von Lessonslearned o.ä. dokumentiert?
- Wie werden die notwendigen Informationen für ein schnelles Reagieren im Service aufbereitet und zur Verfügung gestellt?
- Welche „Mittel“ besitzt der Service um die verschiedenen Engineeringergebnisse (Modelle) einzuordnen? (Ansprechpartner zur Unterstützung, Checklisten zur Orientierung o.ä.)