

DIPLOMARBEIT

zum Thema

Durchgängige Lebenszyklusunterstützung von Process Equipment
Assemblies in modularen Anlagen

vorgelegt von Jan Funke
im Studiengang Elektrotechnik, Jg. 2013
geboren am 29.10.1993 in Würzburg

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplomingenieurs
(Dipl.-Ing.)

Betreuer: Dipl.-Ing. Stephan Hensel
Dipl.-Ing. Anna Menschner
Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas
Tag der Einreichung: 10.12.2018

Aufgabenstellung für die Diplomarbeit

für

Herrn Jan Funke, Matr.Nr. 3947224, Studiengang ET

Thema „Durchgängige Lebenszyklusunterstützung von Process Equipment Assemblies in modularen Anlagen“

Zielstellung der Arbeit:

Die Modularisierung verfahrenstechnischer Anlagen wird derzeit als eine vielversprechende Möglichkeit angesehen, um zukünftige Anforderungen der Prozessindustrie, wie Flexibilität und Interoperabilität zwischen Anlagenequipment, zu erfüllen. Die Basis hierfür bilden sogenannte Process Equipment Assemblies (PEA). Dabei handelt es sich um vollautomatisierte, eigenständige, verfahrenstechnische Funktionseinheiten, die über Dienste gesteuert und mit Hilfe des Module Type Package (MTP) in eine übergeordnete Prozessführungsebene (PFE) integriert werden können. Diese PEAs können in unterschiedlichen Anlagen eingesetzt und wiederverwendet werden und haben dementsprechend einen abweichenden Lebenszyklus gegenüber konventionellen Anlagen.

Ziel dieser Arbeit ist die durchgängige Unterstützung des Lebenszyklus von PEAs in modularen Anlagen. Dabei müssen insbesondere Auswahlprozesse und die Verwaltung der PEAs über den Lebenszyklus hinweg unterstützt werden. Die Basis soll ein semantisch beschriebener Informationsraum bilden, der mit unterschiedlichen Versionsständen umgehen kann und semantische Abfragemöglichkeiten bereitstellt.

Im Rahmen der Arbeit sollen folgende Aufgaben bearbeitet werden:

1. Durchführung einer Literaturrecherche zum Stand der Technik im Bereich von Modularisierung, Asset Management und dem Lebenszyklus von PEAs sowie Anlagen und Informationsmodellen
2. Analyse von PEA-Auswahlprozessen
3. Ableitung von Anforderungen an die bereitzustellende Funktionalität und das zugrundeliegende Informationsmodell
4. Entwurf eines Konzeptes zur Unterstützung der Auswahlprozesse und der Verwaltung von PEAs
5. Prototypische Implementierung des Konzeptes mit graphischer Benutzeroberfläche
6. Verifikation der Lösung anhand eines Anwendungsfalls mit mehreren PEAs

Die Richtlinien des Instituts für Automatisierungstechnik sind anzuwenden.

Die Diplomarbeit wird in deutscher Sprache verfasst.

Betreuer:

Dipl.-Ing. Stephan Hensel, Dipl.-Ing. Anna Menschner

1. Prüfer:

Prof. Urbas (PLT-SVT/TUD)

2. Prüfer:

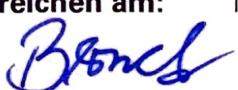
Prof. Beckmann (EVT/TUD)

Ausgehändigt am:

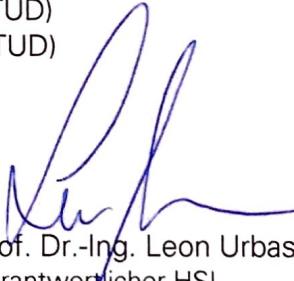
02.07.2018

Einzureichen am:

10.12.2018


Prof. Dr.-Ing. Steffen Bernet

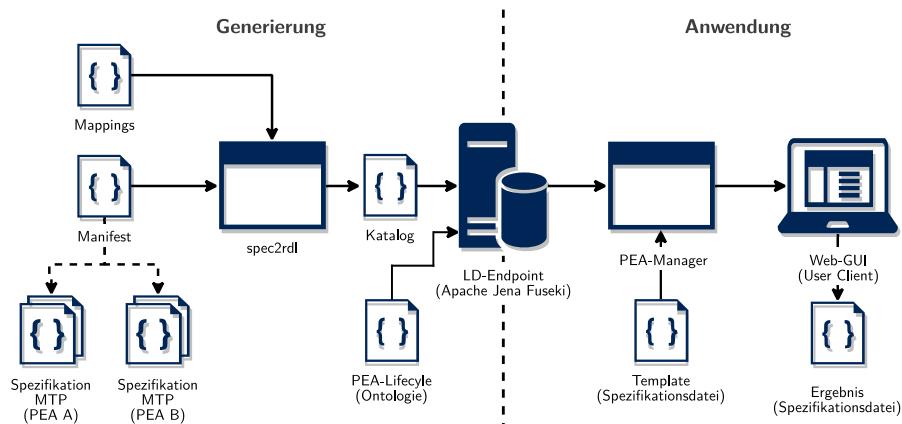
Vorsitzender des Prüfungsausschusses ET


Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas
Verantwortlicher HSL
Jan Funke
Student

Durchgängige Lebenszyklusunterstützung von Process Equipment Assemblies in modularen Anlagen

Die Diplomarbeit befasst sich mit der Entwicklung und Umsetzung eines Konzepts zur durchgängigen Lebenszyklusunterstützung von PEAs in modularen Anlagen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Untersuchung von Auswahlprozessen für PEAs. Die dafür notwendigen Anforderungen und der Funktionsumfang werden u. a. durch Hilfe einer Experteninterviewreihe erarbeitet. Das Konzept umfasst nicht nur Auswahlprozesse an sich, sondern auch einen möglichen Lösungsansatz für eine zugrunde liegende Systemarchitektur.

Ergebnis dieser Arbeit ist die Teilumsetzung des entwickelten Konzepts in Form einer Anwendersoftware, die eine Auswahl von PEAs anhand von Spezifikations-, PEA-Typen- und Servicevorgaben ermöglicht. Diese nutzt einen semantischen Informationsraum, der durch eine dafür geschaffene Ontologie aufgespannt wird. Die Anreicherung des Informationsraums wird durch eine weitere dafür implementierte Anwendersoftware ermöglicht.



Betreuer:

Dipl.-Ing. Stephan Hensel

Dipl.-Ing. Anna Menschner

Hochschullehrer:

Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas

Tag der Einreichung: 10.12.2018

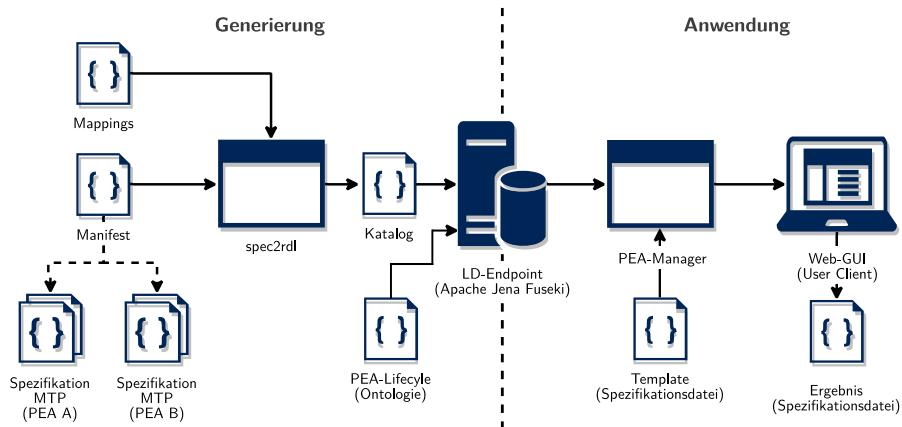
DIPLOMARBEIT

Bearbeiter: Jan Funke

Continuous life cycle support of process equipment assemblies in modular plants

This work deals with the development and implementation of a concept for the continuous life cycle support of PEAs in modular plants. The focus is on the research of selection processes for PEAs. The necessary requirements and scope of functions are being acquired with i. a. a series of expert interviews. This concept not only includes the selection processes itself but also a possible solution approach for the underlying system architecture.

The result is the partial implementation of the developed concept in the form of a user software. This allows the selection of PEAs based on pea-specification, -type, and service -requirements. It uses a semantic information space that is put up by the created ontology. The enrichment of said information space is made possible by yet another specifically created user software.



Tutor: Dipl.-Ing. Stephan Hensel
 Dipl.-Ing. Anna Menschner
 Supervisor: Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas
 Day of Submission: 10.12.2018

 DIPLOMA THESIS

Author: Jan Funke

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Einordnung der Aufgabenstellung	2
2 Stand der Technik	3
2.1 Begriffsdefinitionen	3
2.2 Modularisierung	4
2.2.1 Architektur	4
2.2.2 Plant Life Cycle	5
2.2.3 Module Life Cycle	7
2.2.4 Module Type Package	8
2.3 (Plant) Asset Management	11
2.3.1 Process-Equipment-Design-Datenbank	13
2.3.2 Reuse-Atlas	14
2.4 Informationsraum	16
2.4.1 Begriffsdefinition	16
2.4.2 Linked Data	16
2.4.3 Ontologien im semantischen Web	17
2.4.4 R43ples	17
2.5 ENPRO Asset Life Cycle	19
3 Analyse	21
3.1 Datengrundlage	21
3.2 Analyse Informationsmodell	23
3.2.1 Anforderung	23
3.2.2 Technologieauswahl	24
3.3 Analyse Auswahlprozess	25
3.4 Experteninterview	27
3.4.1 Leitende Forschungsfragen und Hypothesen	28
3.4.2 Expertenakquise	28
3.4.3 Leitfadenerstellung	28

3.4.4	Ergebnisse	30
4	Konzept	38
4.1	Konzeptionelle Systemarchitektur	38
4.2	Konzeptionelle Informationsmodelle	40
4.2.1	Katalog- / Beschreibungsmodell	40
4.2.2	Spezifikationsmodell	43
4.2.3	Betriebsphasenmodell	43
4.3	Konzeptioneller Auswahlprozess	45
4.3.1	Auswahlmodi	45
4.3.2	Manueller Auswahlprozess	46
5	Implementierung	49
5.1	Katalog Generator (spec2rdl)	50
5.1.1	Mappings	50
5.1.2	Manifest	51
5.1.3	Spezifikationsdatei	53
5.2	PEA-Manager	55
5.2.1	Verwendete Bibliotheken	55
5.2.2	Verwendung	56
5.2.3	Auswahlprozess	57
5.2.4	Einschränkungen	58
5.3	PEA-Portal	59
6	Verifikation	60
6.1	Strategie	60
6.2	Eignungsbeurteilung Ontologie	60
6.3	Plausibilitätstest PEA-Manager	63
7	Diskussion	66
8	Zusammenfassung	69
8.1	Ergebniszusammenfassung	69
8.2	Ausblick	69
Anhang A	Anhang	73
A.1	Beispiele für Auswahlprozesse	73
A.2	Experteninterview	76

A.3 Konzept	80
Literaturverzeichnis	82

Abbildungsverzeichnis

2.1	Vereinfachtes Anlagen-Life-Cycle-Modell	6
2.2	Modullebenszyklusmodell des ORCA AK	8
2.3	Mögliche Aspekte des MTPs	10
2.4	Einordnung des PAM im Anlagenzyklus nach NE129	12
2.5	Schematische Datenbankstruktur von Fleischer-Trebes	14
2.6	Screenshot: Dokumentationsebene des Reuse-Atlas von Hady .	15
2.7	R43ples Systemarchitektur	18
2.8	ENPRO Asset Life Cycle	19
3.1	Ergebnismatrix des Technologievergleichs von Graube	25
3.2	Quantitative Ergebnisse des „Auswahlprozess-Bündels“	32
3.3	Quantitative Ergebnisse des „Funktionsumfang-Bündels“	34
3.4	Quantitative Ergebnisse des „Architektur-Bündels“	35
3.5	Quantitative Ergebnisse des „Kriterien-Bündels“	36
4.1	UML-Komponentendiagramm des konz. Systems	38
4.2	UML-Klassendiagramm des konz. Beschreibungsmodells	41
4.3	UML-Klassendiagramm des konz. Betriebsphasenmodells	44
4.4	Ablaufplan: Manueller Auswahlprozess	48
5.1	Übersicht über Komponenten der Implementierung	49
5.2	Screenshot: Auswahl des Modus (Auszug)	56
6.1	Prozessoperationen (r.) und das zugehörige Operationsrezept (l.)	63
6.2	Screenshot der Ausgabe des PEA-Managers	65
A.1	Beispiel für Assistenzansatz: VW Auto-Konfigurator	73
A.2	Beispiel für Filteransatz: Conrad Suche für Dioden	74
A.3	Beispiel für Assistentansatz: Amazon Matratzenfinder	75
A.4	Finaler Leitfaden S. 1	76
A.5	Finaler Leitfaden S. 2	77
A.6	Finaler Leitfaden S. 3	78
A.7	Finaler Leitfaden S. 4	79

A.8 UML-Komponentendiagramm des konz. PEA-Managers	80
A.9 UML-Komponentendiagramm des konz. PEA-Portals	80
A.10 Konzeptionelles Use-Case-Diagramm	81

Tabellenverzeichnis

5.1	Auszug aus Spezifikationsdatei für Unistat 510w	54
6.1	Auszug aus Datenblatt von Huber Unistat 510w	62
6.2	Testszenario für Auswahlprozess (Dosiermodul)	64

Quelltextverzeichnis

5.1	Auszug aus Mappings.json	51
5.2	Auszug aus Manifest.json	52

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

AM	Asset Management
AML	Automation Markup Language
CAE	Computer Aided Engineering
DEXPI	Data EXchange for the Process Industry
FAT	Factory Acceptance Test
HMI	Human Machine Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
KPI	Key Performance Indicator
LD	Linked Data
LS	Leitsystem
MTP	Modular Type Package
MTP	Module Type Package
NE	Namur Empfehlung
OPC UA	OPC Unified Architecture
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
PAM	Plant Asset Management
PEA	Process Equipment Assemblies
PED	Process Equipment Design
PFE	Prozessführungsebene
PLS	Prozessleitsystem
PLT	Prozessleittechnik
R&I	Rohrleitungs- und Instrumenten(fließ)schema)
RDL	Reference Data Library
REST	Representational state transfer
SPARQL	SPARQL Protokoll and RDF Query Language
TTM	Time-To-Market

1 Einleitung

1.1 Motivation

Bedingt durch Globalisierung, volatile Märkte, wachsende Niedriglohnkonkurrenz und kürzere Produktzyklen steht die Prozessindustrie vor neuen Herausforderungen. Diese zu bewältigen und damit auch die Konkurrenzfähigkeit zu bewahren, erfordert neue Strategien und Ansätze [10, 47]. Die dabei wichtigsten Anforderungen an neue Lösungsansätze sind höhere Flexibilität bzw. Adaptivität und Reaktionsgeschwindigkeit. Diese spiegeln sich unter anderem in den laut DECHEMA aufkommenden Wünschen nach einfacheren Skalierungsmöglichkeiten, erhöhter Wiederverwendbarkeit von Ingenieurleistungen und damit einhergehender verkürzter Markteinführungszeit (engl. Time-to-Market (TTM) wider [12]. Als mögliche Lösung wird die Änderung des Designs verfahrenstechnischer Anlagen hin zu modularen Anlagen gesehen [41].

Statt auf konventionelle, statische Anlage zu setzen, wird auf eigenständige, voll automatisierte Module, sogenannte Process Equipment Assemblies (PEA), zurückgegriffen. Die Verschaltung zu einer Anlage wird dabei über standardisierte Schnittstellen realisiert, während die Integration in die Prozessführungs Ebene (PFE) mit einer standardisierten Treiberdatei erfolgt. Die Einführung eines solchen modularen Designs zieht als Konsequenz einen geänderten Lebenszyklus der Anlage mit sich. Beispielsweise konzentriert sich die Planungsphase einer modularen Anlage mehr auf die Auswahl der notwendigen PEAs durch den Anlagenplaner und -betreiber, während sich das eigentliche Detailengineering im Voraus auf die Modulhersteller verlagert. Durch die Wiederverwendbarkeit der PEAs und ebenso der modularen Anlagen unterscheiden sich sowohl die Betriebsphase, als auch die Außerbetriebnahme.

Um beispielsweise bei der Planung einer modularen Anlage die optimalen PEAs aus einem wachsenden Angebot der Hersteller, oder auch dem eigenen Pool, auswählen zu können, sind neue Auswahlprozesse erforderlich. Als Grundlage dafür wird eine breite Datenbasis über die Eigenschaften und Funktionalitäten der jeweiligen PEAs benötigt, die eine Evaluierung der Eignung und Kompatibilität, sowie den Vergleich zwischen den Kandidaten erlaubt. Die da-

bei auftretenden Fragen, unter welchen Gesichtspunkten eine solche Auswahl stattfinden kann und welche Information dazu notwendig sind, sollen in dieser Arbeit beantwortet werden. Doch nicht nur der Auswahlprozess, sondern auch die anschließend notwendige Verwaltung bzw. das Management von PEAs, ist Teil dieser Arbeit und Teilveraussetzung für eine durchgängige Lebenszyklusunterstützung. Ziel ist es, unter anderem durch Berücksichtigung spezieller Anforderungen modularer Anlagen und Best Practices des Asset-Managements, zu klären, welche Funktionalität bereitgestellt werden muss und ggf. zusätzlich angeboten werden kann.

1.2 Einordnung der Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung der Arbeit lässt sich weitestgehend im Bereich der Anlagenplanung und des Asset Managements einordnen. Es wird auf Fragen der Modularisierung, Informationsmodellierung und User-Interface-Designs (UI) eingegangen.

Ziel dieser Arbeit ist die Konzeption und Implementierung einer Auswahl- und Verwaltungsplattform zur durchgängigen Lebenszyklusunterstützung von PEAs in modularen Anlagen. Dies schließt die dazu notwendige Ableitung und Modellierung eines semantischen Informationsraum ein, der als Datenbasis für die Plattform dient. Hierbei gilt es ein Lebenszyklusmodell sowohl für die modulare Anlage, als auch für die jeweiligen PEAs zu entwerfen, oder bestehende Ansätze zu erweitern. Darüber hinaus sind Auswahlmechanismen und -prozesse zu untersuchen und für den Kontext von PEAs zu konzipieren. Die prototypische Implementierung ist mit einem Beispieldatensatz, bestehend aus mehreren PEAs, zu verifizieren.

2 Stand der Technik

Dieser Abschnitt befasst sich mit den grundlegenden Theorien, Begriffen und Konzepten, die die Basis dieser Diplomarbeit bilden. Darüber hinaus wird ein kurzer Überblick über Konzepte und Implementierungen, die sich mit ähnlichen Problemstellungen befassen, gegeben.

2.1 Begriffsdefinitionen

In diesem Abschnitt werden die in dieser Arbeit verwendeten Begriffe und Synonyme für ein besseres Verständnis und Eindeutigkeit genauer definiert.

(Prozess-)Leitsystem Ein Prozessleitsystem umfasst in einer konventionellen Automatisierungsanlage die Kombination von der *Steuerungs- und Regelungsebene* und der *Prozessführungsebene* [6]. Im Kontext dieser Arbeit bzw. modularer Anlagen ist jedoch primär die Prozessführungsebene gemeint. Diese übernimmt die übergeordnete Aufgabe der Orchestrierung, der Prozessdatenüberwachung oder auch des Alarm-Managements, da die Steuerung und Regelung auf PEA-Ebene stattfindet [55]. Der traditionellere Fall von PEAs ohne eigene Steuerung, wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt und fällt nicht unter diese Definition.

Process Equipment Assembly Process Equipment Assemblies (PEA) (z. dt. modulare Prozesseinheit), wie in der Aufgabenstellung erläutert, beschreiben in dieser Arbeit „vollautomatisierte, eigenständige, verfahrenstechnische Funktionseinheiten“. Der Begriff stammt aus dem europäischen F³-Factory¹ Projekt und beschrieb dort die kleinste modulare Einheit, die eine prozesstechnische Funktion mit einer oder mehreren Functional Equipment Assemblies erfüllt [3, 17].

¹Vgl. https://cordis.europa.eu/result/rcn/149331_en.html

Functional Equipment Assembly Functional Equipment Assemblies (FEA) (z. dt. modulare Funktionseinheiten) beschreiben in dieser Arbeit Gruppen aus Komponenten, die im Zusammenschluss eine verfahrenstechnische Funktion erfüllen. Über sie können PEAs in ihrer Funktion und Aufgabenfeld konfiguriert werden [54].

Modul Der Begriff Modul wird in dieser Arbeit als Synonym zur PEA verwendet. Er ist dabei der Terminologie entnommen, die sowohl in der NE148, als auch der VDI/VDE 2658 verwendet wird.

Submodul Der Begriff Submodul wird in dieser Arbeit als Synonym zu FEA verwendet. Er entstammt dem selben Wording wie Modul.

2.2 Modularisierung

Unter der Modularisierung in der Prozessindustrie wird ein Anlagenkonzept oder auch -design verstanden, bei dem standardisierte, geschlossen funktionale Einheiten mithilfe einer Integrationsumgebung bestehend aus Backbone und übergeordnetem Leitsystem die Gesamtanlage bilden [41]. Die Modularisierung bzw. modulare Anlagen können unter anderem als Beitrag zu der 50%-Idee gesehen werden, nach der eine Reduzierung der TTM von 10 auf 5 Jahre - also 50% - notwendig ist, um sich auf den volatilen Absatzmärkten und gegen wachsende Konkurrenz behaupten zu können [47]. Die Annahme ist, vor allem im Bereich der Planung, Engineering, Aufbau und Inbetriebnahme, eine deutliche Beschleunigung durch „Engineering-Reuse“ zu erreichen, worunter hier die Wiederverwendung von Planungsergebnissen verstanden werden kann [21].

2.2.1 Architektur

Nach der Namur Empfehlung (NE) 148 besteht eine modulare Anlage aus insgesamt zwei bis drei unterschiedlichen Komponenten. Die erste Komponente sind hierbei die Module an sich. Hierbei wird wiederum in drei unterschiedliche Varianten unterschieden: autonome Module (I), integrierbare Module (II) und modulare Module (III). Autonome Module können unabhängig voneinander betrieben werden, besitzen eine vollständige Automatisierung und benötigen

daher keine übergeordnete Automatisierung. Über standardisierte Schnittstellen ist jedoch ein Remote-Access oder die Integration in ein Betriebsdatenerfassungssystem möglich. Integrierbare Module sind darauf ausgelegt, sich stofflich als auch automatisierungstechnisch in eine Gesamtanlage zu integrieren. Module dieser Art besitzen zwar Automatisierungskomponenten, müssen jedoch zur Steuerung und jeweiligen Anpassung in ein übergeordnetes Leitsystem (LS) integriert werden. Dadurch wird eine modulübergreifende Steuerung möglich. Ein Ansatz zur Integration mithilfe eines standardisierten Dateiformats ist in Abschnitt [2.2.4](#) beschrieben.

Bei modularen Modulen wird eine weitere Hierarchie- bzw. Modulebene eingeführt, die es ermöglicht, ein Modul flexibler zu gestalten. Die Funktionalität oder Kompatibilität eines Moduls kann durch den Austausch eines Submoduls verändert werden, ohne dass die Gesamtanlagenstruktur verändert werden muss. Für das LS ist dieser Vorgang transparent, da es keine Kenntnis über das Submodul besitzt. Während zwischen Typ II und III eine Kompatibilität vorliegt und somit ein gemischter Betrieb möglich ist, ist Typ I inkompatibel zu allen anderen Typen.

Zum Betreiben einer modularen Anlage ist immer eine Infrastruktur - auch Backbone genannt - notwendig, die die Module mit Medien, Energien und Datenanbindungen versorgt und auch Möglichkeiten zur Entsorgen selbiger bietet. Während sowohl Standardschnittstellen zum Einsatz kommen, ist es auch möglich, anlagenspezifische Schnittstellen anzubieten. Diese erfordern jedoch eine individuelle Absprache mit den jeweiligen Modulherstellern [\[41\]](#).

2.2.2 Plant Life Cycle

Der Life Cycle (z. dt. Lebenszyklus) einer modularen Anlage lässt sich auf die klassischen Phasen verfahrenstechnischer Anlagen mappen. Die jeweiligen Schritte innerhalb dieser Phasen sind jedoch im Vergleich zu starren Anlagen nicht zwangsläufig gleich. Ein repräsentatives Lebenszyklusmodell, das verschiedene, gängige Modelle vereint, wurde von K. Weber entwickelt [\[7\]](#). Es besteht aus den aufeinanderfolgenden Phasen Grundlagenermittlung, Vorplanung, Ausführungsplanung, Beschaffung, Errichtung, Inbetriebnahme, Dauerbetrieb, Planung und Umsetzung des Rückbaus [\[57\]](#). Eine vereinfachte Variante befindet sich in der NE 148 und ist in Abbildung [2.1](#) dargestellt. Die dort verwendeten Phasen dienen als Basis und werden kurz im Folgenden auf Grundlage der NE148 [\[41\]](#) und der Arbeit von Obst u. a. [\[43\]](#) erläutert:

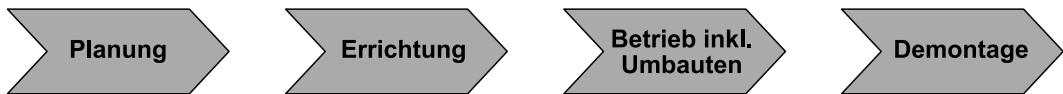


Abbildung 2.1: Vereinfachtes Anlagen-Life-Cycle-Modell nach [41].

Planung

Die Planung einer modularen Anlage erfolgt hauptsächlich durch den Anlagenplaner, Produktentwickler und ggf. dem Anlagenbetreiber. Die Basis bilden die Kataloge der PEA-Hersteller mit vorgeplanten PEAs, aus denen gemäß den eigenen Anforderungen die richtigen PEAs gewählt werden müssen. Sind keine passenden PEAs im Katalog vorhanden, so kann auch eine Fertigung einer individuellen PEA mit einem Hersteller geplant werden. Dies hat jedoch höhere Kosten und eine erhöhte TTM zur Folge. Es ist in diesem Schritt wichtig, eine detaillierte, kontinuierliche Anlagendokumentation zu führen, die darauf mit der Dokumentation der PEA zusammengelegt wird.

Errichtung

Für die Errichtung einer modularen Anlage sind in weiten Teilen die PEA-Hersteller in der Pflicht. Diese haben die Aufgabe, die jeweiligen PEAs zu bauen und anschließend einen Factory Acceptance Test (FAT) in einer Testumgebung durchzuführen. Bei der anschließenden Inbetriebnahme müssen die PEA-Hersteller, mit dem Anlagenbetreiber zusammen, Funktionstests durchführen und durch sein Know-how unterstützen. Der Anlagenbetreiber hat die Aufgabe, die Infrastruktur in Form eines Backbone zu errichten. Da die Errichtungsphase verkürzt ist, muss währenddessen bereits mit der Schulung des Operator- und Maintenance-Personals begonnen werden.

Betrieb inkl. Umbauten

Während der Betriebsphase gibt es neben dem eigentlichen Betrieb zwei weitere wichtige Aspekte: Optimierung und Instandhaltung. Unter Optimierung ist zum einen die Verbesserung der Produktion, aber auch die ständige Anpassung bei Vielzweckanlagen gemeint. Als Möglichkeiten stehen hierbei das Austauschen, Hinzufügen oder Entfernen von PEAs zur Verfügung. Eine Anpassung vorhandener PEAs ist nur eingeschränkt möglich und erfordert die Kooperation der jeweiligen PEA-Hersteller, die über Detailkenntnisse verfügen. Als Grundlage für die Optimierung können die aktuellen Betriebsdaten

oder besonders hervorgehobene Key Process Indicators (KPI) dienen [30]. Bei der Instandhaltung oder Wartung muss eine klare Absprache (bspw. über Service Level Agreements) zwischen PEA-Hersteller und Anlagenbetreiber über Zuständigkeiten getroffen werden. Im Zweifelsfall besitzt auch hier der Anlagenbetreiber nicht das notwendige Detailwissen des PEA-Herstellers. Damit Wartungen bestmöglich umgesetzt werden können, muss eine durchgängige Dokumentation (inkl. aller möglichen vorhergegangenen Einsätze) der PEAs vorliegen. Stördaten und Betriebsdaten müssen ebenfalls zur Verfügung stehen. Sämtliche Änderungen an PEAs, wie Softwareupdates durch den Hersteller, sind zu dokumentieren.

Demontage / Außerbetriebnahme

Bei der Demontage oder Außerbetriebnahme muss zwischen Backbone und Modul unterschieden werden. Wird das Backbone außer Betrieb genommen, so entspricht dies der Außerbetriebnahme der Gesamtanlage. Es ist jedoch auch möglich, nur einzelne Module aus der Gesamtanlage zu lösen, um beispielsweise einen Produktwechsel durchzuführen, oder ein defektes Modul auszutauschen. Informationstechnisch ist zu beachten, dass in der Prozessführungsebene zwar alle Bedienbilder, Rezeptfunktionen, etc. aus der aktuellen Automatisierung entfernt werden, jedoch der vorhergegangene Einsatz nachvollziehbar bleibt. Die im Einsatz entstandene Betriebsdaten und ggf. die Konfiguration müssen daher archiviert werden und in der Historie erscheinen. Dies ist unter anderem aufgrund der Nachverfolgbarkeit von produzierten Chargen notwendig.

2.2.3 Module Life Cycle

Da PEAs nicht an eine bestimmte Anlage über ihre Lebenszeit gebunden sind, besitzen sie einen von den jeweiligen Anlagen gelösten Lebenszyklus. Sowohl der NAMUR Arbeitskreis 2.3.1 als auch aufbauend darauf das ORCA² Projekt arbeiten an einem entsprechenden Modell. Das Modell der ORCA ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Die Besonderheit im Lebenszyklus eines Moduls ist die Möglichkeit, immer wieder zwischen den Phasen Inbetriebnahme, Betrieb, „Demontage“ und Inaktivität wechseln zu können. Dies ergibt sich aus dem Konzept der Modularisierung, das den Einsatz eines Moduls in verschiedenen Anlagen nacheinander ermöglicht. In der Praxis beginnt dieser Kreislauf nach

²<https://www.orca-project.eu/>

der Lieferung des Moduls an den Anlagenbetreiber. Dieser pflegt das Modul physisch und digital in seinen Modulpool ein, woraufhin es inaktiv auf seine Inbetriebnahme wartet. Liegt das digitale Abbild des Moduls schon vor der Lieferung vor, so kann der Betreiber eine virtuelle Integration schon vorab durchführen. Wird das Modul anschließend benötigt, erfolgt die Inbetriebnahme und anschließend eine Betriebsphase. Wird das Modul in der aktuellen Anlage nicht mehr benötigt, wird es von der Anlage abgekoppelt und steht im Modulpool wieder zur Verfügung. Der Zyklus kann durch ein Entfernen des Moduls aus dem Pool unterbrochen werden, wonach es außer Betrieb ist.

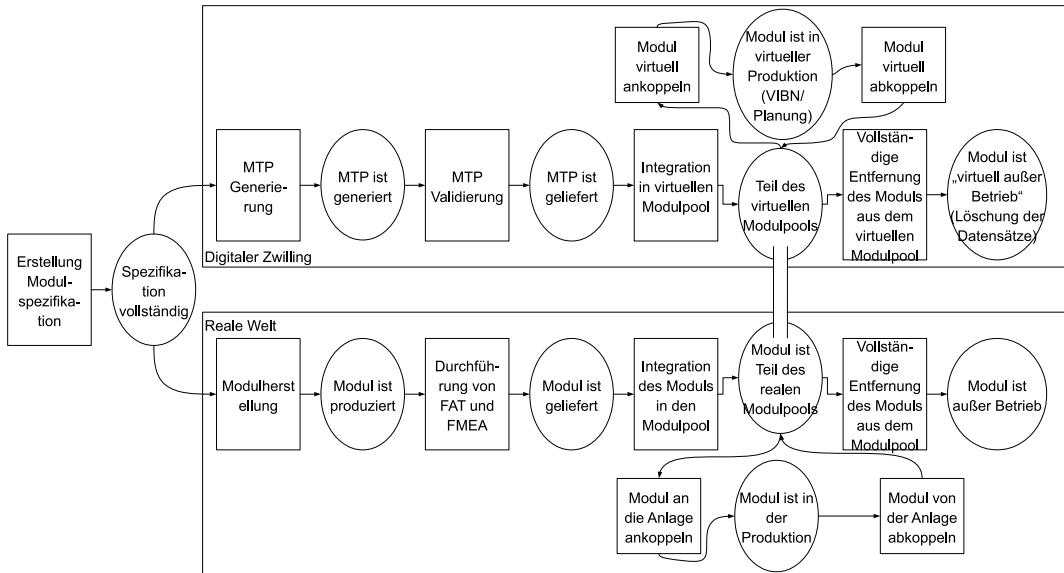


Abbildung 2.2: Modullebenszyklusmodell des ORCA AK [37]

2.2.4 Module Type Package

Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, müssen Typ-II- und -III-Module in ein übergeordnetes Leitsystem integriert werden. Dazu ist eine Art Treiberdatei notwendig, die unter anderem alle Modulschnittstellen und Funktionen beschreibt. Ein herstellerneutraler Standard für eine solche Datei wird derzeitig unter dem Namen *Namur Module Type Package* (MTP) von mehreren Na-

mur³/ZVEI⁴/VDI-GMA⁵-Arbeitskreisen entwickelt [5]. Der Rahmen des MTP wird in der aktuell entstehenden VDI/VDE/NAMUR-Richtlinie 2658 festgelegt. Danach bildet die *Automation Markup Language*⁶ (AML), ein „offenes, herstellerneutrales, XML-basiertes und offenes Datenaustauschformat“ (Lüder und Schmidt [33, S. 223]) für engineering-spezifische Information, die Basis der Modellierung. Das MTP hat eine offene, erweiterbare Architektur mit zentraler Organisationsdatei, dem sogenannten *Manifest*. Dieses in AML verfasste Manifest hält die Referenzen zu allen zugehörigen Dateien, die jeweils einen Aspekt abdecken. Aspekte können beispielsweise das Alarmmanagement, Maintenance oder Diagnose sein. Des Weiteren sind dort wichtige Metadaten wie die Version der Datei, sowie der Version der umgesetzten Richtlinie festgehalten. Jeder in AML modellierte Aspekt kann auch direkt in das Manifest integriert werden. Aspekte, die in einem anderem Format vorliegen oder außerhalb der MTP-Spezifikation liegen, können im Manifest referenziert, aber nicht direkt integriert werden. Ausgeliefert werden die Daten im sogenannten *MTP-Packaging-Format*, das einer Zip-Datei entspricht und mindestens das Manifest und einen Attachment-Ordner mit beliebigen, modul-relevanten Dateien beinhaltet. In diesem Fall wird von einem *SingleFileMTP* gesprochen. Liegen die MTP-Aspekte in eigenen AML-Dateien vor, d. h. die jeweiligen Aspekte sind separat definiert, so wird dies als *MultiFileMTP* bezeichnet [55].

Eine Auswahl möglicher MTP-Aspekte sind als Tortenstücke in Abbildung 2.3 dargestellt, die von der „Tauchnitz’schen-Torte“, einer funktionalen Aufteilung eines Prozessleitsystems (PLS) [50, 51], im Zuge des DIMA-Projekts abgeleitet worden sind [29]. Zu den wichtigsten Aspekten eines jeden MTPs gehören unter anderem das Bedienbild (HMI⁷), die Kommunikations- und Dienstbeschreibung, um eine Einbindung in die PFE zu ermöglichen. Im Folgenden wird kurz auf ihren jeweiligen Informationsgehalt nach VDI 2658 eingegangen.

³Vgl. <https://www.namur.net/>

⁴Vgl. <https://www.zvei.org/>

⁵Vgl. <https://www.vdi.de/technik/fachthemen/mess-und-automatisierungstechnik/>

⁶Vgl. <https://www.automationml.org/o.red.c/home.html>

⁷Human Machine Interface

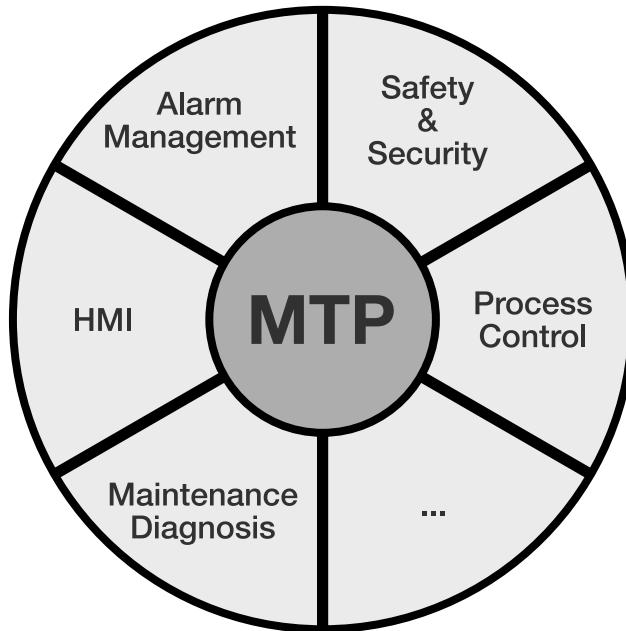


Abbildung 2.3: Mögliche Aspekte des MTPs nach [62].

Kommunikation

Um eine Steuerung der Dienste, das Auslesen von PLT-Messtellen oder dynamische Anzeigen zu ermöglichen, werden im MTP alle dafür notwendigen Datenquellen angegeben. Dies kann beispielsweise ein OPC-Unified-Architecture-Server (OPC UA) sein, der, mit allen für eine Abfrage notwendigen Daten, im MTP hinterlegt ist [9]. OPC UA ist ein moderner, servicebasierter Datenaustauschstandard für industrielle Kommunikation und ermöglicht einen plattformunabhängigen Austausch zwischen unterschiedlichsten Systemen [34, 45]. Der Standard wird als Lösung für die Kommunikation innerhalb modularer Anlagen, beispielsweise zwischen PFE und Modulen, gesehen [28, 29]. Unterhalb einer Datenquelle werden alle verwendeten Zugriffspunkte, inklusive Zugriffsrechten, abgelegt. Die Kommunikation kann ggf. helfen, Aussagen über die Kompatibilität in Form von Datenquellen-Support und Transparenz des Moduls über die Anzahl an Datenquellen zu treffen.

Dienste

Um die Steuerung der Module zu ermöglichen, wird eine Liste aller angebotenen Dienste hinterlegt. Diese können verschiedene Fahrweisen (Strategies) mit jeweils unterschiedlichen Parametern besitzen. Weiterhin ist jedem Dienst, um eine zustandsbasierte Prozessführung zu ermöglichen, ein eigener Zustandsautomat zugewiesen [5, 9, 44]. Die Dienstliste beschreibt den Funktionsumfang und die Steuerungsmöglichkeiten eines Moduls. Dies kann zur Einordnung der Module in Kategorien und dem Vergleich innerhalb von Modulkategorien verwendet werden.

Bedienbilder

Für die Bedienbilder werden alle Elemente⁸ mit Namen, Position, Verbindungsinformationen, alle Signal- und Wirklinien, sowie Anfangs- und Endpunkte abgespeichert. Konkrete Daten für die endgültige Darstellung in der PFE, wie beispielsweise eine Bilddatei für ein bestimmtes Element, sind nicht vorgesehen. Dadurch wird ein einheitliches „Look and Feel“ [41, S. 18] in der PFE einer heterogenen Anlage möglich [41]. Der Detailgrad und der generelle Aufbau der Bedienbilder sind als Kriterien während des Auswahlprozesses denkbar.

2.3 (Plant) Asset Management

In der DIN ISO 55000 wird Asset Management als ein Werkzeug definiert, das es Organisationen ermöglicht „mithilfe von Assets einen Wertbeitrag zur Organisationszielerreichung zu leisten“ [15, S. 11]. Ein Assets stellt in diesem Zusammenhang jegliche materielle oder immaterielle Sache dar, die für eine Organisation einen materiellen, immateriellen, finanziellen oder nicht finanziellen Wert potentiell oder tatsächlich besitzt. Dieser Wert kann sich über die Assets-Lebensdauer⁹ ändern und von unterschiedlichen Organisationen verschieden wahrgenommen werden [15].

Für IBM [30] spielt Asset Management eine entscheidende Rolle für den Erfolg und die Performance eines Unternehmens. Je kapitalintensiver eine Unternehmung ist, desto mehr Einfluss haben Maintenance, Verfügbarkeit und Einsatz der jeweiligen Assets. Vor allem werden vertane Chancen und Produktionsver-

⁸Hiermit sind Ventile, Pumpen, Messstellen etc. gemeint.

⁹Die Asset-Lebensdauer beschreibt den Zeitraum zwischen Erzeugung und Vernichtung des Assets.

2 Stand der Technik

luste durch schlechte Logistik, unnötige Redundanz und eingeschränkte oder ausgefallene Assets als Probleme identifiziert, die durch gutes Asset Management vermieden werden können. Ziel ist es Strategien für beispielsweise Asset Maintenance und Performance zu finden, die möglichst alle - teilweise konkurrierenden - Unternehmensziele bedient und diese umzusetzen.

Nach der NE 129 [40, S. 9] lassen sich drei zentrale Hauptaufgaben des Asset Managements festlegen:

1. „Verwalten der Assets über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Von besonderem Interesse sind Identifikation, Asset-Historie, betriebswirtschaftliche und technische Daten.“
2. „Organisation des Einsatzes und Zustanderhaltens der Assets.“
3. „Erzeugen und Bereitstellen von Informationen, insbesondere über Verlauf und Prognose der Asset-Gesundheit zur Entscheidungsunterstützung.“

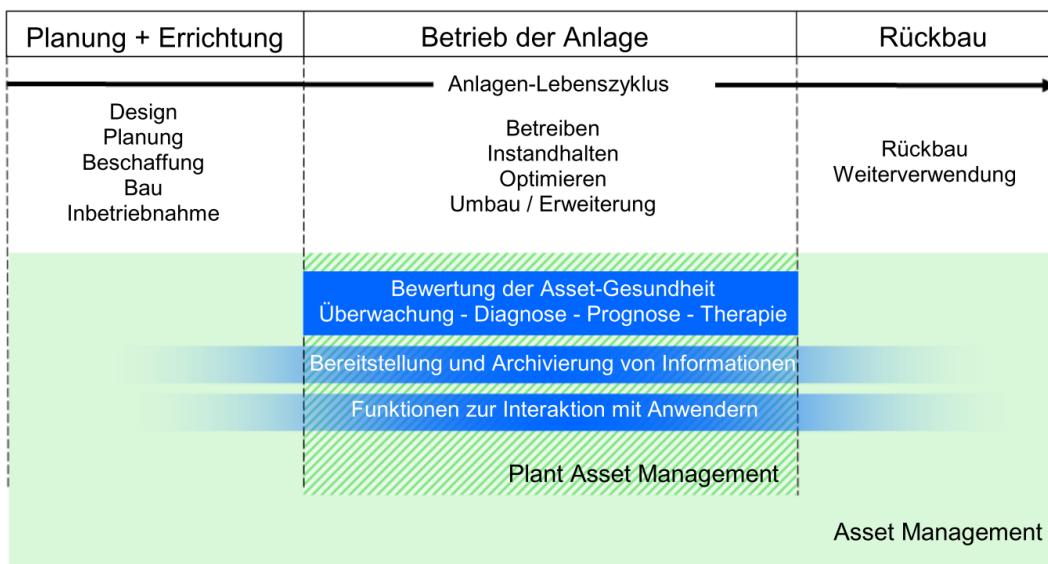


Abbildung 2.4: Einordnung des Plant Asset Management im Anlagenzyklus nach NE 129 [40, S. 13].

Um die Ziele und Strategien umzusetzen, können sogenannte *Asset Management Systeme* eingesetzt werden. Nach Mehta und Reddy [35] handelt es sich

hierbei um eine Kombination aus Hardware, Software und Diensten mit vier zentralen Funktionen: Monitoring der Asset-Gesundheit, Voraussagen möglicher Probleme, Analyse aktueller Probleme und Prävention von „katastrophalem Schaden im Fall von abnormalen Zuständen“ (Mehta und Reddy [35, S. 3]). Des Weiteren können derartige Systeme helfen, Wissen zu sammeln, zu bewahren und mit dessen Hilfe kontinuierlich Assets zu verbessern bzw. zu optimieren. Dies gilt beispielsweise auch für mögliche Troubleshooting-Strategien. Die Funktionalität kann entweder zentral an einer Stelle umgesetzt oder auf verschiedene Systeme aufgeteilt sein. Wichtig ist es, die Asset-Daten an einer Stelle zusammenzuführen und aufbereitet zu präsentieren. In der NE 129 wird hierfür der Begriff des „*Asset Health Portal*“ (oder der „*Asset-Informationsdreh scheibe*“) verwendet [40].

Steht beim Asset Management die Betriebsphase einer Anlage im Vordergrund, so wird dies als *Plant Asset Management* bezeichnet. Eine Einordnung in den Lebenszyklus, sowie die Kernaufgaben sind in Abbildung 2.4 dargestellt. Hervorzuheben ist, dass trotz Fokus auf die Betriebsphase eine Überschneidung und Abhängigkeit zu den anderen Lebenszyklusphasen besteht. Dies ist vor allem bei für die durchgängige Dokumentation notwendig [40].

2.3.1 Process-Equipment-Design-Datenbank

In der Arbeit von Fleischer-Trebes u. a. [16] wird ein Konzept für einen wissensdatenbank-gestützten Planungsansatz modularer Anlagen vorgestellt, der die Verfahrensentwicklung und die Engineeringphase umfasst. Die Idee ist es, Planungsleistungen projektübergreifend wiederverwenden zu können und Parallelisierung von Ingenieurätigkeiten in der Planungsphase zu unterstützen. Das Schlüsselement des Ansatzes sind sogenannte *Process Equipment Designs* (PED), die ein oder mehrere verfahrenstechnische Apparate (inklusive benötigter Komponenten, EMSR, Abbildungen etc.) mit mindestens einer verfahrenstechnischen Funktion zu einer theoretisch eigenständigen, testbaren Einheit bündelt. Der Unterschied zu PEAs liegt darin, dass PEDs nicht physisch, sondern in Form einer Sammlung aller planungsrelevanten Dokumente vorliegen. PEDs können genutzt werden, um sowohl klassische, starre Anlagen als auch PEAs zu bauen.

Der Ansatz basiert, wie in Abbildung 2.5 dargestellt, auf zwei Datenbanken: Der PED-Datenbank, sowie der Komponentendatenbank. Die PED-Datenbank enthält alle bisher erstellten PEDs, die sich in Service-Einheiten und Prozess-

einheiten aufteilen. Prozesseinheiten bieten eine verfahrenstechnische Funktion wie Dosierung, während Service-Einheiten unterstützende Funktionalität wie Medienversorgung bieten. Service-Einheiten und Prozesseinheiten entsprechen beide den oben definierten PEAs, wobei Service-Einheiten nach VDI 2776 als *modulare Infrastruktur* bezeichnet wird [54]. Für jede Planung wird die Datenbank gegen die Kundenanforderungen abgeglichen und das bestmögliche Match bestimmt. Liegt kein perfektes Match vor, wird die Komponentendatenbank dazu verwendet, um einen Komponentenwechsel durchzuführen, der zu einer Anforderungskonformität führt. Für einen bestmöglich funktionierenden Planungsprozess ist es wichtig, die Datenbank unter anderem durch Betriebsdaten und -erfahrungen physisch umgesetzter Einheiten aktuell zu halten.



Abbildung 2.5: Schematische Datenbankstruktur [16, S. 788].

2.3.2 Reuse-Atlas

Der Reuse-Atlas ist ein von Hady und Wozny [22] umgesetztes Konzept einer web-basierten Wissensdatenbank für modulare Anlagen. Es handelt sich hierbei um eine PHP¹⁰-Web-Anwendung mit MySQL¹¹-Datenbank als Backend. Ziel der Anwendung ist es, sämtliche Dokumentation einer modularen Anlage zu Speichern und den Nutzern zur Verfügung zu stellen. Eingeschlossen

¹⁰Vgl. <http://de2.php.net/manual/en/intro-whatis.php>

¹¹Vgl. <https://www.mysql.com/>

2 Stand der Technik

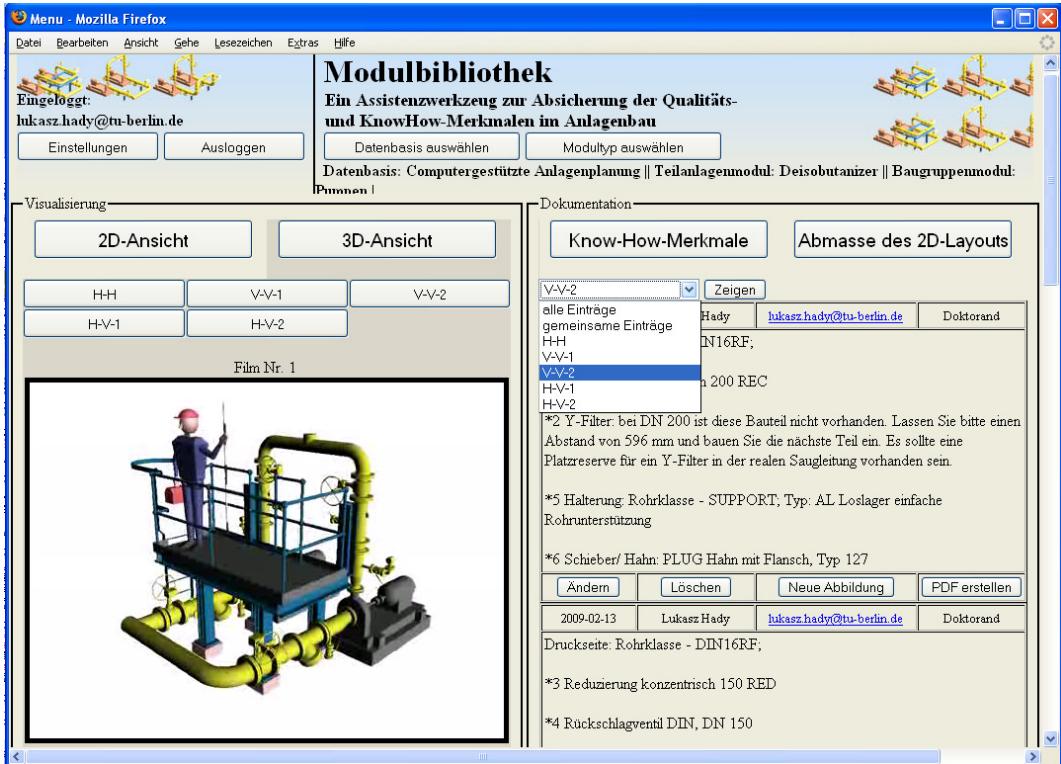


Abbildung 2.6: Screenshot: Dokumentationsebene des Reuse-Atlas [23, F. 16].

sind hierbei unter anderem 2D- und 3D-Modelle, Modulcharakteristika oder Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemata (R&I-Fließschema). Die Daten sind in einer Hierarchie angeordnet, die sich absteigend aus Anlage, Funktionsgruppe und Modul zusammensetzt. Für jede Hierarchiestufe ist zur besseren Navigation eine Beschreibung hinterlegt. Die Struktur der Anlage wird über Verbindungen festgehalten, die jederzeit durch die Nutzer geändert, gelöscht oder ergänzt werden können. Um Änderungen an der Dokumentation oder Änderungen an der Struktur festzuhalten, ist es möglich, Notizen zur Nachverfolgung zu hinterlassen. Abbildung 2.6 zeigt das User Interface in der Modulansicht am Beispiel eines Pumpenmoduls.

2.4 Informationsraum

In diesem Abschnitt soll der Begriff des Informationsraums genauer definiert und notwendige Technologien zum schaffen eines solchen Raums beschrieben werden. Der Fokus liegt auf Linked Data, die die Basis für den Informationsraum dieser Arbeit bildet. Hierbei werden die Begriffe *Linked Data* und *Ontologie* erläutert, sowie das Revisionverwaltungstool *R43ples* vorgestellt.

2.4.1 Begriffsdefinition

Für den Begriff *Informationsraum* existieren verschiedene Definitionen. Newby [42, S. 1] definiert den Raum als „set of concepts and relations among them held by an information system [that] [...] is produced by a set of known procedures, and is changed through intentional manipulation of its content.“. Das MIT Artificial Intelligence Laboratory [39] sieht den Informationsraums als einen „type of information design in which representations of information objects are situated in a principled space“. In einem solchen von Prinzipien geleiteten Raum gilt: „space location and direction have meaning, so that mapping and navigation become possible“. Die für diese Arbeit passendste Definition stammt von Hilbert [27], der den Aufbau eines solchen Raums wie folgt definiert: „Ein Informationsraum besteht aus einer semantisch beschriebenen Menge instanziierter oder referenzierter Informationsressourcen sowie zugehöriger semantischer Verknüpfungsinformation.“. Die Definition geht besonders auf die semantische Beschreibung von Informationsressourcen und deren Verknüpfung ein, die für diese Arbeit eine wichtige Rolle spielen. Viele verschiedene, heterogene Information müssen über den Lebenszyklus festgehalten und untereinander verknüpft werden.

2.4.2 Linked Data

Linked Data (LD) ist nach Bizer, Heath und Berners-Lee [8] eine Sammlung von Best Practises für die Veröffentlichung und Verlinkung von strukturierten Daten im Netz. Die Grundidee ist das Verlinken mehrerer Datenquellen und die Bereitstellung selbiger in einem menschlich- als auch maschinenlesbaren Format.

Die Grundlage hierfür wurde 2006 von Tim Berners-Lee geschaffen, als er vier Grundregeln veröffentlichte, die heute unter dem Namen *Linked Data principles*

les bekannt sind [4].

1. „Use URIs as names for things“
2. „Use HTTP URIs so that people can look up those names.“
3. „When someone looks up a URI, provide useful information, using the standards (RDF*, SPARQL)“
4. „Include links to other URIs, so that they can discover more things.“

2.4.3 Ontologien im semantischen Web

Ontologien sind nach Studer, Benjamins und Fensel [49] „formale, explizite Spezifikationen einer geteilten Konzeptualisierung.“ Unter einer *Konzeptualisierung* wird hier ein abstraktes Modell eines Phänomens aus der echten Welt verstanden. Mit *explizit* ist gemeint, dass die Konzepte die verwendet werden und die Beschränkungen dieser explizit formuliert werden. Mit *formal* wird die natürliche Sprache als Beschreibungsmittel von Ontologien ausgeschlossen, was eine Maschinenlesbarkeit garantieren soll. Des Weiteren wird mit *geteilt* angedeutet, dass Ontologien auf von Wissen und Verständnis einer Gruppe basieren und nicht auf dem privaten Wissen eines Individuums.

2.4.4 R43ples

In der Arbeit von Graube, Hensel und Urbas [19] wird R43ples - auch *Revision for triples* - als ein quellenfreies Tool zur Revisionsverwaltung für das semantische Web vorgestellt. Es verwendet Named Graphs, um semantisch die Veränderungen zwischen den Revisionen von Resource Description Framework (RDF)-Datensets zu speichern. Als Schnittstelle für den Datenaustausch ist das SPARQL Protokoll and RDF Query Language (SPARQL) vorgesehen. R43ples arbeitet im Vergleich zu Git¹² auf Basis eines zentralen Repository, das über eine erweiterte SPARQL-Schnittstelle das Modifizieren der Graphen ermöglicht. Dafür bekommt der User eine Kopie der benötigten Daten über eine SPARQL-Abfrage, ändert diese auf seinem Gerät und übermittelt diese Änderungen via SPARQL zurück an R43ples, um sie mit den anderen in der

¹²Ein quellenfreies, verteiltes Revision Control System. Vgl. <https://git-scm.com/>.

Zwischenzeit entstandenen Änderungen zu mergen.

Um die Versionverwaltung durchführen zu können, sitzt R43ples als Proxy zwischen dem LD Client und dem Triplestore. R43ples erweitert hierbei den SPARQL Befehlssatz für den Client und formt dann die Abfragen um, um die Daten inklusive revisionsspezifischer Ergänzungen im Triplestore abzulegen. Die Systemstruktur ist in Abbildung 2.7 zu sehen.

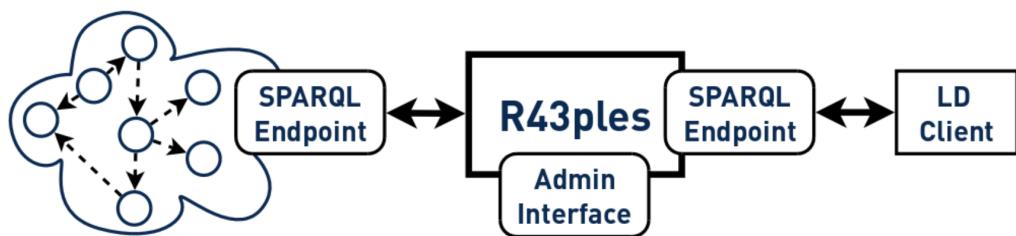


Abbildung 2.7: R43ples Systemarchitektur aus [20, S. 5]

R43ples besitzt mehrere Funktionen und Eigenschaften, die für eine Verwendung als Revision Backend für die Lebenszyklusunterstützung sprechen. Folgende Punkte sind für diese Diplomarbeit hervorzuheben:

REST API

Der von R43ples bereitgestellte SPARQL-Endpoint¹³ bietet eine REST API, die es ermöglicht, Anfragen auch über HTTP GET und HTTP POST durchzuführen. Die Parameter bzw. die Anfrage an sich kann außerdem mit in der URL encodiert werden, so dass keine speziellen HTTP Header¹⁴ notwendig sind. Dies erleichtert das Anbinden von neuer Software an R43ples erheblich.

SPARQL Transparenz

R43ples sitzt zwar als Proxy zwischen Triplestore und LD Client, erweitert jedoch nur den SPARQL Befehlssatz und ist transparent für alle standardmäßigen SPARQL Befehle. Die Möglichkeit auf den vollen Befehlssatz zugreifen

¹³vgl. <https://github.com/plt-tud/r43ples#extended-sparql-endpoint>

¹⁴vgl. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Headers>

zu können, gewährleistet, dass uneingeschränkt semantische Abfragen durchgeführt werden können.

2.5 ENPRO Asset Life Cycle

Die ENPRO-Initiative¹⁵ ist ein Verbundprojekt mit der Zielsetzung, Konzepte für eine schnellere Prozessplanung und energieeffizienten, kontinuierlichen Produktionsverfahren für die deutsche Chemieindustrie zu finden [26]. Im Zuge dieser Initiative wurde ein Ansatz zur Betrachtung des vollständigen Lebenszyklus von chemischen Anlagen im Bezug auf Datenintegration entworfen. Hierbei wird der Lebenszyklus in vier Phasen bzw. Aspekte aufgeteilt, die mit drei Datenstrukturen abgebildet werden [58]. Eine Darstellung ist in Abbildung 2.8 zu finden. In den einzelnen Phasen liegen jeweils unterschiedliche Daten vor.

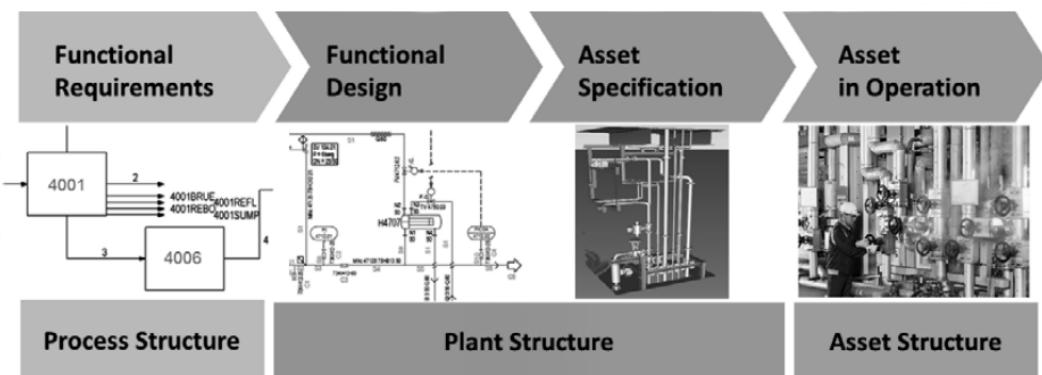


Abbildung 2.8: ENPRO Asset Life Cycle [58, S. 1294]

Zunächst sind nur Prozesse und Ströme vorhanden, die in der nächsten Phase durch Equipment-Typen (z.B. eine Pumpe) und Instrumentierung ersetzt werden. In der folgenden Phase werden diese Equipment-Typen durch konkrete Spezifikationen erweitert, bis in der letzten Phase die physischen Equipments vorliegen [59].

Um das Problem des Informationsverlustes zwischen den einzelnen Phasen, der beispielsweise auf Grund von fehlender Interoperabilität zwischen den einzelnen CAE-Tools auftritt, zu lösen, wurde die Arbeit der DEXPI-Initiative

¹⁵Vgl. <http://enpro-initiative.de/>

aufgegriffen [58]. Das dort erarbeitete Datenmodell soll die Graphiken, die Topologie, sowie die Attribute diskreter Komponenten eines P&ID abbilden. Damit ist es möglich, die *Plant Structure* und damit die Phasen I&II zu halten. Das DEXPI-Datenmodell basiert auf der ISO 15926 und erweitert das Proteus¹⁶ XML Schema [52]. Eine nicht öffentliche Weiterentwicklung des Modells des Unternehmens Evonik kommt firmenintern zur Verwendung [48, 58].

¹⁶Ein XML Schema (XSD) für den Austausch von P&ID Daten. Vgl. <https://github.com/ProteusXML/proteusxml>

3 Analyse

Im folgenden Abschnitt sollen die im Stand der Technik zusammengetragenen Informationen analysiert und aufbereitet werden. Des Weiteren wird auf die Erstellung, Durchführung und Auswertung einer ergänzenden Experteninterviewreihe eingegangen. Es gilt mögliche Auswahlprozesse, Anforderungen an dessen Funktionalität, sowie die Anforderungen für das zugrundeliegende Informationsmodell festzuhalten.

3.1 Datengrundlage

Bei der Ableitung der Anforderungen an einen DEA-Auswahlprozess oder das notwendige Informationsmodell spielt die Betrachtung der vorhandenen Datenquellen eine entscheidende Rolle. Es gilt festzuhalten, welche Information über die jeweiligen DEAs vorliegen, welche Relevanz sie für die Auswahl und Verwaltung besitzen und in welchem Format sie bereitgestellt werden. In einem weiteren Schritt soll die Datengrundlage den Anforderungen der Literatur oder auch den Wünschen der Industrie¹ gegenübergestellt werden.

MTP

Das MTP bildet den Grundstock an Informationen, die in jedem Fall über die jeweiligen PEAs vorliegen. Wie in Abschnitt 2.2.4 beschrieben, kann es, je nach Umsetzung des Herstellers, eine größere Anzahl an Information für den Auswahlprozess liefern. Der Informationsgehalt ist hierbei davon abhängig, welche Aspekte in welcher Ausführlichkeit abgebildet werden. Dies bedeutet konkret, dass für Auswahlprozesse zwar mögliche Auswahlkriterien auf Basis der im MTP abbildbaren Aspekte abgeleitet werden können, diese jedoch nicht auf jedes PEA anwendbar sind. Es ist weiterhin festzuhalten, dass ein MTP nicht als alleinige Datenquelle dienen kann. Speziell für die Services, die die grundlegenden verfahrenstechnische Funktion darstellen, sind ergänzende Informationen

¹Diese sind im Abschnitt 3.4 festgehalten.

3 Analyse

nötig. Zum aktuellen Zeitpunkt kann die Funktionalität nur über den Service-Namen abgeleitet werden, der wiederum frei vom Hersteller gewählt wird. Auch wird in dem MTP keine PEA-Typ-Klassifizierung² vorgenommen. Ein großer Vorteil der MTPs ist jedoch die einheitliche, semantische Beschreibung und Standardisierung durch die zum Zeitpunkt dieser Arbeit entstehenden Normblattreihe VDI 2658.

Herstellerangaben

Eine weitere entscheidende Datenquelle sind die Herstellerangaben bzw. Spezifikationen der PEA-Hersteller. Allgemeine Angaben wie z. B. die physischen Maße oder auch die prozessspezifischen Spezifikationen und Parameterräume sind bisher oft in Katalogen und Datenblättern angegeben, die sich beispielsweise auf den jeweiligen Hersteller-Webseiten abrufen lassen. Aktuell gibt keinen einheitlichen Standard zur Angabe dieser Informationen. Es fehlt sowohl ein Standard, der festlegt welche Angaben zu welchem Typen PEA mindestens angegeben werden müssen, als auch ein Standard zur Bereitstellung dieser Daten. Weder das Datenformat, noch Distributionswege sind festgelegt.

Mit der zum Zeitpunkt dieser Arbeit entstehenden VDI Norm 2770 soll ein Standard geschaffen werden, der die digitalen Herstellerinformationen vereinheitlicht. Ziel ist es durch Kategorisierung von Dokumenten, Festlegung des Aufbaus und der dafür zu verwendenden Dateiformate u. a. die Übernahme dieser Daten in andere EDV-Systeme zu erleichtern [53].

Betriebsdaten & Erfahrungswerte

Neben statischer Herstellerdaten bietet es sich an, dynamische Daten aus der Betriebsphase der PEAs, sowie Erfahrungswerte mit den spezifischen PEAs und deren Herstellern als Auswahlkriterien im Auswahlprozess zu berücksichtigen. Erfahrungswerte bieten die Möglichkeit das Risiko eines Einsatzes einer entsprechenden PEA besser einschätzen zu können und somit bei der Entscheidungsfindung zwischen mehrerer passender Module am Ende eines Auswahlprozesses zu unterstützen. Es ist denkbar die Performance einer PEA über so genannte *Key Performance Indicators* (KPI) zu messen und diese Ergebnisse in den Auswahlprozess einzubinden [46]. Auch die Erfahrungen mit den jeweiligen Herstellern unter Gesichtspunkten wie Einhaltung von Lieferzeiten oder

²Hiermit ist die Klassifizierung einer PEA in bspw. verfahrenstechnische Kategorien wie Mischer, Temperierer etc. gemeint.

3 Analyse

Reaktionszeit bei Ausfällen können bei der Entscheidungsfindung helfen. Eine mögliche Schwierigkeit besteht hierbei in der Beschaffung der dazu notwendigen Daten, die in verschiedenen Systemen vorliegen. Ob die dazu notwendigen Schnittstellen vorliegen und ein Zugriff für ein Auswahlsystem möglich ist, gilt es zu klären.

Neben der exklusiven Nutzung einer firmeninternen Datenbasis ist auch der Einsatz eines geteilten Bewertungssystems möglich. Da nicht jeder PEA-Anwender selbst mit jedem PEA und Hersteller Erfahrungen sammeln kann, wäre es so möglich auf die Erfahrungen anderer zurückzugreifen. Dellarocas [14] weist jedoch darauf hin, dass klassische freiwillige Bewertungssysteme unter mangelnder Beteiligung der Nutzer leiden können und dass Bewertungen auf ihren Wahrheitsgehalt überprüft werden müssen. Das Szenario der mangelnden Partizipation ist im Bezug auf die Bewahrung von Firmengeheimnissen sehr wahrscheinlich. Auch der Aspekt der Verifizierbarkeit der Bewertungen darf nicht vernachlässigt werden, um die Kooperation der PEA-Hersteller nicht zu gefährden - auch wenn nach Auswertung verschiedener Studien durch Zhu und Zhang [61] ein definitiver Einfluss von Nutzerbewertungen auf das Kaufverhalten bestätigt werden kann.

3.2 Analyse Informationsmodell

Um PEAs durchgängig in ihren einzelnen Phasen ihrer Lebenszyklen zu unterstützen, ist ein Informationsraum notwendig, der diese Zyklen abbilden kann. Im folgenden Abschnitt sollen die Anforderungen an diesen Informationsraum bzw. das Informationsmodell analysiert und mögliche Technologien erläutert werden.

3.2.1 Anforderung

Die ersten grundlegenden Anforderungen an das Informationsmodell ergeben sich aus der Aufgabenstellung für diese Arbeit. Im Wesentlichen lassen sich drei Anforderungen ausmachen:

- A1 semantische Beschreibung
- A2 Unterstützung von Revisionierungsmechanismen
- A3 semantische Abfragemöglichkeiten

3 Analyse

Weitere Anforderungen an Informationsmodelle, die den Lebenszyklus verfahrenstechnischer Anlagen beschreiben, lassen sich in dem Whitepaper der DE-CHEMA und ENPRO Initiative [13] finden. Folgende Anforderungen sind für das Szenario PEAs anwendbar:

- A4 Möglichkeit zur Datenintegration
- A5 Mereologie und Topologie
- A6 Unterstützung von strukturellen Brüchen von Topologie und Mereologie
- A7 Erweiterbarkeit
- A8 Open World Assumption

Anforderung A4 fordert die Fähigkeit des Datenmodells Informationen aus verschiedenen Datenquellen zusammenfassen zu können. Dies ist im Fall von PEAs auf Grund der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Datenquellen notwendig. Da nicht nur verschiedene Datenquellen vorliegen, sondern auch der Informationsgehalt zwischen den PEAs variiert, muss das Modell gegenüber fehlender Informationen tolerant sein. Dies ist mit Anforderung A8 abgedeckt. Anforderung A5 beschreibt weiterhin die Fähigkeit hierarchische Strukturen und Beziehungen einzelner Objekte festzuhalten. Dies ist notwendig um bspw. abzubilden, in welcher modularen Anlage ein PEA momentan eingesetzt wird und mit welchen anderen PEAs es in Verbindung steht. Die mögliche Wiederverwendung von PEAs und damit die Notwendigkeit Topologieänderungen zu reflektieren, ist in Anforderung A6 festgehalten.

3.2.2 Technologieauswahl

Um einen semantischen Informationsraum im industriellen Bereich zu beschreiben, gibt es verschiedene, mögliche Ansätze. In der Arbeit von Graube [18] werden die gängigsten beschrieben und miteinander anhand verschiedener Anforderungen verglichen. Das Ergebnis ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

Die drei für diese Arbeit prinzipiell relevanten Kandidaten sind AutomationML, da es als Basis des MTP dient, ISO 15926 bzw. DEXPI, da es sich am Lebenszyklus von verfahrenstechnischen Anlagen orientiert und Datenintegration im Vordergrund steht, sowie Semantic Web, als moderner, leichtgewichtiger Ansatz [18]. Schlüsselanforderung für die Auswahl ist A3. Eine semantische Abfragemöglichkeit bietet in der Form nur das Semantic Web mit SPARQL. Wie

3 Analyse

in der Übersicht erkenntlich, hat das Semantic Web darüber hinaus in den Bereichen *Beschreibungsmöglichkeiten* und *Werkzeuge* die höchste Übereinstimmung mit den Vergleichskriterien. Das dargestellte Defizit von Semantic Web in der Revisionierung, kann ggf. mit dem in Abschnitt 2.4.4 R43ples ausgeglichen werden. Ein wirklich relevanter Nachteil könnte die fehlende Unterstützung von dynamischen Daten in Anbetracht von den in 3.1 angesprochenen Betriebsdaten sein.

	Anforderung	Semantic Web	OPC UA	WBEM/CIM	ISO 15926	Eclipse EMF	AutomationML
Beschreibungsm.	B1) Mächtigkeit der Informationsmodellierung	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓
	B2) Semantik	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	✓
	B3) Erweiterbarkeit	✓✓	✓✓	✓	✓	✓	✓✓
	B4) Selbstbeschreibungsfähigkeit	✓✓	✓	✓	✗	✗	✓
	B5) Verknüpfungen	✓✓	✓	✓	✓✓	✓	✓
Methoden	M1) Abstraktion der Kommunikation	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	✗
	M2) Statische Daten	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
	M3) Dynamische Daten	✗	✓✓	✗	✗	✓	✗
	M4) Informationssicherheit	✓	✓	✗	✗	✗	✗
	M5) Dienste-Orientierung	✓✓	✓✓	✓	✗	✗	✗
Werkzeuge	W1) Modelltransformationen	✗	✗	✓	✗	✓✓	✗
	W2) Revisionierung	✗	✗	✗	✓	✓	✗
	W3) Entwicklungsunterstützung	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓
	W4) Schnittstellen/Adapter für andere Systeme	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
	W5) Inspizierbarkeit zur Laufzeit	✓	✓	✓✓	✓	✓✓	✓

Abbildung 3.1: Ergebnismatrix des Technologievergleichs [18, S. 42]

3.3 Analyse Auswahlprozess

Wie in der Motivation angedeutet, stehen die Planer und Betreiber modularer Anlagen vor der Herausforderung die richtigen PEAs für ihre Anlage auszuwählen.

3 Analyse

len. Die Zwecke sind verschieden und reichen von der ursprünglichen Planung, zur späteren Optimierung wie einem Scale-Up oder auch der Funktionsänderung - sofern es sich um eine Mehrzweckanlage handelt. Um eine Auswahl treffen zu können, werden Auswahlprozesse benötigt, die es dem Nutzer erlauben, auf Basis seiner Anforderungen und anderen Kriterien alle passenden Kandidaten aus allen verfügbaren PEAs zu filtern.

Der einfachste Fall einer Auswahl besteht darin, eine PEA einzig über den Abgleich der Nutzeranforderungen mit den Spezifikationen durchzuführen. Hierbei wird der Einsatzkontext des PEAs ignoriert und automatisierte Kompatibilitäts-Checks mit dem späteren Backend oder benachbarten PEAs ignoriert. Ansätze für die Gestaltung eines solchen Abgleichs findet man im Bereich des E-Commerce. Betrachtet man den Aufbau bekannter E-Commerce-Plattformen wie bspw. Amazon^{TM3}, Conrad⁴ oder auch Volkswagen⁵ so lassen sich zwei grundsätzliche Konzepte ausmachen - ein filter- und ein assistent-getriebener Ansatz.

Ein Beispiel für einen filter-getriebenen Ansatz ist in Abbildung A.2 dargestellt. Nach der Eingabe seines Suchbegriffs, stellt das System auf Basis der zugehörigen Treffer mehrere Filter mit produktspezifischen Parametern bereit. Im Beispiel der Diode sind dies unter anderem die Diodenart oder die Sperrspannung. Durch das Anwenden von Filtern wird die Auswahl immer weiter eingeschränkt bis eine kleine Menge an vergleichbaren Ergebnissen übrig bleibt, die den Anforderungen des Nutzers genügen. Ist das Filtersystem intelligent umgesetzt, passen sich die Auswahlmöglichkeiten innerhalb der noch auswählbaren Filter an die Einschränkungen schon gesetzter Filter an um den Auswahlprozess zu beschleunigen.

Ein Beispiel für einen assistenz-getriebenen Auswahlprozess ist in Abbildung A.1 sowie A.3 dargestellt. In dem dort gezeigten Konfigurator wird der Nutzer über verschiedene Schritte nach und nach zu seinem Endergebnis geführt. Anders als bei dem filter-getriebenen Ansatz kann der Nutzer in jedem Schritt durch erklärende Hilfetexte und Anweisungen angeleitet werden. Verglichen mit dem filter-basierten Ansatz, kann der Auswahlprozess über einen Assistenten langsamer sein, da das Absolvieren mehrerer Schritte über mehrere Seiten einen gewissen zeitlichen Overhead mit sich bringt.

³Vgl. <https://amazon.de>

⁴Vgl. <https://conrad.de>

⁵Vgl. <https://www.volkswagen.de/de.html>

3 Analyse

Betrachtet man bei der Auswahl jedoch weitere Aspekte als nur die Parameter, kann der filter-basierte Ansatz nicht oder nur noch schwer angewendet werden. Es ist denkbar, Planungsdateien importieren zu wollen, die bspw. ein Schema der zu planenden modularen Anlage beinhalten um dort die vorgeesehenen PEAs zu spezifizieren. Ein assistenz-basiertes System bietet hier die Möglichkeit spezielle UIs für diesen Anwendungsfall bzw. zusätzlichen Schritt in den Prozess mit einzubinden. Des Weiteren ist es mit diesem Ansatz möglich Verzweigungen in den Auswahlprozess einzubinden. Ähnlich wie sich ständig aktualisierende Filter, kann der Assistent so auf die Eingaben des Nutzer reagieren und Prozessschritte dynamisch hinzufügen oder überspringen.

Letztendlich lässt sich sagen, dass für eine einfache Auswahl beide vorgestellten Ansätze geeignet sind, wobei zwischen Unterstützung und Geschwindigkeit gewählt werden muss. Wird die Auswahl komplexer, ist ein assistenz-basierter Ansatz auf Grund seiner Möglichkeiten zur UI-Gestaltung und seiner Vielseitigkeit der bessere Ansatz.

3.4 Experteninterview

Die in weiten Teilen ungeklärten Fragen im Bereich der Modularisierung - einschließlich von Auswahlverfahren und Verwaltungskonzepten - die inhomogene Datengrundlage, sowie dessen Relevanz lassen viel Spielraum im Bereich der Konzeption. Einordnungen, Hinweise und Wünsche der Experten in der Domäne können helfen, das Konzept zu konkretisieren und die Relevanz der vorliegenden Daten zu bewerten. Um diese qualitativen Daten zu gewinnen, können Experteninterviews eingesetzt werden. Dabei handelt es sich um sogenannte leitfadengeführten Interviews mit einer speziellen Auswahl an Befragten, basierend auf deren Status [24].

Das in dieser Arbeit angewandte Vorgehen orientiert sich an der Anleitung von Mieg und Naf [38], die fünf relevante Schritte vorsieht:

1. Leitende Forschungsfragen und Hypothesen
2. Expertenakquise
3. Leitfadenerstellung
4. Planung und Durchführung
5. Auswertung

3.4.1 Leitende Forschungsfragen und Hypothesen

Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit besteht vor allem in der Konzeption von Auswahlprozessen und Verwaltungsmöglichkeiten von PEAs in modularen Anlagen. Aus diesem Grund ist die primäre Zielstellung des Interviews, Anforderungen an den Funktionsumfang, Ausgestaltung und Architektur von Auswahlprozessen festzustellen. Gleichzeitig sollen hierdurch die Anforderungen an Umfang und Funktionalität der dafür benötigten Informationsmodelle abgeleitet werden.

Da sowohl PEA-Hersteller als auch -Anwender befragt werden, sollen des weiteren mögliche Unterschiede zwischen den Antworten beider Gruppen untersucht werden. Auf Grund des natürlichen Zielunterschieds zwischen Käufer und Verkäufer wird die Hypothese aufgestellt, dass Hersteller und Anwender unterschiedliche Vorstellungen und Anforderungen an den Auswahlprozess besitzen [60].

3.4.2 Expertenakquise

Als Experte gilt, wer Fachwissen im Bereich der Fragestellung besitzt [38] und als “Ratgeber oder Wissensvermittler fungieren“ [24, S. 561] kann. In der Domäne der Modularisierung kommen hierbei vor allem Mitglieder der NAMUR Arbeitskreise und VDI/VDE in Frage. Hierbei handelt es sich sowohl um Vertreter der Industrie als auch der Universitäten. Die Vorauswahl und initiale Kontaktaufnahme wurde für diese Arbeit größtenteils die durch Betreuer vorgenommen. Die eigentliche Anfrage und Absprache wurde selbstständig durchgeführt.

3.4.3 Leitfadenerstellung

Zentrales Element des Interviews ist der sogenannte Leitfaden, der die Fragen, den Ablauf und Hinweise für den Interviewer beinhaltet. Die Erstellung wird in dieser Arbeit angelehnt an das “*SPSS-Prinzip*”, von Helfferich [25] durchgeführt, dass sich in die Schritte *Sammeln*, *Prüfen*, *Sortieren* und *Subsummieren* aufteilt. Die Methodik wird im Folgenden anhand dieser Schritte erläutert. Die finale Version des Leitfadens ist unter A.4, A.5, A.6 und A.7 zu finden.

Sammeln

In der Phase des Sammelns wurden zunächst alle Fragen zusammengetragen,

3 Analyse

die zu potenziellen Antworten auf die leitenden Forschungsfragen führen könnten. Auf die Qualität der Fragen wird dabei nicht geachtet. Der Pool der Fragen in dieser Arbeit ergibt sich dabei vor allem aus der Analyse der Datengrundlage in Abschnitt 3.1, sowie ersten Ideen einer konzeptionellen Umsetzung. Unter anderem zielen die Fragen darauf ab, die Möglichkeiten und Anwendungsfälle, die beispielsweise durch die NE 148 aufgezeigt werden, einzugrenzen und einen konzeptionellen Auswahlprozess an die momentanen Bedürfnisse anzupassen. Weiter stellt sich die Frage nach der Relevanz möglicher Auswahlkriterien - jenseits der unabdingbaren verfahrenstechnischen Parameter - die sich aus den aktuellen Datenquellen wie MTP oder Herstellerkatalogen ergeben. Ergänzend dazu muss geklärt werden, inwieweit eine weitere Kriterienebene auf Basis von Erfahrungswerten oder Bewertungen (wie in Abschnitt 3.1) für die Anwender eine Rolle spielt und wie hoch die Bereitschaft ist mit ggf. Firmen-Know-how zu partizipieren. Ein weiterer Fragenbereich ergibt sich aus der Domäne der elektronischen Beschaffung (E-Procurement). Andreßen [2] sieht in seiner Arbeit mögliche Produktivitätssteigerungen durch das Einsparen von Prozessschritten im Bestellprozess. Denkbar sind unter anderem direkte Bestellungen von bestellberechtigten Mitarbeitern. Dafür ist die Frage zu klären, ob eine gewisse Automatisierung auch im Bereich der PEA-Bestellungen anwendbar und zu den bestehenden, jeweiligen Firmenprozessen kompatibel ist.

Prüfen

In der zweiten Phase werden die gesammelten Fragen unter verschiedenen Prüfparametern auf ihre Brauchbarkeit geprüft. Dies reduziert und strukturiert die Liste an Fragen. Für diese Arbeit wurde als primärer Prüfparameter der Bezug auf die Leitfragen gewählt (P1). Fragen, die keinen oder nur einen geringen Beitrag zur Beantwortung der leitenden Forschungsfragen haben, fallen heraus. Als zweiter Parameter wurde die Wissensgenerierung der Fragen ausgewählt (P2). Alle Fragen, die nur Vorwissen bestätigen, generieren kein Mehrwissen und müssen daher verworfen werden [25].

Nach einer ersten Filterung durch P1 und P2, wurden die Fragen für diese Arbeit zusätzlich unter dem Aspekt der Vergleichbarkeit geprüft. Um die Antworten der Experten in der Endauswertung miteinander vergleichen und die Hypothese verifizieren oder falsifizieren zu können, ist ein gewisser Grad an Standardisierung erforderlich. Als Ansatz bieten sich hierbei Zahlenskalen an, mit denen bspw. Relevanz oder Zustimmungen festgehalten und einfach

3 Analyse

verglichen werden können. Im Zuge dessen wurden - soweit möglich - Fragen umformuliert und um eine einheitliche Skala von eins bis fünf ergänzt.

Sortieren

Nach der Eignungsprüfung des Fragenkatalogs werden die Fragen zu sogenannten Bündeln zusammengefasst. Dies geschieht entweder auf Basis von Zeitbereichen oder inhaltlichen Aspekten und soll letztendlich zu maximal ein bis vier Bündeln führen. Im Fall dieser Arbeit wurden die Fragen auf die vier Bündel *Auswahlprozess*, *Funktionsumfang*, *Architektur* und *Auswahlkriterien* aufgeteilt. Fragen des „Auswahlprozessbündels“ zielen auf die Nutzungsgründe, Nutzungsmodus und Ablauf ab, wohingegen die Fragen des „Funktionsumfangbündels“ auf die Zusatzfunktionen und genauere Ausgestaltung des Auswahlprozesses eingehen. Architekturfragen beziehen sich wiederum auf den technischen Aufbau, während das „Auswahlkriterienbündel“ Fragen zur Relevanz vorhandener und Notwendigkeit nicht vorhandener Datenpunkte für die Auswahl beinhaltet.

Subsummieren

Im letzten Schritt des Verfahrens wird für jedes Bündel versucht eine Erzähl-aufforderung zu finden. Gemeint ist damit ein Impuls, der die interviewten Experten zu einer möglichst ausführlichen Erzählung anregt, die die „subsummierten⁶“ Aspekte von alleine abdeckt. Des Weiteren ist darauf zu achten Prä-suppositionen⁷ zu vermeiden und weitere Impulse für stockende oder abgeschlossene Erzählungen festzuhalten.

Da im Fall dieser Interviewreihe die Vergleichbarkeit im Vordergrund steht, besitzen möglichst ausführliche Erzählungen durch die Experten eher eine geringe Relevanz. Im Vordergrund steht die Verständlichkeit der Fragen, für die ergänzende oder umformulierte Sekundärfragen, sowie Begriffserklärungen hinzugefügt wurden.

3.4.4 Ergebnisse

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der durchgeführten Interviews, gruppiert nach ihren jeweiligen Kategorien bzw. Bündeln, aufgelistet und analysiert wer-

⁶Im Kontext von Helfferich [25]: untergeordneten

⁷stillschweigende Voraussetzung

3 Analyse

den. Am Interview nahmen insgesamt **neun** Experten teil. Darunter befanden sich **zwei** Hersteller, **sechs** Anwender und **ein** Experte in der Rolle des Anwenders und Herstellers zugleich.

Die quantitativen Ergebnisse der einzelnen Kategorien sind in Graphenform in den Abbildungen 3.2 bis 3.5 dargestellt. Die in den Graphen verwendete Zahlenskala bezieht sich dabei je nach Frage auf die Relevanz, Häufigkeit oder Zustimmung. Am Beispiel der Zustimmung entspricht 1 der Haltung „*sehr ablehnend*“, 3 der Haltung „*neutral*“ und 5 der Haltung „*sehr zustimmend*“. Der Kennwert n gibt die Anzahl an Antworten ohne Enthaltungen an, während $\bar{\emptyset}$ dem Mittelwert der Antworten entspricht.

Die Auswertungstabelle, sowie die zugrundeliegenden, anonymisierten Protokolle sind auf der beiliegenden CD abgelegt.

Auswahlprozess

Das erste Ergebnis der Interviews ist der Fokus der Mehrheit auf den Use Case der Planung neuer Anlagen, sowie der Funktionsänderung bestehender Anlagen bzw. Mehrzweckanlagen. Die Häufigkeit der Use-Case-Optimierung ist hingegen umstritten. Betrachtet man die Antwortkonstellationen zu den Use Cases der jeweiligen Experten, so lassen sich zwei grobe Typen ausmachen. Typ I plant häufig neue Anlagen und lässt ggf. Optimierungen oder Funktionsänderungen außen vor. Typ II setzt hingegen mehr das Prinzip der Mehrzweckanlage und hat seinen Fokus vor allem auf der Funktionsänderung. Typ I hält damit mehr an der klassischen Denkweise bei der Planung fest, wo hingegen Typ II schon der modularen Denkweise folgt.

Diese zwei Typen lassen sich bei Betrachtung der eingeschätzten Häufigkeit für die Bezugsquellen ausmachen. Hierbei stehen für Typ II vor allem die Wiederverwendung von PEAs und somit der Aufbau eines PEA-Pools im Vordergrund. Dies fällt für Typ I weg. Hervorzuheben ist außerdem die Option PEAs zu lassen. In den Gesprächen wurde hier der Use Case zeitlich begrenzter Einsätze von selten spezielleren PEAs in Mehrzweckanlagen oder Tests in Versuchsanlagen angegeben. Es sind somit sowohl (digitale) Herstellerkataloge, als auch bestehende PEA-Pools, sowie bestehende modulare Anlagen im Auswahlprozess zu berücksichtigen.

Die Relevanz von Typ III PEAs wurde hingegen einheitlich als niedrig eingestuft. Ein mehrschichtiger Auswahlprozess, bei dem funktionale Einheiten getauscht werden können, ist auf Grund der Komplexität nicht gewünscht. Es

3 Analyse

wurde angemerkt, dass dies keinen Mehrwert böte. Daher wird diese Art von Auswahlprozess im Folgenden nicht weiter beachtet.

Der Nutzen eines schrittweise geführten Auswahlprozesses wurde mehrheitlich bestätigt und sich ein solches Verfahren ausdrücklich gewünscht. Aus diesem Grund steht ein derartiger Auswahlprozess für folgende Überlegungen im Vordergrund.

Bei der Frage nach dem primären bzw. initialen Kriterium bei der Auswahl wurde eindeutig die verfahrenstechnische Funktion der jeweiligen PEAs angegeben. Dabei wurde zu gleichen Teilen eine Auswahl nach Services, sowie eine Auswahl nach einer möglichen PEA-Kategorisierung gewünscht. Gleichzeitig wurde - wie zu erwarten war - die bisher fehlende Semantik von Services oder Standards bei der Kategorisierung von PEAs als Problem hervorgehoben. Die Experten, die von Services als initiales Kriterium ausgehen, äußerten den Wunsch nach einheitlichen Service-Namen, Beschreibung des Parameterraums, mathematischen Beschreibungen oder auch der internen Umsetzung⁸.

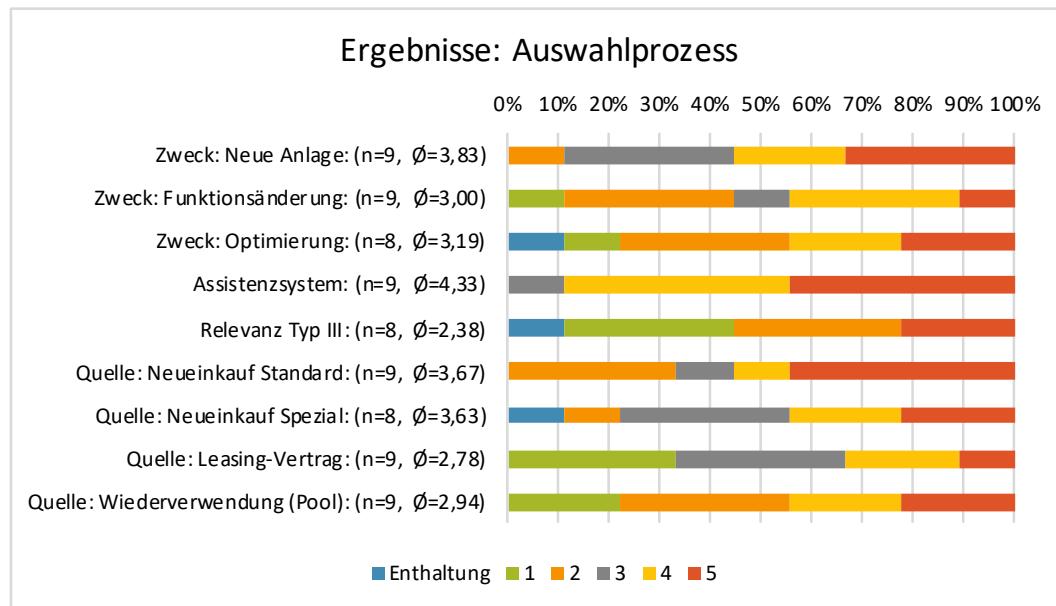


Abbildung 3.2: Quantitative Ergebnisse des „Auswahlprozess-Bündels“

⁸Als Beispiel hierfür wurde der verwendete Pumpentyp bei einem Pump-Service genannt

Funktionsumfang

Proaktive Vorschläge, wie ein Numbering-Up bei dem Erreichen von Kapazitätsgrenzen, wurden mehrheitlich eher neutral bewertet. Zum einen wurde angemerkt, dass derartige Systeme schnell dazu führen können, dass sich die Anwender nicht ernst genommen fühlen und dass zum anderen sehr gute KPI zur Umsetzung nötig wären. Ein weiterer Experte wünschte sich eher einen Fokus auf proaktive Plausibilitätstests zwischen ausgewähltem PEA und der geplanten oder bestehenden Anlage. Diese Funktionalität steht daher nicht im Vordergrund.

Die Rückkopplung von Informationen, aus bestehenden oder ehemaligen Anlagen, wurde einheitlich als eher unwichtig eingestuft. Hierbei wurde der zum Teil schwierige Zugang zu den notwendigen Daten und zum System als Problem aufgezeigt. Gleichzeitig wurde jedoch eine Art Bewertungssystem für PEAs und deren Hersteller positiv eingeschätzt. Die eine Hälfte der Experten war hierbei nur für ein firmeninternes Bewertungssystem offen, um Projektdaten, Kooperationspartner und Know-how zu schützen oder einen finanziellen Vorteil zu halten. Die andere Hälfte zeigte sich bereit, einfache Benutzerbewertungen (z. B. Sterne-System) nach verschiedenen Kategorien zu teilen. Als Beispiele wurden u. a. Stimmigkeit der Spezifikationen oder Einhaltung von Fristen durch den Hersteller genannt.

Bei dem Ergebnis eines Auswahlprozesses waren sich die Experten mehrheitlich einig, dass direkte Bestellvorgänge am Ende keine Optionen darstellen. Bestellvorgänge würden vor allem bei kleiner Stückzahl manuell gemacht werden und individuell abgewickelt werden. Wichtiger hingegen wäre die Ausgabe in Dateiform. Neben einer Übersichtsseite mit Auflistung der Eingabeparameter und der daraus resultierten Auswahl wurden einheitlich maschinenlesbare, strukturierte Daten zur Weiterverarbeitung gewünscht. Als konkretes AusgabefORMAT wurde unter anderem Excel genannt. Die Eingabedaten automatisiert als Herstelleranfrage für ein Spezial-PEA zu übermitteln wurde im Gegensatz zu einer Bestellung einheitlich zugestimmt. Lediglich die Möglichkeit der Filterung von den zu adressierenden Herstellern wurde durch einen Experten gewünscht. Als Fazit wird daher der Fokus auf den Export der Eingabe und der Auswahl gelegt.

3 Analyse

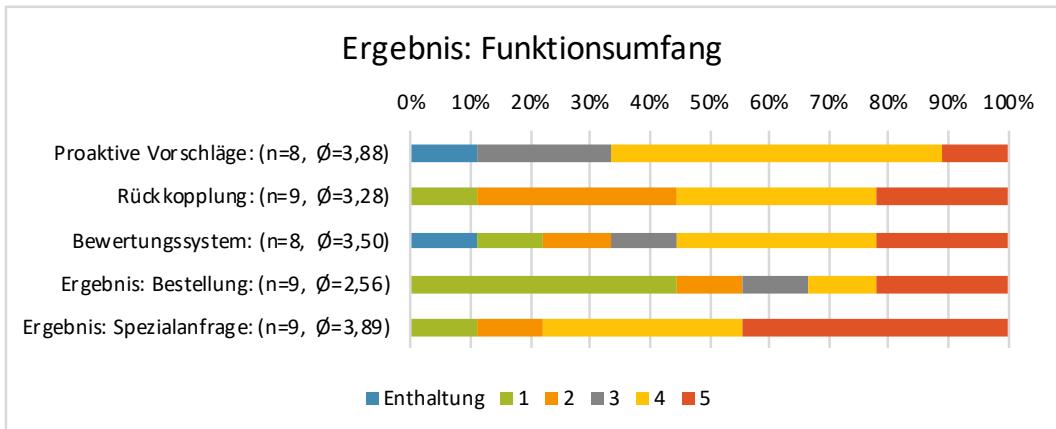


Abbildung 3.3: Quantitative Ergebnisse des „Funktionsumfang-Bündels“

Architektur

Bei den Fragen zu der technischen Architektur eines Systems zur Durchführung des Auswahlprozesses, gab es eine grundlegende Zustimmung für eine geteilte Webplattform. Als Voraussetzung dazu wurde jedoch von mindestens einem Experten die Gewährleistung von Schutz und Trennung der benutzerspezifischen Daten genannt. Die Experten, die zu einer geteilten Plattform keine oder eine niedrigere Zustimmung besaßen, waren mindestens einen Punkt gegenüber einer gemischten Lösung aus öffentlicher und firmeninterner Infrastruktur aufgeschlossener. Auswahlprozesse, Verwaltung und Datenspeicherung sollten lokal stattfinden, während über einen öffentlichen Service die Aggregierung der Firmenkataloge und ggf. ein Bewertungssystem angeboten wird. Ein Experte betonte den Wunsch nach gängigen und standardisierten Schnittstellen (APIs) für den Zugriff auf einen solchen öffentlichen Dienst. Da die Mischlösung den größeren Zuspruch erhält, wird sich im Folgenden auf diese Architektur bezo- gen.

Die Möglichkeit Auswahlprozesse zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt fortsetzen oder überprüfen zu können wurde einstimmig als sehr wichtig eingeschätzt. Als Grund wurde unter u. a. angegeben, dass verschiedene Personen mit unterschiedlichen Sichtweisen in den Auswahlprozessen einbezogen sind. Diese Funktionalität ist daher in jedem Fall im Konzept und einer Implementierung vorzusehen.

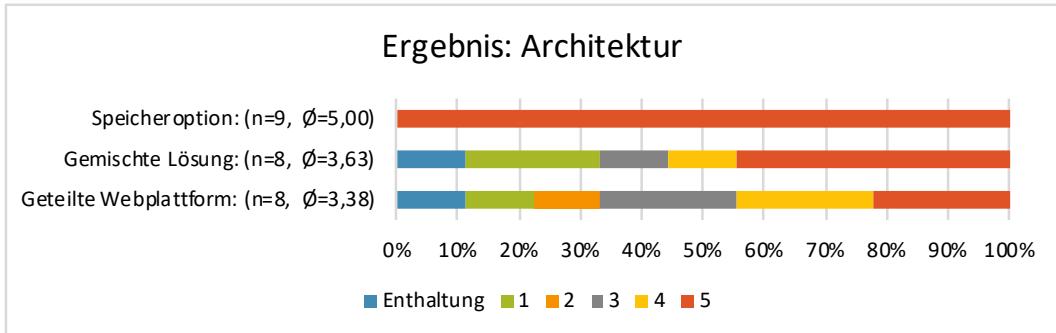


Abbildung 3.4: Quantitative Ergebnisse des „Architektur-Bündels“

Auswahlkriterien

Bei der Einordnung der zusätzlichen Auswahlkriterien, lässt sich feststellen, dass vor allem typische Herstellerangaben, wie man sie in Katalogen findet, eine höhere Wichtigkeit besitzen. Darunter fallen z. B. die PEA-Abmaße, der Beschreibungstext und alles im Bereich der Konnektivität (Energie, Stoffe, Daten). Wie im Absatz 3.4.4 angedeutet, besitzen Kriterien, für die eine Rückkopplung von Betriebsdaten oder Know-how notwendig sind, keine große Relevanz. Zwar ist ein Interesse vor allem seitens der Anwender vorhanden, aber eine zeitnahe Umsetzung wird ausgeschlossen. Im Fokus der Modellierung des unterliegenden Informationsmodells stehen daher die statischen Daten im Vordergrund.

Wünsche wurden des Weiteren für folgende Kriterien geäußert:

- Funktionsbeschreibung (FS)
- Zertifizierung / Tauglichkeitsnachweise für spezielle Einsatzgebiete (z. B. Pharmatauglichkeit)
- Simulationsmodelle
- FAT-/SAT-Listen
- 3D-Modelle
- APIs für Statusabfragen (Predictive Maintenance etc.)
- Verbaute Hardware inkl. Dokumentation

3 Analyse

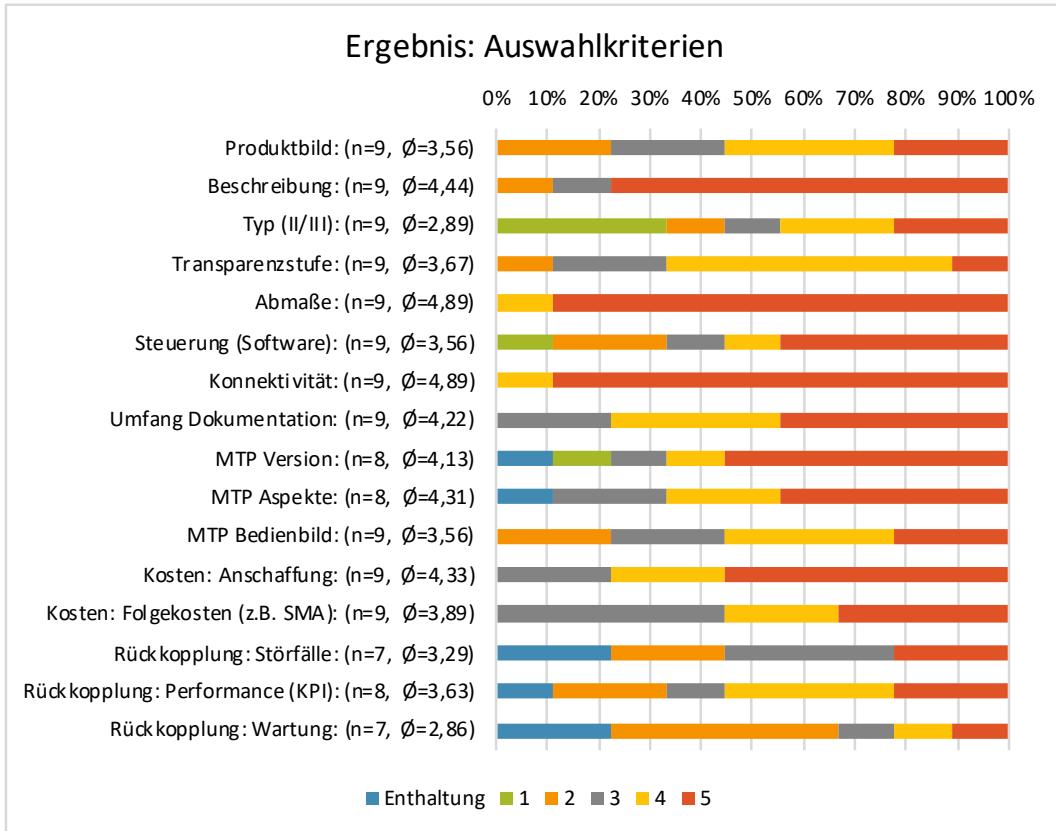


Abbildung 3.5: Quantitative Ergebnisse des „Kriterien-Bündels“

Sonstige Ergänzungen

Folgende Ergänzungen und Wünsche wurden im Zuge der Interviews geäußert:

- Es ist ggf. schwer von den Herstellern Angaben über die Preise der PEAs zu bekommen.
- Störfalldaten (geteilt über eine Plattform) sind ein interessantes Kriterium. Es herrscht jedoch wahrscheinlich nur eine geringe Bereitschaft diese Daten zu teilen.
- Informationen über Anzahl der Einsätze bestimmter PEAs oder die Angabe von Referenzen wäre eine gute Möglichkeit zur Risikoeinschätzung.

3 Analyse

- Die einzelnen Anteile der PEA-Bezugsmöglichkeiten wird sich im Laufe der Zeit ändern. Je etablierter modulare Anlagen werden, desto mehr wird bspw. auch auf neue Vertriebsformen wie Leasing gesetzt werden.
- Größere Betriebe wollen unter Umständen keinen großen, sondern einen kleinen, auf sie zugeschnittenen Katalog.
- Beschreibungstexte der Hersteller sollten im Allgemeinen nach einem Standard verfasst sein, um eine bessere Vergleichbarkeit und ein besseres Verständnis zu gewährleisten.

4 Konzept

In diesem Abschnitt wird das Konzept vorgestellt, das als Grundlage für die spätere Implementierung dient. Das Konzept baut auf dem Stand der Technik sowie der Anforderungsanalyse auf.

4.1 Konzeptionelle Systemarchitektur

In diesem Abschnitt soll eine mögliche Systemarchitektur zur Lebenszyklusunterstützung von PEAs im Bereich der Auswahl und Verwaltung im Allgemeinen beschrieben werden. Eine genauere Betrachtung der einzelnen Komponenten erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten. Ein Überblick über das System ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Insgesamt besteht das System aus mindestens zwei und maximal drei Komponenten. Einem *PEA-Manager*, einem *PEA-Portal* und ggf. *herstellereigene Backends*. Die Akteure und Use-Cases sind in Abbildung A.10 dargestellt.

Das Herzstück des Konzeptes ist der PEA-Manager, genau abgebildet in Ab-

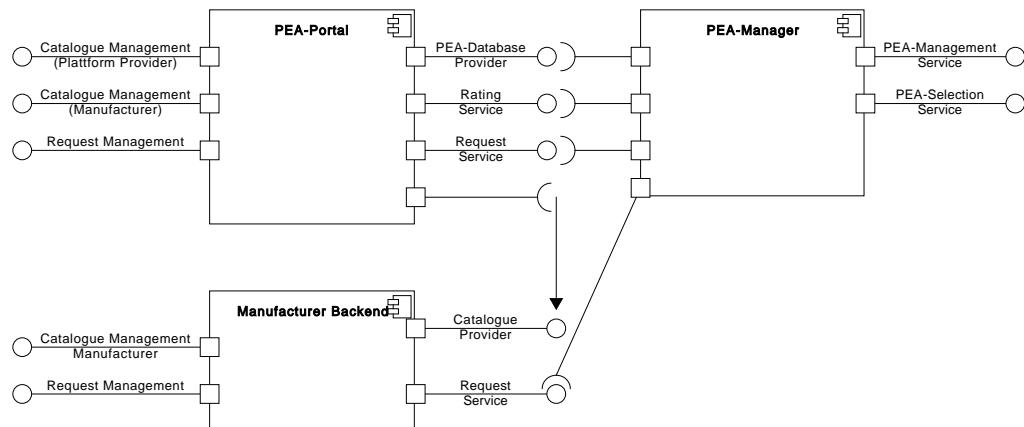


Abbildung 4.1: UML-Komponentendiagramm des konzeptionellen Systems

4 Konzept

bildung A.8. Dieser ist die zentrale Schnittstelle für den Anwender um Auswahlprozesse durchzuführen sowie den bestehenden PEA-Pool zu verwalten und zu überwachen. Die Interaktion zwischen PEA-Manager und Anwender wird über eine bereitgestellte grafische Benutzeroberfläche (GUI) abgewickelt. Als Datenbank für den PEA-Pool kommt eine R43ples-Instanz zum Einsatz, die die Modellinstanzen der einzelnen PEAs speichert und für den PEA-Manager zur Abfrage bereithält. Während der Laufzeit können jederzeit neue Modelle hinzugefügt, alte Modelle gelöscht und bestehende Modelle aktualisiert werden. Ist eine Revisionierung nicht erforderlich, kann R43ples durch einen einfachen Triple Store ersetzt werden.

Eine weitere, entscheidende Komponente des Systems ist das PEA-Portal, genauer abgebildet in Abbildung A.9. Dieses hat die Aufgabe, eine möglichst umfassende Datenbank standardisierter PEAs aufzubauen und für die Manager-Instanzen über eine standardisierte API (z. B. REST) zur Verfügung zu stellen. Das Portal fungiert somit als eine Art Aggregationslayer, der die Informationen der verschiedenen PEA-Hersteller an einer Stelle bündelt und wenn nötig für die Verwendung aufbereitet bzw. rationalisiert. Besitzt ein Hersteller keinen digital abfragbaren Katalog, so müssen Einträge manuell durch die Hersteller eingereicht oder manuell vom Portalbetreiber eingepflegt werden. Hierfür ist zum einen eine GUI für den Portalbetreiber zur Verwaltung als auch ein Hersteller-Portal u. A. zur Pflege der Einträge vorgesehen. Das Informationsmodell, sowie die Katalogeinträge werden, wie im PEA-Manager, durch eine R43ples-Instanz festgehalten, die die Datenbank- und Revisionierungsfunktionalität bereitstellt. Die Datenbank kann in einer weiteren Stufe um ein Bewertungssystem ergänzt werden. Ein solches System würde den Anwendern die Möglichkeit geben, Bewertungen oder für eine Bewertung notwendige Daten, über die aufgeführten PEAs, sowie deren Herstellern via PEA-Manager abzugeben. Eine weitere mögliche Ergänzung besteht in einem Anfragen-System für Spezial-PEAs. Können für einen Anwender keine passenden PEAs für dessen Anwendungsfall in der Datenbank gefunden werden, so können vom PEA-Manager ausgehenden Anfragen mit dem im Auswahlprozess eingegebenen Spezifikation automatisiert an die Hersteller geschickt werden. Diese wären dann über das Portal für die Hersteller zugänglich. Besitzen Hersteller eine Art Backend mit passender Schnittstelle, so ist auch eine direkte Kommunikation zwischen Hersteller-Backend und PEA-Manager des Anwenders denkbar. Das Portal ist somit grundsätzlich als vereinheitlichende, allgemeine Datenbank mit Ausbauoption zu einer Art Marktplatz für PEAs konzipiert.

4.2 Konzeptionelle Informationsmodelle

Um die in Abschnitt 4.1 zu beschriebene Systemarchitektur umzusetzen, sind mehrere Informationsmodelle für verschiedene Einsatzzwecke notwendig. Zum einen müssen die Grundlagen für einen standardisierten Austausch von elektronische Katalogdaten, einschließlich einheitlicher Beschreibung der darin enthaltenen PEAs, geschaffen werden. Zum anderen ist ein einheitliches Modell zum Festhalten der Betriebsphase von PEAs in modularen Anlagen erforderlich. Diese Modelle sollen im Folgenden weiter beschrieben werden.

4.2.1 Katalog- / Beschreibungsmodell

Das Beschreibungsmodell für PEAs soll sämtliche für eine Auswahl, Planung und Betrieb notwendigen Daten zusammenfassen und als Grundlage für den Auswahlprozess sowie die Verwaltung dienen. Als Vorlage für den Aufbau und den Datengehalt dienen unter anderem der E-Procurement-Standard BMEcat 2005¹ als auch das DEXPI Informationsmodell. Das vollständige Modell ist in Abbildung 4.2 dargestellt.

Der Mittelpunkt des Informationsmodells ist die Klasse *PEA*, die die eigentliche Beschreibungsfunktion übernimmt und später als eigenständiges Modell dienen kann. Sie ist an einen Eintrag in BMEcat angelehnt und vereinigt mehrere der dort vorgesehenen Aspekte. Neben den allgemeinen Informationen, die zum einen aus PEA-Namen, -Herrsteller-ID und -Beschreibung bestehen, werden auch die Spezifikationen, geschäftliche Parameter, sowie zugehörige Dokumente festgehalten.

Zu den Spezifikationen gehört zunächst eine Referenz auf einen PEA-Typen. Hier ist es vorgesehen auf eine standardisierte Klassifikation zurückzugreifen, die eine erste Beschreibung zur Funktionalität gibt. Zu einer PEA-Klasse, sollen sowohl mögliche und verpflichtende Angaben zum PEA - vor allem verfahrenstechnische Spezifikationen - als auch mögliche Servicetypen festgelegt sein. Ein solcher Standard ist zum Zeitpunkt der Entstehung dieser Arbeit nicht vorhanden. Ein Beispiel zur Umsetzung könnte der „*ecl@ss*“² Datenstandard sein. Neben der Typendefinition werden auch die vom PEA angebotenen Services abgebildet. Diese werden, dem einfacherem Zugriff halber, aus dem zugehörigen MTP übernommen und in ähnlicher Struktur nachgebildet. Services besit-

¹Vgl. <https://www.bme.de/initiativen/bmecat/bmecat-2005/>

²Vgl. <https://www.eclss.eu>

4 Konzept

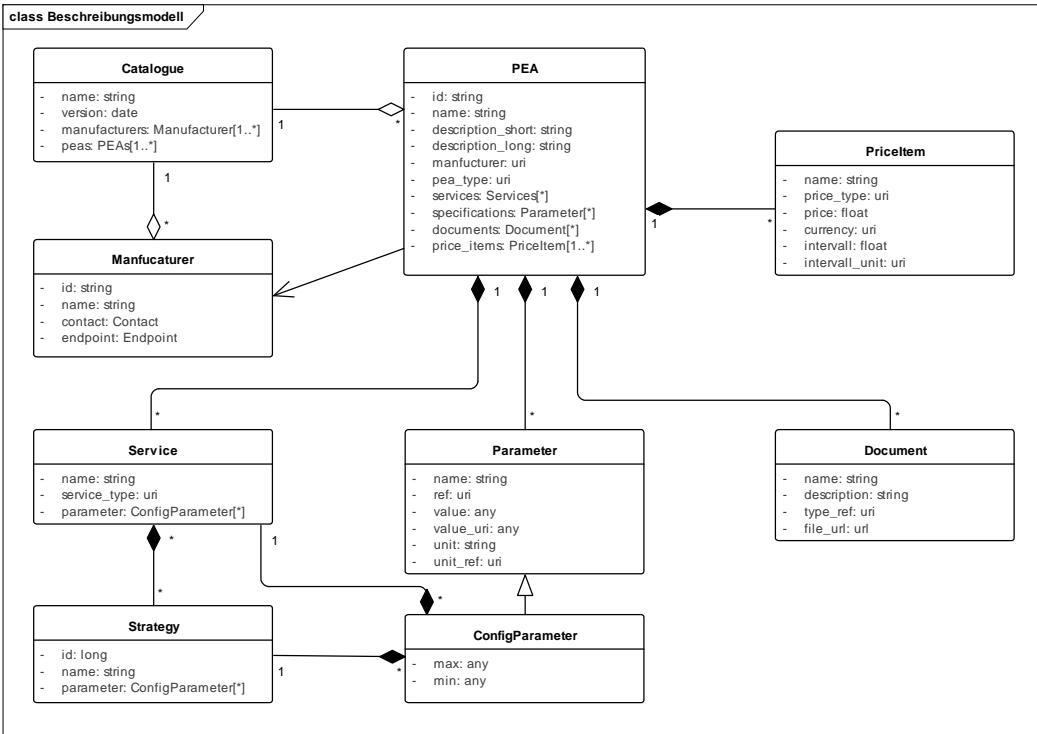


Abbildung 4.2: UML-Klassendiagramm des konzeptionellen Beschreibungsmodells

zen wie im MTP einen Namen, Konfigurationsparameter und ggf. verschiedene Strategien. Eine Strategie hat wiederum einen Namen, und weitere Konfigurationsparameter. Als Erweiterung ist ähnlich wie bei der PEA-Klassifizierung ebenfalls eine Service-Klassifizierung vorgesehen, die zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht existiert. Hiermit soll eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Services hergestellt werden. Jeder Servicetyp besitzt eine genaue Beschreibung und eine Liste an möglichen Konfigurationsparametern über die sie für ihre jeweiligen Einsätze konfiguriert werden können. Die Konfigurationsparameter (Klasse *ConfigParameter*) sind dabei eine Erweiterung der Klasse *Parameter*, die sich durch Minimal- und Maximalwert auszeichnet. Hierdurch ist es möglich die Arbeitsbereiche der Dienste angeben zu können.

Die Basisklasse *Parameter* wird dazu eingesetzt alle anderen Spezifikationen wie physikalische Maße, Anschlussmöglichkeiten, oder auch prozesstechnische Parameter wie Durchflussmengen oder Maximaltemperaturen abzudecken. Um

4 Konzept

auch hier die Angaben vergleichen zu können, wird - angelegt an das *Generic Attribute* der DEXPI-Spezifikation [52, S. 15] - sowohl der Parameter selbst, als auch die Einheit des Parameterwertes und optional der Wert an sich über eine Referenz zu einer *Reference Data Library* (RDL) eindeutig spezifiziert. Eine für diese Zwecke geeignete RDL ist von der POSC Caesar Association³ - den Initiatoren der ISO 15926⁴ - bereitgestellt. Die für Vergleichbarkeit der PEAs notwendige Rationalisierung der Parameter, also „die syntaktische und semantische Vereinheitlichung der Wertebereiche mit Hilfe eines standardisierten Beschreibungsvokabulars“ [31, S. 132], ist damit leicht umsetzbar [31]. Ein weiterer umgesetzter Aspekt sind die hier im Modell aufgeführten *PriceItems*. Diese Objekte sind als Beschreibungsmittel für die mit dem PEA verbundenen Kosten vorgesehen und sollen Einkaufspreise und Vertragskosten für Service Level Agreements (SLA) u. ä. abdecken. Der Typ des Kostenpunktes, die Währung der Preisangabe, sowie die Intervalleinheit im Falle von Verträgen sind wie auch die Parameter über eine Referenz zu einer RDL eindeutig klassifiziert.

Das letzte vorgesehene Aspekt der PEA-Klasse ist eine Referenzierung aller zum PEA verfügbaren digitalen Dokumente. Beschreibungstexte, Anleitungen, Testergebnisse u. ä. können als Instanz der Klasse *Document* hinzugefügt werden. Jedes Dokument erhält dazu einen Namen, einen Beschreibungstext, einen Dokumententyp, sowie einen Uniform Resource Locator (URL), der auf Webressourcen oder auch bspw. Dateien innerhalb eines MTPs zeigen kann. Die Typisierung der Dokumente soll später anhand des entstehenden VDI Standards 2770 erfolgen, kann jedoch zunächst auch über bestehende RDLs realisiert werden.

Neben der PEA-Klasse ist zusätzlich die Klasse *Manufacturer* vorgesehen. Diese ist an die BMEcat-Klasse *Supplier* angelehnt und soll die rudimentären Informationen zu den PEA-Herstellern abbilden. Dazu gehört u. a. der Name des Herstellers, die Kontaktdata und ein Verweis auf einen Endpoint über welches bspw. die im Konzept vorgesehenen Spezialanfragen abgewickelt werden können. Ein Endpoint kann entweder das PEA-Portal oder ein eigenes Backend sein.

Die Klasse *Catalogue* bildet den Rahmen des Informationsmodells. Sie ist die „Container-Klasse“, die alle Hersteller und deren PEAs zusammenfasst und als

³Vgl. <http://data.posccaezar.org/rdl/>

⁴Standard für Datenaustausch in der Prozessindustrie [32]

Einstiegspunkt dient. Da sich das PEA-Angebot immer wieder ändern kann, muss der Katalog dementsprechend angepasst werden. Um die Aktualität überprüfen zu können und die Revisionierung zu erleichtern, ist zusätzlich eine Versionsdatum vorgesehen.

4.2.2 Spezifikationsmodell

Um die in Abschnitt 4.1 vorgesehene Exportfunktionalität (sowie der Anfragefunktionalität) der eingegebenen Spezifikationen vor allem bei ergebnislosen Auswahlprozessen umzusetzen, ist ein einheitliches Spezifikationsmodell notwendig. Hierfür wird auf das Beschreibungsmodell aus Abschnitt 4.2.1 zurückgegriffen. Die dort vorhandene Klasse *PEA* kann nicht nur mit realen Spezifikationen bestehender PEAs gefüllt werden, sondern ebenso mit den Anforderungen der Anwender. In diesem Fall müssen lediglich die Katalog- und Herstellerklassen weggelassen. Sämtliche Angaben wie PEA-Typ, Services und Konfigurationsparameter können dann vom Hersteller als Anforderung interpretiert werden, nach denen dann ein entsprechendes PEA ausgelegt und entwickelt werden kann. Es ist somit kein eigenständiges Informationsmodell notwendig.

4.2.3 Betriebsphasenmodell

Um ein PEA in seiner Betriebsphase zu unterstützen und eine Verwaltung in dem konzeptionellen PEA-Portal desselben zu ermöglichen, müssen mehrere Informationen über den aktuellen Zustand, sowie die Vergangenheit abgebildet werden. Zu den in diesem Konzept berücksichtigten Aspekten gehören die Einsätze (*Deployments*), Konfigurationen und Wartungsereignisse. Der Fokus liegt darauf, PEAs lokalisieren, den aktuellen Status abfragen und die Verfügbarkeit im Auswahlprozess überprüfen zu können. Da auch in der Verwaltung die Daten des Beschreibungsmodells benötigt werden, ist das Betriebsphasenmodell als dessen Erweiterung gedacht. Wie beim Spezifikationsmodell wird dazu die jeweilige PEA-Klasseninstanz als Modell verwendet. Anschließend wird dieses Modell um die Aspekte *Status* und *History* erweitert. Im Bereich Status wird zunächst der aktuelle Zustand des PEAs beschrieben. Hierzu wird angegeben, wo sich das PEA momentan befindet und ob es einsatzbereit (Standby) ist, sich im Einsatz (Deployed) oder in der Wartung (Maintenance) befindet. Ausgehend von dem aktuellen Zustand kann über den Eintrag *lastDeployment* Daten zum aktuellen Einsatz oder über *lastMntEvent* zum aktuellen Wartungsereignis abgefragt werden.

4 Konzept

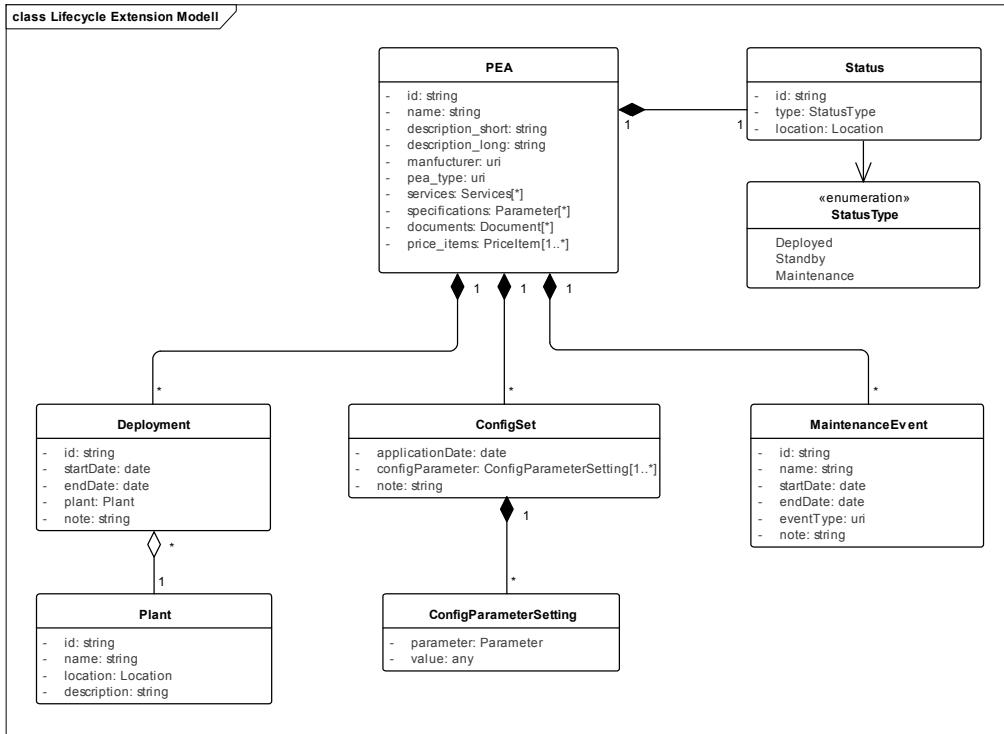


Abbildung 4.3: UML-Klassendiagramm des konzeptionellen Betriebsphasenmodells

nis abgerufen werden. Zusätzlich dazu ist es möglich die letzte Konfiguration des Moduls, also sämtliche Einstellungen zu den Konfigurationsparametern der Services abzufragen. Im Bereich History werden alle Einsätze, Wartungsergebnisse sowie Konfigurationen gespeichert, so dass jederzeit die Historie des PEAs nachvollzogen werden kann.

Um die Einsätze zu beschreiben ist die Klasse *Deployment* vorgesehen. Diese enthält ein Start- und ggf. Enddatum des Einsatzes, eine Referenz auf die modulare Anlage und eine optionale Notiz. Die zeitliche Beschreibung des Einsatzes soll als Angabe für die Verfügbarkeit im Auswahlprozess dienen, wenn im eigenen PEA-Pool gesucht wird. Die Klasse *Plant* besitzt in diesem Konzept nur einen Namen, einen Ort und eine Beschreibung. Eine genauere Beschreibung modularer Anlagen ist nicht Teil dieser Arbeit.

Die Konfiguration eines PEAs wird über *ConfigSets* festgehalten. Hierbei handelt es sich um ein Abbild der gesamten Konfiguration aller Serviceparameter,

das zu jeder Änderung einer oder mehrerer Konfigurationsparameter gespeichert wird. Zusätzlich zu der Konfiguration wird der Zeitpunkt ab dem das Set eingesetzt wurde mit abgelegt. Es ist weiterhin möglich jede Konfiguration mit einem erklärenden Kommentar zu versehen. Für die Einstellung jedes Konfigurationsparameters wird jeweils ein Tupel aus Einstellungswert und Referenz auf den Parameter aus dem Spezifikationsbereich gespeichert. Für Wartungsereignisse wird ähnlich zu den Einsätzen ein Zeitbereich mit Start- und ggf. Enddatum festgehalten. Zusätzlich dazu wird das Ereignis über eine RDL-Referenz genauer spezifiziert. Es ist außerdem möglich eine ergänzende Notiz beizufügen.

4.3 Konzeptioneller Auswahlprozess

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Aspekte des konzeptionellen Auswahlprozesses dargestellt und genauer erläutert.

4.3.1 Auswahlmodi

Da ein Auswahlprozess zu unterschiedlichen Zwecken ausgeführt werden kann, sind mehrere Auswahlmodi zu unterstützen. Diese unterscheiden sich in den notwendigen Eingabeparameter, Datenquellen und Funktionsweisen. In dieser Arbeit soll zunächst ein *manueller Auswahlmodus* als Beispiel konkretisiert werden. In diesem Modus soll der Anwender unabhängig von der Konfiguration bestehender Anlagen und dessen aktuellen Betriebsstatus über mehrere Schritte ein einzelnes Modul auf Basis seiner Spezifikationen auswählen können. In einer weiteren Ausbaustufe sind jedoch weitere Modi denkbar. Beispielsweise könnten Planungsdaten im DEXPI Format importiert und die dort hinterlegten Platzhalter mit passenden Modulen ausgestattet werden. Dies entspricht dem Schritt vom „*functional design*“ hin zur „*asset specification*“ in Abbildung 2.8. Auch eine Art Anlagenplanung, bei der mehrere PEAs nacheinander ausgewählt werden, ist denkbar.

4.3.2 Manueller Auswahlprozess

Der manuelle Auswahlprozess ist in mehrere Schritte aufgeteilt und ist in Abbildung 4.4 dargestellt⁵. Der Prozess beginnt zunächst mit der Auswahl einer PEA-Kategorie, die sich in dieser Arbeit an verfahrenstechnischen Grundoperation orientiert. Hierbei wird zunächst eine übergeordnete Kategorie wie *Thermik* oder *Mechanik* ausgewählt und anschließend der Modultyp gewählt. Drei Beispiele dieser Einordnung:

- **Mechanik** ⇒ Fördern, Dosieren, Mischen...
- **Thermik** ⇒ Temperieren, Destillieren, Extrahieren...
- **Chemie** ⇒ Reaktion...

Im nächsten Schritt bekommt der Anwender die Möglichkeit, die spezifischen verfahrenstechnischen Spezifikationen über Eingabefelder einzutragen. Die möglichen Parametereingabefelder werden dynamisch je nach Grundoperationstyp eingeblendet. Die Menge an angezeigten Parametern ergibt sich dabei aus allen PEA-Katalogeinträgen des entsprechenden Typs, bzw. deren verwendeten Parametern. Des Weiteren kann die Liste durch Merkmalslisten des entsprechenden Typenklassen ergänzt werden, sofern diese spezifiziert wurden. Im folgenden Schritt hat der Anwender die Möglichkeit aus den verschiedenen zur Verfügung stehenden Diensten auszuwählen und anschließend zu parametrieren bzw. die benötigten Parameterräume in Form von u. a. Minimal- und Maximalwerten festzulegen. Die Auswahl an Diensten ergibt sich, wie die Parameter, aus dem Katalog und den Typenklassen. Im letzten Schritt bekommt der Anwender die Möglichkeit zusätzliche Filter zu ergänzen. Hierbei können Parameter wie Preisrahmen, Bezugsquelle oder MTP-Version eingetragen werden, um die Auswahl einzuschränken. Es ist jederzeit möglich den Auswahlprozess zu beenden, die aktuelle Session zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt fortzusetzen. Des Weiteren ist es möglich zwischen den einzelnen Schritten vor- und zurückzuspringen um jederzeit die Auswahl anzupassen und zu verfeinern. Bisher getätigte Eingaben werden dabei grundsätzlich gespeichert. Springt ein Anwender einen Schritt zurück und nimmt dort eine Änderung vor, die mit den

⁵Zur einfacheren Verständlichkeit und besseren Darstellung wurde die Wiederaufnahme und Unterbrechung des Prozesses nicht für jeden Schritt dargestellt. Eine Vollständige Darstellung ist auf der beiliegenden CD ablegt.

bisher eingegebenen Daten späterer Schritte im Widerspruch steht, so erhält dieser eine Warnung. Wechselt der Anwender beispielsweise den PEA-Typen, so werden alle Eingaben zu inkompatiblen Spezifikationen gelöscht. Diese Regeln sind programmatisch festgelegt. Der Anwender hat nun die Möglichkeit, seine Änderung rückgängig zu machen oder die Löschung zu bestätigen.

Ergebnis Nachdem alle Spezifikationen und Auswahlparameter in den Auswahlassistenten eingegeben worden sind, ergeben sich zwei mögliche Szenarien. Sind im PEA-Katalog PEAs hinterlegt, die den Nutzeranforderungen entsprechen, so werden diese in einem Ergebnisfenster für einen Vergleich und Endauswahl dargestellt. Der User hat nun die Möglichkeit die für ihn relevanten PEAs auszuwählen und das Ergebnis zu exportieren. Sind keine kompatiblen PEAs verfügbar, so stellt das System den Anwender vor die Auswahl, die nächst besten Treffer angezeigt zu bekommen oder stattdessen die eingegebenen Spezifikationen zu exportieren. Entscheidet sich der Anwender für die Anzeige der Teiltreffer, so werden diese ebenfalls in einem Vergleichsfenster angezeigt und die entsprechenden Konflikte zwischen PEA-Spezifikation und Nutzeranforderung hervorgehoben.

Der Export erfolgt sowohl in Form von maschinenlesbaren Dateiformaten zur Weiterverwendung in anderen CAE-Tools, als auch in „anwenderfreundliche“ Dateiformaten zur Übersicht und ggf. eigenständigen Weiterbearbeitung. Hierfür sind zunächst XML-basierte Dateiformate, PDF-Formulare oder auch Excel-Dateien vorgesehen. In dem Fall des Spezifikationsexports ist neben dem Dateiexport auch eine automatisierte Weiterleitung einer solchen Spezifikationsdatei an ausgewählte PEA-Hersteller denkbar. Dies erspart die manuelle Übermittlung an die jeweiligen Hersteller und kann den Planungsprozess beschleunigen.

Ein direkter Bestellprozess aus dem Auswahlprozess heraus ist hingegen zuerst nicht vorgesehen. Dieser wurde weitestgehend durch die befragten Experten auf Grund von Inkompatibilitäten zu firmeninternen Strukturen und Planungsprozessen abgelehnt. Im Vordergrund steht hier daher der Export in Dateiformate, die anschließend an den Planungsprozess den zuständigen Instanzen wie beispielsweise dem Einkauf übermittelt werden können.

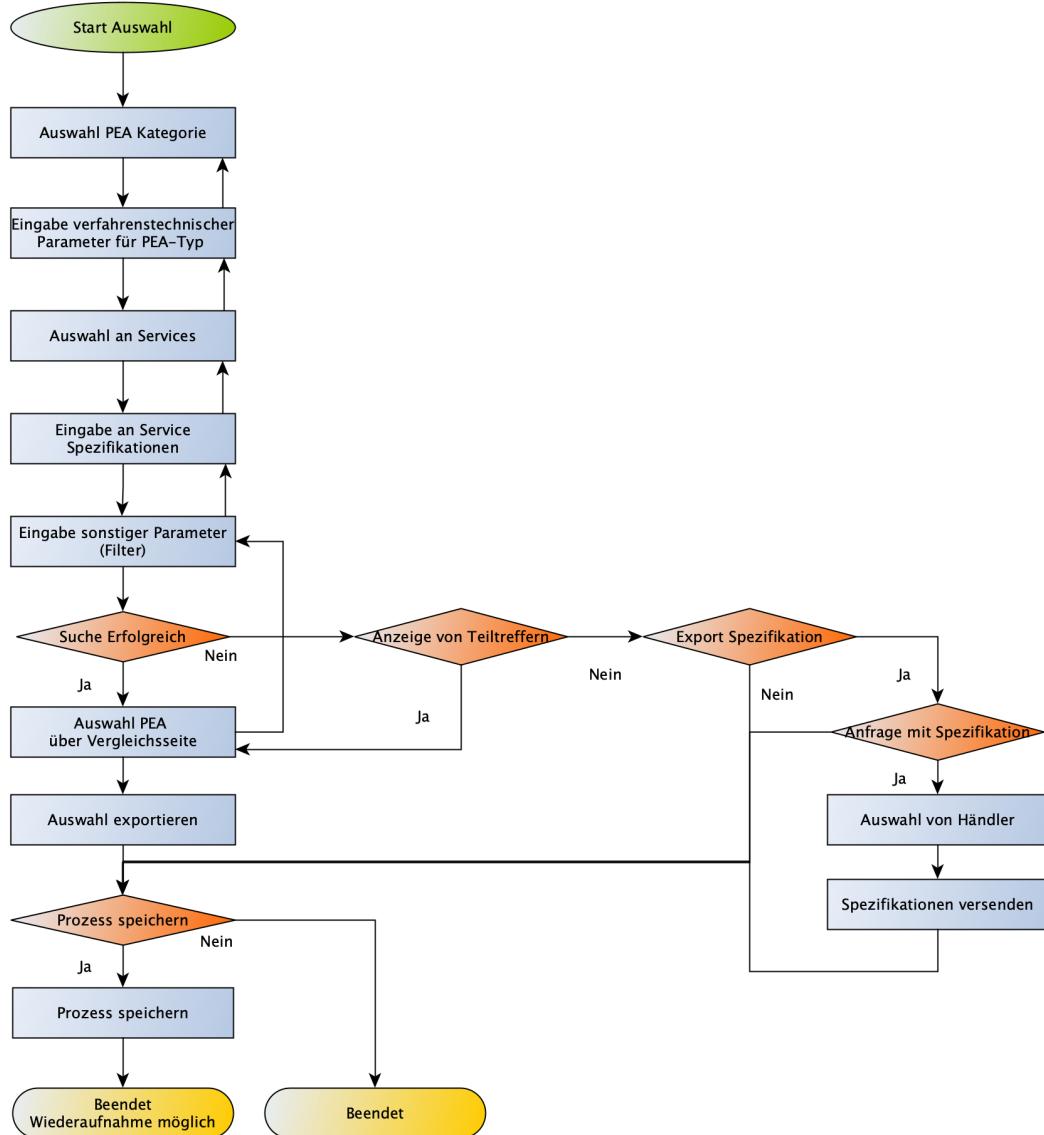


Abbildung 4.4: Ablaufplan: Manueller Auswahlprozess

5 Implementierung

Dieses Abschnitt befasst sich mit der Implementierung des im vorherigen Abschnitt vorgestellten Konzepts. Es wird auf die zwei implementierten Softwarekomponenten *spec2rdl* und *PEA-Manager* genauer eingegangen und deren Aufbau und Funktion erläutert. In Abbildung 5.1 sind alle Komponenten, Ein- und Ausgabedateien sowie der Workflow der Implementierung schematisch dargestellt. Der Sourcecode sowie die notwendigen Datenmodelle, einschließlich der Ontologie, sind in einem lehrstuhlinternen Git Repository unter https://dev.plt.et.tu-dresden.de/jfunke/da_pea_lifecycle_tools abrufbar. Die Anleitungen für die Inbetriebnahme aller Tools sind sowohl auf der beiliegenden CD, als auch in dem Repository zu finden.

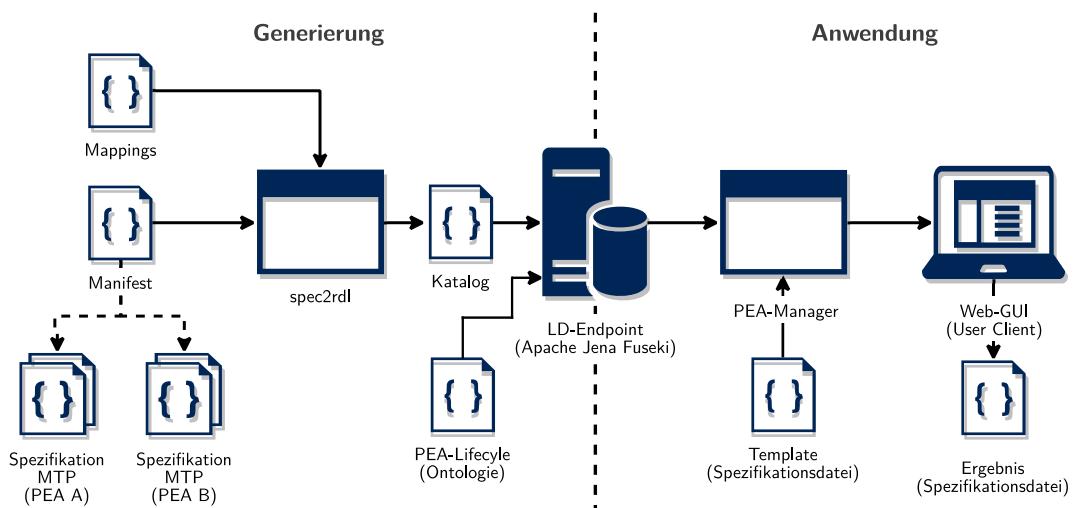


Abbildung 5.1: Übersicht über Komponenten der Implementierung

5.1 Katalog Generator (spec2rdl)

Um den PEA-Manager betreiben zu können, ist es notwendig eine Bezugsquelle, wie einen Katalog, für PEAs bzw. deren Informationsmodelle vorliegen zu haben. Um die Generierung eines Katalogs als solche zu vereinfachen und Fehler zu vermeiden, wurde ein Generationenskript auf Basis von Python 3 geschrieben. Hauptaufgabe des Skripts ist es aus der Kombination einer Spezifikations- sowie der entsprechenden MTP-Datei eine semantisch korrekte Repräsentation eines PEAs nach der in Abschnitt 4.2.1 beschriebenen Ontologie zu generieren. Neben den Standard-Python3-Bibliotheken kommen zusätzlichen *openpyxl*¹, *rdflib*² und eine angepasste Version des am Lehrstuhl entwickelten Skripts *Topologie Generation*³ zum Einsatz. *rdflib* übernimmt die Aufgabe der Generierung einer für eine Triple-Store kompatiblen Turtle⁴-Datei. *openpyxl* übernimmt das Parsen der Spezifikationsdatei, die als Excel-Tabelle vorliegt. Da Excel ein Standard in der Industrie, sowie auch ein Wunschformat der Experten ist, wurde auf ein anderes Format für diese prototypische Umsetzung verzichtet. Es ist jedoch möglich andere Eingabeformate durch eine Erweiterung der Einleseroutine zu unterstützen. Das Skript *Topology Generation* dient dazu, die Services, deren Strategien und Parameter auszulesen und das Datenmodell um diese Informationen zu ergänzen.

5.1.1 Mappings

Um schnell und reproduzierbar Einheitentypen für die Spezifikationen oder Preiselemente während der Generation der LD-Repräsentation des Katalogs hinzufügen zu können, werden sämtliche Mappings zwischen den Textrepräsentationen von Einheiten und den beschreibenden LD-Individuals in einer JSON-Datei festgehalten. Ein Beispiel ist in dem Auszug in Listing 5.1 dargestellt. Neben den Einheiten- und Währungsmappings sind des Weiteren alle Präfixe der verwendeten Namespaces dort festgehalten.

¹Vgl. <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/#>

²Vgl. <https://rdflib.readthedocs.io/en/stable/>

³Vgl. dev.plt.et.tu-dresden.de/abb_bayer/TopologyGeneration

⁴Vgl. <https://www.w3.org/TR/turtle/>

Listing 5.1: Auszug aus Mappings.json

```
1 {  
2     "units": [  
3         {  
4             "names": [  
5                 "millimeter",  
6                 "mm"  
7             ],  
8             "resource": "RDS1357739",  
9             "prefix": "rdl"  
10        }],  
11        "prefixes": {  
12            "dbr": "http://dbpedia.org/resource/",  
13            "rdl": "http://data.posccaezar.org/rdl/"  
14        }  
}
```

5.1.2 Manifest

Das Manifest ist die zentrale Datei der Katalogerstellung. Ein Auszug aus dem für diese Arbeit verwendeten Manifest ist in Listing 5.2 beispielhaft dargestellt. In ihr werden alle PEAs, sowie deren Hersteller referenziert. Für jeden PEA-Eintrag im Katalog ist jeweils ein Name sowie der Pfad zu der zugehörigen Spezifikationsdatei und zu dem entsprechenden MTP anzugeben. Ergänzend dazu muss zu jedem in dem Spezifikationsdatei über einen Code referenzierten Hersteller ein Eintrag mit den Kontaktdataen existieren. Auf die Angabe eines (Hersteller-)Endpoints für automatisierte Anfragen- oder Bestellungsprozesse wurde in dieser prototypischen Implementierung verzichtet. Dank der einfachen Erweiterbarkeit des JSONs ist eine spätere Ergänzung ohne Weiteres möglich.

Listing 5.2: Auszug aus Manifest.json

```
1  {
2      "name": "Demo Catalogue",
3      "description": "This a demo catalogue consisting of
4          three PEAs located in the P20 Lab",
5      "peas": [
6          {
7              "name": "Unistat 510w",
8              "spec": "Unistat.xlsx",
9              "mtp": "Huber.mtp"
10         }
11     ],
12     "manufacturers": [
13         {
14             "name": "Peter Huber Kaeltemaschinenbau AG",
15             "code": "huber",
16             "contact": {
17                 "email": "info@huber-online.com",
18                 "phone": "0781/9603-0",
19                 "fax": "0781/57211"
20             },
21             "address": {
22                 "street": "Werner-von-Siemens-Strasse 1",
23                 "city": "Offenburg",
24                 "zipCode": "77656",
25                 "countryCode": "DE"
26             }
27         }
28     ]
29 }
```

5.1.3 Spezifikationsdatei

Ein Auszug einer notwendigen Spezifikationsdatei ist in Tabelle 5.1 dargestellt. Die Daten einer Spezifikationsdatei sind gruppiert und teilen sich in die Kategorien *General*, *Specifications*, *ConfigParameters*, *PriceItems*, *Documents* auf. Jede Kategorie wird dabei in einem gleichnamigen Excel-Blatt abgelegt. Im folgenden wird auf die jeweils enthaltenen Informationen eingegangen:

- **General:** Diese Sektion beinhaltet die allgemeinen Informationen über das PEA, wie Name Beschreibung oder auch die Produkt-ID (Bestellnummer o. ä.). Des Weiteren ist der Pfad zu dem zugehörigen MTP, sowie eine Hersteller-ID hinterlegt.
- **Specifications:** In dieser Sektion werden alle Spezifikationen des PEA eingetragen. Dazu gehört der Name, der Typ, der Wert und ggf. die Einheit. Für den Typ muss eine URI für eine LD-Entität des Typs *Single-PropertyDimension* nach der *ISO 159262 Ontologie* eingetragen werden. Wird wie im Beispiel ein Präfix wie *rdl* verwendet, so ist es notwendig, dieses in der Mapping-Datei einzutragen. Die Einheiten-Typen für die LD-Repräsentation werden durch das Generationsskript ergänzt. Hierzu muss in manchen Fällen ggf. die Mapping-Datei erweitert werden.
- **ConfigParameter:** In ConfigParameters können alle konfigurierbaren Serviceparameter eingetragen werden. Entscheidend für die Generierung ist die Angabe der Einheit sowie der Minimal- und Maximalwert des Parameters. Diese können aus dem MTP nicht automatisiert ausgelesen werden, da die Angaben z. B. auf OPC-UA-Nodes verweisen, die nur zur Laufzeit ausgelesen werden können.
- **PriceItems:** Dieses Sektion beinhaltet alle Preise, die der Hersteller für ein PEA und zugehörige Services verlangt. In dieser prototypischen Implementation wurde dabei auf die notwendigen Spalten für wiederkehrende Zahlungen, hier bspw. Verträge, verzichtet.
- **Documents:** Unter *Documents* können alle zum PEA gehörenden Dokumente und Dateien eingetragen werden. Wichtig ist hierbei die Angabe der URL und dem Dokumententyp. Eine URL kann hierbei auf eine Webressource oder auch auf Inhalte des MTPs verweisen, gekennzeichnet durch das Protokoll⁵.

⁵Verweis auf Web: *http://*; Verweis auf MTP: *mtp://*

Tabelle 5.1: Auszug aus Spezifikationsdatei für Unistat 510w

General			
Name	Value		
Name	Unistat 510w		
ID	1005.0061.01		
Description_Short	Hydraulisch dichter Kälte-Wärme Umwälzthermostat		
Description_Long	Das Uniwälztermostat ...		
Manufacturer	huber		
MTP	./Huber.mtp		
Type	Temper		

Specifications			
Name	RDL	Value	Category
Weight	RDS566894	139	kg
IP_Class	RDS206324	RDS473990	General
Height	RDS57704	1201	mm
Width	RDS361709	460	mm
Depth	RDS357704	554	mm

ConfigParameter			
Name	Service	Strategy	Unit
RampDuration	Tempering	SetPointRampTempering	seconds
RampEndTemperature	Tempering	SetPointRampTempering	°C
Setpoint	Tempering	ContinuousTempering	°C

PriceItems			
Name	Type	Price	Currency
Einkaufspreis	rdl:RDS7946120	20.000	€

Documents			
Name	Description	Language	Uri
Spezifikationsblatt	Herrstellerangaben	EN	rdl:RDS17667079 https://www.huber-online.com/...
Bedienungsanleitung Unistat	Bedienungsanleitung für alle Unistat Modulle	DE	rdl:RDS13115384 https://www.huber-online.com/...

5.2 PEA-Manager

PEA-Manager ist eine prototypische Teilimplementierung des in Abschnitt 4.1 gleichnamigen Konzeptes. Es handelt sich hierbei um eine eigenständige Java-8-Anwendung, die den in Abschnitt 4.3.2 vorgestellten manuellen Auswahlprozess implementiert. Dazu stellt die Anwendung eine graphische, webbasierte Oberfläche zur Verfügung.

5.2.1 Verwendete Bibliotheken

Um den geforderten Funktionsumfang umsetzen zu können, wurde wie bei *spec2rdl* auf externe Bibliotheken zurückgegriffen. Diese ermöglichen hauptsächlich die Bereitstellung des Webinterfaces und die Verarbeitung der durch das LD-Backend in JSON bereitgestellten Daten. Alle weiteren (internen) Funktionalitäten sind durch den nativen Java-8 Befehlssatz abgedeckt.

1. **Spark**⁶: Micro Web Framework, das das erstellen von RESTful APIs in Java und Kotlin erlaubt. Stellt statische Dateien zur Verfügung und bindet Jtwig ein.
2. **Jtwig**⁷: Template Engine, die das dynamische Rendern von Seiten-Templates über Platzhalter und Skriptbefehle ermöglicht.
3. **Materialize**⁸: CSS-Framework, das eine einfache, schnelle Gestaltung von Webinterfaces ermöglicht.
4. **JSON in Java**⁹: JSON-Bibliothek, die das Parsen und Erstellen von JSON-Dateien innerhalb von Java ermöglicht.
5. **Apache POI**¹⁰ - Bibliothek zum Erstellen und Bearbeiten von Microsoft Office Dokumenten, einschließlich Excel.
6. **jQuery**¹¹ - JavaScript-Bibliothek, die u. a. das Manipulieren von HTML-Elementen erleichtert.

⁶Vgl. <http://sparkjava.com>

⁷Vgl. <http://jtwig.org>

⁸Vgl. <https://materializecss.com>

⁹Vgl. <http://json.org>

¹⁰Vgl. <https://poi.apache.org>

¹¹Vgl. <https://jquery.com>

5.2.2 Verwendung

Der PEA-Manager ist nach der Initialisierungsphase unter dem Port `2018` unter Host-Adresse des ausführenden Systems verfügbar - im Falle einer lokalen Installation: `http://localhost:2018`. Da der PEA-Manager für die Auswahlprozesse eine Datenquelle mit PEA-Datenmodellen benötigt, muss der entsprechende LD-Endpoint gestartet und verfügbar sein. Der Endpoint kann über eine Konfigurationsdatei im Hauptverzeichnis gesetzt werden.

Nach dem Aufrufen der Startseite erreicht der Anwender über einen Button den Auswahlmodus. Von dort aus kann der Anwender die manuelle Auswahl starten und wird anschließend durch die einzelnen Schritte geführt. Alle anderen Auswahlprozesse bzw. Modi sind mockup-artig mit aufgeführt, jedoch deaktiviert. Der Screenshot in Abbildung 5.2 zeigt die Startseite des Auswahlmodus der Anwendung mit vorausgewählten manuellen Auswahlverfahren.



Abbildung 5.2: Screenshot: Auswahl des Modus (Auszug)

5.2.3 Auswahlprozess

Der umgesetzte manuelle Auswahlprozess orientiert sich bei dem Ablauf an dem im Abschnitt 4.3.2 vorgestellt Konzept. Im Folgenden wird auf Umsetzung der einzelnen Schritte bzw. Programmphasen kurz eingegangen.

1. **Initialisierung:** Bei Programmstart wird zunächst der aktuelle Katalog über mehrere SPARQL-Anfragen aus dem LD-Backend geladen und in Instanzen von Java-Klassen nachgebildet, die der Ontologie entsprechen. Im Anschluss daran werden alle Typ-Referenzen nach ihren URIs aufgelöst. Die eigentliche Katalogabfrage findet über statische, die Typenauflösung über dynamische SPARQL-Anfragen statt. Für die dynamischen Anfragen kommen dafür Templates mit Platzhaltern¹² zum Einsatz. Des Weiteren wird die Kategorisierung von PEAs geladen, die für die prototypische Umsetzung hartkodiert vorliegt. Nach Abschluss dieser Phase wird die Weboberfläche freigeschaltet und steht dem Anwender zur Verfügung.
2. **Wahl des Auswahlmodus:** Ruft der Nutzer die Startseite des Auswahlprozesses auf, so wird zunächst eine neue Session gestartet, die während des Prozesses als Speicher für sämtliche Nutzereingaben dient. Nun hat der Nutzer die Möglichkeit den manuellen Auswahlprozesses zu starten.
3. **Auswahl Datenquellen / Auswahl PEA-Kategorie:** Ist die manuelle Auswahl gestartet, so muss der Nutzer nun zunächst wählen, welche Datenquellen für die Suche berücksichtigt werden sollen. In der prototypischen Umsetzung, kann nur aus einem Beispielkatalog ausgewählt werden. Des Weiteren wählt der Nutzer nun eines der vordefinierten verfahrenstechnischen Gebiete und anschließend einen der zugehörigen Modultypen. Die entsprechenden Menüs werden dynamisch aus der geladenen Typisierung beim Seitenaufruf generiert.
4. **Eingabe der Spezifikationen:** Im nächsten Schritt gibt der Anwender seine Spezifikationsanforderungen über Dropdown-Auswahllisten und Eingabemasken ein. Die spezifizierbaren Parameter werden wie im Konzept den PEA-Typen und dem Katalog entnommen. Sämtliche Eingaben werden dann nach Typen-URI gespeichert.

¹²Die Platzhalterkodierung ist an Jtwig angelehnt und erfolgt nach folgendem Schema:
{{ PLATZHALTER }}

5. **Eingabe der Service-Spezifikationen:** Nach der Eingabe der allgemeinen Spezifikationen das Vorhandensein eines Services, eine spezifische Kenngröße oder ein Arbeitsbereich eingetragen werden.
6. **Auswahl:** Ruft der Anwender die Resultatseite auf, so werden zunächst im Hintergrund alle Nutzereingaben mit dem vorhandenen Katalog abgeglichen und aus dem Ergebnis die Seite generiert. Der Abgleich erfolgt intern ohne Zuhilfenahme des LD-Endpoints. Dabei wird über alle im Katalog gespeicherten PEAs, die der Typenvorgabe des Nutzer entsprechen, iteriert. Für jeden PEA-Eintrag wird dabei jeweils über die Nutzereingaben iteriert und die einzelnen Vorgaben mit den gespeicherten Werten nach Nutzervorgabe¹³ verglichen. Das Mapping zwischen Kata logspezifikation und Nutzereingabe erfolgt über die URI der abgelegten Typ-Referenzen. Das Ergebnis wird tabellarisch dargestellt. In dieser Ta belle sind für alle Spezifikationen, für die im Auswahlprozess eine Vorgabe gemacht wurden, die Angaben der jeweiligen PEAs aufgelistet. Eine Kompatibilität wird über den farbigen Hintergrund der einzelnen Zellen dargestellt.
7. **Export:** Möchte der Anwender seine Eingaben oder das Ergebnis exportieren, so kann er den Export starten. Hierfür wird im Hintergrund ein Excel-Template, basierend auf der Spezifikationsdatei, entweder mit den Nutzereingaben oder Katalogdaten gefüllt. Das Ergebnis wird dem Nutzer anschließend als Download angeboten.

5.2.4 Einschränkungen

Der Fokus der Implementierung liegt in der Datengenerierung und dem prototypischen Umsetzen eines Auswahlprozesses auf deren Basis im Zuge dessen wurde auf verschiedene Aspekte des Gesamtkonzeptes verzichtet, die nicht für die Verifikation der grundlegenden Machbarkeit notwendig sind. Da, wie in Abschnitt 5.3 beschrieben, auf das PEA-Portal verzichtet wird, wurde auf eine Unterstützung eines Bewertungssystems oder die automatische Anfragerstellung auf Basis der eingegebenen Spezifikationen bei treffenlosen Auswahlpro zessen verzichtet. Der PEA-Manager beschränkt sich auf den Export in Form einer Spezifikationsdatei.

¹³Es kann zwischen *größer*, *kleiner* und *gleich* ausgewählt werden.

Des Weiteren wurde der Verwaltungsanteil des PEA-Managers weggelassen. Die umgesetzte Ontologie ist jedoch für eine rudimentäre Umsetzung bereits vorbereitet und beinhaltet das in Abschnitt 4.2.3 konzipierte Klassenmodell. Weitere technische Einschränkungen:

- Das Session-Management ist nicht vollständig implementiert. Es ist nicht möglich eine vorherige Session zu laden oder die aktuelle abzuspeichern. Auch das freie Springen durch die einzelnen Prozessschritte ist damit nicht möglich, ohne die Werte des letzten Schrittes zu verlieren.
- Das Einheiten-Management für Spezifikationsangaben ist nicht implementiert. Dies bedeutet, dass innerhalb einer PEA-Kategorie jeder Parameter bei jedem PEA in der gleichen Einheit angegeben sein muss (beispielsweise die Breite in Metern).
- Der Vergleich der Services und dessen Konfigurationsparametern wird auf Grund einer fehlenden Klassifizierung über die Namen umgesetzt. Daher müssen Service-, Strategie- und Parameternamen für einen Vergleich identisch sein.

5.3 PEA-Portal

Das im Konzept vorgesehene PEA-Portal wurde in dieser Arbeit auf Grund der Komplexität und gemischten Meinung der Experten zu geteilten Plattformen nicht implementiert. Als Datenquelle für den PEA-Manager kommt daher eine einfache Jena-Fuseki-Instanz¹⁴ der Apache Foundation zum Einsatz, die zum einen die erarbeitete Ontologie und zum anderen den erstellten Testkatalogdatensatz für die Verifizierung über SPARQL bereitstellt.

¹⁴Vgl. <https://jena.apache.org>

6 Verifikation

6.1 Strategie

Die Verifikation der in dieser Arbeit vorgelegten Lösung ist in zwei Bereiche aufgeteilt. Zunächst findet eine Eignungsbeurteilung der erstellten Ontologie statt. Als Basis hierfür dient das Temperiermodul *Unistat 510w* (Temper) der Huber Kältemaschinenbau AG. Die Ontologie muss in der Lage sein, alle ermittelbaren Spezifikationsangaben zu diesem PEA so abzubilden zu können, dass der Anwendungsfall einer manuellen Auswahl möglich wird. Anschließend wird ein Plausibilitätstest am implementierten PEA-Manager durchgeführt. Um diesen zu bestehen, muss der PEA-Manager in der Lage sein, passende PEAs zu einem Beispielrezept anzubieten.

6.2 Eignungsbeurteilung Ontologie

Als Grundlage für die Beurteilung dient, wie in vorherigen Abschnitt ange deutet, das Unistat 510w. Es hat, als auf dem Markt verfügbares PEA, die umfangreichste Beschreibung im Vergleich zu den anderen durch das p2o-Lab bereitgestellten PEAs. In Tabelle 6.1 ist ein Auszug aus dem Datenblatt dieses PEAs dargestellt. Wie dort erkenntlich wird, finden dort verschiedene Typen von Angaben Verwendung. Diese Typen lassen sich unterschiedlich gut nach der Ontologie abbilden.

Allgemeine Parameter wie *Heizleistung*, *Kältemittelmenge* oder *maximaler Förderdruck* sind problemlos darstellbar. Es gibt einen Wert, eine Einheit und es sind keine weiteren Einschränkungen bzw. Zusatzangaben im Parameter ent halten. Das einzige Schwierigkeit besteht darin, dass ggf. kein Typeneintrag für den Parameter in einer der klassischen LD-Datenbanken gegeben ist und daher auch ggf. selbst erstellt werden muss. Parameter wie *Kältemittel* oder *Anschluss externer Fühler* sind ebenso gut abbildbar. Es muss jedoch unter schieden werden, ob die Angaben als String-Literale oder als Referenz zu einer LD-Entität abgebildet werden sollen. Letztere Option erhöht das Vergleich-

6 Verifikation

barkeitspotenzial¹, ist jedoch ohne einheitliche Datenbank aufwendig. Schlecht abbildbar sind vor allem Angaben wie *bei XXX°C*. Da keine Verknüpfung mehrerer Parameter vorgesehen ist, müssen hier für die Umsetzung neue Parameter wie *Kälteleistung mit Ethanol bei 0°C* und dazu passende Parametertypen geschaffen werden. Es ist jedoch fraglich, ob derartige Parameter für einen Vergleich geeignet sind oder ob verschiedene Hersteller - in diesem Beispiel - unterschiedliche Temperaturabstufungen nutzen.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass prinzipiell jeder Parameter nach der Ontologie abgebildet werden kann. Es ist jedoch anzumerken, dass Angaben nicht eins zu eins übernommen werden können und aufgesplittet oder umformuliert werden müssen. Des Weiteren sind nicht für alle Parameter Typen in einer Datenbank vordefiniert und müssen vor der Nutzung dieses Parameters selbst erstellt werden.

¹Hersteller A spricht von *Serial*, während Hersteller B von *RS232* spricht.

Tabelle 6.1: Auszug aus Datenblatt von Huber Unistat 510w

Parameter	Angabe
Temperaturbereich	-50...250 °C
Temperaturkonstanz bei -10°C	0,01 K
Temperatureinstellung / Anzeige	5,7"- Farb Touchscreen
Auflösung der Anzeige	0,01 K
Temperaturfühler intern	Pt100
Anschluss externer Fühler	Pt100
Schnittstelle digital	Ethernet, USB (Host u. Device), RS232
digitaler Steuereingang	ECS ONE
digitaler Steuerausgang	POKO ONE
Alarmmeldung	optisch, akustisch, Relais
Sicherheitsklasse	Klasse III / FL
Heizleistung	6 kW
Kälteleistung mit	Thermoöl
bei 250°C	5,3 kW
bei 200°C	5,3 kW
bei 100°C	5,3 kW
Kälteleistung mit	Ethanol
bei 0°C	5,3 kW
bei -20°C	2,8 kW
bei -40°C	0,9 kW
bei -50°C	0,25 kW
Kältemaschine	wassergekühlt, FCKW- u. H-FCKW-frei
Kältemittel	R507
Kältemittelmenge	1,3 kg
max. Förderleistung	105 l/min
max. Förderdruck	1.5 bar
Förderleistung bei 0,5 bar	70 l/min
Förderleistung bei 1,0 bar	55 l/min
Pumpenanschluss	M30x1,5 AG
max. zulässige kin. Viskosität	50 mm ² /s
Kühlwasseranschluss	G1/2 AG
Verbrauch b. Wasser 15°C, Vorlauf 0°C	300 l/h

6.3 Plausibilitätstest PEA-Manager

Um den PEA-Manager oder vielmehr den darin realisierten Auswahlprozess zu überprüfen, soll auf Grundlage eines Operationsrezeptes eine PEA-Auswahl testweise durchgeführt werden. Ein Operationsrezept enthält alle Operationen, die zu der Durchführung eines Verfahrens notwendig sind. Es lässt sich aus den Prozessoperationen ableiten und bietet wiederum die Möglichkeit, Modulklassen mit einem Grundstock an Anforderungen festzulegen [36].

Das Beispielrezept, das im ORCA-Projekt erarbeitet wurde, ist mit seinen Schritten und zugrundeliegenden Prozessoperationen in Abbildung 6.1 dargestellt. Um die einzelnen PEAs für dieses Rezept zu bestimmen, müssen aus



Abbildung 6.1: Prozessoperationen (r.) und das zugehörige Operationsrezept (l.)

den Vorgaben zunächst Modultypen abgeleitet werden. Diese Typen müssen die Prozessoperationen bzw. die Operationen des Rezepts mit ihren zugehörigen Services abdecken. Der implementierte Auswahlprozess bietet im ersten Schritt die Möglichkeit, Typen nach ihrem vefahrenstechnischen Teilgebiet² auszuwählen. Da in diesem Schritt keine Vorschau der möglichen Services angezeigt wird, muss der Anwender logisch nach dem Namen der Operation und den vorgegebenen Modulen vorgehen. Dies ist in diesem Fall mit den Prozessoperationen leichter, da die Benennung den hier gewählten Typen sehr ähnelt

²z. B. chemisch, thermisch, mechanisch...

Tabelle 6.2: Testszenario für Auswahlprozess (Dosiermodul)

Parameter	Vorgabe	Dose	Dose_Wide	Dose_Vol
Höhe	<200cm	180cm	180cm	180cm
Breite	>100cm	57cm	120cm	57cm
Tiefe	>60cm	57cm	57cm	57cm
Fassungsvermögen	>39l	30l	40l	50l
Maximaler Durchfluss	>3l/min	2l/min	4l/min	2l/min
Vorlegen	Ja	Ja	Ja	Ja
Treffer		Teil	Ja	Teil

(Dosieren wird zu Dose). Es ist jedoch möglich ohne die Eingabe von weiteren Angaben, den nächsten Schritt zu überspringen und die für den Modultypen möglichen Services einzusehen.

Ist ein Modultyp gewählt, so liegen dem Anwender ggf. schon erste, grobe Anforderungen vor, die bei der Auswahl berücksichtigt werden sollen. Für den Test, wird davon ausgegangen, dass beispielhaft für das Dosiermodul, sowohl die Einbaubedingungen (Höhe, Breite, Tiefe), ein minimaler Durchfluss, ein minimales Fassungsvermögen, sowie die Notwendigkeit des Services *Vorlegen* vorliegen. Letzteres ist durch das Rezept begründet. Um den Parameterabgleich testen zu können, wurden dafür drei Varianten eines Dosiermoduls als Katalogeintrag erstellt. Dieses vorgestellte Szenario ist in Tabelle 6.2 abgebildet.

Wählt man im PEA-Manager *Dose* als PEA-Kategorie aus, und trägt die Vorgaben nach der Tabelle ein, so erhält man das in Abbildung dargestellte Ergebnis. Es ist daher plausibel anzunehmen, dass der implementierte Algorithmus für Spezifikationsvergleiche auf Basis von Zahlenwerten und Servicevoraussetzungen funktioniert. Der Testfall ist in kompilierter³ Form, als auch als Projekt für *spec2rdl* der CD beigelegt.

³Hier: Die Datei kann in einen Triplestore integriert werden.

6 Verifikation

Manuelle Auswahl: Ergebnis

Passende PEA-Kandidaten:

	DOSE_VOL	DOSIERER	DOSIERER_WIDE
CAPACITY (VOLUME)	50 liter	30 liter	40 liter
HEIGHT	180 cm	180 cm	180 cm
DEPTH	57 cm	57 cm	57 cm
UPPER LIMIT VOLUME FLOW RATE	2 liter/min	2 liter/min	4 liter/min
WIDTH	57 cm	57 cm	120 cm
Vorlegen	NA	NA	NA

Eingaben Export:

Neben Ihren passenden PEA-Kandidaten können Sie Ihre Eingaben exportieren.

[SPEZIFIKATION DOWNLOADEN](#)

[← ZURÜCK](#)

Abbildung 6.2: Screenshot der Ausgabe des PEA-Managers

7 Diskussion

Diese Arbeit beschreibt ein Konzept einer durchgängigen Lebenszyklusunterstützung von PEAs in modularen Anlagen. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf den Auswahlprozessen sowie der Verwaltung in der Betriebsphase. Hierfür wurde eine passende Systemarchitektur konzipiert und ein möglicher Auswahlprozess erarbeitet. Als Grundlage wurde darüber hinaus ein Datenmodell bzw. eine Ontologie zur Beschreibung von PEAs über ihren Lebenszyklus hinweg erstellt. Für einen Plausibilitätstest des Datenmodells und des Auswahlprozesses wurde ein PEA-Manager implementiert, der, das Durchführen des konzipierten Auswahlprozesses ermöglicht. Die Auswahl erfolgt in Zusammenarbeit mit einem SPARQL-fähigen LD-Endpoint und einem darin angebotenen, auf der Ontologie basierenden PEA-Katalog.

Als Vorlage für die umgesetzte Ontologie dient maßgeblich der E-Procurement-Standard *BMEcat* sowie das *DEXPI* Informationsmodell. Hierbei bildet der Aufbau von BMEcat die Grundlage für ein Katalogmodell in das die PEA-Modelle, basierend auf Techniken von DEXPI, eingebettet werden können. Die Ontologie versucht damit sowohl wirtschaftliche Aspekte, als auch technische Aspekte abzudecken. Zentrales Element der Ontologie ist die Referenzierung und Verwendung von Klassifikationsbibliotheken für alle Elemente wie Parameter, Services, Dokumente oder auch Einheiten mit dem eine Vergleichbarkeit zwischen jeder PEA-Modellinstanz und dessen Angaben gewährleistet werden soll. Erst diese Vergleichbarkeit ermöglicht einen Auswahlprozess und einen Austausch zwischen verschiedenen CAE-Tools. Dieser Ansatz ist zum aktuellen Zeitpunkt jedoch dahingehend problematisch, da bisherige Klassifikationsbibliotheken wie die RDL der POSC Ceasar Association in ihrem Umfang beschränkt sind und bspw. nicht ohne weiteres alle Herstellerangaben der in der Verifikation verwendeten PEAs abdecken. Speziell die Domäne der modularen Anlagen ist noch nicht abgedeckt und erfordert die Schaffung eigener oder die Erweiterung bestehender Bibliotheken.

Für die Auswahl wurde in dieser Arbeit ein manueller Auswahlprozess umgesetzt. Manuell bedeutet in diesem Kontext, das rein auf Basis von Nutzeranforderungen, wie einem Minimaldurchfluss oder einer Werkstoffverträglichkeit, ein

7 Diskussion

PEA ausgewählt wird. Automatisierte Verfahren, die z. B. auf Basis von bisher gewählten PEAs in Bestandsanlagen oder anderen Planungsdaten selbstständig eine passende Vorauswahl anbieten, werden dabei ignoriert. Der Vorteil des manuellen Ansatzes findet sich in der Verwendbarkeit für jeden Anwendungsfall - hier die Planung, Optimierung oder Funktionsänderung - womit er sich zur Erprobung des Konzeptes und des Datenmodells in Form einer prototypischen Umsetzung eignet. Der Anwender muss jedoch vollkommen selbstständig Kompatibilitäten berücksichtigen und für jedes benötigte PEA einen eigenständigen Auswahlprozess durchführen. Für einen produktiven Einsatz ist der in dieser Arbeit gewählte Ansatz daher nur bedingt geeignet, sofern der Anwender häufig mehrere PEAs auswählen möchte. In jedem Fall kann er als Basis für weitere Prozesse gewählt werden, da die dahinterliegende Algorithmen zu u. a. Merkmalsvergleichen auch in automatisierten Prozessen benötigt werden. Das für die Generierung des Katalogs erstelle Python-Skript soll den Aufwand der Überführung von PEA-Spezifikationsdaten in den semantischen Informationsraum erleichtern und beschleunigen. Hierfür wurde auf Excel als Datenbasis, Python als plattformunabhängige Programmiersprache und in JSON vorgefertigte Mappings für Referenzen zurückgegriffen. Für die Generierung sind mit vorgenommenen Implementierung immer mindestens zwei Instanzen notwendig. Der Hersteller, der die Spezifikationen und das MTP zur Verfügung stellt und den Kurator des Katalogs, der diese in ein Manifest einträgt und das Skript anschließend ausführt. Des Weiteren ist zu beachten, dass zwar Mappings für beispielsweise die Parametereinheiten der Spezifikationsangaben existieren, jedoch jeder Parameter-, Service-, Preis- und Dokumententyp vom Hersteller selbst herausgesucht werden muss. Für einen produktiven Einsatz muss dieser Vorgang automatisiert und unterstützt werden. Dies könnte beispielsweise durch die Implementierung einer graphischen Editorsoftware gelöst werden, in dessen Zuge auch andere Formate als Excel (wie z.B. JSON, XML, etc.) umgesetzt werden könnten. Für eine PEA mit wenigen Elementen ist eine manuelle Eingabe jedoch vertretbar.

Im Konzept des *PEA-Managers* ist eine Verwaltung von PEAs vorgesehen, die in der prototypischen Implementierung nicht berücksichtigt wurde. Dies ist unter anderem mit der unzureichenden Datenbasis bezüglich Anforderungen an eine solche Verwaltung, auch seitens der befragten Experten zu begründen. Der Fokus wurde auf die vorausgehende Planungsphase im Lebenszyklus einer PEA gelegt um eine Basis für die nachfolgende Betriebsphase, einschließlich mehrerer möglicher Einsätze, zu legen. Jedoch beinhaltet die Ontologie Typen

7 Diskussion

und Referenzen zum Festhalten der Einsätze, der Maintenanceevents und der Konfigurations-Sets und -Änderungen. Sie ist damit für eine Erweiterung des PEA-Managers vorbereitet.

Das PEA-Portal des Gesamtkonzepts wurde in dieser Arbeit nicht implementiert. Die Bereitstellung des Katalogs erfolgt über einen einfachen Triple-Store. Für einen produktiven Einsatz ist diese Lösung jedoch nicht geeignet, da Prozesse geschaffen werden müssen, über die Hersteller ihre Angebote einstellen und verwalten können, ohne im ständigen Kontakt mit dem Portalbetreiber zu stehen. Die Arbeit beantwortet des Weiteren nicht die Frage, wer ein solches Portal betreiben kann und würde. Auch die im Konzept festgehaltenen Ausbaustufen des Portal, die ein Bewertungssystem oder auch eine Bestell- bzw. Anfragesystem vorsehen sind nicht weiter ausgearbeitet und bieten Raum für weitere Arbeiten in diesem Bereich.

8 Zusammenfassung

8.1 Ergebniszusammenfassung

Das Ergebnis dieser Arbeit ist der konzeptionelle Entwurf und die partielle, prototypische Umsetzung eines Systems, das die Planung, Auswahl und Verwaltung von PEAs über ihren Lebenszyklus hinweg unterstützt. Die Basis für die Unterstützung bildet ein semantisch beschriebener Informationsraum, in dem Spezifikationen, Geschäftsdaten, ergänzende Dokumente, PEA-Kataloge, PEA-Hersteller, sowie die grundlegende Historie von PEAs abgebildet werden können. Die Beschreibung des Informationsraums erfolgt durch eine dafür geschaffene Ontologie.

Ein Auswahlprozess für PEAs auf Grundlage von Nutzeranforderungen wird mit dem prototypischen *PEA-Manager* umgesetzt. Dieser greift über die graphenbasierte Abfragesprache SPARQL auf im Informationsraum abgelegten PEA-Katalog zu und stellt über eine REST-API seine auf Web-Techonologien basierende Nutzeroberfläche zur Verfügung. Eine Möglichkeit zur Generierung eines PEA-Katalogs wird mit dem Python-Skript *spec2rdl* geschaffen, dass mit Hilfe von Spezifikationsblättern und MTPs eine ontologiekonforme, semantische Repräsentation der PEAs und einem übergeordneten Katalog erzeugt.

Der Funktionsnachweis in Form eines Plausibilitätschecks erfolgt anhand einer Beispieldauswahl von drei PEAs nach einem im ORCA-Projekt entstandenen Werkrezept mithilfe des implementierten PEA-Managers.

8.2 Ausblick

Sowohl das Konzept als auch dessen Umsetzung bieten in vielerlei Hinsicht Raum Verbesserungen und eine Basis für weitere Arbeiten. Wie in Abschnitt 7 beschrieben, liegt das Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf der Planungsphase und den damit verbundenen Auswahlprozessen für PEAs. Zwar ist die darauf folgende Betriebsphase schon in der Ontologie berücksichtigt, jedoch unerprobt und ungenutzt. In einer späteren Arbeit muss die Betriebsphase nochmals genauer untersucht werden und die in dieser Arbeit geschaffene Ontologie auf eine

8 Zusammenfassung

Eignung überprüft und, wenn nötig, angepasst werden. Im gleichen Schritt wäre es dann möglich, den konzipierten PEA-Manager auszubauen und um die Verwaltungskomponente zu ergänzen.

Der in dieser Arbeit umgesetzte manuelle Auswahlprozess kann als Basis für weitere Auswahlprozesse betrachtet werden. Die zugrunde liegende Implementierung, die es ermöglicht Nutzeranforderungen gegen eine ontologiekonforme Datenbasis abzugleichen, kann in weiteren Prozessen wiederverwendet werden. Da der implementierte Prozess auf Grund seiner Art schlecht für die Auswahl größerer Mengen an PEAs skaliert, ist eine Ergänzung des Manager um neue automatisierte Prozesse empfehlenswert. Ein erster Schritt könnte die Berücksichtigung von Planungsdaten wie sein, die bestimmte Spezifikationen schon mitliefern. Als Beispiele sind hier Rezepte oder wie bei DEXPI vorgesehene Fließbilder mit Platzhaltern denkbar. Im nächsten Schritt könnte die Qualität der Auswahl erhöht werden, in dem Kompatibilitäten als Kriterium mit berücksichtigt werden. Dies würde Anlagenplaner vor allem bei Mehrfachauswahlen, z. B. im Falle von Neuplanungen ganzer modularer Anlagen, entlasten. Es ist weiterhin denkbar, Planungsprozesse außerhalb des Planungsmanagers, innerhalb spezieller CAE-Tools durchzuführen. Hierfür könnte der PEA-Manager um Schnittstellen erweitert werden, über die die Tools Anfragen an den Katalog oder auch an den Pool der Anlagen stellen könnten.

Um auch den vorgesehenen Dialog in Form von PEA-Anfragen oder auch Bestellungen zwischen Anlagenplaner und Hersteller umsetzen zu können, ist eine weitere Untersuchung von für die Domäne der modularen Anlagen anwendbaren Schnittstellen erforderlich. Es ist weiterhin festzustellen, ob das als eine Art Marketplace für PEAs konzipierte PEA-Portal eine markttaugliche Lösung ist. Alternative Modelle wie das *Buyer-Side-Modell*, bei dem der Anlagenplaner seinen eigenen Katalog pflegt, oder *Buyer-Side-Modell*, dem die Hersteller die Katalog- und Einkaufssoftware bereitstellt, geeigneter Lösungen sind [31]. Sollte das PEA-Portal als geeignete Lösung herausstellen, so wäre eine Umsetzung und Integration in den PEA-Manager notwendig.

Ein großer Nachholbedarf besteht, wie ebenso in Abschnitt 7 bereits erwähnt, in der Standardisierung bzw. Kategorisierung von PEAs, Services, Dokumenten, Parametern und allen anderen Elementen der Ontologie, die zu einem Vergleich herangezogen werden können. Während bspw. Dokumente zukünftig nach der sich in Arbeit befindenden VDI 2770 oder Parameter durch Erweiterung bestehender Bibliotheken abgedeckt werden können, besteht vor allem bei PEAs und Services großer Nachholbedarf. Hier ist ein Standard gefragt, der

8 Zusammenfassung

PEA-Typen definiert und über Werkzeuge, wie Merkmalslisten, die zugehörigen Parameter und Services festlegt. Dieser Standard sollte einen Grundstock an den gängigsten PEAs vorgeben und vornehmlich den Fokus auf deren Beschreibung und Erweiterbarkeit legen. Das gleiche gilt für Services.

Anhang

A Anhang

A.1 Beispiele für Auswahlprozesse

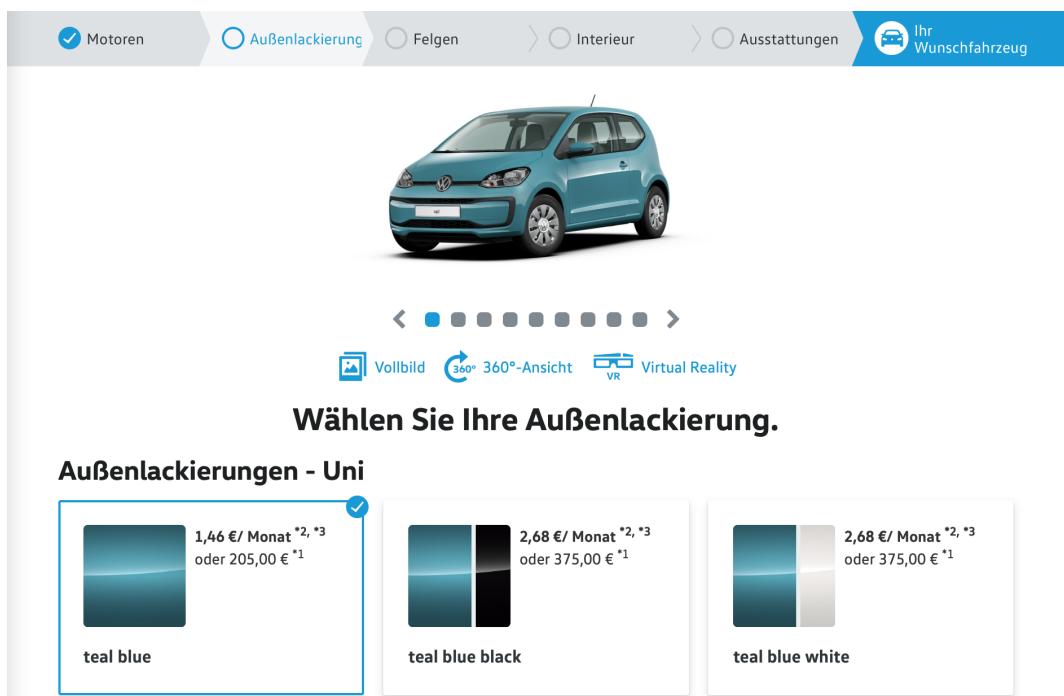


Abbildung A.1: Beispiel für Assistenzansatz: VW Auto-Konfigurator [56]

A Anhang

Kategorie	Sperrspannung U(R)	U _F	P _{tot}
Schottky-Diode - Gleichrichter (1) Avalanche Diode (39) Dioden-/Spannungsregler-Sortiment (1) Dioden Sortiment (2)	20 V (1)	340 mV (1) 350 mV (1) 360 mV (1) 375 mV (1) 385 mV (1)	480 W (1) 500 W (21) 600 W (408) 800 W (1) 890 W (2) 1 5 kW (328)

Filter ausklappen

340 mV 20 V
Alle Filter zurücksetzen

Abbildung A.2: Beispiel für Filteransatz: Conrad Suche für Dioden [11]

A Anhang

The screenshot shows the 'Produktfinder für Matratzen' (Product finder for mattresses) interface on the Amazon.de website. At the top right are buttons for 'Zurück' (Back), 'Feedback (1)', and 'Neu starten' (New start). Below them is a descriptive text: 'In nur 8 Schritten zum Kauf der passenden Matratze – mit dem Produktfinder von Amazon. Der Produktfinder fungiert gleichzeitig als Berater und Produktvergleich. Basierend auf zielgerichteten Fragen zu Ihrer Person und Ihren individuellen Bedürfnissen, empfiehlt der Produktfinder auf Ihre Präferenzen abgestimmte Matratzen. Diese Vorschläge können Sie anschließend vergleichen und folglich eine gut fundierte Kaufentscheidung treffen.' A flowchart shows the steps: Profil > Größe > Schlafposition > Gewicht > Härtegrad > Temperatur > Bedürfnisse > Preis > Ergebnisse.

Unsere Top-Empfehlung für Sie:

Badenia Bettcomfort Roll-Komfortmatratze, Trendline BT 100 H2, 100x200 cm, weiß

Filters

- Preis >
- Marke >
- Große >
- Härtegrad >
- Temperaturempfinden >
- Bedürfnisse >
- Versandertig in >
- Anbieter >
- Durchschn. Kundenzension >

Leider konnten wir kein Produkt finden, welches zu 100% Ihrer Auswahl entspricht -

Produktmerkmale aufgrund Ihrer Auswahl

- ✓ Für Erwachsene
- ✓ Material: Federkernmatratze
- ✓ Härtegrad: H2
- ✓ Größe: 100 x 200 cm
- ✓ Temperaturreigenschaften: Besonders atmungsaktiv

Produktmerkmale

- ✗ Kein Memory Foam (weniger geeignet bei unruhigem Schlaf)

Zusätzliche Produktmerkmale

- ✓ Marke: Badenia Trendline
- ✓ Bezug abnehmbar
- ✓ Hypoallergen
- ✓ Naturmaterialien
- ✓ Waschtemperatur Bezug: 95 °C
- ✓ Luftdurchlässigkeit
- ✓ Keine Punktelastizität

1116

€ 73,65

Auf Lager

Zum Produkt

Abbildung A.3: Beispiel für Assistentansatz: Amazon Matratzenfinder [1]

A Anhang

A.2 Experteninterview

DA: Durchgängige Lebenszyklusunterstützung von PEAs in modularen Anlagen

Fragenkatalog: Auswahlprozess für Process Equipment Assemblies

Persönliche Merkmale

- (1) Rolle bei Auswahlprozess: (PEA Hersteller / Anwender)
- (2) Position im Unternehmen:

Auswahlprozess:

- (3) Ein Auswahlprozess kann zu unterschiedlichen Zwecken durchgeführt werden. Wie häufig wird es ihn Ihren Augen zu folgenden Szenarien kommen?

Zweck:	Häufigkeit (1: Nie – 5: Sehr Häufig)				
Planung einer neuen Anlage:	1	2	3	4	5
Funktionsänderung	1	2	3	4	5
Optimierung (z.B. Numbering-Up)	1	2	3	4	5

- (4) Ist ein schrittweise geführter Auswahlprozess hilfreich oder hinderlich?
Große Datenbank mit Filtern oder Assistenzsystem (bsp. Konfigurationswizard bei Autoherstellern).

Zustimmung (1: Hinderlich – 3: Neutral – 5: Hilfreich)				
1	2	3	4	5

- (5) Welche Relevanz besitzen modulare Funktionseinheiten bei der Auswahl von Typ III¹ PEAs?

Sollen modulare Funktionseinheiten auch ausgewählt oder mitkonfiguriert werden?

Relevanz: (1: Keine Relevanz – 5: Sehr hohe Relevanz)				
1	2	3	4	5

- a. Falls ja: Benötigen diese einen eigenen Auswahlprozess?
Wäre ein eigener Auswahlprozess für die Optimierung sinnvoll?

- (6) Es gibt verschiedene Beschaffungsmöglichkeiten der PEAs für eine modulare Anlage. Welche Optionen würden sie wie häufig nutzen?

Beschaffungsmöglichkeit	Häufigkeit (1: Nie – 5: Sehr Häufig)				
Neuankauf: Standard	1	2	3	4	5
Neuankauf: Spezialorder	1	2	3	4	5
Leasing-Vertrag	1	2	3	4	5
Wiederverwendung (eigener PEA Pool)	1	2	3	4	5

¹ modulare PEAs (PEAs mit modularen Funktionseinheiten)

Jan Funke

Experteninterview

Abbildung A.4: Finaler Leitfaden S. 1

A Anhang

DA: Durchgängige Lebenszyklusunterstützung von PEAs in modularen Anlagen

- (7) Was wäre das initiale Kriterium bei der Auswahl? Denkbar sind unter anderem die angebotenen Services oder eine Auswahl nach Kategorie?
- Wenn Services: Welche Informationen benötigen Sie um eine Auswahl nach Services treffen zu können?

Funktionsumfang

- (8) Sind proaktive Vorschläge durch das System wünschenswert?
Das System könnte bspw. bei einem Numbering-Up / Scale-Up das gleiche Modul nochmals oder leistungsfähigere andere Module vorschlagen.

Zustimmung (1: Sehr ablehnend – 3: Neutral – 5: Sehr zustimmend)				
1	2	3	4	5

- (9) Wäre eine Rückkopplung von Know-how, Erfahrungswerten oder Betriebsdaten wichtig?
Es wäre denkbar bspw. die Performance oder Verfügbarkeit von vorhandenen PEAs aus bereits laufenden Anlagen zurück zu spiegeln.

Zustimmung (1: Sehr ablehnend – 3: Neutral – 5: Sehr zustimmend)				
1	2	3	4	5

- Welche Schnittstellen für die Anbindung an SCADA oder ERP Systeme werden benötigt?

- (10) Kommt ein Bewertungssystem als Auswahlhilfe in Frage?

Zustimmung (1: Sehr ablehnend – 3: Neutral – 5: Sehr zustimmend)				
1	2	3	4	5

- Wenn ja: Soll das System nur auf firmeninternen oder auch auf externen Beurteilungen beruhen?
- Wenn ein Datenaustausch für ein gemeinsames Bewertungssystem denkbar ist: Welche Daten dürften (anonymisiert) geteilt werden?
Es sind sowohl einfache Benutzerbewertungen (Sterne nach Kategorie) oder Dinge wie Stördaten denkbar.

- (11) Welches Ergebnis soll am Ende der Auswahl stehen?

Auswahl an Modulen mit Bestelllink zum Hersteller, ein Auftrag im ERP, eine Datei?

- Wenn Bestellung: Ist eine digitale Abhandlung eines Order-, Kauf- oder Leasingvorgangs denkbar?

Zustimmung (1: Sehr ablehnend – 3: Neutral – 5: Sehr zustimmend)				
1	2	3	4	5

Jan Funke

Experteninterview

Abbildung A.5: Finaler Leitfaden S. 2

A Anhang

DA: Durchgängige Lebenszyklusunterstützung von PEAs in modularen Anlagen

- e. Wenn keine passende PEA gefunden wurde: Soll es möglich sein die eingegebenen Daten als Anfrage an einen passenden PEA Hersteller zu versenden?

Zustimmung (1: Sehr ablehnend – 3: Neutral – 5: Sehr zustimmend)				
1	2	3	4	5

- f. Wenn Datei: In welchem Format?

Architektur

- (12) Ist eine geteilte (Web-)Plattform mit Zugang für verschiedene Unternehmen und gemeinsamen Datenaustausch eine Option? *Mit Zusatzdiensten sind Dinge wie gemeinsames Bewertungsportal, manuell erstellte Kataloge durch Portalbetreiber etc. pp. gemeint.*

Zustimmung (1: Sehr ablehnend – 3: Neutral – 5: Sehr zustimmend)				
1	2	3	4	5

- a. Wenn nein, kommt eine gemischte Lösung aus „öffentlicher“ Infrastruktur für Zusatzdienste und eigener Infrastruktur für Hauptfunktionalität² in Frage?

Zustimmung (1: Sehr ablehnend – 3: Neutral – 5: Sehr zustimmend)				
1	2	3	4	5

- (13) Sollen Auswahl und Eingaben speicherbar sein?

Dies würde es erlauben einen Auswahlprozess über mehrere Sessions zu verteilen.

Zustimmung (1: Sehr ablehnend – 3: Neutral – 5: Sehr zustimmend)				
1	2	3	4	5

² Auswahl, Verwaltung, Datenspeicherung.

Abbildung A.6: Finaler Leitfaden S. 3

A Anhang

DA: Durchgängige Lebenszyklusunterstützung von PEAs in modularen Anlagen

Auswahlkriterien³:

- (14) Welche Relevanz spielen die hier aufgelisteten Kriterien bei dem Auswahlprozess.
Verfahrenstechnische Kenngrößen und Dienste stehen außen vor.

Kriterium	Relevanz (1: unwichtig – 5 unverzichtbar)				
Allgemein					
- Produktbild	1	2	3	4	5
- Beschreibung	1	2	3	4	5
PEA-Klassifizierung					
- Typ (II / III)	1	2	3	4	5
- Transparenzstufe (White-/Grey-/Blackbox)	1	2	3	4	5
Kompatibilität					
- Abmaße	1	2	3	4	5
- Steuerung (Software)	1	2	3	4	5
- Konnektivität (Daten / Energie / Stoffe)	1	2	3	4	5
Umfang Dokumentation	1	2	3	4	5
Implementierungsstand MTP					
- Version	1	2	3	4	5
- Implementierte Aspekte	1	2	3	4	5
- Bedienbild	1	2	3	4	5
Kosten					
- Anschaffungskosten ⁴	1	2	3	4	5
- Folgekosten (z.B. SMA ⁵)	1	2	3	4	5
Datenrückkopplung					
- Störfälle	1	2	3	4	5
- Performance (definierte KPI)	1	2	3	4	5
- Wartungsdauer / Intervalle	1	2	3	4	5

- (15) Welche weiteren Kriterien sind wünschenswert und in der Auswahl nicht berücksichtigt?

Sonstige Anmerkungen / Wünsche:

- (16) Nachfragen nach zusätzlichen Wünschen, Ergänzungen und Hinweisen.

³ Verfahrenstechnische Funktionalität der PEAs wird als Pflicht vorausgesetzt und nicht explizit erwähnt.

⁴ Entfällt bei schon vorhandenen PEAs

⁵ Service Maintenance Agreement

Jan Funke

Experteninterview

Abbildung A.7: Finaler Leitfaden S. 4

A.3 Konzept

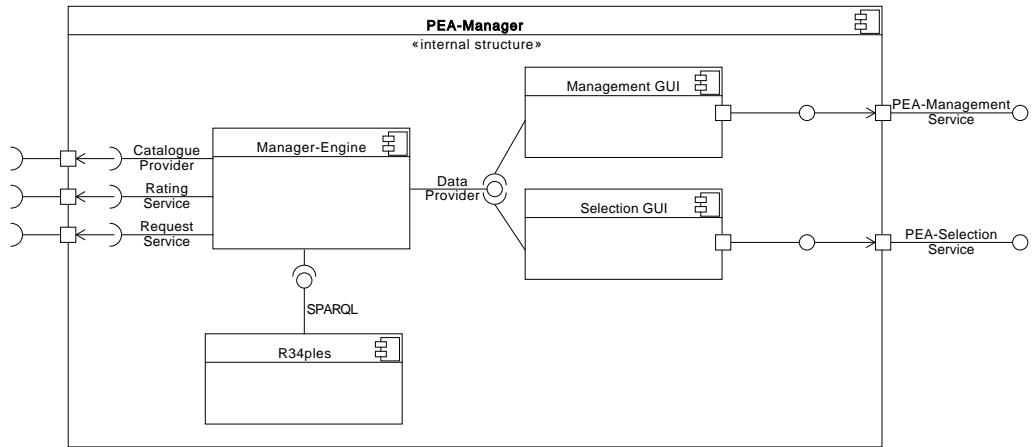


Abbildung A.8: UML-Komponentendiagramm des konzeptionellen PEA-Managers

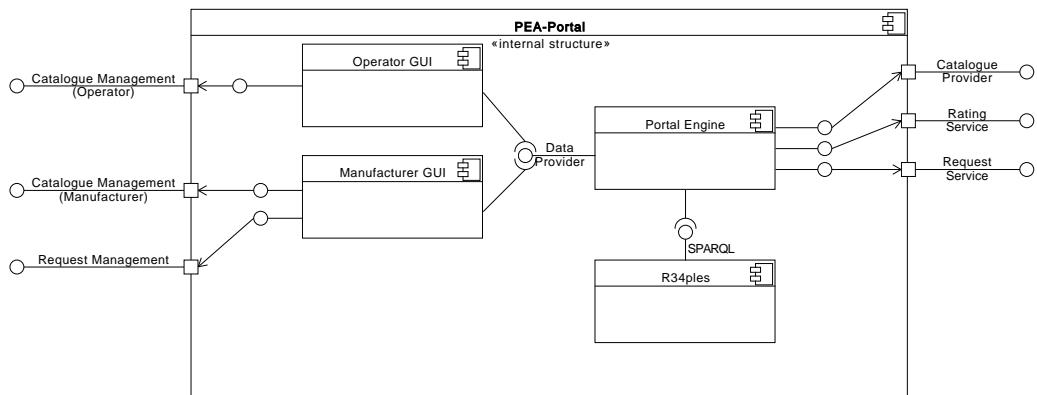


Abbildung A.9: UML-Komponentendiagramm des konzeptionellen PEA-Portals

A Anhang

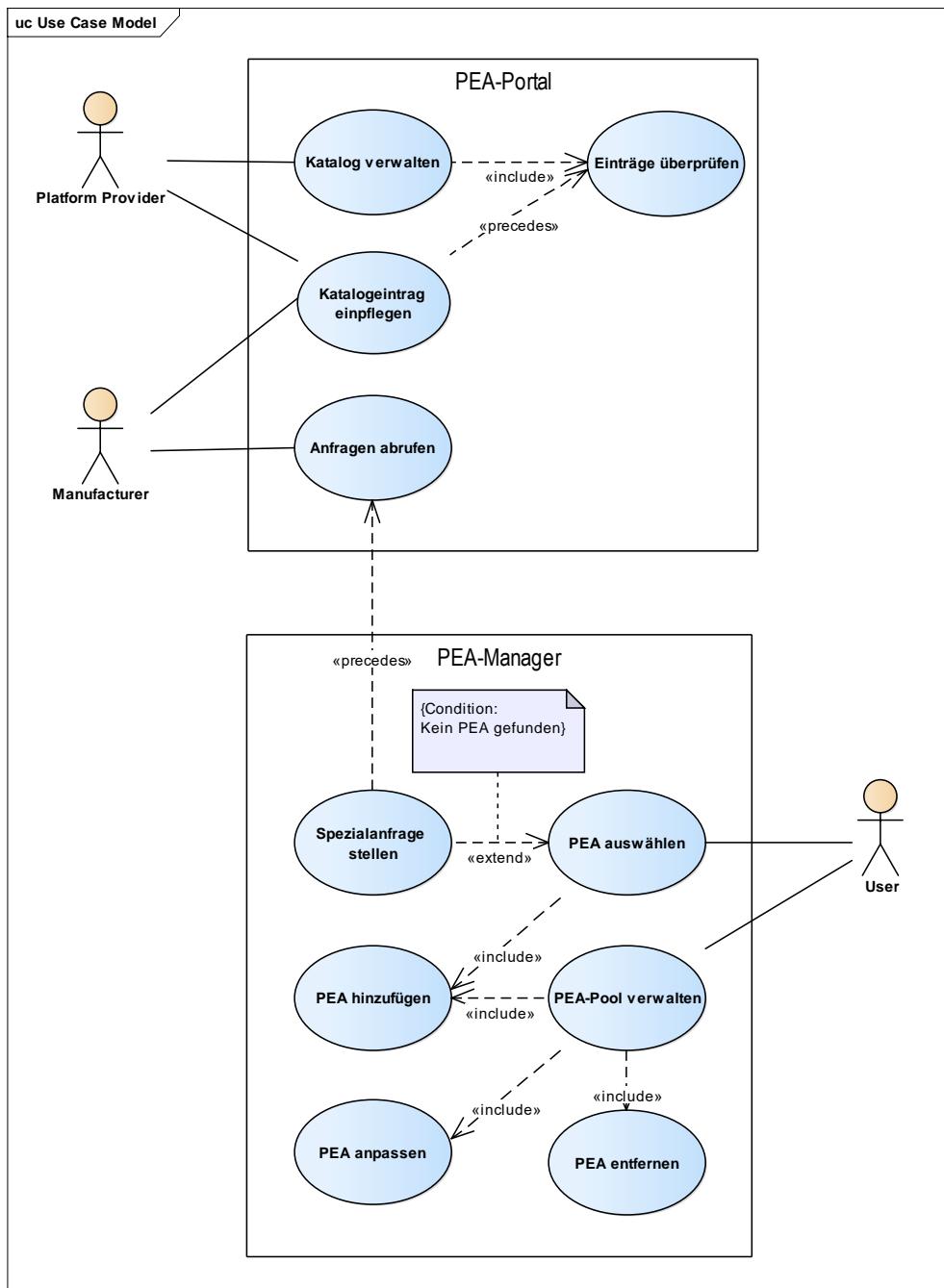


Abbildung A.10: Konzeptionelles Use-Case-Diagramm

Literaturverzeichnis

- [1] Amazon.com Inc. *Amazon.de: Produktfinder Matratzen*. URL: <https://st.smartassistant.com/amazon/produktfinder-matratzen.html> (besucht am 09.12.2018) (siehe S. 75).
- [2] Thomas Andrefßen. „Erfolgreiches strategisches Management des E Procurement“. In: *Supply Management Research*. Wiesbaden: Gabler, 2010, S. 291–312. DOI: 10.1007/978-3-8349-8833-1_11. URL: http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-3-8349-8833-1%7B%5C_%7D11 (siehe S. 29).
- [3] Bayer Technology Services GmbH. *Final Report Summary - F³ FACTORY (Flexible, Fast and Future Production Processes) / Report Summary / F³ FACTORY / FP7 / CORDIS / European Commission*. Techn. Ber. 2014. URL: https://cordis.europa.eu/result/rcn/149331%7B%5C_%7Dde.html (siehe S. 3).
- [4] Tim Berners-Lee. *Linked Data - Design Issues*. Juni 2006. URL: <https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html> (besucht am 19.04.2017) (siehe S. 17).
- [5] Jens Bernshausen, Axel Haller, Thomas Holm, Mario Hoernicke, Michael Obst und Jan Ladiges. „Namur Modul Type Package – Definition“. In: *Atp Edition 58* (2016), S. 72. ISSN: 2364-3137. DOI: <10.17560/atp.v58i01-02.554> (siehe S. 9, 11).
- [6] Thomas Bindel und Dieter Hofmann. „Allgemeiner Ablauf von Automatisierungsprojekten BT - Projektierung von Automatisierungsanlagen: Eine effektive und anschauliche Einführung“. In: Hrsg. von Thomas Bindel und Dieter Hofmann. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009, S. 5–13. ISBN: 978-3-8348-9321-5. DOI: 10.1007/978-3-8348-9321-5_2. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-8348-9321-5%7B%5C_%7D2 (siehe S. 3).

- [7] Rolf. Birkhofer. *Modellbasierte Beschreibung zur offenen Integration intelligenter Feldgeräte der Automatisierungstechnik*. Hrsg. von Klaus Bender. Herbert Utz Verlag, 2001. ISBN: 9783831600816. URL: <https://www.utzverlag.de/catalog/book/40081> (siehe S. 5).
- [8] Christian Bizer, Tom Heath und Tim Berners-Lee. „Linked data-the story so far“. en. In: *Semantic services, interoperability and web applications: emerging concepts* 5.3 (2009), S. 205–227. ISSN: 15526283. DOI: [10.4018/jswis.2009081901](https://doi.org/10.4018/jswis.2009081901). arXiv: [1011.1669](https://arxiv.org/abs/1011.1669). URL: <https://eprints.soton.ac.uk/271285/1/bizer-heath-berners-lee-ijswis-linked-data.pdf> (siehe S. 16).
- [9] Henry Bloch, Stephan Hensel, Mario Hoernicke, Katharina Stark, Anna Menschner, Alexander Fay, Leon Urbas, Torsten Knohl und Jens Bernshausen. „State-based control of process services within modular process plants“. In: *Procedia CIRP* 72 (2018), S. 1088–1093. ISSN: 22128271. DOI: [10.1016/j.procir.2018.03.037](https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.037). URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.037> (siehe S. 10, 11).
- [10] Christian Bramsiepe und Gerhard Schembecker. *Die 50 %-Idee: Modularisierung im Planungsprozess*. 2012. DOI: [10.1002/cite.201100250](https://doi.org/10.1002/cite.201100250). URL: www.cit-journal.com (siehe S. 1).
- [11] Conrad Electronic SE. *Conrad.de - Beispiel Diode*. URL: <https://www.conrad.de/de/Search.html?search=Diode%7B%5C&%7Dcategory=%7B%5C%7D1FHalbleiter%7B%5C%7D1FDioden> (besucht am 09.12.2018) (siehe S. 74).
- [12] DECHEMA. *Modular Plants: Flexible chemical production by modularization and standardization – status quo and future trends*. Temporärer ProcessNet-Arbeitskreis „Modulare Anlagen“, 2016. ISBN: 978-3-89746-191-2. URL: http://processnet.org/dechema%7B%5C_%7Dmedia/modularplants.pdf (siehe S. 1).
- [13] DECHEMA und ENPRO Initiative. *Whitepaper: Anwendungsszenarien und Modellierungsanforderungen zur Datenintegration*. Techn. Ber. 2015 (siehe S. 24).

- [14] Chrysanthos Dellarocas. *The Digitization of word-of-mouth: Promise and Challenges of Online Reputation Mechanisms*. 2002 (siehe S. 23).
- [15] DIN ISO 55000:2017-05. *Asset Management – Übersicht, Leitlinien und Begriffe (ISO 55000:2014)*. 2017 (siehe S. 11).
- [16] Christoph Fleischer-Trebes, Nicolai Krasberg, Christian Bramsiepe und Norbert Kockmann. „Planungsansatz für modulare Anlagen in der chemischen Industrie“. In: *Chemie Ingenieur Technik* 89.6 (2017), S. 785–799. ISSN: 0009286X. DOI: [10.1002/cite.201600083](https://doi.org/10.1002/cite.201600083) (siehe S. 13, 14).
- [17] Anke Geipel-Kern. „Mit der F3 Factory in die Zukunft der Chemieproduktion“. In: (2010). URL: <https://www.process.vogel.de/index.cfm?pid=1%7B%5C%7Dpk=246186%7B%5C%7Dp=1> (siehe S. 3).
- [18] Markus Graube. „Linked Enterprise Data als semantischer, integrierter Informationsraum für die industrielle Datenhaltung“. Diss. TU Dresden, Nov. 2016, S. 151. URL: [http://www.qucosa.de/recherche/frontdoor/?tx%7B%5C_%7Dslubopus4frontend\[id\]=23405](http://www.qucosa.de/recherche/frontdoor/?tx%7B%5C_%7Dslubopus4frontend[id]=23405) (siehe S. 24, 25).
- [19] Markus Graube, Stephan Hensel und Leon Urbas. „Open Semantic Revision Control with R43Ples: Extending SPARQL to Access Revisions of Named Graphs“. In: SEMANTiCS 2016. New York, NY, USA: ACM, 2016, S. 49–56. ISBN: 978-1-4503-4752-5. DOI: [10.1145/2993318.2993336](https://doi.acm.org/10.1145/2993318.2993336). URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2993318.2993336> (siehe S. 17).
- [20] Markus Graube, Stephan Hensel und Leon Urbas. „R43ples: Revisions for triples an approach for version control in the semantic web“. In: *CEUR Workshop Proceedings* 1215 (2014). ISSN: 16130073 (siehe S. 18).
- [21] Lukasz Hady und Günter Wozny. „Modulare Anlagenplanung – Stand der Technik?“ In: *7. Symposium Informationstechnologien für Entwicklung und Produktion in der Verfahrenstechnik*. Aachen, 2010. URL: <http://www.processnet.org/processnet%7B%5C%7Dmedia/Elsen/Pr%7B%5C%22%7Ba%7D%7Dsensation+Hady.pdf> (siehe S. 4).
- [22] Łukasz Hady und Günter Wozny. „Computer-aided web-based application to modular plant design“. In: *Computer Aided Chemical Engineering*

- ring 28.C (2010), S. 685–690. ISSN: 15707946. DOI: [10.1016/S1570-7946\(10\)28115-4](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(10)28115-4) (siehe S. 14).
- [23] Łukasz Hady und Günter Wozny. „Modulare Anlagenplanung - Stand der Technik?“ In: *7. (Berlin-Aachener) Symposium “Informationstechnologien für Entwicklung und Produktion in der Verfahrenstechnik”*. 2010. URL: www.dbta.tu-berlin.de (siehe S. 15).
 - [24] Cornelia Helfferich. „Leitfaden- und Experteninterviews“. In: *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014, S. 559–574. DOI: [10.1007/978-3-531-18939-0_39](https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0_39). URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-531-18939-0%7B%5C_%7D39 (siehe S. 27, 28).
 - [25] Cornelia Helfferich. „Übungsteil III: Die Interaktion im Interview – Dynamik und Gestaltung“. In: *Die Qualität qualitativer Daten*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2011. Kap. 5, S. 119–166. ISBN: 978-3-531-92076-4. DOI: [10.1007/978-3-531-92076-4_5](https://doi.org/10.1007/978-3-531-92076-4_5). URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-531-92076-4%7B%5C_%7D5 (siehe S. 28–30).
 - [26] Andreas Hermanns. „Modulares Equipment für mehr Effizienz“. In: *chemie+anlagen+verfahren* (2015), S. 12–13 (siehe S. 19).
 - [27] Frank Hilbert. „Kontextabhängige Informationsräume - Unterstützung interdisziplinärer Bauinformationsprozesse durch eine kontextbewusste Informationslogik“. Dissertation. TU Dresden, 2015 (siehe S. 16).
 - [28] Mario Hoernicke, Thomas Holm, Axel Haller, Jens Bernshausen, Dirk Schulz, Thomas Albers, Christoph Kotsch, Mathias Maurmaier, Andreas Stutz, Henry Bloch und Stephan Hensel. „Technologiebewertung zur Beschreibung für verfahrenstechnische Module - Ergebnisse des Namur AK 1.12.1“. In: *Automation 2016*. Baden-Baden, Juni 2016 (siehe S. 10).
 - [29] T Holm, M Obst, J Ladiges, T Albers, L Urbas, A Fay und U Hempen. „DIMA - Method for the integration of modular process units“. In: *Annual Petroleum & Chemical Industry Committee Europe Conference (PCIC)*. 2016, S. 1–8 (siehe S. 9, 10).

- [30] IBM. *Whitepaper: Asset Management The Evolution of Asset Management*. Techn. Ber. 2007. URL: http://www-935.ibm.com/services/uk/igs/pdf/best%7B%5C_%7Dpractices%7B%5C_%7Din%7B%5C_%7Dasset%7B%5C_%7Dmanagement%7B%5C_%7Dfinal.pdf (siehe S. 7, 11).
- [31] Tobias. Kollmann. *E-Business - Grundlagen elektronischer Geschäftsprozesse in der Net Economy*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2016. ISBN: 9783658076696. URL: <https://www.springer.com/de/book/9783658076696%7B%5C#%7DaboutBook> (siehe S. 42, 70).
- [32] D. Leal. „ISO 15926 "Life Cycle Data for Process Plantäne Overview“. In: *Oil & Gas Science and Technology* 60.4 (Juli 2005), S. 629–637. ISSN: 1294-4475. DOI: [10.2516/ogst:2005045](https://doi.org/10.2516/ogst:2005045). URL: <http://ogst.ifpenergiesnouvelles.fr/10.2516/ogst:2005045> (siehe S. 42).
- [33] Arndt Lüder und Nicole Schmidt. „AutomationML in a Nutshell BT - Handbuch Industrie 4.0 Bd.2: Automatisierung“. In: Hrsg. von Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017, S. 213–258. ISBN: 978-3-662-53248-5. DOI: [10.1007/978-3-662-53248-5_61](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53248-5_61). URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-53248-5%7B%5C_%7D61 (siehe S. 9).
- [34] Wolfgang Mahnke, Stefan-Helmut Leitner und Matthias Damm. „Conclusion and Outlook“. In: *OPC Unified Architecture*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, S. 311–322. DOI: [10.1007/978-3-540-68899-0_14](https://doi.org/10.1007/978-3-540-68899-0_14). URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-68899-0%7B%5C_%7D14 (siehe S. 10).
- [35] B.R. Mehta und Y. Jaganmohan Reddy. *Industrial Process Automation Systems : Design and Implementation*. Butterworth-Heinemann, 2014, S. 668. ISBN: 9780128009390 (siehe S. 12, 13).
- [36] Anna Menschner, Stephan Hensel, Anselm Klose, Lukas Bittorf, Katharina Stark, Andreas Stutz, Tim Schenk, Polyana Santos, Thomas Scherwietes, Stefan Erben, Stefan Unland und Thomas Holm. *Protokoll: ORCA AP3 Treffen 10. und 11.10.18*. Techn. Ber. 2018 (siehe S. 63).
- [37] Anna Menschner, Stephan Hensel, Leon Urbas, T. Holm, S. Schäfer, T. Scherwietes, Andreas Stutz, Mathias Maurmaier und Mario Hoerni-

- cke. „Modullebenszyklusmodell für modulare Anlagen“. In: *processNet-Jahrestagung 10.-13.09 9* (2018), S. 2018. ISSN: 0009286X. DOI: [10.1002/cite.201855192](https://doi.org/10.1002/cite.201855192) (siehe S. 8).
- [38] Harald A Mieg und Matthias Näf. *Skript: Experteninterviews in den Umwelt- und Planungswissenschaften. Eine Einführung und Anleitung.* Techn. Ber. ETH Zürich: Institut of Human-Environment Systems, 2005. URL: www.hes.ethz.ch (siehe S. 27, 28).
- [39] MIT Artificial Intelligence Laboratory. *The JAIR Information Spaces.* 1998. URL: <http://www.ai.mit.edu/projects/infoarch/jair/jair-space.html> (besucht am 03.12.2018) (siehe S. 16).
- [40] NAMUR. *NE 129: Plant Asset Management.* 2009 (siehe S. 12, 13).
- [41] NAMUR. *NE 148: Anforderungen an die Automatisierungstechnik durch die Modularisierung verfahrenstechnischer Anlagen.* 2013 (siehe S. 1, 4–6, 11).
- [42] Gregory B Newby. „Metric Multidimensional Information Space“. In: *TREC-5 Text REtrieval Conference No5* (1997), S. 521–536. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.417.6433%7B%5C&%7Drep=rep1%7B%5C%7Dtype=pdf> (siehe S. 16).
- [43] Michael Obst, Thomas Holm, Stephan Bleuel, Ulf Claussnitzer, Lars Evertz, Tobias Jäger, Tobias Nekolla, Stephan Pech, Stefan Schmitz und Leon Urbas. „Automatisierung im Life Cycle modularer Anlagen“. In: *ATP-Edition 55* (2013). URL: https://www.namur.net/uploads/tx_7B%5C_7Dpress/atp-edition%7B%5C_7D55-1%7B%5C_7DHauptbeitrag%7B%5C_7DNamur-Hauptsitzung%7B%5C_7DAutomatisierungimLifeCyclemodularerAnlagen%7B%5C_7DObst%7B%5C_7DNamur.pdf (siehe S. 5).
- [44] Michael Obst, Thomas Holm, L Urbas, Alexander Fay, Sven Kreft, Ulrich Hempen, T Albers und Albers Thomas. *Beschreibung von Prozessmodulen.* Techn. Ber. 2015, S. 59. DOI: [10.17560/atp.v57i01-02.473](https://doi.org/10.17560/atp.v57i01-02.473) (siehe S. 11).

- [45] OPC Foundation. *Servlet: OPC Unified Architecture Wegbereiter der 4. industriellen (R)Evolution*. 2014. URL: www.opcfoundation.org (siehe S. 10).
- [46] David Parmenter. *Key performance indicators: developing, implementing, and using winning KPIs*. John Wiley & Sons, 2015. ISBN: 1118925106 (siehe S. 22).
- [47] G. Schembecker und T. Bott. „Die 50%-Idee - Vom Produkt zur Produktionsanlage in der halben Zeit“. In: *Chemie Ingenieur Technik* 81.8 (Aug. 2009), S. 1094–1095. ISSN: 0009286X. DOI: [10.1002/cite.200950350](https://doi.org/10.1002/cite.200950350). URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/cite.200950350> (siehe S. 1, 4).
- [48] Dorothea Schwarz und Anke Geipel-Kern. *Daten im Asset Life Cycle*. 2017. URL: <https://www.process.vogel.de/das-evonik-datenmodell-ein-wegbereiter-fuer-industrie-40-a-643440/> (siehe S. 20).
- [49] Rudi Studer, V Richard Benjamins und Dieter Fensel. „Knowledge Engineering: Principles and Methods“. In: *Data & Knowledge Engineering* 25 (1998), S. 161–197. URL: http://ac.els-cdn.com/S0169023X97000566/1-s2.0-S0169023X97000566-main.pdf?%7B%5C_%7Dtid=327e606e-7b6c-11e7-b108-0000aacb360%7B%5C%7Dacdnat=1502109209%7B%5C_%7D6df849512dcba5337fd1377d5473bfcf (siehe S. 17).
- [50] Th Tauchnitz. „Die "neuen Prozessleitsysteme wohin geht die Reise?“ In: *Automatisierungstechnische Praxis* 38.11 (1996), S. 12–23. ISSN: 0178-2320 (siehe S. 9).
- [51] Thomas Tauchnitz. „Schnittstellen ermöglichen Datenintegration in der Prozessindustrie BT - Handbuch Industrie 4.0: Produktion, Automatisierung und Logistik“. In: Hrsg. von Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016, S. 1–14. ISBN: 978-3-662-45537-1. DOI: [10.1007/978-3-662-45537-1_64-1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45537-1_64-1). URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-45537-1%7B%5C_%7D64-1 (siehe S. 9).

- [52] Manfred Theißen und Michael Wiedau. *DEXPI Data Exchange in Process Industry P&D Specification*. Techn. Ber. DECHEMA, 2016, S. 277. URL: <http://www.dexpi.org/wp-content/uploads/2016/05/DEXPI-Specification.pdf> (siehe S. 20, 42).
- [53] VDI. *Entwurf VDI 2770: Mindestanforderungen an digitale Herstellerinformationen für die Prozessindustrie*. Düsseldorf, 2018 (siehe S. 22).
- [54] VDI. *Entwurf VDI 2776: Verfahrenstechnische Anlagen, Modulare Anlagen, Grundlagen*. 2018 (siehe S. 4, 14).
- [55] VDI, VDE und NAMUR. *VDI/VDE/NE 2658: Automatisierungstechnisches Engineering modularer Anlagen in der Prozessindustrie - Blatt 1: Allgemeines Konzept und Schnittstellen*. 2018 (siehe S. 3, 9).
- [56] VOLKSWAGEN AG. *Konfigurator / Volkswagen Deutschland*. URL: <https://www.volkswagen.de/app/konfigurator/vw-de/de> (besucht am 09.12.2018) (siehe S. 73).
- [57] Klaus H. Weber. *Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen*. 4. Auflage. Springer Berlin Heidelberg, 2016, S. 651. ISBN: 978-3-662-48161-5. DOI: [10.1007/978-3-662-48162-2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48162-2). URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-48162-2> (siehe S. 5).
- [58] M. Wiedau. „Asset Life Cycle Datenmodellierung mit ENPRO, DEXPI und CFIHOS“. In: *Chemie Ingenieur Technik* 90.9 (Sep. 2018), S. 1294–1294. ISSN: 0009286X. DOI: [10.1002/cite.201855351](https://doi.org/10.1002/cite.201855351). URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/cite.201855351> (siehe S. 19, 20).
- [59] Michael Wiedau. „Data Integration in Process Systems Engineering Status of the DEXPI and ENPRO projects“. In: *PLT Sommerkolloquium, 26. Juni 2015*. RWTH Aachen. Aachen, 2015. URL: https://www.rwth-aachen.de/global/show%7B%5C_%7Ddocument.asp?id=aaaaaaaaaaaangdkj (siehe S. 19).
- [60] D. T. Wilson. „An Integrated Model of Buyer-Seller Relationships“. In: *Journal of the Academy of Marketing Science* 23.4 (Sep. 1995), S. 335–345. ISSN: 0092-0703. DOI: [10.1177/009207039502300414](https://doi.org/10.1177/009207039502300414). URL: <http://link.springer.com/10.1177/009207039502300414> (siehe S. 28).

- [61] Feng Zhu und Xiaoquan (Michael) Zhang. „Impact of Online Consumer Reviews on Sales : The Moderating Role of Product and Consumer Characteristics“. In: *Journal of Marketing* 74.2 (2010), S. 133–148 (siehe S. 23).
- [62] ZVEI. *Flyer: Process Industrie 4.0: The Age of Modular Production.* 2017.
URL: www.zvei.org/presse-medien/publikationen/white-paper-(siehe S. 10).

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Jan Funke, geboren am 29.10.1993 in Würzburg, dass ich die vorliegende Diplomarbeit zum Thema

*Durchgängige Lebenszyklusunterstützung von Process Equipment
Assemblies in modularen Anlagen*

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

Dipl.-Ing. Stephan Hensel, Dipl.-Ing. Anna Menschner

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

Dresden, den 10.12.2018

.....

Unterschrift