

**DISSERTATION**

**Entwicklung eines Vorgehensmodells basierend auf  
Case-based Reasoning für die wissensbasierte  
Konfiguration von Service-Kits im Maschinen- und  
Anlagenbau am Beispiel von Gasmotoren**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der technischen Wissenschaften, eingereicht an der TU Wien, Fakultät für  
Maschinenwesen und Betriebswissenschaften, von

**Martin Riester**

Matrikelnummer: 01229733

unter der Leitung von

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt Matyas

Technische Universität Wien, E620 - Vizerektorat Studium und Lehre

Wien, November 2020

Begutachtet von

Prof. Dr. Dr. h. c.

Michael ten Hompel

Technische Universität Dortmund

Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4,

44227 Dortmund, Deutschland

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.

Burkhard Kittl

Technische Universität Wien

Institut für Fertigungstechnik und

Photonische Technologien

Getreidemarkt 9, 1060 Wien, Österreich

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## Dissertation

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin. Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Dissertation nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Dissertationsthema bisher weder im Inland noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, 5. November 2020

---

Martin Riester, MBE

## Kurzfassung

Die Relevanz des After-Sales Bereichs für Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus steigt kontinuierlich. Hintergrund sind u. a. die (a) Möglichkeit für einen Ausgleich von Umsatzschwankungen im Primärproduktbereich sowie die (b) kundengetriebene Komplexitätsverlagerung für Instandhaltung und Service auf die Herstellerseite. Dies bewirkt die Notwendigkeit des Aufbaus von effizienten Service- und Ersatzteilmanagementprozessen auf Herstellerseite. Ein wesentlicher Teilprozess bildet die Identifikation von Ersatzteilen und deren Zusammenstellung zu anlagenspezifischen Service-Kits. Hierbei besteht in der unternehmerischen Praxis aufgrund von verteilten und lückenhaften Teile-, Anlagen- und Wartungsdokumentationen eine Abhängigkeit von Expertenwissen. Folglich resultieren erfahrungswissensbedingte Abweichungen bei der Definition von Service-Kit Inhalten sowie verlängerte Ersatzteilidentifikationszeiten. Aus wissenschaftlicher Sicht liegt derzeit kein Vorgehensmodell vor, welches - auf einem wissensbasierten System fußend - das implizite Expertenwissen der Ersatzteilidentifikation formal beschreibt und eine effizientere Identifikation von Ersatzteilen bzw. Service-Kits ermöglicht.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Vorgehensmodells, auf Grundlage des wissensbasierten Ansatzes des Case-based Reasonings, welches (a) die Konfiguration von anlagenspezifischen, auftragsbezogenen und vollumfänglichen Service-Kits für Wartungsarbeiten, unabhängig von spezifischem Expertenwissen, ermöglicht und (b) einen Beitrag zur Verkürzung der Ersatzteilidentifikationszeiten in Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus leistet.

Das Ergebnis ist ein aus 15 Einzelschritten bestehendes Vorgehensmodell, welches Case-based Reasoning als Kernmethode für die wissensbasierte Konfiguration von Service-Kits im Maschinen- und Anlagenbau nutzt. Die Anwendbarkeit wird anhand eines Fallbeispiels bei einem Gasmotorenhersteller demonstriert. Die Anwendungsergebnisse des Vorgehensmodells zeigen, dass hierdurch die Ersatzteilidentifikationszeiten für Service-Kits trotz eingeschränktem Expertenwissen sowie fehlenden expliziten Verknüpfungen zwischen Service- und Teiledokumentationen verkürzt werden können.

Schlagnworte: After-Sales, Ersatzteilmanagement, Ersatzteilidentifikation, Fallbasiertes Schließen, Gasmotoren, Instandhaltung, Maschinen- und Anlagenbau, Service-Kit, Vorgehensmodell, Wissensmanagement.

## Abstract

The importance of after-sales is continuously raising over the past years, especially for manufacturing enterprises in the sector of mechanical- and plant engineering. The main underlying reasons are introducing new possibilities of (a) compensating fluctuation effects in sales, particularly in the primary product area, and (b) facilitating for maintenance and service by involving original equipment manufacturer (OEMs). The latter causes the need to build efficient service and spare parts management processes on the OEM side. An essential sub-process is the identification of spare parts and their compliance with system-specific service kits. In business practice, expert knowledge is highly demanded in identification of spare parts, due to distributed and incomplete parts as well as plant and service documentations. Dependency on domain expert causes experience-related deviations in the definition of service kit contents and leads to extended spare parts identification times. From a scientific point of view, there is an evident gap, i. e. existing approaches and procedural models are not able to formally describe the implicit expert knowledge applied in the process of spare parts identification, based on knowledge-based systems' methodologies. Hence, efficient identification of spare parts or service kits is still limited.

The present PhD thesis is aimed at design and development of a procedure model gaining benefit from knowledge-based approach of case-based reasoning, which enables (a) the configuration of system-specific, order-related and comprehensive service kits for maintenance work independent of specific expert knowledge, and (b) a contribution to shorten the spare parts identification times in manufacturing enterprises, especially in the sector of mechanical- and plant engineering.

The result is a procedure model consisting of 15 individual steps, which employs case-based reasoning as the core method for the knowledge-based configuration of service kits in mechanical and plant engineering. The applicability is demonstrated using a case study at a gas engine manufacturer. The systematic implementation, evaluation and validation of the procedural model reveal that the spare parts identification times for service kits can be shortened, despite limited expert knowledge and the lack of explicit links between service and parts documentation.

**Keywords:** after-sales, case-based reasoning, gas engines, knowledge management, maintenance, plant and machinery engineering, procedure model, spare parts management, spare parts identification, service-kit

## Vorwort und Danksagung

»Was lange währt, wird endlich gut.«

Ovid (43 v. Chr. – 17 n. Chr.)

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner beruflichen Tätigkeit bei der Fraunhofer Austria Research GmbH (FhA) sowie am Institut für Managementwissenschaften (IMW) der Technischen Universität Wien.

Ich danke meinem Doktorvater Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt Matyas, Vize- rektor Studium und Lehre der TU Wien, für die ausgezeichnete Betreuung dieser Dis- sertation und die zahlreichen konstruktiven Gespräche. Diese leisteten einen wesent- lichen Beitrag zum Erfolg dieser Arbeit.

Weiters bedanke ich mich bei den Gutachtern Prof. Dr. Dr. h. c. Michael ten Hompel und Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Burkhard Kittl für die Durchsicht dieser Arbeit.

Ein Dank geht an Dr.-Ing. Fazel Ansari, Assistenzprofessor am IMW und Leiter der Forschungsgruppe »Smart and Knowledge-Based Maintenance«, für die zahlreichen Fachdiskussionen und Impulse.

Weiters gilt mein Dank allen beteiligten Unternehmensvertretern/innen des Projekt- partners, im Speziellen Dr.-Ing. Michael Förster, Chief Quality Officer, für die Möglich- keit zur Anfertigung dieser Arbeit sowie die jahrelange Begleitung und Unterstützung. Für das Engagement während der operativen Projektarbeit bedanke ich mich recht herzlich bei DI Ben Hermann, DI Rudolf Schmidhofer sowie den involvierten Diploman- den und ebenso bei Adalbert Janys für die Programmierunterstützung des Proof-of- Concept Demonstrators.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirtsch.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihm, Geschäftsführer von FhA und Leiter des IMW der TU Wien, und DI Peter Schieder, Leiter des Ge- schäftsbereichs »Fabrikplanung und Produktionsmanagement« bei FhA, danke ich für das jahrelange Vertrauen, die motivierenden Worte und gewährten Freiräume zur Er- stellung dieser Arbeit.

Ein weiterer Dank gilt meinen Kollegen/innen bei FhA, im Besonderen dem Logistik- bereich für den Teamgeist, das Engagement, die Unterstützung und die Leistung der letzten Jahre. Ohne Euch wäre die Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Vielen Dank!

Im Speziellen möchte ich meinen ehemaligen und derzeitigen Teamleiterkollegen Dr. Heimo Pascher, DI Karl Ott, Dr. Rainer Pascher und Dr. Philip Ramprecht einen Dank aussprechen. Ein Dank gilt zudem meinem Kollegen DI Georg Schett für den detaillierten fachlichen Austausch.

Danken möchte ich zudem meinem Freundeskreis. Vielen Dank für Euer Verständnis und Eure Zusprüche während den einzelnen Erstellungsphasen dieser Arbeit. Vielen Dank insbesondere an Nadine Härle für das professionelle Korrekturlesen dieser Arbeit.

Meiner Cousine Vanessa Messner und ihrer Familie sowie Prof. Dr.-Ing. Vera Hummel danke ich für die Inspiration und den initialen Impuls, der mich in die Forschung und zu FhA sowie an die TU Wien geführt hat.

Ein spezieller Dank gilt meinen Eltern Ingrid und Rudolf Riester sowie meiner Schwester Melanie Riester. Dank Eurer jahrelangen Förderung und Motivation habt Ihr diese Dissertation ermöglicht – Euch widme ich diese Arbeit.

Wien, im November 2020

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>EINLEITUNG .....</b>   | <b>1</b> |
| 1.1      | Ausgangssituation und Motivation .....  | 1        |
| 1.2      | Problemstellung .....   | 3        |
| 1.2.1    | Allgemeine Problemstellung .....  | 3        |
| 1.2.2    | Detailbeschreibung Ist-Situation .....  | 6        |
| 1.2.3    | Spezifische Problemstellung .....   | 9        |
| 1.3      | Zielsetzung und Forschungsfragen.....   | 12       |
| 1.4      | Forschungsmethodik .....  | 13       |
| 1.5      | Aufbau der Arbeit.....  | 17       |
| <b>2</b> | <b>THEORETISCHER BEZUGSRAHMEN IN WISSENSCHAFT UND PRAXIS... 19</b>                |          |
| 2.1      | Trends von After-Sales Services im Maschinen- und Anlagenbau .....                | 19       |
| 2.2      | After-Sales Service im Maschinen- und Anlagenbau .....                            | 20       |
| 2.2.1    | Definition „After-Sales Service“ .....  | 20       |
| 2.2.2    | Einordnung und Aufgaben .....   | 21       |
| 2.2.3    | Leistungen und Leistungssysteme .....   | 22       |
| 2.2.4    | Instandhaltungsmaßnahmen .....  | 26       |
| 2.3      | Prozesse, Systeme und Besonderheiten im After-Sales .....                         | 27       |
| 2.3.1    | Allgemeiner Auftragsabwicklungsprozess .....                                      | 27       |
| 2.3.2    | Informationssysteme und Dokumentationen .....                                     | 29       |
| 2.3.3    | Service-Stückliste .....  | 33       |
| 2.3.4    | Service-Kits .....  | 37       |
| 2.4      | Wissensmanagement .....   | 39       |
| 2.4.1    | Wissensmanagement im Allgemeinen.....   | 39       |
| 2.4.2    | Wissensmanagement unterstützt durch Methoden der Künstlichen<br>Intelligenz ..... | 43       |
| 2.5      | Case-based Reasoning .....  | 45       |
| 2.5.1    | CBR im Allgemeinen und Einordnung .....   | 45       |
| 2.5.2    | CBR-Zyklus .....  | 47       |
| 2.5.3    | Task-method structure.....  | 48       |
| 2.5.4    | Bestandteile eines Falls.....   | 50       |
| 2.5.5    | Wissens- und Fallbasis.....   | 52       |
| 2.5.6    | Darstellung von Wissen.....   | 52       |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.6      | Eingrenzung des Untersuchungsraums.....  | 54        |
| 2.7      | Zusammenfassung des Kapitels.....  | 56        |
| <b>3</b> | <b>STAND DER FORSCHUNG .....</b>   | <b>57</b> |
| 3.1      | Vorgehensweise der Literaturrecherche .....  | 57        |
| 3.2      | Ansätze zur Konfiguration von Service-Kits .....   | 57        |
| 3.2.1    | Ansätze des „Repair Kit Problem“ .....   | 57        |
| 3.2.2    | Weitere Kitting-Ansätze .....  | 64        |
| 3.2.3    | Bewertung der Service-Kit Ansätze .....  | 65        |
| 3.2.4    | Fazit Service-Kit Ansätze .....  | 69        |
| 3.3      | CBR-Ansätze in relevanten Anwendungsgebieten .....   | 71        |
| 3.3.1    | Ansätze des Case-based Reasoning im Kontext von<br>Instandhaltung und Ersatzteilmanagement.....            | 71        |
| 3.3.2    | Weitere Anwendungen von Case-based Reasoning in<br>angrenzenden Themenbereichen .....                      | 75        |
| 3.3.3    | Bewertung der CBR-Ansätze .....  | 77        |
| 3.3.4    | Fazit CBR-Ansätze .....  | 79        |
| 3.4      | Zusammenfassung des Kapitels.....  | 79        |
| <b>4</b> | <b>ANFORDERUNGSANALYSE DES VORGEHENSMODELLS.....</b>   | <b>80</b> |
| 4.1      | Vorgehensweise zur Anforderungsdefinition .....  | 80        |
| 4.2      | Anforderungsarten, Anforderungsquellen und Ermittlungstechniken .....                                      | 82        |
| 4.3      | Anforderungen.....   | 82        |
| 4.3.1    | Rahmenbedingungen .....  | 83        |
| 4.3.2    | Funktionale Anforderungen .....  | 83        |
| 4.3.3    | Nicht-funktionale Anforderungen .....  | 84        |
| 4.4      | Zusammenfassung des Kapitels.....  | 84        |
| <b>5</b> | <b>ENTWICKLUNG EINES VORGEHENSMODELLS FÜR DIE<br/>WISSENSBASIERTE KONFIGURATION VON SERVICE-KITS .....</b> | <b>85</b> |
| 5.1      | Gesamtübersicht CBR-System.....  | 85        |
| 5.2      | Fallbestandteile.....  | 86        |
| 5.2.1    | Detailbeschreibung der Inferenzprozesse .....  | 87        |
| 5.2.2    | Expertenaufgaben .....   | 90        |
| 5.2.3    | Fallstruktur nach dem „Lokal-Global Prinzip“.....  | 90        |



|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 5.2.4    | Attributableitung für die Problemdarstellung.....                 | 92         |
| 5.2.5    | Attributableitung für die Lösungsdarstellung.....                 | 96         |
| 5.2.6    | Attributableitung für weitere Rahmeninformationen.....            | 98         |
| 5.3      | Struktur der Wissens- und Fallbasis .....                         | 101        |
| 5.4      | Phase 1   Case Preparation.....                                   | 102        |
| 5.4.1    | Schritt 1   CP-Problem formulieren .....                          | 103        |
| 5.4.2    | Schritt 2   Wartungsplan identifizieren .....                     | 104        |
| 5.4.3    | Schritt 3   Wartungsintervall identifizieren.....                 | 104        |
| 5.4.4    | Schritt 4   Relevante Wartungspositionen identifizieren.....      | 105        |
| 5.4.5    | Zusammenfassung Phase 1 .....                                     | 106        |
| 5.5      | Phase 2   Case-based Reasoning .....                              | 106        |
| 5.5.1    | Schritt 5   CBR-Problem formulieren und Attribute isolieren ..... | 106        |
| 5.5.2    | Schritt 6   Sub-Fallbasis zuweisen.....                           | 110        |
| 5.5.3    | Schritt 7   Ähnlichkeit der Anlagentyp ID bestimmen .....         | 111        |
| 5.5.4    | Schritt 8   Ähnlichkeit der Positionen bestimmen.....             | 114        |
| 5.5.5    | Schritt 9   Ähnlichkeit der Teilebezeichnungen bestimmen .....    | 116        |
| 5.5.6    | Schritt 10   Gesamtähnlichkeit je Fall bestimmen .....            | 121        |
| 5.5.7    | Schritt 11   Gütegrad des Gesamtfalls bestimmen .....             | 122        |
| 5.5.8    | Schritt 12   Lösung anwenden .....                                | 124        |
| 5.5.9    | Schritt 13   Resultat prüfen und reparieren.....                  | 125        |
| 5.5.10   | Schritt 14   Adaptierten Fall speichern.....                      | 127        |
| 5.5.11   | Zusammenfassung Phase 2.....                                      | 129        |
| 5.6      | Phase 3   Case Postprocessing.....                                | 129        |
| 5.6.1    | Schritt 15   Teilenauffolger prüfen.....                          | 129        |
| 5.6.2    | Zusammenfassung Phase 3.....                                      | 131        |
| 5.7      | Zusammenfassung des Kapitels.....                                 | 131        |
| <b>6</b> | <b>ANWENDUNG UND VALIDIERUNG DES VORGEHENSMODELLS .....</b>       | <b>132</b> |
| 6.1      | Ausgangssituation und Rahmenbedingungen .....                     | 132        |
| 6.2      | Aufgabenstellung und Vorgehensweise.....                          | 133        |
| 6.3      | Fallbeispiel.....   | 134        |
| 6.3.1    | Aufbau der Wissensbasis .....                                     | 134        |
| 6.3.2    | Fallbeispiel „Motortyp B20“   Phase 1 .....                       | 143        |
| 6.3.3    | Fallbeispiel „Motortyp B20“   Phase 2.....                        | 146        |
| 6.3.4    | Fallbeispiel „Motortyp B20“   Phase 3.....                        | 166        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.4      | Umsetzung in Demonstrator .....   | 169        |
| 6.5      | Zusammenfassung des Kapitels.....   | 170        |
| <b>7</b> | <b>RESÜMEE UND AUSBLICK .....</b>   | <b>171</b> |
| 7.1      | Diskussion der Forschungsfragen .....                                       | 171        |
| 7.2      | Abgleich mit den Vorgehensmodellanforderungen .....                         | 173        |
| 7.3      | Nutzen aus Managementsicht .....  | 175        |
| 7.4      | Weiterer Forschungsbedarf .....   | 176        |
| 7.4.1    | Erweiterung des Anwendungsspektrums des entwickelten CBR-<br>Ansatzes ..... | 176        |
| 7.4.2    | Methodische Erweiterung des entwickelten CBR-Ansatzes .....                 | 177        |
| 7.4.3    | Transfer in andere Unternehmens- und Logistikbereiche .....                 | 177        |
| <b>8</b> | <b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>  | <b>178</b> |
| <b>9</b> | <b>ANHANG .....</b>   | <b>190</b> |
| A.1      | DSRM Process Model .....  | 190        |
| A.2      | Generischer Ersatzteilidentifikationsprozess .....                          | 191        |
| A.3      | Beispiele für Fallbestandteile und Fallattribute .....                      | 193        |
| A.4      | Beispiele für Einzelschritte des CBR-Systems .....                          | 195        |
| A.5      | Teileumfänge WAIDs.....   | 203        |
| A.6      | Falldarstellung .....   | 210        |
| A.7      | Detailergebnisse sim ATID und sim P <sub>ges</sub> .....                    | 212        |
| A.8      | Editierdistanzberechnung .....  | 215        |
| A.9      | Detailergebnisse sim TBZ <sub>i</sub> .....                                 | 220        |
| A.10     | Detailergebnisse sim FID .....  | 228        |

## Abkürzungsverzeichnis

|          |                                     |
|----------|-------------------------------------|
| Abk.     | Abkürzung                           |
| AI       | Artificial Intelligence             |
| AID      | Anlagen ID                          |
| Anf.     | Anforderung                         |
| ARM      | Association Rule Mining             |
| AT       | Anlagentyp                          |
| Bh       | Betriebsstunden                     |
| BR       | Baureihe                            |
| Bsp.     | Beispiel                            |
| bzgl.    | bezüglich                           |
| bzw.     | beziehungsweise                     |
| ca.      | circa                               |
| CBR      | Case-based Reasoning                |
| CP       | Case Preparation                    |
| CPP      | Case Postprocessing                 |
| d. h.    | das heißt                           |
| DG       | Deskriptorengruppe                  |
| DMS      | Dokumentenmanagementsystem          |
| DS       | Design Science                      |
| DSR      | Design Science Research             |
| DSRM     | Design Science Research Methodology |
| dt.      | deutsch                             |
| EDM      | Engineering Data Management Systeme |
| eETK     | elektronischer Ersatzteilkatalog    |
| engl.    | englisch                            |
| EPK      | Ereignisgesteuerte Prozesskette     |
| FED      | Fallerstellungsdatum                |
| FID      | Fall ID                             |
| i. A.    | in Anlehnung                        |
| i. d. R. | in der Regel                        |
| IBR      | Installed Base Report               |

|            |   |
|------------|---|
| ID         | Identifikationsnummer   |
| IH         | Instandhaltung  |
| IP         | Inferenzprozess   |
| IPS-System | Instandhaltungsplanungs- und<br>-steuerungssystem                                   |
| IRR        | Item Relationship Report  |
| IT         | Informationstechnik   |
| KfZ        | Kraftfahrzeug   |
| KI         | Künstliche Intelligenz  |
| kW         | Kilowatt  |
| KWK        | Kraft-Wärme-Kopplung  |
| LKW        | Lastkraftwagen  |
| max.       | maximal   |
| ML         | Machine Learning  |
| MW         | Megawatt  |
| NACE       | Nomenclature statistique des activités<br>économiques dans la Communauté européenne |
| NF         | Nachfolgerteilenummer   |
| OEM        | Original Equipment Manufacturer   |
| P          | Position  |
| PDM        | Produktdatenmanagement  |
| RBS        | Regelbasiertes System   |
| RKP        | Repair-Kit Problem  |
| SBOM       | Service Bill of Materials   |
| sim        | Similarity  |
| STK        | Stückzahl   |
| TBM        | Transferable Belief Model   |
| TBZ        | Teilebezeichnung  |
| tlw.       | teilweise   |
| TN         | Teilenummer   |
| u. a.      | unter anderem   |
| UID        | Autor ID  |
| USP        | Unique selling proposition  |

---

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| usw.  | und so weiter                 |
| v. a. | vor allem                     |
| VDI   | Verein Deutscher Ingenieure   |
| vgl.  | vergleiche                    |
| VSK   | Vorläufiges Service-Kit       |
| WA    | Wartungsposition              |
| WMS   | Wissensmanagementsystem       |
| WP    | Wartungsplan                  |
| WPD   | Wartungsplandatenbank         |
| WPT   | Wavelet Packet-Transformation |
| z. B. | zum Beispiel                  |
| zw.   | zwischen                      |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Erwarteter Umsatzanteil des Service-Bereichs in Maschinen- und Anlagenbauunternehmen (Discher und Bosch 2017) ..... | 1  |
| Abbildung 2: Produktlebenszyklen im Service des Maschinen- und Anlagenbaus in Anlehnung an (Blinn et al. 2010) .....             | 2  |
| Abbildung 3: Herausforderungen in der Service-Dokumentation (eigene Darstellung)   | 5  |
| Abbildung 4: Herausforderungen durch Varianten- und Teilevielfalt bei Ersatzteilen (Riester et al. 2017) .....                   | 6  |
| Abbildung 5: Schematische Darstellung der manuellen Experteneinbindung (eigene Darstellung) .....                                | 7  |
| Abbildung 6: Schematische Darstellung der Inferenz-Prozesse (eigene Darstellung)   | 9  |
| Abbildung 7: Detaildarstellung des generischen Ersatzteilidentifikationsprozesses (eigene Darstellung) .....                     | 11 |
| Abbildung 8: Information Systems Research Framework in Anlehnung an (Hevner et al. 2004).....                                    | 14 |
| Abbildung 9: DSRM Process Model in Anlehnung an (Peppers et al. 2014) .....  | 16 |
| Abbildung 10: Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung).....  | 17 |
| Abbildung 11: Geschäftsbeziehungen mit Umsatzsteigerungspotenzial im After-Sales (Riester und Ott 2018) .....                    | 20 |
| Abbildung 12: Wertschöpfungskette nach Porter (Gadatsch 2010) .....  | 22 |
| Abbildung 13: Aufgaben in Service-Bereichen (Luczak 1999).....   | 22 |
| Abbildung 14: Leistungsebenen im Industriegüterbereich (Baumbach und Stampfl 2002) .....   | 24 |
| Abbildung 15: Unterteilung der Instandhaltung (DIN 31051:2012-09) .....  | 26 |
| Abbildung 16: Auftragsabwicklungsprozess der Instandhaltungslogistik (Arnold et al. 2008) .....                                  | 28 |

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 17: Begriffspyramide des Daten-, Informations- und Wissensmanagements (Schenk 2010) .....  | 30 |
| Abbildung 18: Managementsysteme in der IH (eigene Darstellung).....                                  | 31 |
| Abbildung 19: Integrationsfunktion von Wartungsplänen (VDI 2890:2017-03) .....                       | 32 |
| Abbildung 20: Abhängigkeit zw. Stückliste und Arbeitsplan (Lindemann et al. 2006) 33                 |    |
| Abbildung 21: Aufbau der Strukturstückliste (DIN 199-1:2002-03) .....                                | 34 |
| Abbildung 22: Produktstruktursichten (Eigner 2014a) .....  | 35 |
| Abbildung 23: Ersatzteilidentifikationsprozess in Anlehnung an (Baumbach und Stampfl 2002) .....     | 38 |
| Abbildung 24: Knowledge Management Value Chain (Laudon und Laudon 2012)....                          | 40 |
| Abbildung 25: Wissensarten im Allgemeinen. Eigene Darstellung in Anlehnung an (Jashapara 2011) ..... | 40 |
| Abbildung 26: Wissensarten nach BLACKLER (eigene Darstellung) .....                                  | 41 |
| Abbildung 27: Arten von Wissensmanagementsystemen (Laudon und Laudon 2012) .....                     | 42 |
| Abbildung 28: CBR-Cycle in Anlehnung an (Aamodt und Plaza 1994).....                                 | 47 |
| Abbildung 29: Task-method structure (Aamodt und Plaza 1994) .....                                    | 49 |
| Abbildung 30: Representation Layers in Anlehnung an (Richter und Weber 2013)...                      | 53 |
| Abbildung 31: Kategorien des Untersuchungsraums (eigene Darstellung) .....                           | 54 |
| Abbildung 32: Ausprägungen des Untersuchungsraums (eigene Darstellung) .....                         | 56 |
| Abbildung 33: Spiralmodell nach BOEHM in Anlehnung an (Heinrich 2007) .....                          | 81 |
| Abbildung 34: Schematische Darstellung des CBR-Systems (eigene Darstellung)...                       | 85 |
| Abbildung 35: Detailaufbau und Ablauf des CBR-Systems in Anlehnung an (Riester et al. 2020).....     | 86 |
| Abbildung 36: Detaildarstellung Inferenzprozess 1 (eigene Darstellung) .....                         | 88 |

|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 37: Detaildarstellung Inferenzprozess 2 (eigene Darstellung) .....  | 89  |
| Abbildung 38: Fallstruktur nach Lokal-Global-Prinzip (eigene Darstellung) .....   | 91  |
| Abbildung 39: Fallbestandteile (eigene Darstellung) .....   | 93  |
| Abbildung 40: Attributableitung Lösungsdarstellung 1/2 (eigene Darstellung) .....   | 99  |
| Abbildung 41: Attributableitung Lösungsdarstellung 2/2 (eigene Darstellung) .....   | 100 |
| Abbildung 42: Wissens- und Fallbasis-Struktur sowie schematisches Beispiel für das Regelwerk der Phase 1 (eigene Darstellung) ..... | 102 |
| Abbildung 43: Ein- und Ausgangsgrößen der Phase 1 (eigene Darstellung) .....  | 103 |
| Abbildung 44: Schematische Darstellung der CBR-Problemformulierung (eigene Darstellung) .....                                       | 107 |
| Abbildung 45: Bestandteile eines beispielhaften Abfrageproblems (eigene Darstellung) .....  | 109 |
| Abbildung 46: Ähnlichkeit der Anlagentyp ID (eigene Darstellung) .....  | 113 |
| Abbildung 47: Ähnlichkeit der Positionen (eigene Darstellung – 1/2) .....   | 115 |
| Abbildung 48: Ähnlichkeit der Positionen (eigene Darstellung – 2/2) .....   | 116 |
| Abbildung 49: Editierdistanz der Teilebezeichnungen (eigene Darstellung) .....  | 118 |
| Abbildung 50: Beispielrechnung Editierdistanz (eigene Darstellung) .....  | 119 |
| Abbildung 51: Ähnlichkeit der Teilebezeichnungen (eigene Darstellung) .....   | 120 |
| Abbildung 52: Beispiel für Sonderzeichen-Bereinigung (eigene Darstellung) .....   | 120 |
| Abbildung 53: Schematische Kombination der Ähnlichkeitsmaße (eigene Darstellung) .....  | 121 |
| Abbildung 54: Beispielhafte Ursachen für Abweichungen der Ähnlichkeitsmaße (eigene Darstellung) .....                               | 126 |
| Abbildung 55: Beispiel für die formale Beschreibung eines adaptierten Falls (eigene Darstellung) .....                              | 128 |



|  |     |
|--|-----|
| Abbildung 56: Ein- und Ausgangsgrößen der Phase 3 (eigene Darstellung).....  | 129 |
| Abbildung 57: Beispielhafter Gasmotor (INNIO Jenbacher GmbH & Co OG 2020).133  |     |
| Abbildung 58: Aufbau und Struktur der Wissensbasis (eigene Darstellung).....   | 135 |
| Abbildung 59: Auszug des generischen Wartungsplans der BRB (INNIO Jenbacher GmbH & Co OG 2016) .....                                 | 136 |
| Abbildung 60: Vorgehensweise zur Erstellung der initialen Fallbasisinhalte (eigene Darstellung) .....                                | 138 |
| Abbildung 61: Fallbeschreibung der WAID = W 0986 für die AID = X26036_1 (eigene Darstellung) .....                                   | 142 |
| Abbildung 62: Fallbeispiel-Datenspeicher mit SBOM-Dateien (neutralisierte eigene Darstellung) .....                                  | 148 |
| Abbildung 63: Auszug der SBOM der Anlagen ID = X26510_1 (neutralisierte eigene Darstellung) .....                                    | 148 |
| Abbildung 64: Resultierende Abfrageprobleme und Zuordnung zu Sub-Fallbasen (eigene Darstellung) .....                                | 149 |
| Abbildung 65: Vektorenableitung der sim ATID für FID = F0000001 und FID = F0000011 (eigene Darstellung) .....                        | 151 |
| Abbildung 66: Vektorenableitung der sim $P_i$ und sim $P_{ges}$ für die FID = F0000001 und FID = F0000007 (eigene Darstellung) ..... | 153 |
| Abbildung 67: Ergebnisübersicht der Editierdistanzberechnung für die FID = F0000001 (eigene Darstellung) .....                       | 156 |
| Abbildung 68: Ergebnisübersicht der sim TBZ <sub>i</sub> für die FID = F0000001 (eigene Darstellung) .....                           | 158 |
| Abbildung 69: Formale Beschreibung der neuen FID = F0000047 (eigene Darstellung) .....   | 165 |
| Abbildung 70: Benutzeroberfläche des entwickelten Proof-of-concept Demonstrators (eigene Darstellung) .....                          | 170 |

|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 71: Vergleich bestehender Service-Kit und CBR-Ansätze mit dem entwickelten CBR-Ansatz zur Service-Kit Konfiguration (eigene Darstellung).....                     | 175 |
| Abbildung 72: DSRM Process Model in Anlehnung an (Peppers et al. 2014) .....  | 190 |
| Abbildung 73: Generischer Ersatzteilidentifikationsprozess (eigene Darstellung – 1/3) .....   | 191 |
| Abbildung 74: Generischer Ersatzteilidentifikationsprozess (eigene Darstellung – 2/3) .....   | 192 |
| Abbildung 75: Generischer Ersatzteilidentifikationsprozess (eigene Darstellung – 3/3) .....   | 193 |
| Abbildung 76: Falldarstellung der Deskriptorengruppe 1 der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung).....                              | 210 |
| Abbildung 77: Falldarstellung der Deskriptorengruppe 1 der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ für den Motortyp B20 (eigene Darstellung).....                              | 211 |
| Abbildung 78: Editierdistanzberechnung für die FIDs der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ mit $\text{sim } P_{\text{ges}} > 0$ (eigene Darstellung – 1/2).....           | 218 |
| Abbildung 79: Editierdistanzberechnung für die FIDs der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ mit $\text{sim } P_{\text{ges}} > 0$ (eigene Darstellung – 2/2).....           | 219 |
| Abbildung 80: Berechnung der $\text{sim } TBZ_i$ für die FIDs der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ mit $\text{sim } P_{\text{ges}} > 0$ (eigene Darstellung – 1/2)..... | 220 |
| Abbildung 81: Berechnung der $\text{sim } TBZ_i$ für die FIDs der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ mit $\text{sim } P_{\text{ges}} > 0$ (eigene Darstellung – 2/2)..... | 221 |

## Formelverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| Formel 1: Positionsgleichung.....   | 95  |
| Formel 2: Teilenummerngleichung .....   | 96  |
| Formel 3: Stückzahlgleichung.....   | 97  |
| Formel 4: Regel für die Abfrage der Wartungsplandatenbank.....  | 104 |
| Formel 5: Regel für die Abfrage des Wartungsintervalls .....  | 105 |
| Formel 6: Regel für die Auswahl der zugehörigen Wartungspositionen .....                                | 105 |
| Formel 7: Regel für die Abfrage der Stücklistendatenbank .....  | 108 |
| Formel 8: Regel für die Zuweisung der Sub-Fallbasis .....   | 110 |
| Formel 9: Ähnlichkeit der Anlagentyp ID .....   | 112 |
| Formel 10: Ähnlichkeit der Position .....   | 115 |
| Formel 11: Berechnungsweise der Editierdistanz (Levenshtein-Distanz).....                               | 117 |
| Formel 12: Ähnlichkeit der Teilebezeichnung.....  | 119 |
| Formel 13: Gesamtähnlichkeit eines Falls.....   | 121 |
| Formel 14: Gütegrad des Gesamtfalls.....  | 123 |
| Formel 15: Regel für die Prüfung von Teilenummernachfolger in der<br>Nachfolgerteiledokumentation ..... | 130 |

## Tabellenverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 1: Design-Science Research Guidelines in Anlehnung an (Hevner et al. 2004) .....  | 15  |
| Tabelle 2: Vier mögliche Zielsetzungen von AI in Anlehnung an (Russell und Norvig 2016) und (Bringsjord und Govindarajulu 2018) .....                         | 43  |
| Tabelle 3: Auswahl intelligenter Techniken für die Wissensrepräsentation und Schließprozesse nach (Beierle und Kern-Isberner 2014) (eigene Darstellung) ..... | 44  |
| Tabelle 4: Bestandteile eines Falls (eigene Darstellung) .....  | 51  |
| Tabelle 5: Literaturübersicht Service Kit-Ansätze (eigene Darstellung) .....  | 58  |
| Tabelle 6: Abgleich Service-Kit Ansätze mit dem definierten Untersuchungsraum (eigene Darstellung) .....  | 67  |
| Tabelle 7: Literaturübersicht CBR-Ansätze im Kontext von Instandhaltung und Ersatzteilmanagement (eigene Darstellung) .....                                   | 71  |
| Tabelle 8: Anwendungsbereiche von CBR (eigene Darstellung) .....  | 76  |
| Tabelle 9: Abgleich der CBR-Ansätze mit dem definierten Untersuchungsraum (eigene Darstellung) .....  | 78  |
| Tabelle 10: Attribute und Variablen der Fallbestandteile (eigene Darstellung) .....   | 94  |
| Tabelle 11: Beispiel für eine Teilleiste „Vorläufiges Service-Kit“ (eigene Darstellung) .....   | 125 |
| Tabelle 12: Beispiel für eine korrigierte Ergebnisliste (eigene Darstellung) .....  | 127 |
| Tabelle 13: Beispiel für eine Teilenachfolgerdokumentation und finale Ergebnisliste (eigene Darstellung) .....  | 131 |
| Tabelle 14: Wartungsplanmatrix (eigene Darstellung) .....   | 137 |
| Tabelle 15: Übersicht der initialen Fallbasisinhalte (eigene Darstellung) .....   | 140 |
| Tabelle 16: Teileumfang für WA ID = W 0986 „Elastomerteile“ für AIDs des Motortyps B20 (eigene Darstellung) .....   | 141 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 17: Auszug des Installed Base Reports/Anlagenverzeichnis (eigene Darstellung in Anlehnung an (INNIO Jenbacher GmbH & Co OG 2015)).....                    | 144 |
| Tabelle 18: Auszug des Wartungsplans der AID = X26510_1 (eigene Darstellung)  | 145 |
| Tabelle 19: sim ATID der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ (eigene Darstellung) .....  | 152 |
| Tabelle 20: sim $P_{ges}$ der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ (eigene Darstellung) .....   | 155 |
| Tabelle 21: Editierdistanzmatrix für TBZ <sub>500#5510#6#</sub> der FID = F0000001 (eigene Darstellung) .....   | 156 |
| Tabelle 22: Zeichenanzahl je TBZ <sub>i</sub> für das Abfrageproblem sowie alle Fälle der WAID = W 0147 für die gilt sim $P_{ges} > 0$ (eigene Darstellung) ..... | 157 |
| Tabelle 23: sim FID für die Fälle der Sub-Fallbasis W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ (eigene Darstellung) .....  | 160 |
| Tabelle 24: Übersicht der Fall IDs je Sub-Fallbasis mit max. sim Case ID (eigene Darstellung) .....   | 160 |
| Tabelle 25: Resultierende Teileliste „Vorläufiges Service-Kit“ (eigene Darstellung)   | 163 |
| Tabelle 26: Auszug der Nachfolgerteiledokumentation (eigene Darstellung) .....  | 166 |
| Tabelle 27: Finale Ergebnisliste „Vollumfängliches Service-Kit“ (eigene Darstellung) .....  | 168 |
| Tabelle 28: Teileumfang WAID = W 0680 „Kolben/Kolbenkühlung“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung) .....  | 203 |
| Tabelle 29: Teileumfang WAID = W 0680 „Kolben/Kolbenkühlung“ für den Motortyp B20 (eigene Darstellung) .....  | 203 |
| Tabelle 30: Teileumfang WAID = W 2891 „Ansaugluftmotor“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung) .....   | 204 |
| Tabelle 31: Teileumfang WAID = W 1227 „Zylinderkopftausch“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung) .....  | 205 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 32: Teileumfang WAID = W 2681 „Motorkühlwasserpumpe“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung) .....  | 206 |
| Tabelle 33: Teileumfang WAID = W 2049 „Kurbelgehäuseentlüftung“ für den Motortyp B20 (eigene Darstellung) .....   | 206 |
| Tabelle 34: Teileumfang WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung) .....  | 207 |
| Tabelle 35: Teileumfang WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ für den Motortyp B20 (eigene Darstellung) .....  | 208 |
| Tabelle 36: Teileumfang WAID = W 0986 „Elastomerteile“ für den Motortyp B20 (eigene Darstellung) .....  | 209 |
| Tabelle 37: Detailergebnisse für die $\text{sim } P_{\text{ges}} > 0$ der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ (eigene Darstellung) .....   | 212 |
| Tabelle 38: Sim ATID und $\text{sim } P_{\text{ges}}$ der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0680 „Kolben/Kolbenkühlung“ (eigene Darstellung) .....                                      | 212 |
| Tabelle 39: Sim ATID und $\text{sim } P_{\text{ges}}$ der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 2049 „Kurbelgehäuseentlüftung“ und W 1499 „Motorkühlwasserpumpe“ (eigene Darstellung) ..... | 213 |
| Tabelle 40: Sim ATID und $\text{sim } P_{\text{ges}}$ der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0986 „Elastomere“ (eigene Darstellung) .....  | 214 |
| Tabelle 41: Editierdistanzmatrix für TBZ <sub>500#5510#7#</sub> der FID = F0000001 (eigene Darstellung) .....   | 215 |
| Tabelle 42: Editierdistanzmatrix für TBZ <sub>500#5511#5#100#</sub> der FID = F0000001 (eigene Darstellung) .....   | 215 |
| Tabelle 43: Editierdistanzmatrix für TBZ <sub>500#5511#5#200#</sub> der FID = F0000001 (eigene Darstellung) .....   | 216 |
| Tabelle 44: Editierdistanzmatrix für TBZ <sub>500#5511#5#300#</sub> der FID = F0000001 (eigene Darstellung) .....   | 216 |
| Tabelle 45: Editierdistanzmatrix für TBZ <sub>500#5511#5#400#</sub> der FID = F0000001 (eigene Darstellung) .....   | 216 |

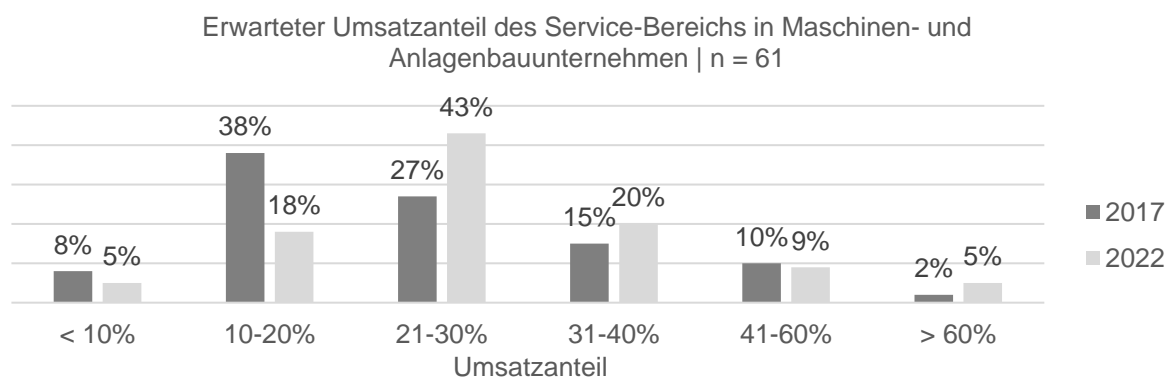
|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 46: Editierdistanzmatrix für TBZ <sub>500#5511#5#500#</sub> der FID = F000001 (eigene Darstellung) .....                                    | 217 |
| Tabelle 47: sim TBZ <sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0680 „Kolben/Kolbenkühlung“ (eigene Darstellung) .....                         | 222 |
| Tabelle 48: sim TBZ <sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0986 „Elastomerteile“ (eigene Darstellung – 1/3) .....                         | 223 |
| Tabelle 49: sim TBZ <sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0986 „Elastomerteile“ (eigene Darstellung – 2/3) .....                         | 224 |
| Tabelle 50: sim TBZ <sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0986 „Elastomerteile“ (eigene Darstellung – 3/3) .....                         | 225 |
| Tabelle 51: sim TBZ <sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 2049 „Kurbelgehäuseentlüftung“ (eigene Darstellung) .....                      | 226 |
| Tabelle 52: sim TBZ <sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 1499 „Motorkühlwasserpumpe“ (eigene Darstellung) .....                         | 227 |
| Tabelle 53: sim FID der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0680 „Kolben/Kolbenkühlung“ (eigene Darstellung) .....                                      | 228 |
| Tabelle 54: sim FID der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0986 „Elastomerteile“ (eigene Darstellung) .....  | 229 |
| Tabelle 55: sim FID der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 2049 „Kurbelgehäuseentlüftung“ und W 1499 „Motorkühlwasserpumpe“ (eigene Darstellung) ..... | 230 |
| Tabelle 56: Verzeichnis betreuter Diplomarbeiten im Bereich Ersatzteilmanagement (eigene Darstellung) .....   | 231 |

## 1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Fragestellung wie Case-based Reasoning (CBR), eine Methode aus dem Bereich der „Wissensbasierten Systeme“, für die Effizienzsteigerung bei der Auftragsabwicklung von Serviceanfragen und -aufträgen in Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, im Speziellen der Gasmotorenherstellung, eingesetzt werden kann. Hierfür wird ein Vorgehensmodell entwickelt, das speziell die Identifikation von korrekten Ersatzteilen, d. h. die technische Auftragsklärung, beschleunigt und resultierend die Gesamtauftragsdurchlauf- und Bearbeitungszeit verkürzt.

### 1.1 Ausgangssituation und Motivation

Der After-Sales Bereich von Maschinen- und Anlagenbauunternehmen ist ein relevanter Bestandteil ihrer Wertschöpfungsketten (vgl. Blinn et al. 2010; Discher und Bosch 2017; Dispan 2017). Wesentlich hierfür ist die vielfach höhere Wertschöpfung einer immateriellen Serviceleistung im Vergleich zur der eines physischen Primärprodukts. Eine Untersuchung von SCHMIEDEBERG et al. ergab eine durchschnittliche Marge von 5 % bei Primärprodukten und bis zu 21 % bei Service-Leistungen (vgl. Schmiedeburg et al. 2010). Kunden zeigen v. a. bei Anlagen mit hohen Ausfallkosten eine erhöhte Preisbereitschaft für hohe Ersatzteilverfügbarkeiten und kurze Lieferzeiten (vgl. Baumbach und Stampfl 2002). Bis zum Jahr 2022 planen daher insgesamt 43 % der Maschinen- und Anlagenbauunternehmen den Ausbau des Service-Umsatzes auf bis zu 30 % des Gesamtumsatzes (vgl. Discher und Bosch 2017). Eine Übersicht der geplanten Service-Umsatzveränderungen zeigt Abbildung 1.

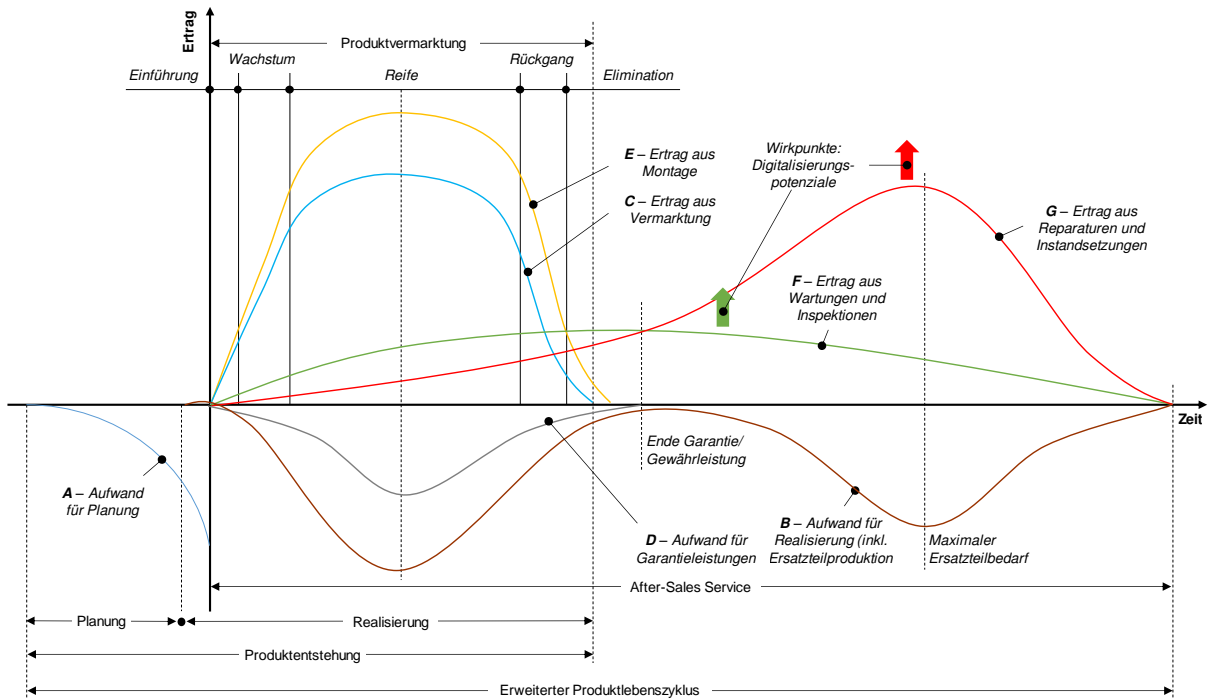


**Abbildung 1: Erwarteter Umsatzanteil des Service-Bereichs in Maschinen- und Anlagenbauunternehmen (Discher und Bosch 2017)**

Verfolgt wird dies durch die Entwicklung von Produkt-Service-Systemen, welche materielle und immaterielle Produkte integrieren (vgl. Blinn et al. 2010). Die resultierenden hybriden Wertschöpfungssysteme erfordern für die Wertschöpfungsbewertung eine



erweiterte Betrachtung bisheriger Produktlebenszyklen (vgl. Blinn et al. 2010; Schuh et al. 2017). Ein entsprechendes Modell in Anlehnung an BLINN et al. kann der Abbildung 2 entnommen werden.



**Abbildung 2: Produktlebenszyklen im Service des Maschinen- und Anlagenbaus in Anlehnung an (Blinn et al. 2010)**

Die schematischen Kurvenverläufe zeigen die Erträge und Aufwände in einzelnen Lebenszyklusphasen. Die Kurven F und G repräsentieren das Potenzial für Wartungen und Inspektionen sowie Reparaturen und Instandsetzungen. Das maximale Wertschöpfungspotenzial eines hybriden Produkts zeigt sich somit in der After-Sales Phase (vgl. Blinn et al. 2010). Ursächlich hierfür ist u. a., dass sich Produkte verhältnismäßig länger in der After-Sales Phase als der Vermarktungsphase befinden. Die Vermarktung beträgt ca. 6-8 Jahre, wohingegen die Nutzung der Produkte ca. 12-15 Jahre oder mehr betragen kann (vgl. Blinn et al. 2010). Ergänzend bieten die aktuellen Industrie 4.0 Entwicklungen weiteres Wertschöpfungspotenzial für Maschinen- und Anlagenbauunternehmen. Die Digitalisierung ermöglicht die Entwicklung von Smart Services, basierend auf vernetzten Produkten, sowie neue Geschäftsmodelle für die Instandhaltung und den After-Sales (vgl. Abramovici 2018; Freitag et al. 2019; Matyas 2019). Ein Beispiel aus der Gebäudeanlagentechnik zeigt, dass mit Smart Services die zwölffache Marge im Vergleich zu herkömmlichen Produkten erzielt werden kann (vgl. Schuh et al. 2017). Vertiefende Erläuterungen zur Digitalisierung können dem Punkt 2.1 entnommen werden. In Abbildung 2 sind schematisch die Wirkpunkte dieser zusätzlichen

Digitalisierungspotenziale angedeutet. Neben den erweiterten Wertschöpfungspotenzialen durch die Generierung von Produkt-Service-Systemen und die begleitende Digitalisierung führt der zunehmende Wettbewerbsdruck durch asiatische Unternehmen zu einer Intensivierung des Servicegeschäfts (vgl. Brodtmann et al. 2014). Die Etablierung der Serviceangebote als Alleinstellungsmerkmale<sup>1</sup> kann hier einen Beitrag zur Absicherung der Marktposition leisten (vgl. Brendle et al. 2016). Weltweit implementierte und langjährig entwickelte Serviceprozesse können aufgrund ihrer nicht-physischen Gestalt, wenn überhaupt, nur sehr schwer durch Mitbewerber imitiert werden. Ein weiterer Motivator für den verstärkten Fokus auf das Servicegeschäft ist das stabilere Absatzverhalten im Vergleich zum Primärproduktverkauf (vgl. Straehle et al. 2015). Stärkere Absatzschwankungen der Primärprodukte können mit einem entsprechend ausgeprägten Servicebereich abgefedert werden (vgl. Döbler et al. 2020; Brodtmann et al. 2014). Darüber hinaus werden von Kundenseite verstärkt Servicedienstleistungen in Kombination mit Neuanlagenkäufe gefordert (vgl. Brodtmann et al. 2014). Hintergrund der verstärkten Forderung nach Servicedienstleistungen seitens der Kunden ist u. a. das Ziel der Komplexitätsreduktion für die eigenen Instandhaltungsteams, die Variabilisierung der Instandhaltungs-/Servicekosten sowie die Sicherstellung der Verfügbarkeit qualifizierter und spezialisierter Instandhaltungsfachkräfte (vgl. Baader et al. 2006; Meier und Schramm 2004; Brendle et al. 2016; Freitag et al. 2019).

## 1.2 Problemstellung

### 1.2.1 Allgemeine Problemstellung

In Konsequenz bedeutet die zuvor beschriebene Entwicklung einen verstärkten Transfer von Komplexität und Verantwortung von Kundenseite auf die Herstellerseite, welche umfassende Servicedienstleistungen anbieten (vgl. Österle und Senger 2006; Brendle et al. 2016). Ein neuer Hauptprozess für die Auftragsabwicklung von Servicedienstleistungen inkl. aller notwendigen Sub- und Nebenprozesse sowie der entsprechenden Ressourcenplanung wird erforderlich. Die effiziente Gestaltung dieser Auftragsabwicklungsprozesse stellt für viele Unternehmen eine Herausforderung dar.

Zugehörige Daten werden standardmäßig in IPS-Systemen<sup>2</sup> verwaltet. Eine der wesentlichen Praxisherausforderungen bei der Nutzung dieser Systeme ist das Nicht-Vorhandensein von Inhalten sowie ein unzureichendes Ablagesystem (vgl. Schenk

---

<sup>1</sup> engl. Unique Selling Proposition, Abk.: USP

<sup>2</sup> IPS-Systeme = Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssysteme

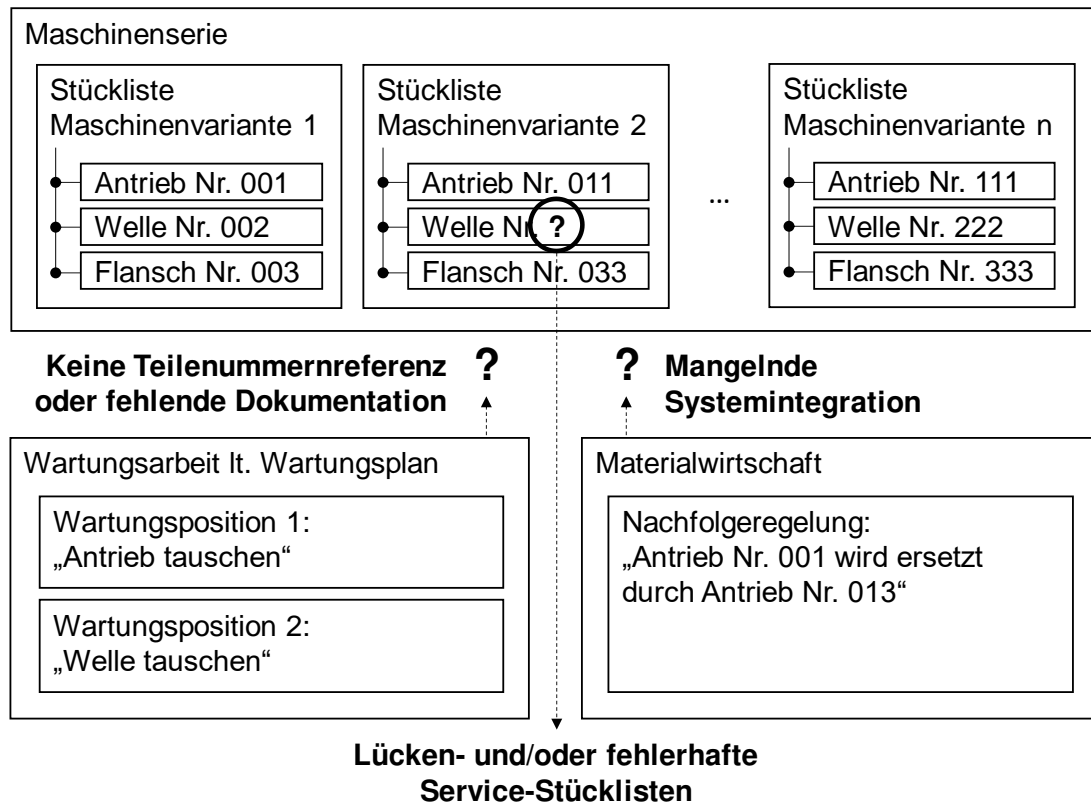
2010). Als Ursache hierfür ist zunächst die **hohe Anzahl** an zu verwaltenden **Ersatzteilen** zu nennen. Ein Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus verkauft durchschnittlich 26.400 unterschiedliche Ersatzteilkennnummern pro Jahr (vgl. Mahnel und Seebauer 2008). Ein weiterer Grund ist die häufig **lückenhafte** oder **fehlende Servicedokumentation** hinsichtlich durchgeführter Wartungstätigkeiten und verbauten Ersatzteilen. Diese sind auf fehlende Rückmeldungen aus dem Feld, bewusste Nicht-Aktualisierungen der technischen Dokumentation aufgrund eines hohen manuellen Aktualisierungsaufwands sowie ineffiziente unternehmensinterne Informationsflüsse (vgl. Luczak 1999) zurückzuführen. Darüber hinaus sind **fehlende digitale Dokumentationen** für ältere Anlagen aufgrund der im Maschinen- und Anlagenbau üblichen Standzeiten von mehr als 15 Jahren eine weitere Ursache für Informationslücken (vgl. Döbler et al. 2020).

**Allgemeine Problemstellung:** Die allgemeinen Herausforderungen im Service-Kontext sind der (a) **Komplexitätstransfer** im Instandhaltungsbereich von Kunden auf Herstellerseite, die (b) individualisierungsbedingte(n) **Ersatzteilanzahl** und **-varianten**, die (c) Lücken bei der **Digitalisierung** und **Integration** von Servicedokumentationen und der (d) generische Charakter von **Wartungsanweisungen**.

Weitere Gründe sind der **Aufbau** und die **Inhalte** von **Wartungsanweisungen**. Wartungsanweisungen<sup>3</sup> gelten häufig für mehrere Varianten einer Maschinen- bzw. Anlagenserie. Die Einzelanlagen unterscheiden sich jedoch in den verbauten Teilen. Für die Minimierung des Dokumentationsaufwands werden Wartungsanweisungen daher generisch, d. h. ohne konkreten Teilenummernbezug, gehalten. Basierend hierauf resultieren entsprechende Informationsbrüche. Bei einem definierten Teilebezug hätte dies zur Folge, dass jede Wartungsanweisung für jede Anlage individuell erstellt und bei Änderungen entsprechend angepasst werden müsste. Abbildung 3 zeigt schematisch die genannten Herausforderungen. Folglich ist eine lückenlose Wartungsdokumentation nach DIN EN 13460 nicht sichergestellt (vgl. DIN EN 13460 2009).

---

<sup>3</sup> Die Begriffe „Wartungsanweisung“, „Wartungsposition“ und „Wartungsarbeit“ werden im Folgenden synonym verwendet.



**Abbildung 3: Herausforderungen in der Service-Dokumentation (eigene Darstellung)**

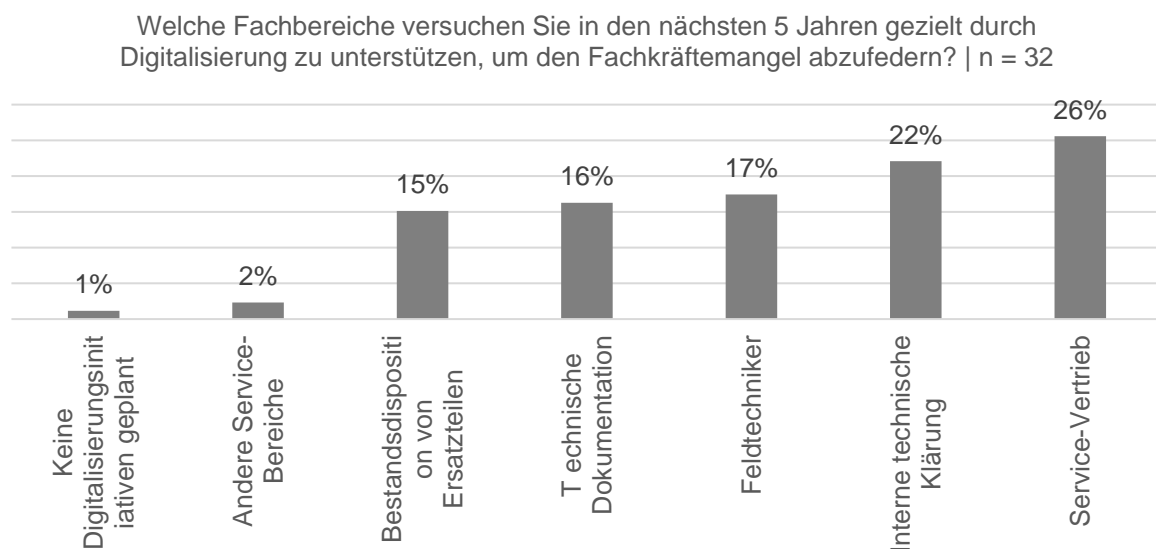
In weiterer Folge werden Experten mit entsprechendem Erfahrungswissen und Maschinenkenntnissen benötigt, die aus den verteilten Dokumentationen und Informationen manuell ein entsprechendes „Service-Kit“<sup>4</sup> für eine geplante Wartung zusammenstellen. Ungefähr 65 % aller Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus beschäftigen Mitarbeiter/innen ausschließlich für die technische Klärung von Ersatzteilbestellungen (vgl. Mahnel und Seebauer 2008). Die dafür notwendigen Experten sind i. d. R. nicht in ausreichender Anzahl verfügbar, sodass sich bei diesen eine entsprechende Arbeitslast konzentriert. Der vorhandene Engpass an technischen Fachkräften lässt eine Besserung nicht erwarten (vgl. Gushurst und Wolf 2019; Brodtmann et al. 2014).

Resultierend aus den vorherigen Erläuterungen ergibt sich bei einem Großteil der Unternehmen ein zeitintensiver Prozess der technischen Klärung und Identifikation der richtigen Ersatzteile (vgl. Drozak 2016). Es wird erwartet, dass sich die Herausforde-

<sup>4</sup> Definitionen und Detailerläuterungen zum Begriff „Service-Kit“ können dem Punkt 2.3.4 entnommen werden.

zung der Teileidentifikation aufgrund der zunehmenden Teile- und Variantenvielfalt zukünftig intensiviert (vgl. Riester et al. 2017). Dies führt letztendlich zu verlängerten Auftragsdurchlaufzeiten sowie zu potenziellen Falsch- oder Fehllieferungen von Ersatzteilen. Darüber hinaus können sich Rück- und Eillieferungen sowie eine geringere Kundenzufriedenheit ergeben.

Die Notwendigkeit sowie die Relevanz von neuen Ansätzen, um die angeführten Problemstellungen zu lösen, wurde seitens der Hersteller erkannt. Ein Großteil der Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus betrachtet den verstärkten Einsatz von Wissensmanagementsystemen als wesentlichen Erfolgsfaktor im Service (vgl. Laurischkat 2014).

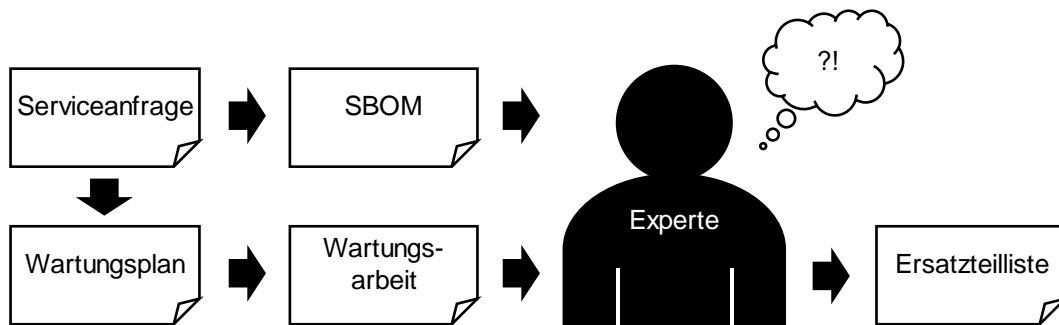


**Abbildung 4: Herausforderungen durch Varianten- und Teilevielfalt bei Ersatzteilen (Riester et al. 2017)**

### 1.2.2 Detailbeschreibung Ist-Situation

Für die Verdeutlichung der vorherrschenden Herausforderungen sowie der Kontexteinbettung und Nutzung des impliziten Expertenwissens erfolgt nachstehend die detaillierte Darstellung des Ersatzteilidentifikationsprozesses mittels der Methode „Ereignisgesteuerte Prozesskette“ (EPK) (vgl. Abbildung 7). Die Prozessschritte, welche ausdrücklich den Einsatz von implizitem, d. h. nicht dokumentiertem, Expertenwissen

erfordern, werden nachfolgend als „Inferenz<sup>5</sup>-Prozesse“ (IP) bezeichnet (vgl. Duden 2019).



**Abbildung 5: Schematische Darstellung der manuellen Experteneinbindung (eigene Darstellung)**

Der Ist-Prozess gliedert sich in drei Phasen. Phase 1 dient zur Vorbereitung des eigentlichen Schließ-Prozesses, bei dem der Experte sein Erfahrungswissen einbringt. Phase 2 repräsentiert den Schließ-Prozess, welcher in dieser Arbeit in einem CBR-System dargestellt werden soll. Phase 3 dient zur Nachbearbeitung der aus Phase 2 gewonnenen Zwischenergebnisse mit aktuellen Systemdaten.

**Phase 1:** Die Aufgabenstellung der Phase 1 im dargestellten Ist-Prozess ist die korrekte Ermittlung aller benötigten Wartungsanweisungen für ein geplantes Wartungsintervall einer spezifischen Anlage.

Zunächst wird die Anlage mit Bezug auf die eingegangene Service-Anfrage identifiziert (Schritt 1). Die Service-Anfrage kann entweder direkt von einem Kunden oder durch einen eigenen Service-Techniker initiiert werden. Für die exakte Identifikation der Anlagen ID wird das Produktdatenmanagementsystem (PDM) herangezogen. Die gewonnenen Eingangsattribute dienen in weiterer Folge der Identifikation der zugehörigen Service-Stückliste (Schritt 2) im PDM-System sowie der Ableitung des gültigen Wartungsplans (Schritt 3) aus dem PDM-System. Mit Hilfe des Wartungsplans werden das als nächstes durchzuführende Wartungsintervall (Schritt 4) sowie die diesem Wartungsintervall zugewiesenen und durchzuführenden Wartungsanweisungen (Schritt 5) definiert.

<sup>5</sup> Inferenz = Aufbereitetes Wissen, das aufgrund von logischen Schlussfolgerungen gewonnen wurde (vgl. Duden 2019)

**Phase 2:** Die Phase 2 beinhaltet die Inferenzprozesse. Diese Inferenzprozesse benötigen spezifisches Expertenwissen, da ihnen derzeit kein eindeutiges Regelwerk zugrunde liegt.

Im IP 1 werden zunächst durch das Lesen der relevanten Wartungsanweisungen die benötigten Teilebezeichnungen je Wartungsanweisung identifiziert (Schritt 6). Aufgrund deren generischen Charakters (i. d. R. gültig für mehrere Anlagentypen) enthalten die Wartungsanweisungen keine expliziten Teilenummern. In einem weiteren Schritt (IP 2) sucht der Experte die entsprechenden Teilebezeichnungen in der zuvor identifizierten Service-Stückliste (SBOM) und notiert sich die ebenfalls in der SBOM angeführten Teilenummern je relevanter Teilebezeichnung (Schritt 7). Für die Suche innerhalb der SBOM kommt das Expertenwissen zum Tragen. Abhängig von der Anlagengröße kann eine SBOM mehrere hundert bzw. tausend Teilenummern enthalten. Der Ersatzteileexperte kennt die Komponenten einer Anlage und nutzt den Aufbau der Strukturstückliste, um möglichst schnell die relevante Baugruppe mit der gesuchten Teilebezeichnung zu identifizieren. Sind innerhalb einer Baugruppe mehrere identische Teilebezeichnungen enthalten (z. B. „Dichtung“), erkennt er anhand der Teilenummer und/oder der dahinterliegenden Stammdaten, welche Teilenummer die Gesuchte ist. Die Identifikation zusätzlicher Peripherie-Teile im Inferenz-Prozess 3 (Schritt 8) verläuft analog zu IP 2. Die einzige Abweichung besteht dahingehend, dass die benötigten Teilenummern nicht den Wartungsanweisungen zu entnehmen sind, sondern ausschließlich aus dem Erfahrungswissen des Experten resultieren. Dies können z. B. Dichtungen oder Sicherungsmuttern sein, die, um an den Verbauort der in der Wartungsanweisung angeführten Teile zu gelangen, zuvor demontiert werden müssen und nicht wiederverwendet werden dürfen. Des Weiteren können dies Teile sein, die aus Praxissicht ebenfalls einen entsprechenden technischen Zusammenhang aufweisen, jedoch aufgrund einer Dokumentationslücke nicht in den Wartungsanweisungen angeführt sind.

Der EPK-Prozessdarstellung ist zu entnehmen, dass IP 1-3 für jede identifizierte Wartungsanweisung wiederholt wird. Abbildung 6 verdeutlicht die drei erläuterten Inferenzprozesse nochmals in schematischer Form.



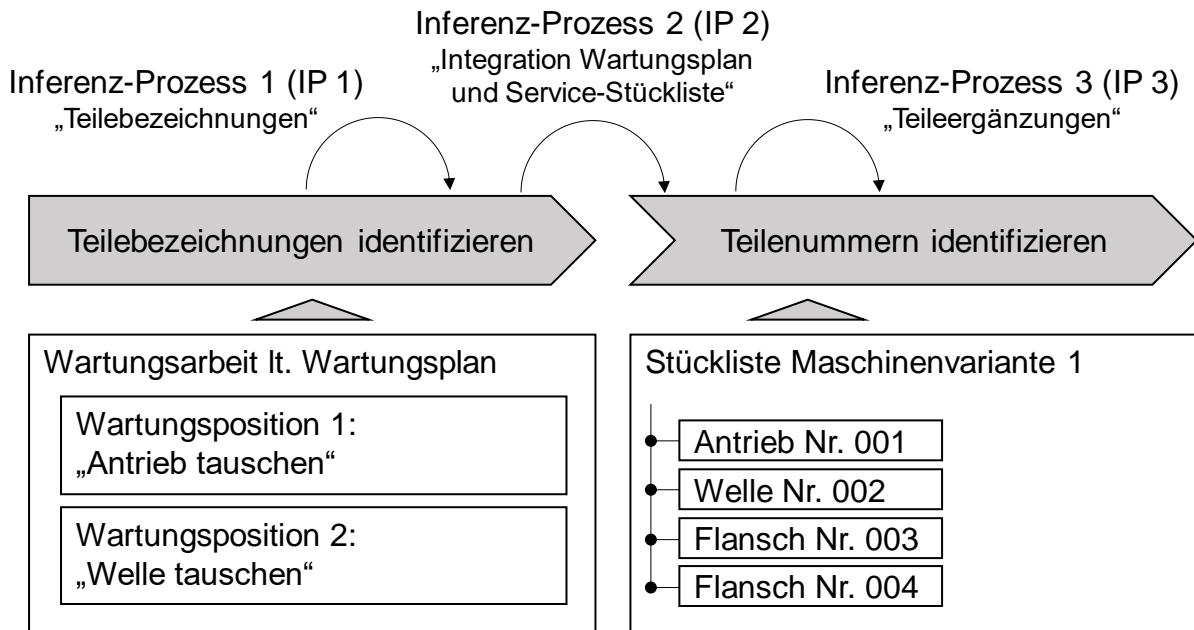


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Inferenz-Prozesse (eigene Darstellung)

**Phase 3:** Die Phase 3 beinhaltet eine Überprüfung der aus Phase 2 resultierenden Teileliste auf Nachfolgermodelle einzelner Teilenummern (Schritt 9). Die Service-Stückliste ist eine Abbildung der aktuell in einer Anlage verbauten Teilenummern. Wurde seit dem letzten Service ein Nachfolgermodell eines Teils entwickelt, ist dies nicht in der Service-Stückliste angeführt, sollte jedoch für die geplanten Service-Aktivitäten anstatt des aktuell verbauten Alt-Teils verwendet werden. Es erfolgt ein Abgleich mit den im PDM-System hinterlegten Materialstammdaten. Die Durchführung der Phase 3 erfolgt regelbasiert. Es ist kein spezielles Expertenwissen erforderlich. Die vollumfängliche Ersatzteilliste findet in weiterer Folge Eingang in den Angebotserstellungsprozess.

### 1.2.3 Spezifische Problemstellung

Der skizzierte Prozess ist zeitaufwendig und fehleranfällig. Trotz Verwendung von gleichen Dokumentationen können aufgrund von divergierendem Expertenwissen unterschiedliche Service-Kit Inhalte resultieren. Das Expertenwissen wird zudem nicht gespeichert bzw. kann für zukünftige Wartungen nicht wiederverwertet werden. Neue Ersatzteilzusammenstellungen (Service-Kits) müssen erzeugt werden. Aufgrund der erläuterten Herausforderungen ist eine schnelle und fehlerfreie Ersatzteilidentifikation, v. a. durch Nicht-Kernkompetenzträger, nicht möglich. Eine Überbelastung der Experten ist die Folge. Für die unternehmerische Praxis sind daher alternative Ansätze für eine schnelle und valide Ersatzteilidentifikation und Ersatzteilpaketzusammenstellung von



Relevanz. Zusammenfassend kann die spezifische Problemstellung der vorliegenden Arbeit wie folgt formuliert werden:

**Spezifische Problemstellung:** In der **unternehmerischen** Praxis des Maschinen- und Anlagenbaus, im Speziellen der Gasmotorenherstellung, besteht aufgrund von verteilten und lückenhaften Teile-, Anlagen- und Wartungsdokumentationen eine Abhängigkeit von Expertenwissen bei der Ersatzteilidentifikation für anlagenspezifische Wartungsarbeiten. Hieraus resultieren erfahrungswissensbedingte Abweichungen bei der Definition von Service-Kit Inhalten sowie verlängerte Ersatzteilidentifikationszeiten. Darüber hinaus liegt aus **wissenschaftlicher** Sicht derzeit kein Vorgehensmodell vor, welches auf einem wissensbasierten System fußend das implizite Expertenwissen der Ersatzteilidentifikation formal beschreibt und eine effizientere Identifikation von Ersatzteilen bzw. Service-Kits für Wartungsarbeiten, im Kontext von fehlerhaften und unvollständigen Anlagendokumentationen, in einem angemessenen Zeitrahmen und entsprechender Ergebnisgenauigkeit ermöglicht.

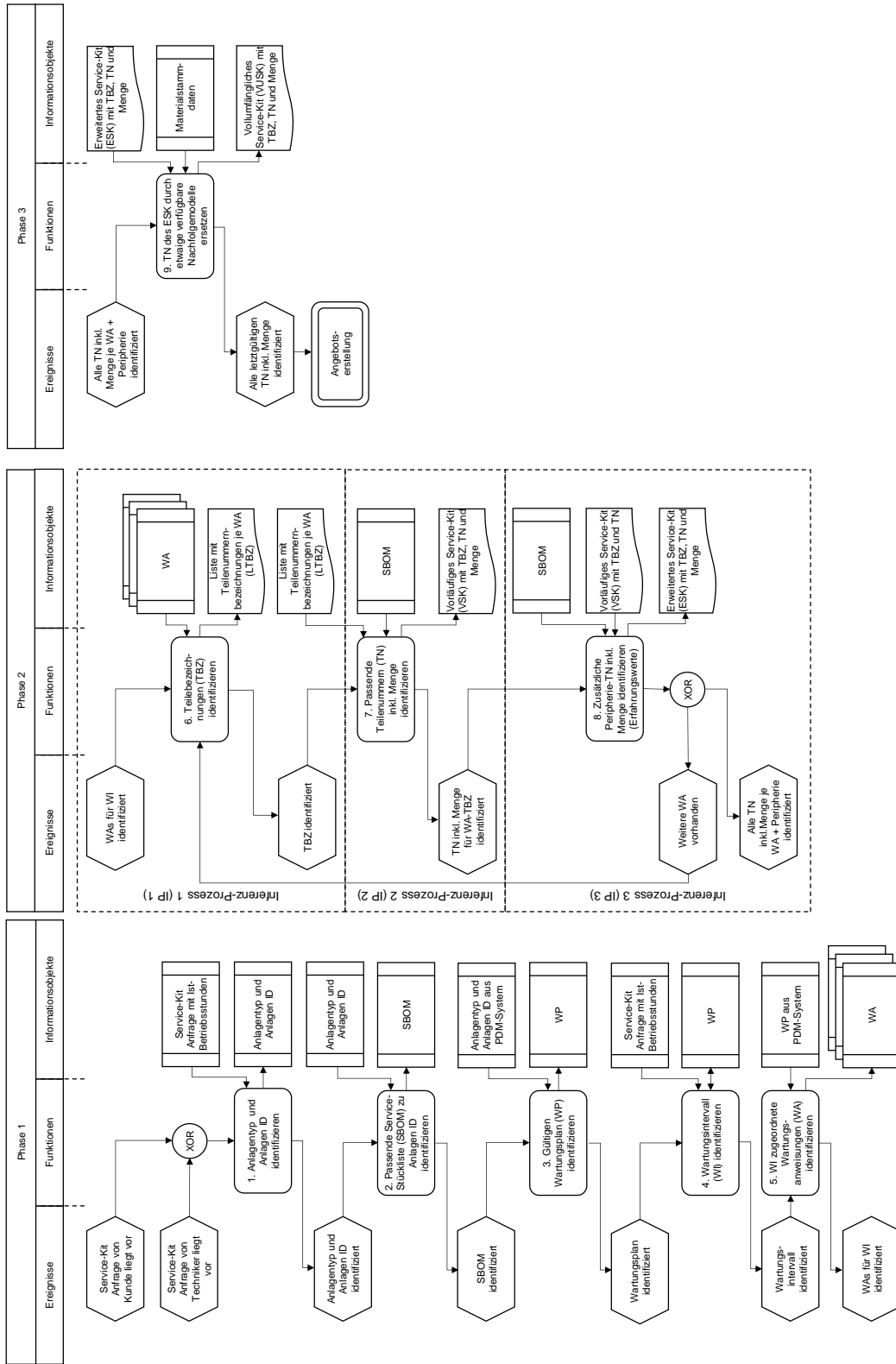


Abbildung 7: Detaildarstellung des generischen Ersatzteilidentifikationsprozesses (eigene Darstellung)<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Vergrößerte Abbildungen der einzelnen Phasen können dem Anhang A.2 entnommen werden.

### 1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen

Aufbauend auf der angeführten Problemstellung können die folgenden Zielsetzungen für die vorliegende Arbeit abgeleitet werden. Aus **wissenschaftlicher Perspektive** soll ein **(a) Vorgehensmodell**, das auf dem wissensbasierten Case-based Reasoning Ansatz beruht, entwickelt werden, welches **(b) implizites Expertenwissen** in explizites Wissen **transferiert**, dieses einer breiteren Nutzerbasis zugänglich macht sowie die anlagenspezifische, auftragsbezogene und vollumfängliche **(c) Konfiguration von „Service-Kits“<sup>7</sup>** für Wartungsarbeiten ermöglicht. Parallel hierzu ist das übergeordnete Ziel für die **unternehmerische Praxis** die Erarbeitung eines Beitrags zur **(d) Reduktion der Ersatzteilidentifikationszeiten** im Rahmen der Auftragsabwicklung von Servicedienstleistungen in Maschinen- und Anlagenbauunternehmen, im Speziellen bei Gasmotorenherstellern. Dadurch sollen kürzere Reaktionszeiten gegenüber den Kunden sichergestellt, die Produktivität des Servicebereichs erhöht, die Wettbewerbsposition gestärkt sowie überbeanspruchte Kernkompetenzträger in Unternehmen entlastet werden. Ferner sollen **(e) Inhalte von Service-Kits, unabhängig von personenspezifischem Wissen, reproduzierbar** sein. Die Einbindung weniger erfahrener Personen in den Ersatzteilidentifikationsprozess, bei gleichbleibender Ergebnisqualität, sowie eine Steigerung der Kundenzufriedenheit sollen hierdurch ermöglicht werden.

Auf dieser Zielsetzung aufbauend wird die folgende Hypothese, mit Fokus auf den Nutzen des zu entwickelnden Vorgehensmodells, formuliert:

*Hypothese: Die Nutzung eines wissensbasierten Systems, basierend auf einem Case-based Reasoning Ansatz, unterstützt in der unternehmerischen Praxis die Verkürzung der Ersatzteilidentifikationszeiten sowie die Entlastung von Kernkompetenzträgern.*

---

<sup>7</sup> Detaillierterläuterungen zum Begriff „Service-Kits“ können dem Punkt 2.3.4 entnommen werden.

Durch die genannten Erläuterungen und Hypothesen wird die spezifische Zielsetzung für die vorliegende Arbeit wie folgt zusammengefasst:

**Spezifische Zielsetzung:** Ziel ist die Entwicklung eines Vorgehensmodells, basierend auf dem wissensbasierten Ansatz des Case-based Reasonings, welches die Konfiguration von anlagenspezifischen, auftragsbezogenen und vollumfänglichen Service-Kits für Wartungsarbeiten, unabhängig von spezifischem Expertenwissen, ermöglicht und einen Beitrag zur Verkürzung der Ersatzteilidentifikationszeiten in Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, im Speziellen bei Gasmotorenherstellern, leistet.

Anschließend an die oben formulierte spezifische Zielsetzung werden folgende Forschungsfragen abgeleitet:

*Forschungsfrage 1: Wie kann das vorhandene implizite Expertenwissen für die Generierung von Service-Kits explizit beschrieben werden?*

*Forschungsfrage 2: Wie muss ein CBR-System für die Generierung von Service-Kits methodisch ausgestaltet werden, um das gespeicherte explizite Wissen anwenden zu können?*

Für das zu entwickelnde CBR-System werden, ergänzend zu den Forschungsfragen, folgende Restriktionen definiert:

*Restriktion 1: Die Anwender des CBR-Systems sind die unternehmensinternen Experten für die Ersatzteilidentifikation.*

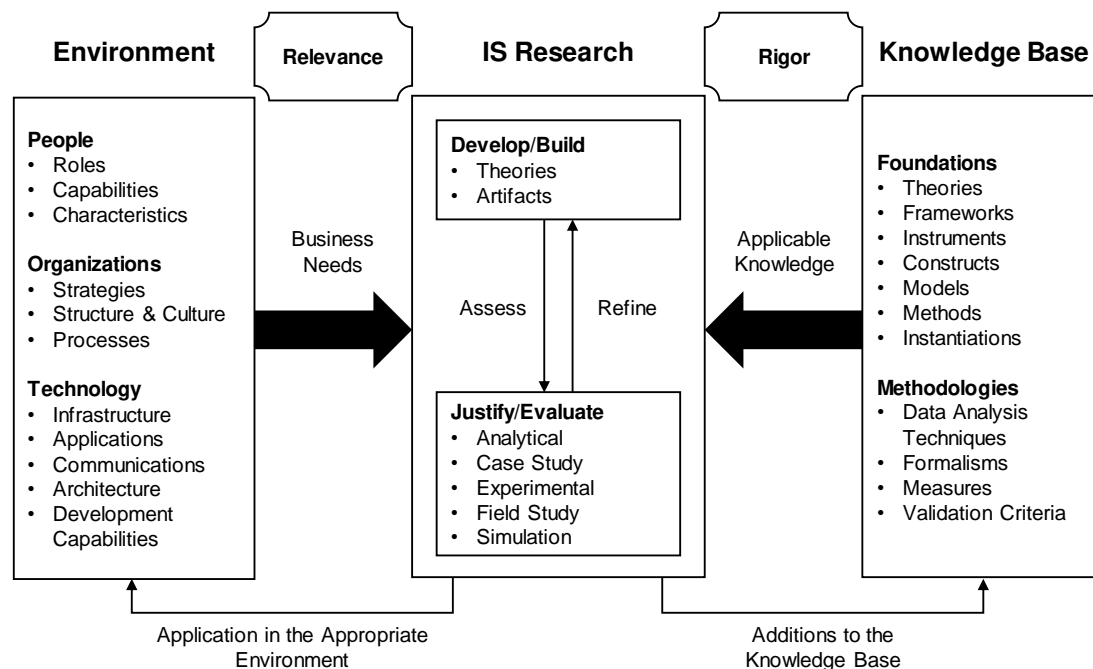
*Restriktion 2: Für die Anwendung des CBR-Systems müssen die Maschinen- und Anlagen eine Baugruppenstruktur aufweisen und diese in einer Strukturstückliste dokumentiert vorliegen.*

*Restriktion 3: Die Existenz von Wartungsdokumentationen, im Speziellen von generischen Wartungsanweisungen ohne explizite Teilenummernbezeichnungen, wird für die Generierung des initialen CBR-Systems sowie für die Erbringung dessen Mehrwerts vorausgesetzt.*

#### 1.4 Forschungsmethodik

Die Forschungsmethodik der vorliegenden Arbeit orientiert sich an dem Paradigma des Design Science (DS) in Information System Research nach HEVNER. Informationssysteme (engl. information systems) stellen in Unternehmen zweckorientiertes

Wissen bereit (vgl. Luczak 1999). DS stammt ursprünglich aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaften und repräsentiert ein problemlösungsorientiertes Forschungsparadigma (vgl. Hevner und Chatterjee 2010). DS verfolgt daher das Ziel Forschungsergebnisse (sogenannte IT-Artefakte) zu generieren und zu evaluieren, welche konkret zur Lösung von zuvor identifizierten organisatorischen Problemstellungen beitragen. Als IT-Artefakt einer Forschungsarbeit wird u. a. eine neu entwickelte Methode verstanden, die dazu dient, bislang ungelöste Problemstellungen bewältigen zu können. Eine Methode bezeichnet hierbei eine Anleitung wie ein bestimmtes Problem zu lösen ist und definiert den Prozess vom Problem zur Lösung. (vgl. Hevner et al. 2004). Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Kombination und Integration mehrerer Methoden in ein Vorgehensmodell für die zweckorientierte Wissensbereitstellung.



**Abbildung 8: Information Systems Research Framework in Anlehnung an (Hevner et al. 2004)**

HEVNER beschreibt in seinem DS Rahmenwerk ein 3-Säulen-Modell, welches das Zusammenwirken der Realwelt (engl. Environment), der Forschung im Bereich Informationssysteme sowie der wissenschaftlichen Wissensbasis aufzeigt. (vgl. Hevner et al. 2004). Das Rahmenkonzept weist einen entsprechend generischen Charakter auf, sodass es auch auf andere realwissenschaftliche Disziplinen übertragbar ist (vgl. Zelewski 2007). Das Rahmenkonzept umfasst einen stringenten Prozess für die Entwicklung von Artefakten, die Lösung von beobachteten Problemen, das Erarbeiten von Wissenschaftsbeiträgen, die Evaluierung des Entwicklungsprozesses und die Kommunikation der Ergebnisse an entsprechende Zielgruppen (vgl. Hevner et al. 2004). Das, dieser Arbeit zugrundeliegende Anwendungsgebiet des/der Ersatzteilmanagements

bzw. -logistik, kann ebenfalls zu den Realwissenschaften gezählt werden. Eine praktische Anwendung des DS Rahmenwerks ist somit sichergestellt.

Des Weiteren gibt HEVNER Empfehlungen für die korrekte Anwendung des Design Science Research Paradigmas in Form von sieben Richtlinien, welche der nachfolgenden Tabelle entnommen werden können.

**Tabelle 1: Design-Science Research Guidelines in Anlehnung an (Hevner et al. 2004)**

| No. | Guideline                  | Description   |
|-----|----------------------------|---|
| 1   | Design as an Artifact      | Design-science research must produce a viable artifact in the form of a construct, a model, a method, or an instantiation.  |
| 2   | Problem Relevance          | The objective of design-science research is to develop technology-based solutions to important and relevant business problems.  |
| 3   | Design Evaluation          | The utility, quality, and efficiency of a design artifact must be rigorously demonstrated via well-executed evaluation methods.   |
| 4   | Research Contributions     | Effective design-science research must provide clear and verifiable contributions in the areas of the design artifact, design foundations, and/or design methodologies. |
| 5   | Research Rigor             | Design-science research relies upon the application of rigorous methods in both the construction and evaluation of the design artifact.                                 |
| 6   | Design as a Search Process | The search for an effective artifact requires utilizing available means to reach desired ends while satisfying laws in the problem environment.                         |
| 7   | Communication of Research  | Design-science research must be presented effectively both to technology-oriented as well as management-oriented audiences.   |

Aufbauend auf dem Paradigma des Design Science Research und den zugrundeliegenden Richtlinien hat PEFFERS eine konkrete Vorgehensweise (Design Science Research Methodology Prozess, Abk.: DSRM Prozess) entwickelt wie Forschungsprojekte gemäß dem DSR-Paradigma durchgeführt werden können. Der DSRM Prozess nach PEFFERS wurde als Referenzvorgehensweise für die in dieser Arbeit beschriebene Vorgehensmodellentwicklung herangezogen.

Der DSRM Prozess gliedert sich in sechs Einzelschritte. Schritt 1 beinhaltet eine präzise Problembeschreibung, welche die Ableitung eines entsprechenden Artefakts, sprich einer Lösung, ermöglicht. Des Weiteren enthält dieser Schritt das Aufzeigen der praktischen Relevanz der Problemstellung und des zu erwartenden Mehrwerts einer entsprechenden Lösung. Schritt 2 beinhaltet die Ableitung des Forschungsbedarfs basierend auf der formulierten Problemstellung sowie die Definition von konkreten Zielsetzungen. Diese können sowohl quantitativ als auch qualitativ sein.

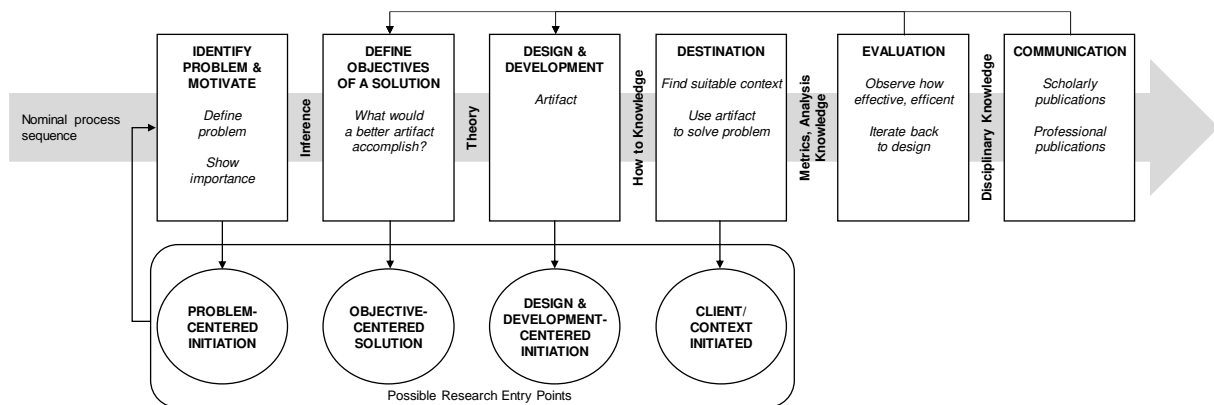


Abbildung 9: DSRM Process Model in Anlehnung an (Peppers et al. 2014)<sup>8</sup>

Schritt 3 beinhaltet die Erarbeitung des konkreten Forschungsergebnisses fußend auf bereits bekannten Erkenntnissen der wissenschaftlichen Wissensbasis. Es erfolgt sowohl eine detaillierte Beschreibung der gewünschten Funktionsweise des zu entwickelnden Artefakts als auch dessen Entwicklung selbst. In Schritt 4 wird mit dem entwickelten Artefakt das beschriebene Problem anhand eines Beispiels bearbeitet und gelöst. Die korrekte Funktionsweise des Artefakts wird somit sichergestellt. Schritt 5 beinhaltet die Bewertung der erzielten Testergebnisse aus der Demonstration mit den aktuell zu beobachtenden Ergebnissen. Bei nicht zufriedenstellenden Messergebnissen kann eine entsprechende Iterationsschleife eingegangen werden, um ggf. das Design des Artefakts zu adaptieren. Schritt 6 beinhaltet die Kommunikation der bearbeiteten Problemstellung und deren Relevanz sowie des entwickelten Artefakts und dessen Nutzen. Des Weiteren involviert die Kommunikation die Stringenz des Entwicklungsprozesses sowie die Auswirkungen auf die entsprechenden Zielgruppen. (vgl. Peppers et al. 2014)

Mit Fokus auf die reale Ausgangssituation lässt sich der vorgestellte DSRM Prozess nicht immer sequenziell anwenden. PEFFERS beschreibt vier unterschiedliche Ausgangspunkte (sogenannte Research Entry Points) für die Anwendung des DSRM Prozesses. In Abhängigkeit des Eintrittspunkts in den DSRM Prozess erfolgt ggf. das Durchlaufen des Prozesses von innen nach außen. (vgl. Peppers et al. 2014)

Die vier Eintrittspunkte sind wie folgt definiert. (1) Die Anwendung des problembezogenen Ansatzes setzt voraus, dass eine entsprechende Problemstellung auf Basis von Beobachtungen oder Vorarbeiten bereits bekannt ist. Der Prozesseintritt erfolgt hierbei

<sup>8</sup> Eine vergrößerte Abbildung kann dem Anhang A.1 entnommen werden.



in Schritt 1. (2) Der zielorientierte Ansatz erfordert die Existenz eines konkreten Bedarfs aus Industrie oder Forschung für eine neue Lösung. Der Prozesseintritt erfolgt in Schritt 2. (3) Der design- und entwicklungsbezogene Ansatz setzt die Existenz eines Artefakts voraus. Dieses kann beispielsweise aus einer anderen Wissenschaftsdisziplin stammen. Der Prozesseintritt erfolgt in Schritt 3. (4) Der kunden- bzw. kontextbezogene Ansatz basiert auf der Beobachtung einer funktionierenden Praxislösung in einem konkreten Anwendungsfall. Diese wird aufgegriffen und eine entsprechende Allgemeingültigkeit abgeleitet. Der Prozesseintritt erfolgt in Schritt 4. (vgl. Peffers et al. 2014)

Für die vorliegende Arbeit wurde der zielorientierte Ansatz (2) verfolgt. Zu Projektbeginn bestand ein konkreter Bedarf seitens der Industrie zur Verkürzung der Ersatzteilidentifikationszeiten.

### 1.5 Aufbau der Arbeit

Der DSRM Prozess spiegelt sich im Aufbau dieser Arbeit wider (vgl. Abbildung 10).

| Kapitelstruktur         |  | DSRM Prozess |           |           |           |           |           |
|-------------------------|--|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                         |  | Schritt 1    | Schritt 2 | Schritt 3 | Schritt 4 | Schritt 5 | Schritt 6 |
| Grundlagen              | <b>Kapitel 1</b>   Einleitung  | x            | x         |           |           |           |           |
|                         | <b>Kapitel 2</b>   Theoretischer Bezugsrahmen in Wissenschaft und Praxis                                     |              |           |           |           |           |           |
|                         | <b>Kapitel 3</b>   Stand der Forschung   |              |           |           |           |           |           |
| Entwicklung der Lösung  | <b>Kapitel 4</b>   Anforderungsanalyse des Vorgehensmodells  | x            | x         |           |           |           |           |
|                         | <b>Kapitel 5</b>   Entwicklung eines Vorgehensmodells für die wissensbasierte Konfiguration von Service-Kits |              |           | x         |           |           |           |
| Validierung und Resümee | <b>Kapitel 6</b>   Anwendung und Validierung des Vorgehensmodells  |              |           |           | x         | x         |           |
|                         | <b>Kapitel 7</b>   Resümee und Ausblick  |              |           |           |           |           | x         |

Abbildung 10: Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung)



In *Kapitel 1* werden die Ausgangssituation, die daraus abgeleitete allgemeine Problemstellung sowie die Zielsetzung, Forschungsfragen und Hypothesen beschrieben. *Kapitel 2* beinhaltet eine Einführung in den allgemeinen theoretischen Bezugsrahmen sowie eine Eingrenzung des Untersuchungsbereichs. In *Kapitel 3* erfolgt eine ausführliche Darstellung des Stands der Technik. Die Ableitung der Anforderungen an das Vorgehensmodell zeigt *Kapitel 4*. Das *Kapitel 5* enthält die Vorgehensmodellentwicklung. Die Demonstration der Funktionsweise sowie eine entsprechende Evaluierung erfolgen im Zuge der Fallbeispielbearbeitung in *Kapitel 6*. *Kapitel 7* beinhaltet ein Resümee sowie einen Ausblick auf zukünftige Forschungstätigkeiten.

## 2 Theoretischer Bezugsrahmen in Wissenschaft und Praxis

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem theoretischen Bezugsrahmen als Basis für weitere Ausführungen sowie zur Kontexteinbettung der in Punkt 1.3 formulierten Forschungsfragen. In Punkt 2.1 wird zunächst auf aktuelle Entwicklungen im After-Sales Bereich vertiefend eingegangen. Anschließend werden die Aufgaben und Leistungsgegenstände im Service-Geschäft unter 2.2 erläutert. Der Punkt 2.3 gibt Einblicke in Prozessabläufe, unterstützende Systeme, zu verwaltende Dokumente sowie Besonderheiten. Ergänzt wird dies durch Erläuterungen zu den Themen Wissensmanagement und Case-based Reasoning in den Punkten 2.4 und 2.5. Abschließend zeigt Punkt 2.6 die Eingrenzung des Untersuchungsraums auf, der dieser Arbeit zugrunde gelegt wird.

### 2.1 Trends von After-Sales Services im Maschinen- und Anlagenbau

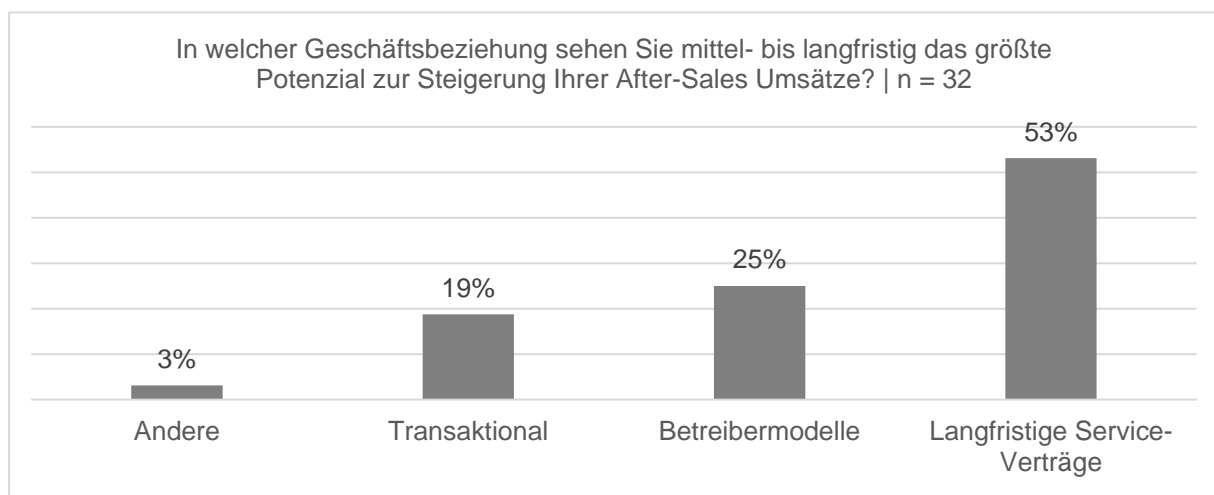
Erste Einblicke in aktuelle Entwicklungen wurden einleitend bereits angeführt. Nachfolgend werden relevante Trends vertiefend erläutert.

Der derzeit prioritäre Trend ist die eingangs erwähnte **Digitalisierung**. Laut einer Befragung sind ca. 80 % der Unternehmen überzeugt, dass die verstärkte Digitalisierung von Serviceprozessen immanent für die zukünftige Beherrschung der Varianten- und Teilevielfalt ist (vgl. Riester et al. 2017). Die angestrebten Digitalisierungslösungen im Service reichen von Visualisierungs-/ Konfigurationstools über Condition-Monitoring und Remote Service Systemen bis hin zu Serviceplanungssystemen (vgl. Laurischkat 2014). In diesem Kontext werden für die Bereitstellung und optimierte Kommunikation anlagenspezifischer Informationen verstärkt Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) Technologien verwendet (vgl. Matyas 2019). Darüber hinaus wird der Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Informationsgenerierung und Optimierung der Serviceprozesse als zunehmend relevanter Faktor für die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus angesehen (vgl. Riester und Ott 2018). Sofern anwendungsspezifisch möglich, lassen sich auch additive Fertigungsanlagen digital in ein Servicenetzwerk integrieren. Sie ermöglichen die kurzfristige datenbasierte Erzeugung und Bereitstellung von Ersatzteilen. (vgl. Matyas 2019)

Ziel ist es diese diversen technischen Einzellösungen in Smart Services zu integrieren und deren Weiterentwicklung zu einem Geschäftsökosystem voranzutreiben. Ein Ökosystem berücksichtigt neben den Daten eigener Produkte auch die Produktdaten von Drittanbietern. Neben der Produktdatennutzung ist in einem Ökosystem die datentechnische Formalisierung und Aggregation des Wissens von Service-Beschäftigten zu be-

rücksichtigen. (vgl. Schuh et al. 2017) Diese Weiterentwicklung traditioneller Wertschöpfungsketten wird die Wertschöpfungsarchitektur von Maschinen- und Anlagenbauern mittel- bis langfristig tiefgreifend verändern (Winter 2018).

Ein weiterer unmittelbar relevanter Trend innerhalb des After-Sales ist die Etablierung von **Langzeitserviceverträgen**, sprich die Realisierung von Produkt-Service Systemen. Ziel ist es den Kunden einen zusätzlichen Mehrwert durch Teile- und/oder Technikerbereitstellungen zu bieten und die Komplexität auf Kundenseite zu reduzieren. Die Langzeitbindung der Kunden ermöglicht zudem die positive Beeinflussung zukünftiger Neuproduktverkäufe. Ferner sammeln die Hersteller zusätzliche Erkenntnisse hinsichtlich dem Feldverhalten ihrer Anlagen und führen diese wiederum in die Neuanlagenentwicklung zurück. Die Etablierung von langfristigen Serviceverträgen wird darüber hinaus als Geschäftsbeziehung mit dem größten Potenzial zur Steigerung der Serviceumsätze angesehen (vgl. Riester und Ott 2018).



**Abbildung 11: Geschäftsbeziehungen mit Umsatzsteigerungspotenzial im After-Sales (Riester und Ott 2018)**

Die zuvor angeführten Entwicklungen unterstützender Werkzeuge und Smart Services sollen kundenindividuelle Servicedienstleistungen sowie deren wirtschaftliche Administration ermöglichen (vgl. Winter 2018; Brodtmann et al. 2014).

## 2.2 After-Sales Service im Maschinen- und Anlagenbau

### 2.2.1 Definition „After-Sales Service“

Der Begriff „Service“ wird abhängig vom Kontext mit unterschiedlichen Bedeutungen belegt. Folglich ist eine Definition des Begriffs für die vorliegende Arbeit notwendig.

In der angelsächsischen Literatur wird „Service“ mit dem deutschen Dienstleistungsbegriff gleichgesetzt (vgl. Luczak 1999). Diese Dienstleistungen können grundsätzlich in mehreren Phasen eines Produktlebenszyklus erbracht werden, sowohl im Pre-Sales, d. h. vor dem Verkauf eines Neuproduktes, als auch im After-Sales, sprich nach dem Verkauf eines Neuproduktes (vgl. Luczak 1999). Sind der Erbringer und der Empfänger einer Dienstleistung jeweils ein Industrieunternehmen, wird die Dienstleistung als „industrielle“ Dienstleistung bezeichnet. Ist dies nicht der Fall, ist von einer „konsumtiven“ Dienstleistung die Rede. (vgl. Homburg und Garbe 1996; Graßy 1993) Eine weitere Unterscheidung wird hinsichtlich des Sachleistungsbezugs getroffen. Sofern eine Dienstleistung keinen Bezug zu einer Sachleistung des erbringenden Unternehmens vorweist, wird diese als Primärdienstleistung bezeichnet. Weist eine Dienstleistung einen Sachbezug auf (z. B. zu einer Maschine oder Anlage), wird diese als Sekundärdienstleistung titulierte. (vgl. Homburg und Garbe 1996) Bei der Verwendung des Begriffs „Service“ muss zudem differenziert werden, ob dieser die Leistungen im After-Sales-Service oder die zugehörige Organisationseinheit bezeichnet. Für beide wird der Begriff häufig synonym verwendet (vgl. Luczak 1999). Abgeleitet aus den obigen Ausführungen wird für die hier vorliegende Arbeit der Begriff „Service“ nach LUCZAK abgegrenzt:

*„Service wird als industrielle und sekundäre Dienstleistung verstanden, welche im After-Sales Bereich von Unternehmen erbracht wird.“ (Luczak 1999)*

### 2.2.2 Einordnung und Aufgaben

Die Einordnung des Service in die Geschäftsprozesse eines Maschinen- und Anlagenbauunternehmens kann nach dem Modell von Porter vorgenommen werden. Es gliedert die Wertkette in fünf Primäraktivitäten und vier unterstützende (sekundäre) Aktivitäten (vgl. Abbildung 12). Die Primäraktivität „Kundendienst“ entspricht dem Bereich „Service“. Diese umfasst alle Dienstleistungen, welche einen Beitrag zur Werterhaltung eines Produkts leisten. Hierzu zählen u. a. die Installation, Instandhaltung, Ersatzteilversorgung und Produkthanpassungen (vgl. Luczak 1999). Unter Ersatzteilen werden *„[...] Ersatzteile als Einzelteile, Teile von Baugruppen oder komplette Baugruppen, die Komponenten in Maschinen, Gewerken oder Anlagen ersetzen, wenn diese defekt sind oder im Rahmen eines Verschleißteilaustauschs ersetzt werden“*, verstanden (ten Hompel und Heidenblut 2011).

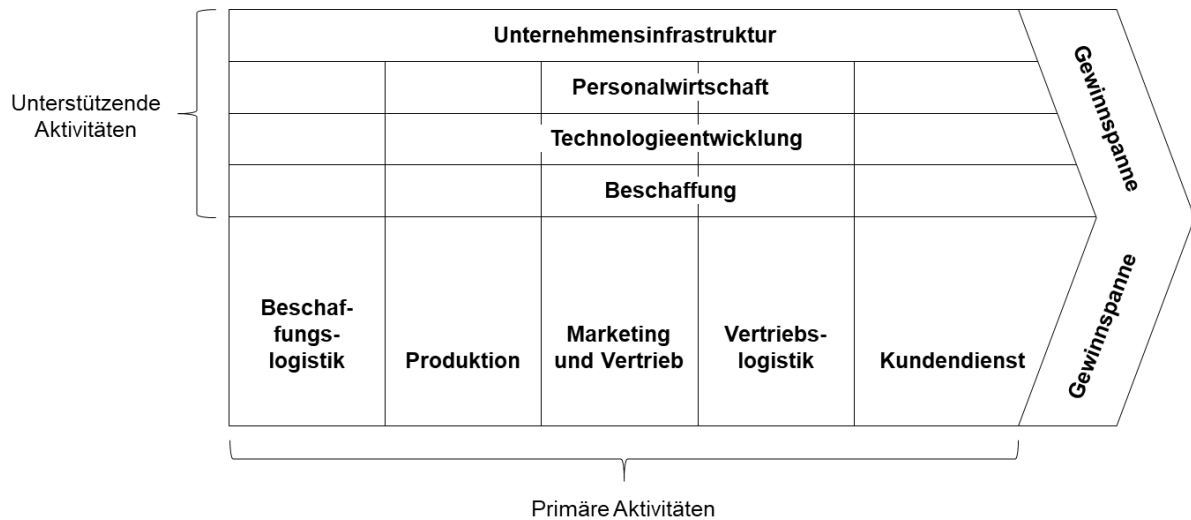


Abbildung 12: Wertschöpfungskette nach Porter (Gadatsch 2010)

Innerhalb des Service-Bereichs werden Kernaufgaben, Querschnittsaufgaben sowie die Aufgabe der Datenverwaltung unterschieden (vgl. Luczak 1999). Eine Übersicht bietet Abbildung 13. Im Hinblick auf die Entwicklung eines methodengestützten Vorgehensmodells für die Unterstützung der Ersatzteilidentifikation sind für die nachfolgenden Ausführungen v. a. die Teilaufgaben „Problem-/ Auftragsklärung“ als Teil des Auftragsabwicklungsprozesses sowie die Verwaltung von Anlagendaten und Arbeitsplänen von Relevanz.

| Kernaufgaben                     |                  | Querschnittsaufgaben |   |                     |            |                   |
|----------------------------------|------------------|----------------------|---|---------------------|------------|-------------------|
| Initiierung zyklischer Maßnahmen | Anfrageerfassung | Auftragskoordination | Berichtsauswertung, Reklamations- und Beschwerdemgmt. | Service-Controlling | Lagerwesen | Service-Marketing |
| Problem-/Auftragsklärung         |                  |                      |   |                     |            |                   |
| Auftragsplanung                  |                  |                      |   |                     |            |                   |
| Auftragssteuerung                |                  |                      |   |                     |            |                   |
| Auftragsdurchführung             |                  |                      |   |                     |            |                   |
| Technische Rückmeldung           | Fakturierung     |                      |   |                     |            |                   |
| Datenverwaltung                  |                  |                      |   |                     |            |                   |
| Kunde                            | Anlagen          | Mitarbeiter          | Material  | Betriebsmittel      | Leistungen | Arbeitspläne      |

Abbildung 13: Aufgaben in Service-Bereichen (Luczak 1999)

### 2.2.3 Leistungen und Leistungssysteme

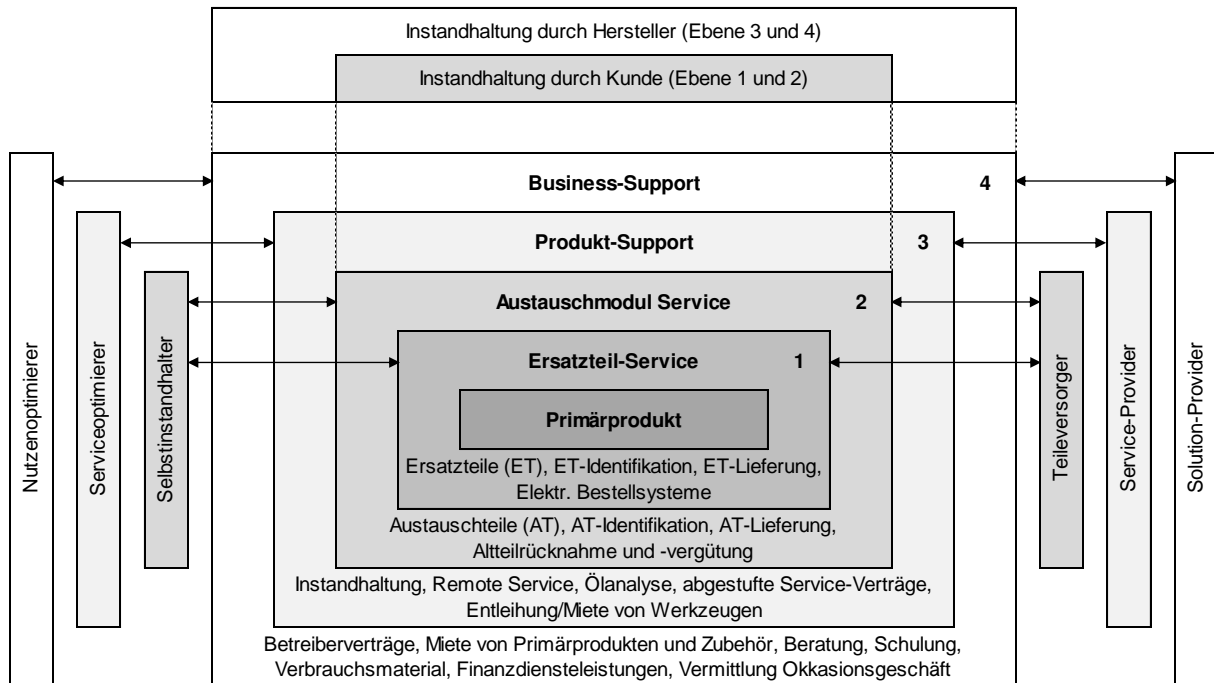
Die dargestellten Aufgaben sind Basis für die Leistungserbringung des After-Sales Bereichs eines Unternehmens. After-Sales Leistungen werden grundsätzlich in obligatorische (d. h. gesetzlich geforderte Leistungen wie z. B. die Ersatzteilerbereitstellung) und

fakultative Leistungen unterteilt. Unter fakultativen Leistungen werden Services zur Erschließung weiterer Nutzenpotenziale verstanden. Diese Nutzenpotenziale tragen zum Ausbau des Service-Bereichs hin zu einer strategischen Erfolgsposition eines Unternehmens bei. Hierdurch kann ein nachhaltiger Wettbewerbsvorteil erzielt werden (vgl. Baumbach und Stampfl 2002). BAUMBACH und STAMPFL unterscheiden folgende Arten von Nutzenpotenzialen durch After-Sales Services:

- **Differenzierungspotenzial**, d. h. erweiterter Kundennutzen durch zusätzliche Dienstleistungsangebote während der Nutzungsphase des Primärprodukts. (z. B. Fernwartung oder Produktmodifikationen).
- **Marktpotenzial**, d. h. Erweiterung der Primärproduktumsätze um zusätzliche Service-Umsätze.
- **Kundenbindungspotenzial**, d. h. positive Beeinflussung der Kundenloyalität durch Unterstützung in Notsituationen während der Nutzungsphase des Primärprodukts sowie Möglichkeit zur frühzeitigen Einleitung von Vertriebsaktivitäten aufgrund der Transparenz des Anlagenzustands.
- **Imagepotenzial**, d. h. positive Beeinflussung des Unternehmensimages durch exzellente After-Sales Leistungen.
- **Informationspotenzial**, d. h. Gewinnung von relevanten Informationen bzgl. des Feldverhaltens der eigenen Produkte, Verhalten von Kunden, Verhalten von Mitbewerberanlagen und deren Service-Leistungen durch die Vor-Ort-Präsenz eigener Techniker. Weiterverwendung der Informationen in eigenen Konstruktions-, Service- und Vertriebsbereichen.
- **Beschäftigungspotenzial**, d. h. Ausgleichsfunktion bei stagnierendem Primärproduktgeschäft durch verstärkte Fokussierung auf das After-Sales Geschäft.

Die durch einen After-Sales Bereich angebotenen Service-Leistungen werden für eine adäquate Vermarktung in Leistungssystemen zusammengeführt. Unter Leistungssystemen werden nach VDI 4506-3 „[...] integrierte und gemeinsam entwickelte Lösungen aus Sachgütern und Dienstleistungen, also einem Bündel aus materiellen und immateriellen Leistungen, welches modular gestaltet und kundenindividuell ausgeführt werden kann“ verstanden (VDI 4506-3:2013-04). Diese Leistungen werden sowohl für einzelne Primärprodukte als auch größere Flotten angeboten. Die Leistungssysteme selbst können unterschiedlich strukturiert werden. Eine generische Darstellung, welche als Basis für die weiteren Einordnungen in der vorliegenden Arbeit dient, ist die Darstellung der Leistungsebenen nach BAUMBACH und STAMPFL.

**Ebene 0 – Primärprodukt:** Diese Ebene umfasst ausschließlich den Vertrieb des Primärprodukts, verbunden mit der obligatorisch notwendigen Ersatzteilversorgung bei Kundenanfragen (vgl. Baumbach und Stampfl 2002).



**Abbildung 14: Leistungsebenen im Industriegüterbereich (Baumbach und Stampfl 2002)**

**Ebene 1 – Ersatzteil-Service:** Diese Leistungsebene „umfasst sämtliche Leistungen, die sich auf die Ersatzteilversorgung der Endkunden beziehen“ (Baumbach und Stampfl 2002). Unternehmen, die neben dem Primärproduktvertrieb einen erweiterten Ersatzteil-Service anbieten, sichern sich einen Wettbewerbsvorteil durch entsprechende logistische Dienstleistungen bei der Ersatzteilverfügbarkeit, -bestellung und -distribution sowie durch die Sicherstellung einer entsprechenden Ersatzteilqualität. Primärgüterhersteller haben hierbei den Vorteil, dass der Kunde auf Seiten des OEM (Original Equipment Manufacturer) die höchste Kompetenz im Ersatzteil-Service vermutet. Von einem OEM erwarten die Kunden jedoch gleichzeitig die Bereitstellung des Vollsortiments an Ersatzteilen. Eine Konzentration auf wenige lukrative Ersatzteile wie im Fall von Nachbauern, ist nicht möglich (vgl. Baumbach und Stampfl 2002).

**Ebene 2 – Austauschmodul-Service:** Diese Leistungsebene sieht einen sofortigen Austausch eines defekten Anlagenbestandteils vor. Es erfolgt explizit keine Reparatur auf der Anlage selbst. Stillstandzeiten werden somit minimiert. Diese Leistungsebene umfasst, neben der Bereitstellung von überarbeiteten Austauschmodulen, zudem die Rückholung von Altteilen. Bei der Alteilrücknahme erfolgt eine entsprechende Ver-



gütung bzw. Gegenverrechnung in Abhängigkeit des Teilezustands. Primärprodukt hersteller haben hierdurch die Möglichkeit eine erhöhte Kundenloyalität zu erzielen, da eine entsprechende Vergütung nur erfolgt, wenn in diesen ausschließlich Originalersatzteile verbaut wurden. Dieser Service stellt eine spezielle Form des Ersatzteil-Service dar, wodurch deutlich Parallelen im Prozess der Ersatzteilidentifikation und -lieferung bestehen. (vgl. Baumbach und Stampfl 2002)

**Ebene 3 – Produkt-Support:** Die Leistungsebene des Produkt-Supports umfasst Instandhaltungsleistungen für die Primärprodukte, sprich Service nach Bedarf (Inspektion, Wartung und Instandsetzung), Serviceverträge und Remote Services. Im Fall von Instandsetzungen wird in präventive, d. h. vor einem Produktausfall, und in korrektive Instandhaltung, d. h. nach einem Produktausfall, unterschieden. Serviceverträge inkludieren mehrere Instandhaltungsleistungen über einen längeren Zeitraum, welche vorab kalkuliert und pauschal an den Kunden verrechnet werden. Serviceverträge bieten einen Vorteil bei der langfristigen Kundenbindung sowie eine Absicherungsmaßnahme gegenüber Servicedienstleistungen und Ersatzteilen aus dritter Hand. Remote Services beinhalten Instandhaltungsmaßnahmen, die der Primärprodukt hersteller mittels Datenfernübertragung und geschultem Kundenpersonal durchführt. Die Vorteile liegen in der Einsparung von teuren Serviceeinsätzen und erhöhter Reaktionsgeschwindigkeit sowie der Kundenbindung durch entsprechende Vertragsbindungen. (vgl. Baumbach und Stampfl 2002)

**Ebene 4 – Business-Support:** Die Leistungsebene Business-Support inkludiert alle über die Ebene Produkt-Support hinausgehenden After Sales-Leistungen. Unternehmen, die ihren Kunden Leistungen auf der Ebene Business-Support anbieten, betreiben eine maximale Kundenintegration. Eine Trennung von Primärprodukt und After-Sales Leistungen ist in dieser Ebene nur schwer möglich. Zu den Business-Support-Leistungen zählen nachfolgende Punkte. (vgl. Baumbach und Stampfl 2002)

- Miete von Primärprodukten, d. h. Bereitstellung eines Primärprodukts gegen Leistung einer Mietzahlung, welche auch Instandhaltungs- und Versicherungskosten inkludiert. Hintergrund dieser Leistungsart ist v. a. die Abdeckung kurz- und mittelfristiger Kapazitätsspitzen.
- Betreiberverträge, d. h. eine Langzeitmiete von Primärprodukten inkl. Instandhaltungs- und Versicherungskosten. Alternativ zudem die Bereitstellung von Verbrauchsmaterial. Die Abrechnung kann nutzungs- (z. B. Anzahl Betriebsstunden oder produzierte Stückzahl) oder zeitabhängig erfolgen. I. d. R. ist in Betreiberverträgen auch eine Mindestnutzungsdauer definiert.



- Kundenschulungen, d. h. die Beratung von verantwortlichen Mitarbeitern auf Kundenseite beim Verkauf von Primärprodukten. Somit wird die max. Leistung des Primärprodukts durch eine adäquate Bedienung sichergestellt.
- Kundenberatungen, d. h. die Beratung während der Nutzungsphase hinsichtlich optimaler Instandhaltung, optimalem Einsatz oder auch optimalem Ersatzzeitpunkt.
- Finanzdienstleistungen, d. h. Angebot von z. B. Teilzahlungen, Mietkauf, oder Leasing in Kombination mit Primärproduktkäufen sowie Wechsellmöglichkeiten zwischen einzelnen Finanzierungsmodellen.

Die dargestellten Leistungsebenen sind integrativ zu verstehen. D. h. die Leistungsebene 2 inkludiert die Leistungsebene 1. Die Leistungsebene 3 beinhaltet die Leistungsebenen 1 und 2 usw.. Das Leistungsebenenmodell von BAUMBACH und STAMPFL unterscheidet zudem die drei Kundentypen „Selbstinstandhalter“, „Service-optimierer“ und „Nutzenoptimierer“, welche sich aus der Bereitschaft zum Outsourcing sowie den technischen Kompetenzen und Ressourcen der jeweiligen Unternehmen ergeben. Ebenso deklariert das Modell auf Anbieterseite die drei Typen „Teileversorger“, „Service-Provider“ und „Solution-Provider“. Die Unterscheidung erfolgt auf Basis des Leistungsumfangs sowie dem Grad der Kundenintegration der einzelnen Anbieter. Sowohl zwischen den Kunden- als auch Anbietertypen ist der Übergang fließend. (vgl. Baumbach und Stampfl 2002)

#### 2.2.4 Instandhaltungsmaßnahmen

Die zuvor erläuterten Leistungsebenen 3 und 4 inkludieren entsprechende Instandhaltungsleistungen durch den Anlagenhersteller. Grundsätzlich werden Instandhaltungsmaßnahmen nach DIN 31051 in „Wartung“, „Inspektion“, „Instandsetzung“ und „Verbesserung“ gegliedert. (DIN 31051:2012-09 2012; vgl. Matyas 2019; vgl. Sihm et al. 2016)

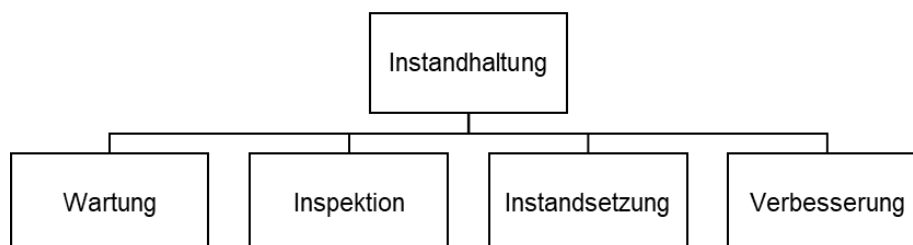


Abbildung 15: Unterteilung der Instandhaltung (DIN 31051:2012-09)

Als „Wartungen“ werden „[...] Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats“ bezeichnet (DIN 31051:2012-09). Eine „Inspektion“ beinhaltet Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes, Ursachenfestlegung von Abnutzungen sowie die Ableitung von notwendigen Konsequenzen für die zukünftige Nutzung. Die „Instandsetzung“ bezeichnet Maßnahmen, welche zur Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit nach aufgetretenen Fehlern dienen. Unter „Verbesserung“ werden technische und administrative Maßnahmen verstanden, welche zur Erhöhung der Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und/oder Sicherheit einer Anlage beitragen, unter Sicherstellung der ursprünglichen Funktionsweise. (DIN 31051:2012-09)

Die angeführten Instandhaltungsmaßnahmen, als Bestandteil der Leistungsebenen, sind im Zuge des Auftragsabwicklungsprozesses durch die Herstellerunternehmen zu planen und deren Umsetzung mittels der dahinterliegenden Instandhaltungslogistik sicherzustellen.

## 2.3 Prozesse, Systeme und Besonderheiten im After-Sales

### 2.3.1 Allgemeiner Auftragsabwicklungsprozess

Die Basis für die Praxisumsetzung der zuvor beschriebenen Leistungsebenen bildet eine entsprechend ausgeprägte Instandhaltungslogistik der Anlagenhersteller. Die Instandhaltungslogistik (IH-Logistik) bezeichnet die logistische Unterstützung von durchzuführenden Instandhaltungen. Sie wird in „koordinierende“ und „versorgende“ Prozesse unterteilt. Die Versorgungsprozesse synchronisieren, gemäß den 6R<sup>9</sup> der Logistik, die Bereithaltung und Bereitstellung der für eine Instandhaltung benötigten Ressourcen (d. h. Personal, Information, Material und Ersatzteile sowie Betriebsmittel) und Instandhaltungsobjekte am Ort der durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahmen. Die Koordinationsprozesse regeln sämtliche Aktivitäten, welche mit der Planung, Durchführung, Steuerung und Überwachung von Instandhaltungsaufträgen verbunden sind (vgl. Arnold et al. 2008).

Die Hauptprozesse der Instandhaltung können der Abbildung 16 entnommen werden.

---

<sup>9</sup> 6R = Das richtige Material, mit richtiger Menge, zu richtigen Kosten, zur richtigen Zeit, mit richtiger Qualität, am richtigen Ort.

Die „Auftragsauslösung“ beinhaltet die technische Klärung der Auftragsinhalte sowie die Einsteuerung in die Ablauforganisation der Instandhaltungs- bzw. der Service-Bereiche. Dieser Teilprozess kann aufgrund einer geplanten oder ungeplanten Instandhaltungsmaßnahme angestoßen werden. Die vorliegende Arbeit und die darin enthaltene Vorgehensmodellentwicklung fokussiert auf die geplanten Instandhaltungsmaßnahmen. Die „Auftragsvorbereitung“ definiert die technischen Details (Methode) sowie die Durchführungsreihenfolge der Instandhaltungsaufgaben. Entsprechende Plan-Ressourcenbedarfe werden abgeleitet. Ggf. erfolgt eine Detaillierung der zuvor definierten Materialbedarfe. Unter der „Auftragssteuerung“ wird die Einlastung der Instandhaltungsaufträge verstanden sowie die Veranlassung der damit verbundenen Transporte der benötigten Ressourcen und die Aushändigung der Arbeitspapiere nach entsprechender Prüfung der Durchführbarkeit der Arbeiten. Die „Auftragsdurchführung“ integriert die planmäßige Abhandlung der Instandhaltungsmaßnahmen sowie die Zuführung der ausgebauten Komponenten zur Aufbereitung oder Entsorgung. Mit dem „Auftragsabschluss“ wird die Instandhaltungsmaßnahme abgeschlossen. Dies inkludiert die Abnahme durch den Kunden, die Abrechnung, eine Fehlerdokumentation sowie die Aktualisierung der technischen Dokumentation der Anlage für zukünftige Instandhaltungsmaßnahmen. (vgl. Arnold et al. 2008)

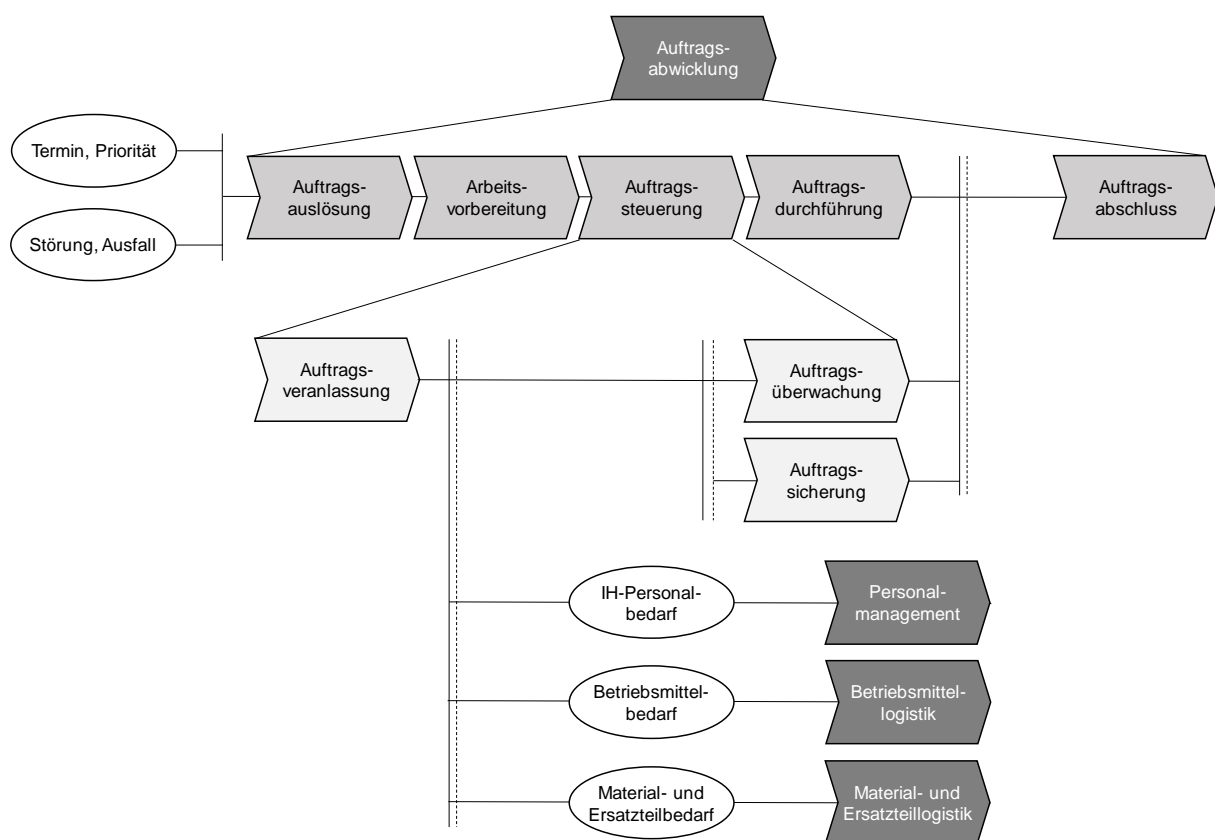


Abbildung 16: Auftragsabwicklungsprozess der Instandhaltungslogistik (Arnold et al. 2008)

Informativ soll an dieser Stelle eine Indikation zu den Durchlaufzeiten des Auftragsabwicklungsprozesses, bezogen auf die Leistungsebene 1 „Ersatzteil-Service“, gegeben werden. Die durchschnittliche Durchlaufzeit einer Ersatzteilbestellung (Eingang bis zur Übergabe an den Spediteur) beträgt bei ca. 36 % der Maschinen- und Anlagenbauunternehmen derzeit ca. 1-2 Arbeitstage. (vgl. Riester et al. 2017)

### 2.3.2 Informationssysteme und Dokumentationen

Die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen sowie die Erbringung von Service-Dienstleistungen im Zuge des dargestellten Auftragsabwicklungsprozesses wird durch unterschiedliche Managementsysteme unterstützt (vgl. Schenk 2010). Der Koordinationsaufwand soll durch die gemeinsame Nutzung von Wissen minimiert und eine entsprechende Kostenreduktion realisiert werden. (vgl. Luczak 1999; Schenk 2010).

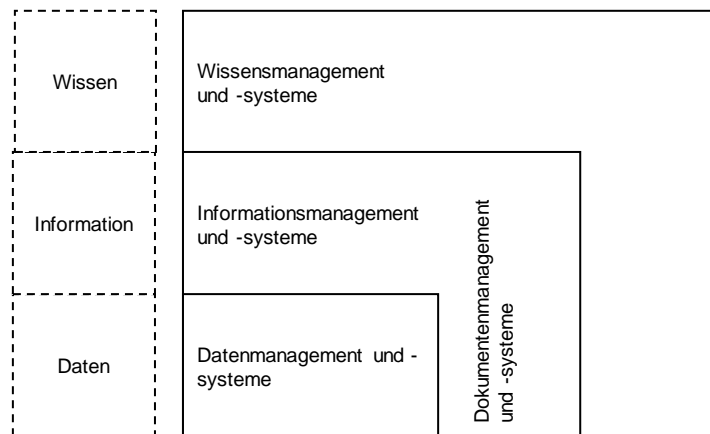
Managementsysteme übernehmen dabei die Aufgabe ausgewählte Inhalte effizient und langfristig abzulegen und diese bei Bedarf entsprechend aufbereitet dem Nutzer wieder zur Verfügung zu stellen (vgl. Luczak 1999; Schenk 2010). Hierzu gehören u. a. technische Inhalte die Anlage betreffend sowie Beschreibungen der durchzuführenden Maßnahmen, sprich die „technische Dokumentation“ einer Anlage. Diese werden in Form von Daten, Informationen und Dokumenten erfasst (vgl. Schenk 2010).

Unter „technischer Dokumentation“ sind sämtliche Dokumente mit produktbezogenen Daten und Informationen zu verstehen, die für unterschiedlichste Zwecke gespeichert und sowohl hersteller- als auch kundenseitig verwendet werden (vgl. Schenk 2010). Seitens der Hersteller müssen u. a. folgende technische Dokumentationen bereitgestellt werden (VDI 2892:2006-06):

- Prüfvorschriften (z. B. Abnahmedokumente, Sicherheitszertifikate und -datenblätter)
- Stücklisten
- Ersatzteil-Empfehlungen des Herstellers
- technische Zeichnungen inklusive Einzelteilzeichnungen
- Funktionsbeschreibung, Betriebs- und Instandhaltungsanweisung (d. h. Wartungspläne und Arbeitsanweisungen)
- Angaben über spezielle Werkzeuge und Hilfsmittel

Über diese Aufgaben hinausgehend zählt die Bereitstellung von Konzepten, Methoden und Werkzeugen für die Erfassung, Strukturierung und Bereitstellung von Wissen zu den Zielen von Managementsystemen (vgl. Schenk 2010). Die verfügbaren Manage-

mentensysteme können in Daten-, Informations- und Wissensmanagementsysteme untergliedert werden (vgl. Abbildung 17). Abbildung 18 enthält eine Übersicht der für diese Arbeit relevanten Managementsysteme im Hinblick auf Instandhaltung und After-Sales. Deren Aufgaben und Funktionsweisen werden nachfolgend erläutert.



**Abbildung 17: Begriffspyramide des Daten-, Informations- und Wissensmanagements (Schenk 2010)**

**Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssysteme (IPS-Systeme)** dienen zur Planung, Steuerung und Überwachung von Instandhaltungsmaßnahmen. Die Abbildung von Instandhaltungsmaßnahmen erfolgt als Arbeitsaufträge. Wesentliche Hauptfunktionen solcher Systeme sind Objektverwaltung, Auftragsplanung, Auftragssteuerung, Kostencontrolling, Ersatzteil- und Bestellwesen, Auswertungen, Analysen und Berichte. (vgl. Matyas 2019; Schenk 2010) Ein Nachteil dieser Systeme ist, dass sie keine Möglichkeit bieten während den Instandhaltungsmaßnahmen gewonnenes Erfahrungswissen zu speichern und zu verwalten, wodurch dieses verloren geht (vgl. Schenk 2010).

Ein **Dokumentenmanagementsystem (DMS)** dient zur Verwaltung und Archivierung heterogener Daten und Dokumente in großer Anzahl (vgl. VDI 4500-3:2006-06). Die Hauptfunktionen solcher Systeme sind Dokumentimport, Indizierung, Verwaltung, Archivierung, Recherche, Reproduktion sowie Administration (vgl. Schenk 2010).

**Engineering and Product Data Management Systeme (EDM-/PDM-Systeme)** werden häufig synonym verwendet. „EDM beinhaltet die ganzheitliche, strukturierte und konsistente Verwaltung aller Abläufe und Daten, die bei der Entwicklung von neuen oder bei der Änderung vorhandener Produkte anfallen. PDM hat zum Ziel, produktdefinierende, -repräsentierende und -präsentierende Daten sowie Dokumente als Ergebnis der Produktentwicklung zu speichern und zu verwalten“ (Schenk 2010). Nach VDI

2219 besitzen EDM-/PDM folgende Grundfunktionalitäten: Produktdaten- und Dokumentenmanagement, Produktstruktur- und Konfigurationsmanagement, Klassifizierung und Teilefamilienmanagement, Prozess- und Workflowmanagement, Benutzermanagement, Projektdatenmanagement. (vgl. VDI 2219:2006-09; Schenk 2010)

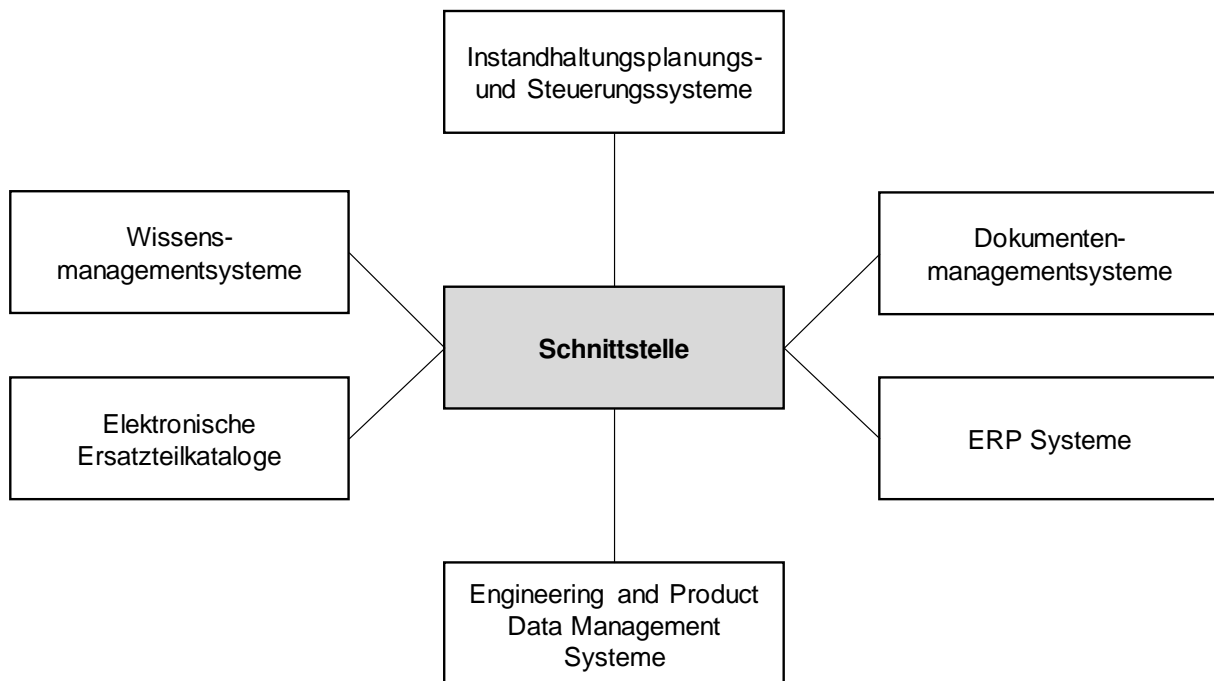


Abbildung 18: Managementsysteme in der IH (eigene Darstellung)

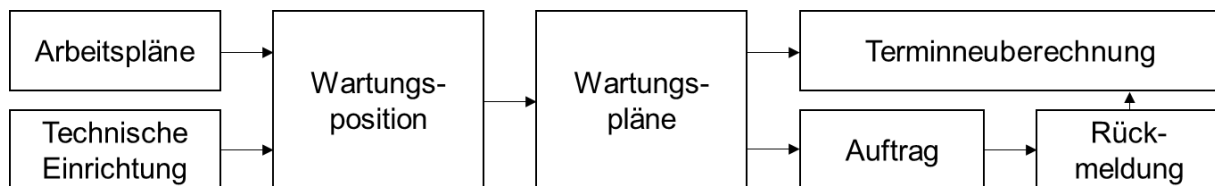
Mit **elektronischen Ersatzteilkatalogen (eETK)** werden Informationen, Dokumente und spezielle Daten für Ersatzteile bereitgestellt und verwaltet. Sie besitzen folgende Grundfunktionalitäten: Grafische Darstellungen von Ersatzteilen, Identifikation und Klassifikation der Stücklisteninhalte, Bestellfunktion, Navigationsstrukturen, Suchfunktionalitäten, Mehrsprachigkeit und Publishing. (vgl. Schenk 2010)

**Wissensmanagementsysteme (WMS)** dienen der Verwaltung von Wissen in Organisationen. Sie verfügen über folgende Grundfunktionalitäten: Wissenssuche, Wissenszustellung, Wissenspräsentation und -visualisierung, Wissenspublizierung, -strukturierung und -vernetzung, automatische Wissenseinbringung, Wissenskommunikation und -kooperation, Administration der Wissensmanagementsysteme sowie Analyse von Daten zur Erstellung von Wissensselementen. In der Instandhaltung können durch Wissensdokumentation und -verteilung Fehlerquellen minimiert sowie die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen optimiert werden. (vgl. Schenk 2010).

Ein Hauptbestandteil der technischen Dokumentation und Basis für die geplanten Instandhaltungen bildet der **Wartungsplan** einer Maschine bzw. Anlage. Der Wartungsplan wird gemeinsam mit einer Maschine/Anlage seitens des Herstellers als Vorschlag



für den Kunden bereitgestellt. Wartungspläne beinhalten einzelne **Wartungspositionen**, welche zu definierten Zeitpunkten bzw. nach einer definierten Laufleistung für eine Maschine/Anlage durchgeführt werden sollten. Die zu einem Wartungszeitpunkt einzeln zugeordneten Wartungspositionen sind mit entsprechenden Arbeitsplänen verknüpft. Aus der Integration von Arbeitsplänen, technischer Einrichtung und Wartungspositionen werden - basierend auf dem Wartungsplan - entsprechende Wartungstermine und Arbeitsaufträge abgeleitet (vgl. VDI 2890:2017-03).



**Abbildung 19: Integrationsfunktion von Wartungsplänen (VDI 2890:2017-03)**

Arbeitspläne und technische Einrichtungen sollten in IPS-Systemen als separate Objekte angelegt und nicht direkt in Wartungsplänen hinterlegt werden, um redundante Datenhaltung und -pflege zu vermeiden (vgl. VDI 2890:2017-03). Die einzelnen Objekte sollten lediglich durch funktionale Beziehungen miteinander verknüpft werden. Eine Aktualisierung und Versionierung wird somit einfach und aufwandsarm sichergestellt sowie die Anzahl zu verwaltender Maßnahmen minimiert (vgl. VDI 2890:2017-03). In Ausnahmefällen, sofern einzelne einfache Arbeiten speziell für eine Maschine durchzuführen sind, kann eine direkte Hinterlegung im Wartungsplan erfolgen.

Bei der Verwaltung von Arbeitsplänen in IPS-Systemen ist darauf zu achten, dass funktionale Inhalte wie z. B. Artikelnummern der zu verwendenden Materialien oder Eigenschaften der Maschine, nicht in Textfeldern hinterlegt werden, da diese nicht eindeutig maschinell auslesbar und somit automatisch aktualisierbar sind (z. B. bei Änderungen von Teilenummern). Zusatzaufwände bei der Pflege von Arbeitsplänen sind so vermeidbar. Verknüpfungen zu anderen Dokumenten wie z. B. Stücklisten im Materialwirtschaftssystem sind ebenfalls über entsprechende funktionale Beziehungen abzubilden. (vgl. VDI 2890:2017-03)

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Arbeitsanweisungen in der Instandhaltung und der Service-Stückliste. Weitere Details zur Instandhaltung im Allgemeinen sowie zu Wartungsplänen und Arbeitsanweisungen enthalten die Normen und Richtlinien: DIN EN 13306:2018-02, DIN 31051:2012-09, DIN EN 13460:2009-08, VDI 2888:1999-12, VDI 2890:2017-03 und VDI 2892:2006-06.

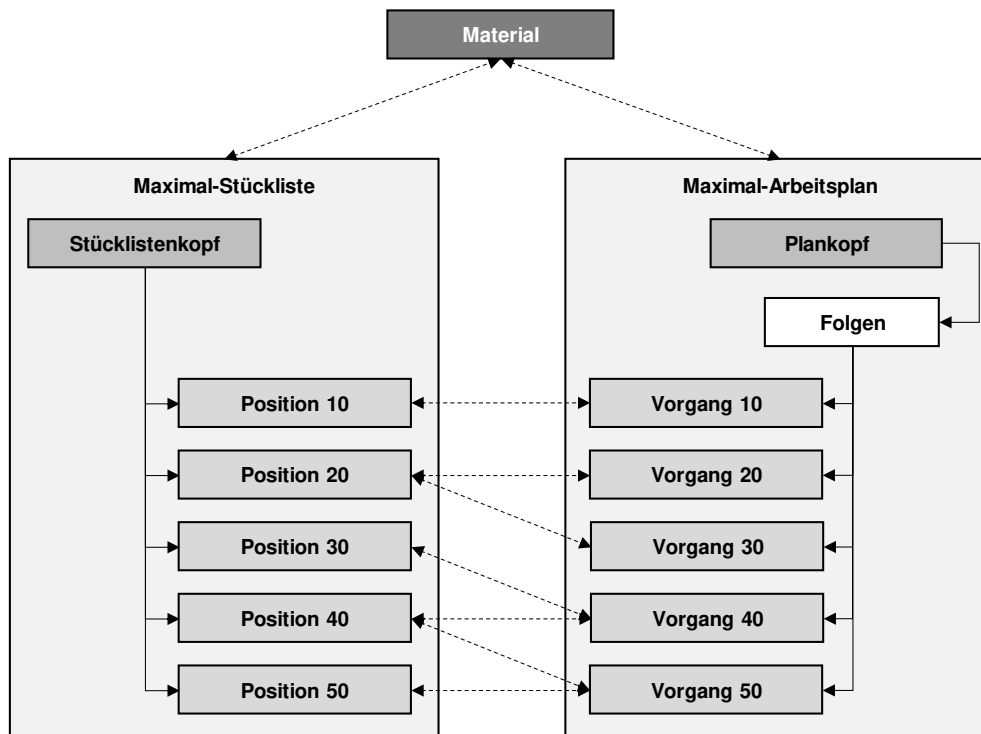


Abbildung 20: Abhängigkeit zw. Stückliste und Arbeitsplan (Lindemann et al. 2006)

### 2.3.3 Service-Stückliste

Stücklisten sind neben Stammdaten die wichtigsten Strukturdaten eines technischen Produkts. Sie stellen alle Bestandteile und Mengen, welche in ein Produkt eingehen, in hierarchischer Art und Weise dar (vgl. Eigner 2014b).

Es werden drei grundsätzliche Formen der Stücklistendarstellung unterschieden. Alle weiteren Varianten lassen sich aus diesen ableiten (vgl. Arnold et al. 2008). Die (1) Mengestückliste listet lediglich die Gesamtmenge der einzelnen Teile, welche in ein Produkt einfließen, auf. Die Darstellung erfolgt bei dieser Form unstrukturiert (vgl. Eigner 2014b). Die (2) Baukastenstückliste zeigt lediglich die nächste untergeordnete Stufe an. Somit entstehen mehrere kleine Stücklisten für ein Produkt. Die automatische Stücklistenauflösung wird hierdurch vereinfacht (vgl. Arnold et al. 2008). Die (3) Strukturstückliste integriert die zuvor genannten Formen. Sie weist die vollständige hierarchische Struktur eines Produkts sowie alle Mengen je Komponente aus (vgl. Eigner 2014b). Nach der DIN 199-1:2002-03 ist die Strukturstückliste eine Form, welche „[...] zur Darstellung der Erzeugnisstruktur mit allen Gruppen und Teilen dient, wobei jede Gruppe jeweils bis zu ihrer niedrigsten Stufe aufgegliedert ist“ (DIN 199-1:2002-03). Diese Stücklistenform ist von besonderer Relevanz für die vorliegende Arbeit. Die nachfolgende Darstellung illustriert den Aufbau dieser Stücklistenform. Der Grafik kann entnommen werden, dass innerhalb der Strukturstückliste jedes Einzelteil (unabhängig



von seiner Stückzahl) an einer definierten Stelle der Strukturstückliste verortet ist. Die Mengenangaben sind je Position gültig. Um die verbaute Gesamtmenge einer einzelnen Strukturstücklistenposition zu erhalten, muss die Positionsmenge mit den Mengen der darüber liegenden Hierarchiestufen multipliziert werden. So beträgt beispielsweise die Sachnummer 5 in Zeile 5 in der Abbildung 21 insgesamt 8 Stk., da die übergeordnete Baugruppe B die Stückzahl = 2 und deren übergeordnete Baugruppe A die Stückzahl = 1 aufweist ( $4 \times 2 \times 1 = 8$ ).

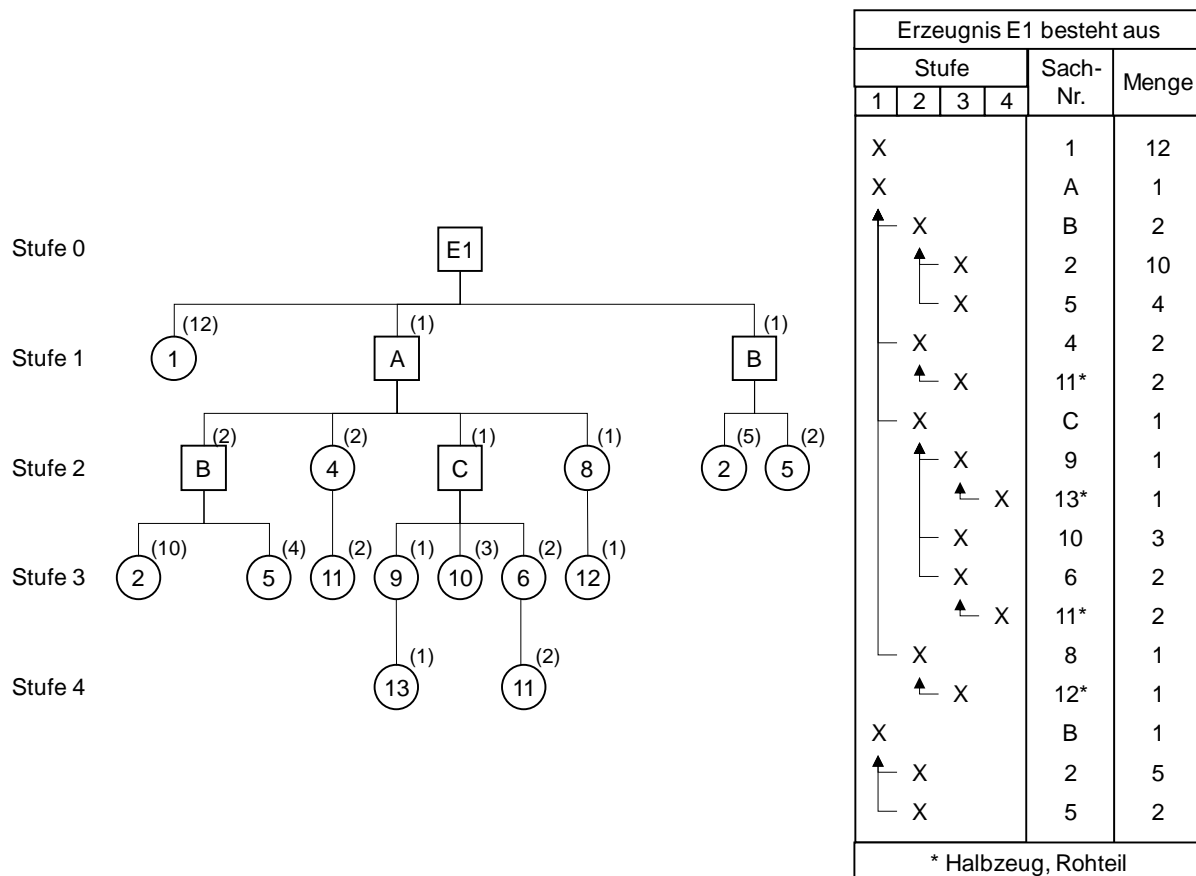
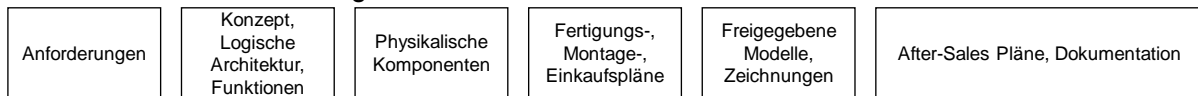
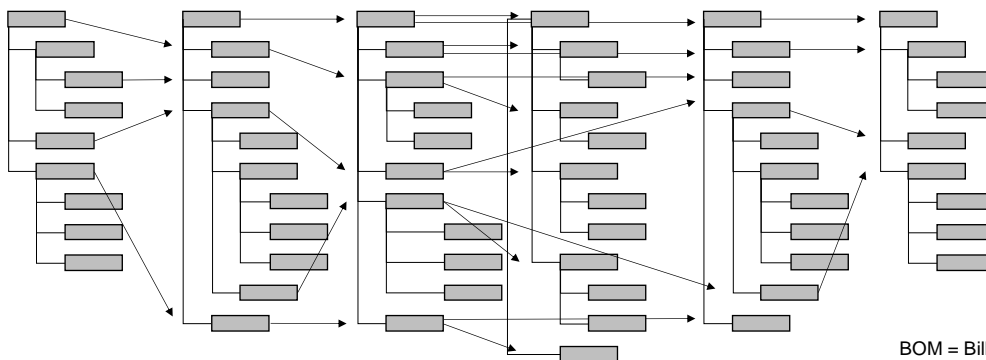
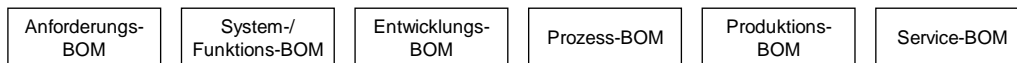


Abbildung 21: Aufbau der Strukturstückliste (DIN 199-1:2002-03)

Eine Unterscheidung der Stücklisten erfolgt nicht nur nach Darstellungsform, sondern ebenso nach unterschiedlichen Anwendungssichtweisen in Abhängigkeit der benötigten Informationen. Es wird vor allem die Konstruktionsstückliste und andere Arbeitsstücklisten unterschieden, welche über den Produktlebenszyklus von und für unterschiedliche Unternehmensbereiche erzeugt werden (vgl. Eigner 2014b). So weist z. B. die Konstruktionsstückliste eine rein funktionale Produktgliederung auf, wohingegen eine Fertigungsstückliste nach Fertigungs- und Montageschritten strukturiert ist (vgl. Eigner 2014b). Die nachfolgende Abbildung 22 zeigt die einzelnen Stücklistensichtweisen entlang des Produktlebenszyklus.

**Produktlebenszyklus****Form der Produktbeschreibung****Produktstrukturen**

BOM = Bill of Materials (Stückliste)

**Abbildung 22: Produktstruktursichten (Eigner 2014a)**

Von besonderer Relevanz für die vorliegende Arbeit ist die Service-Stückliste (engl. Service Bill of Materials; Abk.: SBOM), welche ein Teil der technischen Dokumentation einer Anlage ist. Die SBOM enthält Objekte, die als Ersatzteil bestellt oder einer Wartung unterzogen werden können.

Die SBOM sollte im Zuge der Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen mittels entsprechender Techniker-Rückmeldungen bzw. Service-Berichte laufend aktualisiert werden, sodass die im IPS-System hinterlegte Anlagendokumentation einem Abbild der realen Anlage im Feld entspricht. Kennzeichnend für den Maschinen- und Anlagenbau ist, dass die Konfiguration einzelner Maschinenversionen im Feld ggf. trotz gleichem Auslieferungszustand über die Zeit stark variieren kann. Hintergrund sind laufende Optimierungen von (Ersatz-)Teilen z. B. aufgrund von funktionellen Verbesserungen oder Fertigungsrationalisierungen sowie deren unterschiedliche Einbauzeitpunkte im Feld aufgrund unterschiedlicher Laufleistungen und Abnutzungen der Anlagen oder kundenseitiges Hinauszögern von empfohlenen Wartungszeitpunkten (vgl. Eigner 2014b).

Nachdem die Hauptprozesse, unterstützende Systeme, Dokumente und weitere Besonderheiten erläutert und entsprechendes Grundlagenwissen vermittelt wurde, folgt nachstehend eine vertiefende Beschreibung des Teilprozesses „Ersatzteilidentifikation“.

Der zuvor beschriebene Auftragsabwicklungsprozess ist Bestandteil aller im Punkt 2.2.3 beschriebenen Leistungsebenen im After-Sales Service, da jede Leistungsebene die Planung von Instandhaltungsmaßnahmen und Bereitstellung entsprechender Ersatzteile enthält. Für die vorliegende Arbeit ist im Speziellen die Aufgabe der Problem- / Auftragsklärung (vgl. Abbildung 23) von Bedeutung. Sie ist dem Teilprozess „Auftragsauslösung“ (vgl. Abbildung 16) vorgelagert. Diese Aufgabe inkludiert die Ersatzteileidentifikation für eine entsprechende Instandhaltungsmaßnahme. Der Prozess startet mit dem Status „Service-Anfrage liegt vor“ und endet mit der Erstellung eines „Vollumfänglichen Service-Kits“ (vgl. Abbildung 7). Der betriebswirtschaftlich nachgelagerte Prozess der „Angebotserstellung“ sowie dessen Beauftragung triggert den Prozess „Auftragsauslösung“.

Eine schnelle, effiziente und fehlerfreie Ersatzteilidentifikation zu Beginn des Auftragsabwicklungsprozesses ist die Basis einer effizienten Abfolge der nachgelagerten Prozessschritte. Fehler bei der Teileidentifikation führen zu nicht durchführbaren Instandhaltungsmaßnahmen und somit erhöhten Ausfallkosten. Abhängig von der Leistungsebene sind mit einer fehlerhaften Ersatzteilidentifikation unzufriedene Kunden, Eillieferung und/oder auch Vertragsstrafen verbunden. Für die Ersatzteilidentifikation hat sich vor allem bei komplexen und kundenspezifischen Primärgütern ein zweistufiges Ersatzteil-Identifikationssystem bewährt (vgl. Baumbach und Stampfl 2002).

In **Stufe 1** erfolgt zunächst die Identifikation von produktunabhängigen Teilenummern und -bezeichnungen durch den Kunden oder Servicetechniker. Der gesamte benötigte Teileumfang für die Durchführung einer geplanten Instandhaltungsmaßnahme wird anhand von vorgeschriebenen Wartungsplänen und/oder der Expertise des Technikers definiert. Die bereitgestellte technische Dokumentation enthält in einem 2-stufigen Verfahren absichtlich tlw. lediglich Teilebezeichnungen und keine Sachnummern. Die so definierten Teileumfänge werden im Anschluss zusammen mit der Seriennummer der zu instandhaltenden Anlage an entsprechende interne Bereiche des Herstellers übermittelt (vgl. Baumbach und Stampfl 2002).

Die **Stufe 2** beinhaltet den Abgleich des angeforderten Teilebedarfs mit den Daten der Konfigurationsdatenbank. „In der Konfigurationsdatenbank dokumentiert der Primärgüterhersteller sämtliche an der Maschine durchgeführten Veränderungen bzw. kundenspezifischen Adaptionen“ (vgl. Baumbach und Stampfl 2002). Angeforderte Teilenummern können in diesem Schritt ggf. durch deren Nachfolgerversionen, die dem Kunden/Servicetechniker mangels Expertise und Erfahrung nicht bekannt waren, ersetzt werden. Des Weiteren bietet die zweite Stufe eine Möglichkeit zur Kontrolle der

für eine Instandhaltungsmaßnahme vorgeschriebenen Teileumfängen. Die angeforderten Teileumfänge können somit ggf. vervollständigt werden. V. a. bei Bestellungen durch Kunden kann nicht vorausgesetzt werden, dass diese über das entsprechende technische Know-how einer Anlage für eine fehlerfreie und vollumfängliche Ersatzteilidentifikation verfügen.

Das zweistufige Vorgehen der Ersatzteilidentifikation bietet den Primärgüterherstellern den Vorteil, dass die den Kunden zur Verfügung gestellte Ersatzteildokumentation nicht vollumfänglich durch dritte Service-Anbieter genutzt werden kann, da ein entsprechender Konfigurationsdatenbankzugang nicht vorhanden ist. Voraussetzung für eine effiziente und fehlerfreie Ersatzteilidentifikation ist zugleich die permanente Pflege der Konfigurationsdatenbank, sprich das Einpflegen von Rückmeldungen aus dem Feld bzgl. durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen und verbauten Teilenummern (vgl. Baumbach und Stampfl 2002). Ohne eine aktualisierte Service-Stückliste ist keine korrekte Teileidentifikation bei zukünftigen Wartungen möglich.

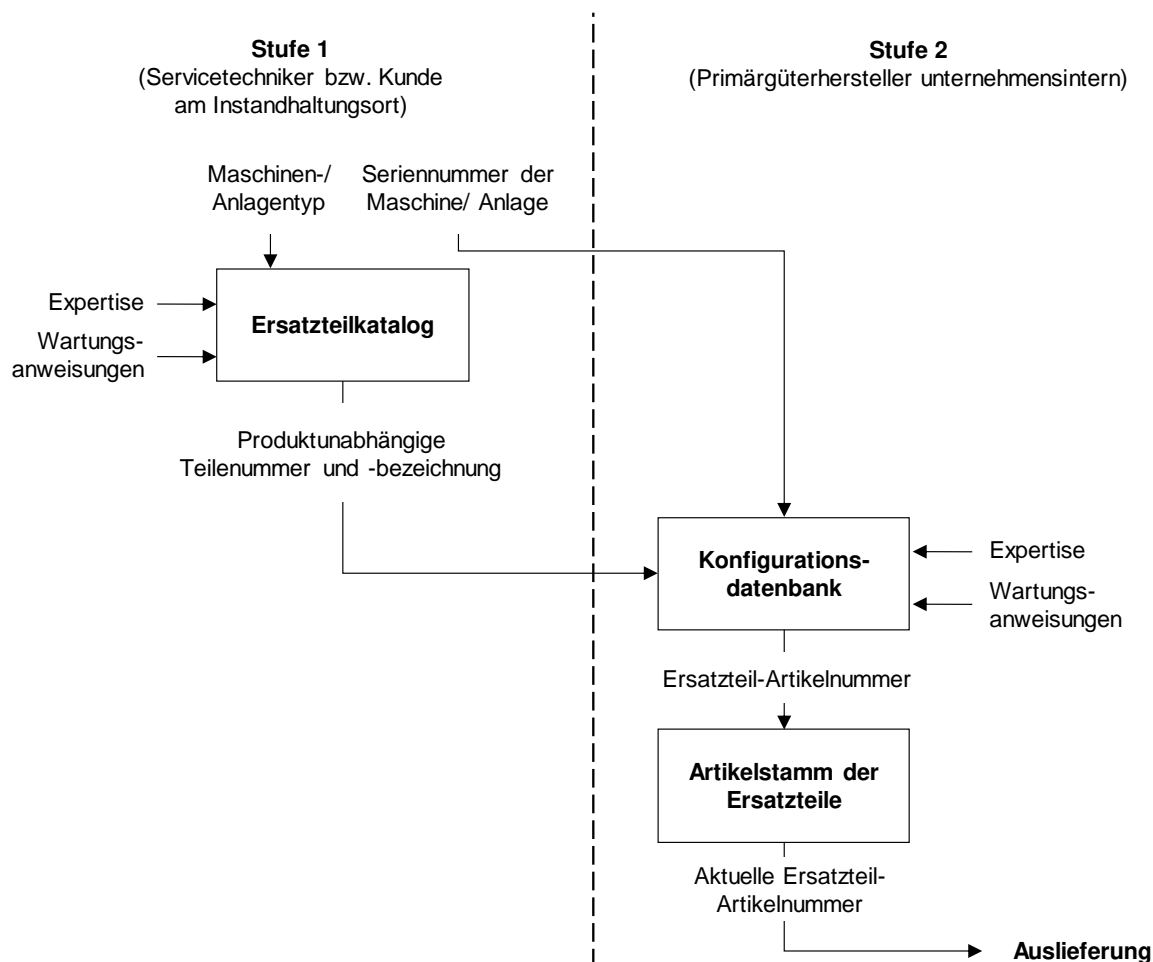
#### 2.3.4 Service-Kits

Eine Besonderheit in der Leistungsebene 1 „Ersatzteil-Services“ und somit in weiterer Folge auch für den Auftragsabwicklungsprozess und die Ersatzteilidentifikation stellen die sogenannten „Service-Kits“ dar. Sie beinhalten alle Ersatzteile, welche für die Durchführung einer bestimmten Instandhaltungsmaßnahme benötigt werden. Durch die Zusammenführung mehrerer einzelner Ersatzteile (unter einer übergeordneten Ersatzteilnummer) sowie deren gemeinsame Vorverpackung, sollen fehlerhafte Ersatzteilidentifikationen und der Kommissionieraufwand minimiert und die Kommissioniergeschwindigkeit erhöht werden (vgl. Baumbach und Stampfl 2002). Trotz der berechtigten Vorteile ist der Einsatz dieser Form von Service-Kits in der unternehmerischen Praxis des Maschinen- und Anlagenbaus herausfordernd. Nachfolgend werden die relevantesten Restriktionen genannt:

Aufgrund der hohen **Teile- und Variantenvielfalt** sowie kundenspezifischen Anlagenkonfigurationen ergibt sich eine hohe Anzahl an Teilekombinationsmöglichkeiten, was zu einer sehr hohen Anzahl unterschiedlicher Service-Kits für denselben Verwendungszweck bei derselben Anlagenversion führt.

Des Weiteren wäre eine physische Vorkonfiguration (Make-to-Stock) der Ersatzteilpakete, um kurze Reaktionszeiten bei der Bestellung und Auslieferung zu gewährleisten, aufgrund der hohen Anzahl zu definierender Paketen und der damit verbundenen Kapitalbindung nicht möglich. Da Einzelteile im Maschinen- und Anlagenbau ein mittleres bis hohes Volumen aufweisen, wäre auch eine Einlagerung zusätzlich zu den in den

Paketen enthaltenen Einzelmaterialnummern aufgrund des zusätzlichen **Lagerplatzbedarfs** und des Verwaltungsaufwands nicht wirtschaftlich. In vielen Fällen wäre eine gemeinsame Einlagerung der Einzelteile eines Ersatzteilkpakets in einem einzigen Ladungsträger und an einem Lagerplatz aufgrund des Gesamtvolumens der Teile nicht realisierbar. Das Ersatzteilkpaket müsste auf mehrere Lagerplätze und Ladungsträger aufgeteilt werden.



**Abbildung 23: Ersatzteilidentifikationsprozess in Anlehnung an (Baumbach und Stampfl 2002)**

Eine weitere Herausforderung ist das Anbieten von **Service-Kits**, bestehend aus **Zukaufteilen**. In diesem Fall wäre es sinnvoll die einzelnen Bestandteile eines Ersatzteilkpakets bei einem einzigen Zulieferer zu konsolidieren, zu verpacken und als vorkonfektioniertes Gesamtpaket zu beziehen. Dies hätte eine Komplexitätsreduktion für den Maschinen- und Anlagenhersteller zur Folge. In der unternehmerischen Praxis gestaltet sich die Bereitstellung auf diese Weise jedoch als bedingt umsetzbar. Häufig unterhalten die Sublieferanten gegenseitige Geschäftsbeziehungen mit eigenen Konditio-

nen. Würde einer der Sublieferanten im Auftrag des Maschinenherstellers die Ersatzteile anderer Sublieferanten konsolidieren, wären ihm die Bezugspreise des Maschinenherstellers bei den anderen Sublieferanten transparent. Dies ermöglicht einen ungewollten Abgleich der eigenen Konditionen bei den jeweiligen Sublieferanten (z. B. die Preise eines C-Teile Lieferanten).

Neben den physischen Prozessen stellt auch die rein systemtechnische Vorkonfiguration aufgrund der hohen Varianz eine Herausforderung für Unternehmen dar. Unter „**systemtechnischer Vorkonfiguration**“ wird die gemeinsame Verortung mehrerer einzelner Materialnummern unter einer übergeordneten Ordnungsnummer (virtuelles Service-Kit) in dem Materialwirtschaftsmodul eines ERP-Systems verstanden. Die Änderungshäufigkeit einzelner Komponenten und Teile (z. B. Teilenummernänderung bedingt durch konstruktive Teileoptimierung oder Lieferantenwechsel) setzt einen erhöhten manuellen Datenpflegeaufwand voraus. Neben der Neuanlage von neuen Teilenummern in den Stammdaten wird zusätzlich eine Aktualisierung jeder Ordnungsnummer, in der ein obsoletes Teil durch ein Neuteil ersetzt werden muss, erforderlich. Eine Massenänderung ist nicht immer möglich, da tlw. das Vorgängerteil in anderen Baugruppen in Verwendung bleibt (z. B. bei DIN-Teilen).

Aufgrund der vorangestellten Ausführungen erfolgt die Bildung von vorkonfektionierten Standard-Service-Kits in der unternehmerischen Praxis häufig lediglich für gering volumige Teile oder Standardnormteile mit gleichem Lieferanten. Weitere Service-Kits müssen bei Bedarf bzw. bei Anfrage individuell und manuell konfiguriert werden.

Für die vorliegende Arbeit wird der Begriff „Service-Kit“ wie folgt definiert:

*Ein „Service-Kit“ ist ein seitens des Anlagenherstellers definierter auftragsbezogener und anlagenspezifischer Teileumfang, welcher sämtliche benötigte Einzelmaterialeinheiten in korrekter Menge für die Durchführung von zuvor definierten Wartungsarbeiten umfasst.*

## 2.4 Wissensmanagement

### 2.4.1 Wissensmanagement im Allgemeinen

Wissensmanagement (engl. knowledge management) beschreibt die Geschäftsprozesse in einer Organisation, welche dem Schaffen, Speichern, Übertragen und Anwenden von Wissen dienen. Abbildung 24 zeigt die fünf wertsteigernden Schritte der „Knowledge Management Value Chain“. In jeder Stufe werden die Daten und Informationen durch zusätzlichen Mehrwert angereichert, bis diese in nutzbares Wissen um-

gewandelt wurden. Knowledge Management stellt somit einen wesentlichen Erfolgsfaktor für Unternehmen dar. Wissen, das in Organisationen nicht geteilt und angewendet wird, leistet keinen Beitrag zur Steigerung des Unternehmenswerts. Das aktive Betreiben von Wissensmanagement erhöht die Fähigkeit eines Unternehmens von der Umwelt zu lernen und Wissen in dessen Geschäftsprozesse zu integrieren. (vgl. Laudon und Laudon 2012)

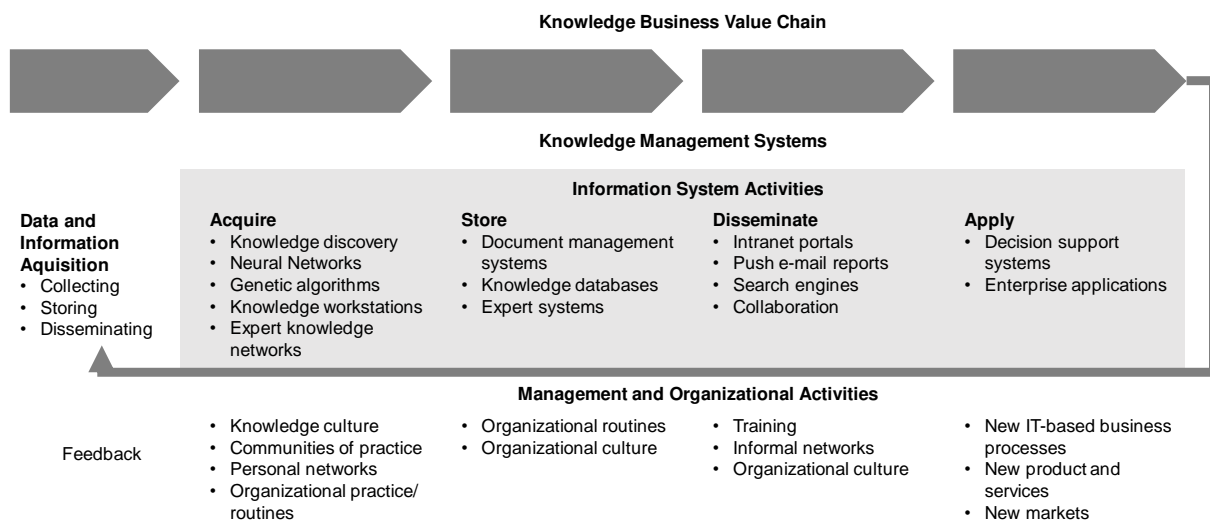


Abbildung 24: Knowledge Management Value Chain (Laudon und Laudon 2012)

Nachfolgend wird eine kurze Erläuterung des Begriffs „Wissen“ anhand von zwei exemplarischen Darstellungsformen vorgenommen.

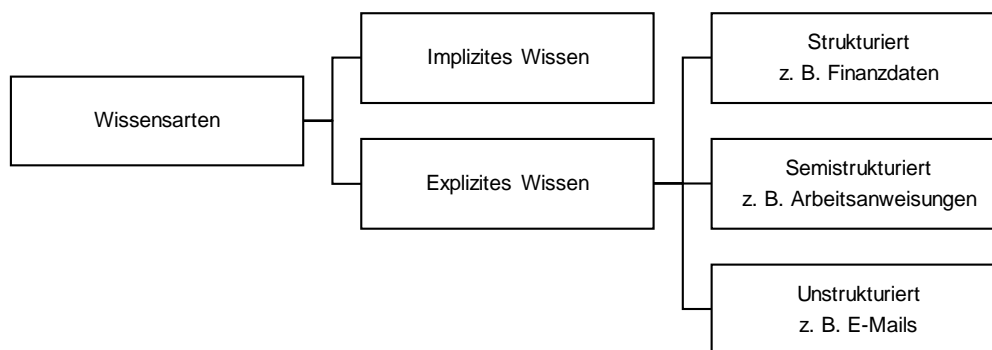


Abbildung 25: Wissensarten im Allgemeinen. Eigene Darstellung in Anlehnung an (Jashapara 2011)

Wissen kann grundsätzlich in zwei Kategorien eingeteilt werden. (1) Implizites Wissen, welches in den Gedanken von Angestellten verankert ist sowie (2) explizites Wissen, welches in dokumentiertem Zustand vorliegt (vgl. Laudon und Laudon 2012). Explizites Wissen wird wiederum in (1) „strukturiertes“ sowie in (2) „semistrukturiertes“ oder (3)



„unstrukturiertes“ Wissen unterteilt (vgl. Jashapara 2011; Laudon und Laudon 2012). Eine Übersicht hinsichtlich der Taxonomie von Wissen zeigt Abbildung 25.

Eine weitere Betrachtungsweise ist die Differenzierung von Wissen in eine „individuelle Eigenschaft“ und eine „kollektive Eigenschaft“ eines Unternehmens (vgl. Laudon und Laudon 2012). Eine Klassifizierung, die dies zum Ausdruck bringt, ist die Taxonomie nach BLACKLER. Er unterteilt den Begriff „Wissen“ wie folgt (vgl. Blackler 2016):

- Embodied: Dieses Wissen ist maßnahmenorientiert und lediglich teilweise explizit. Es ist eine Art von Know-how, welches durch einen Experten dargestellt wird.
- Embedded: Dieses Wissen existiert innerhalb von Systemen und Abläufen. Dies entspricht den organisatorischen Kompetenzen und Mechanismen, welche eine Organisation nutzt, um reibungslose Abläufe zwischen einzelnen Personen und Organisationsbereichen sicherzustellen.
- Embrained: Dieses Wissen basiert auf den kognitiven und konzeptionellen Fähigkeiten, mit denen Regeln und Kausalzusammenhänge entwickelt werden.
- Encultured: Dieses Wissen umfasst das gemeinsame Verständnis und kulturelle Bedeutungen von allen Personen innerhalb einer Organisation.
- Encoded: Dieses Wissen ist in Büchern, Arbeitsanweisungen und Informationssystemen festgehalten.

Die Kategorien „embodied“ und „embrained“ können als individuelles Wissen bezeichnet werden. Die Kategorien „embedded“ und „encultured“ als kollektives Wissen. Eine entsprechende Taxonomie kann der Abbildung 26 entnommen werden (vgl. Jashapara 2011). Weitere Wissensklassifizierungen bieten bei Interesse die Aufstellungen von MAIER und JETTER et al. (vgl. Jetter et al. 2006; Maier 2007).

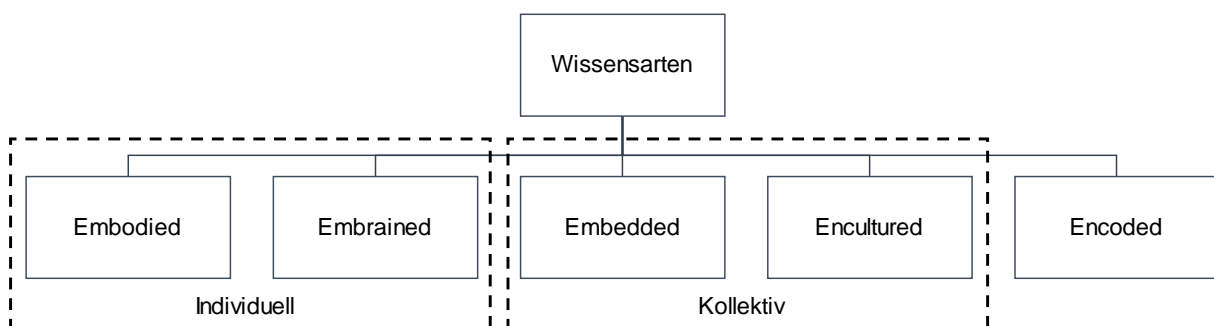


Abbildung 26: Wissensarten nach BLACKLER (eigene Darstellung)

Um neues Wissen zugänglich machen zu können, wird ein Wissensmanagementsystem (engl. Knowledge Management System) benötigt. Wissensmanagementsysteme



sammeln relevantes Wissen und Erfahrungen eines Unternehmens und stellen dieses für Prozessoptimierungen und Managemententscheidungen zu Verfügung (vgl. Laudon und Laudon 2012). Hierzu sei zudem auf den Abschnitt „Wissensmanagementsysteme“ verwiesen. Es können grundsätzlich drei Wissensmanagementsystem-Typen unterschieden werden (vgl. Laudon und Laudon 2012). Eine entsprechende Übersicht bietet die Abbildung 27.

**Enterprise-Wide Knowledge Management Systems** (dt. unternehmensweite Wissensmanagementsysteme) sind allgemeine firmenweite Anstrengungen digitale Inhalte und Wissen zu sammeln, zu speichern, zu verteilen und anzuwenden. Unter **Knowledge Work Systems** sind spezialisierte Systeme für Ingenieure, Wissenschaftler und andere Arbeitskräfte zu verstehen, welche mit der Entdeckung und Entwicklung von neuem Wissen innerhalb eines Unternehmens beauftragt sind. Darüber hinaus bieten die Bereiche „Künstliche Intelligenz“ und „Datenbanktechnologie“ eine Vielzahl an **intelligenten Techniken** für das Erfassen von individuellem und kollektivem Wissen in Organisationen, um deren Wissensbasis zu erweitern. (vgl. Laudon und Laudon 2012)

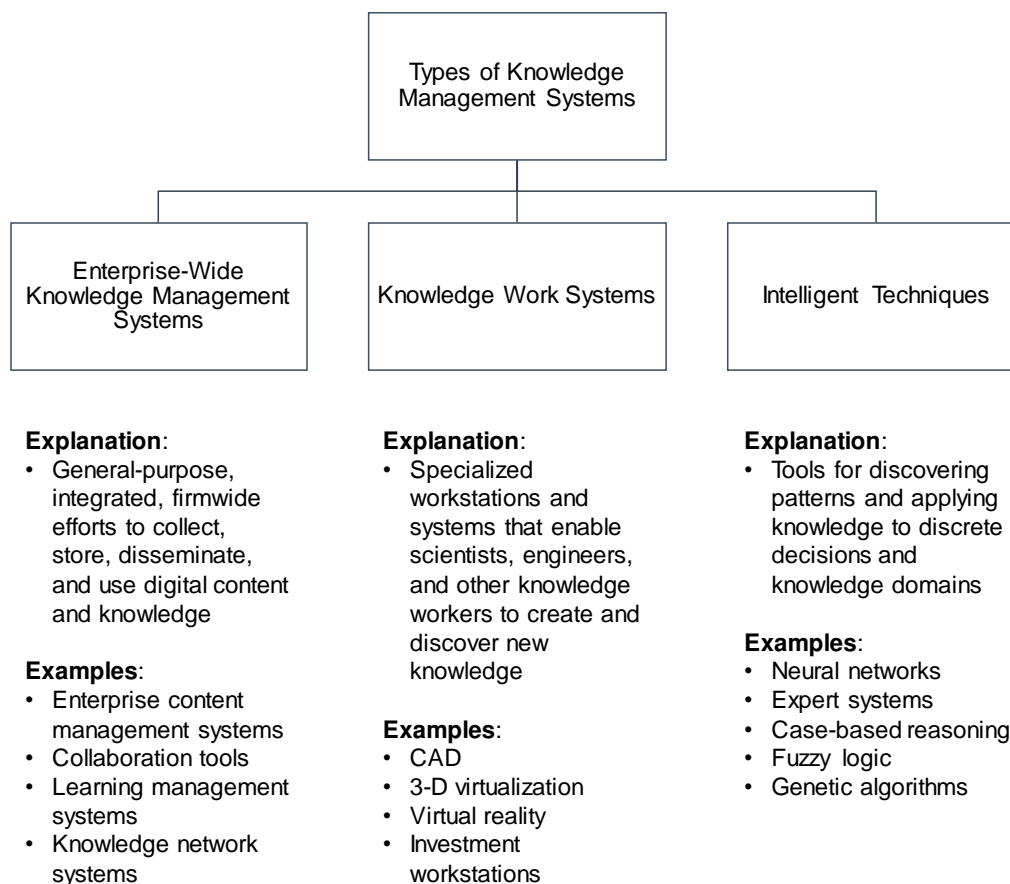


Abbildung 27: Arten von Wissensmanagementsystemen (Laudon und Laudon 2012)

Einen erweiterten Wissensmanagementansatz präsentiert ANSARI mit der Definition des Begriffs „Knowledge Management 4.0 (KM 4.0)“. ANSARI betrachtet das Wissensmanagement im Kontext von Smart Factories sowohl aus einer human-orientierten als auch einer technologie-orientierten Perspektive. Vor dem Hintergrund von Mensch-Maschine Interaktionen wird die Maschine (dieser Begriff inkludiert physische und nicht-physische Erscheinungsformen wie z. B. Algorithmen) nicht nur als Arbeitskraft, sondern als Wissensakteur (Knowledge Actor 4.0) betrachtet. Das Konzept des KM 4.0 zielt auf die Optimierung der Wertschöpfung sowie die einfache Weiterentwicklung und den Schutz der kollektiven Mensch-Maschine-Intelligenz ab. ANSARI betont in seiner Arbeit u. a. die Notwendigkeit der verstärkten Implementierung von adaptiven und wissensbasierten Assistenzsystemen für die Verwaltung des kollektiven Wissens in produzierenden Unternehmen. (vgl. Ansari 2019)

Aufbauend auf den vorherigen Erläuterungen und der Relevanz von intelligenten Techniken für die Entwicklung von Assistenzsystemen sowie der Zielsetzung dieser Arbeit, wird nachfolgend vertiefend auf „intelligente Techniken“ im Kontext von künstlicher Intelligenz eingegangen.

#### 2.4.2 Wissensmanagement unterstützt durch Methoden der Künstlichen Intelligenz

Der Begriff „Künstliche Intelligenz“ (Abk. KI; engl. Artificial Intelligence, Abk. AI) wird in unterschiedlichstem Kontext verwendet. Die konkrete Bedeutung des Begriffs ist abhängig von der verfolgten Hauptzielsetzung. RUSSEL und NORVIG beschreiben in Abhängigkeit von zwei Dimensionen insgesamt vier konkrete Ziele von künstlicher Intelligenz. Diese können der Tabelle 2 entnommen werden. (vgl. Russell und Norvig 2016; Bringsjord und Govindarajulu 2018)

**Tabelle 2: Vier mögliche Zielsetzungen von AI in Anlehnung an (Russell und Norvig 2016) und (Bringsjord und Govindarajulu 2018)**

|                        | <b>Human-Based</b>                                   | <b>Ideal-Rationality</b>                                  |
|------------------------|--|---|
| <b>Reasoning-Based</b> | Systems that think like humans.<br>(Human/Reasoning) | Systems that think rationally.<br>(Rationality/Reasoning) |
| <b>Behavior-Based</b>  | Systems that act like humans.<br>(Human/Behavior)    | Systems that act rationally.<br>(Rationality/Behavior)    |

Ein wesentliches Merkmal von künstlicher Intelligenz in allen Kategorien bildet „Knowledge Representation and Reasoning“, sprich die Darstellung von Wissen sowie das anschließende Schlussfolgern (vgl. Richter und Aamodt 2005). Hierfür werden innerhalb der oben aufgezeigten Hauptzielsetzungen unterschiedlichste intelligente

Techniken verwendet, welche in Expertensysteme integriert und für die Wissensrepräsentation und Schließprozesse verwendet werden (vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014). BEIERLE und KERN-ISBERNER definieren ein Expertensystem wie folgt:

*„Ein Expertensystem ist ein Computersystem (Hardware und Software), das in einem gegebenen Spezialisierungsbereich menschliche Experten in Bezug auf ihr Wissen und ihre Schlussfolgerungsfähigkeit nachbildet.“ (Beierle und Kern-Isberner 2014)*

Abhängig von der Perspektive einer wissenschaftlichen Disziplin (z. B. Mathematik, Informatik oder Ingenieurwissenschaften) sowie zugrundeliegender Aufgabenstellungen und Zielsetzungen werden die darin verwendeten intelligenten Techniken in der Literatur in unterschiedlichste Gruppen, Kategorien, Hierarchien und Begrifflichkeiten zusammengefasst. Eine ausführliche Darstellung ist aufgrund der Mannigfaltigkeit und Diversität im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich und sinnvoll. An dieser Stelle sei auf die Arbeiten von RUSSEL und NORVIG (vgl. Russell und Norvig 2016), BEIERLE und KERN-ISBERNER (vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014), MAIMON und ROKACH (vgl. Maimon und Rokach 2010), LAUDON und LAUDON (vgl. Laudon und Laudon 2012) sowie WITTEN und FRANK (vgl. Witten et al. 2017) verwiesen. Ein Auszug der relevantesten Techniken sowie eine kurze Beschreibung deren Einsatzzwecks basierend auf BEIERLE und KERN-ISBERNER kann Tabelle 3 entnommen werden:

**Tabelle 3: Auswahl intelligenter Techniken für die Wissensrepräsentation und Schließprozesse nach (Beierle und Kern-Isberner 2014) (eigene Darstellung)**

| Techniken                                      | Erläuterung  | Beispiel  |
|--|--|---|
| Regelbasierte Systeme                          | Diese finden in klar strukturierten Bereichen Verwendung, in denen 0-1 Entscheidungen getroffen werden. Sie folgen klaren und erprobten Techniken mit Wenn-dann-Charakter.   | Auszahlungsregeln eines Geldautomaten                                 |
| Maschinelles Lernen                            | Dieser Bereich versucht die Art und Weise des menschlichen Lernens nachzubilden. Hierfür können zahlreiche unterschiedliche Einzeltechniken wie z. B. die explorative Analyse großer Datenmengen mittels Data-Mining zum Einsatz kommen.   | Analyse des Einkaufsverhaltens von Konsumenten anhand von Kassendaten |
| Fallbasiertes Schließen (Case-based Reasoning) | Dies umfasst das Lösen von Problemen auf Basis von vergangenen Erfahrungen. Die Herausforderungen bestehen in der Beschreibung eines Problems sowie dessen Vergleich mit einer vergangenen Problemstellung hinsichtlich deren Ähnlichkeit. Im Gegensatz zu den Ansätzen des maschinellen Lernens werden hierbei nicht zwingend große Datenmengen mit einzelnen Datenpunkten ausgewertet. | Diagnose von Krankheiten auf Basis vergangener Fälle                  |

Die angeführten Techniken werden verwendet, um implizites Wissen sowie Denkvorgänge von Personen abzubilden und nutzbar zu machen (vgl. Laudon und Laudon 2012). Sie können daher in Bezug auf Tabelle 2 in den Quadranten „Human/Reasoning“ eingeordnet werden.

Die Anwendung von **regelbasierten Systemen (RBS)** setzt das vollständige Verständnis einer Domain und dessen Beschreibung in Form von Regeln voraus. Dieser Prozess ist aufwandsintensiv. Darüber hinaus können Problemstellungen nur dann gelöst werden, wenn für diese entsprechende Entscheidungsregeln hinterlegt sind. Regelbasierte Systeme zielen zudem darauf ab die Experten in einer Domain zu ersetzen. **Maschine Learning (ML)** Ansätze leiten generelle Regeln auf Basis der Klassifizierung von vorhandenen Daten ab. Die Verfügbarkeit von Daten wird vorausgesetzt. Die abgeleiteten Regeln werden nicht sofort, sondern zu einem späteren Zeitpunkt angewendet. **Case-based Reasoning (CBR)** beschreibt kein generisches Wissen, sondern spezifisches Expertenwissen. Es dokumentiert das intellektuelle Kapital einer Organisation und macht dieses anwendbar. Somit kann durch CBR direkt der Nutzen von Wissensmanagement demonstriert werden. Im Gegensatz zu RBS verfolgt CBR die Unterstützung von Anwendern und nicht deren Ersetzung. Zudem erlaubt CBR die Identifikation von ähnlichen Problemstellungen. Es muss keine exakte Übereinstimmung vorhanden sein. Darüber hinaus ist die Wissenserweiterung von CBR-Systemen aufwandsarm, da die Fälle einzeln über lange Zeiträume hinzugefügt werden. Die Herausforderung bei der Anwendung von CBR-Systemen liegt in der Definition des Vokabulars sowie den Ähnlichkeitsmaßen, mit denen Fälle beschrieben und verglichen werden. Ein Nachteil von CBR-Systemen ist deren anfänglich eingeschränkte Leistungsfähigkeit aufgrund wenig vorhandener Referenzfälle. (vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014)

In weiterer Folge wird auf die Technik „Case-based Reasoning“ im Detail eingegangen. Diese Technik repräsentiert den Kernbestandteil, des in dieser Arbeit entwickelten Vorgehensmodells, da regelbasierte Systeme aufgrund intransparenter Zusammenhänge in der vorliegenden Problemstellung nicht angewendet werden können. Des Weiteren finden Ansätze des maschinellen Lernens mangels ausreichender Verfügbarkeit von Datensätzen aufgrund des kundenindividuellen Charakters einer Anlage ebenfalls keine Anwendungsmöglichkeit.

## 2.5 Case-based Reasoning

### 2.5.1 CBR im Allgemeinen und Einordnung

Case-based Reasoning (Abk. CBR; dt. Fallbasiertes Schließen vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014) bezeichnet ein Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz. Dieser Ansatz erfasst und nutzt konkretes Erfahrungswissen aus vergangenen Situationen bzw. Fällen (engl. Cases), um dieses für die Lösung aktueller Problemstellungen anzuwenden (vgl. Jashapara 2011; Richter und Aamodt 2005; Riesbeck und Schank 1989). Im Ge-

gensatz zu anderen KI-Ansätzen nutzt CBR kein generalisiertes Domainwissen, welches in Form von Modellen oder Regeln aus großen Datenmengen abgeleitet wurde (vgl. Aamodt und Plaza 1994). BEIERLE et al. bezeichnen „Fallbasiertes Schließen“ als den formalen Ansatz, um den allgegenwärtigen und erfolgreichen Denkprozess des Lernens aus vergangenen Erfahrungen bzw. Situationen im Rechner darzustellen (Beierle und Kern-Isberner 2014). Dem CBR-Ansatz liegen demzufolge zwei wesentliche Annahmen zugrunde (Beierle und Kern-Isberner 2014):

1. Ähnliche Probleme haben ähnliche Lösungen.
2. Jedes Problem ist anders, aber der Typ der Aufgabenstellung wiederholt sich.

CBR-Systeme werden als Instrument zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt (vgl. Kolodner 1992). Dabei können einzelne Fälle sowohl durch Menschen als auch automatisiert durch Maschinen herangezogen und interpretiert werden (vgl. Kolodner 1992). Wie oben bereits angedeutet, sind CBR-Anwendungen vor allem dann sinnvoll, wenn repetitive Probleme bearbeitet werden müssen (vgl. Jashapara 2011). Zudem ist der Ansatz des CBR eine sinnvolle Option, wenn die Anzahl an verfügbaren vergangenen Fällen sehr klein ist (vgl. Mourtzis et al. 2017). Die Anwendbarkeit anderer KI-Ansätze setzt die Verfügbarkeit einer entsprechend großen Datenmenge voraus, um Muster erkennen und Modelle für eine automatisierte Auswertung ableiten zu können. Mittels CBR kann somit relativ schnell, bei unbekanntem allgemeinen Regeln und komplexen Aufgabenstellungen ein potenzieller Lösungsvorschlag präsentiert werden (vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014). Diese potenziellen Lösungsvorschläge resultieren aus Vergleichen mit den in der Fallbasis (engl. Case-Base) enthaltenen vergangenen Fällen. Die Fallbasis ist ein Kernbestandteil eines CBR-Systems und repräsentiert dessen Wissen in Form der darin gespeicherten Fälle sowie zusätzlichem Allgemeinwissen, z. B. bekannte Regeln (vgl. Abbildung 28). Grundsätzlich werden zwei Arten von CBR-Aufgaben unterschieden: (1) problemlösendes und (2) interpretatives CBR. Das problemlösende CBR fokussiert auf das Vorschlagen einer passenden Lösung aus vergangenen Fällen zu einer vorliegenden Problemsituation. Das interpretative CBR hingegen versucht eine vorliegende Situation differenziert und adäquat zu beurteilen. Unterschiede zwischen alten und neuen Fällen werden detailliert untersucht, um Rückschlüsse auf die tatsächliche Einschätzung bzw. Klassifizierung einer Situation zu ermöglichen. Interpretatives CBR wird z. B. in der Rechtsprechung eingesetzt, d. h. entspricht ein vorliegender Tatbestand exakt dem eines vergangenen und kann daher dasselbe Strafmaß herangezogen werden? (Beierle und Kern-Isberner 2014). Die vorliegende Arbeit fokussiert ausschließlich auf den Aufgabenbereich des problemlösenden CBR.

Nachstehend wird die Funktionsweise von CBR detaillierter anhand des CBR-Frameworks nach AAMODT et al. (vgl. Aamodt und Plaza 1994) erläutert. Anschließend erfolgt eine tiefere Erläuterung der Zusammensetzung eines „Case“ bzw. „Falls“.

## 2.5.2 CBR-Zyklus

Das CBR-Framework nach AAMODT et al. besteht aus einem zyklischen Prozessmodell (CBR cycle) sowie einer aufgabenorientierten Methodenstruktur, welche separat in Punkt 2.5.3 erläutert wird. (vgl. Aamodt und Plaza 1994) Die vier wesentlichen Teilschritte des CBR-Zyklus „Retrieve“, „Reuse“, „Revise“ und „Retain“ sind in Abbildung 28 grafisch dargestellt.

Für eine in der Realität auftretende Problemstellung („New Case“) wird ein möglichst ähnlicher vergangener Fall aus der Fallbasis abgerufen. Dies erfolgt anhand zuvor definierter Indizes und eines zugrundeliegenden Indexvokabulars. Die Ähnlichkeit der Indizes des vorliegenden Problemfalls wird im Zuge des Retrieve-Prozesses mit den in der Fallbasis enthaltenen Fällen, bestimmt. Hierfür werden mathematische Ansätze zur Bestimmung des Ähnlichkeitsmaßes (engl. similarity measure) von Fällen verwendet. Das Resultat dieses Schritts ist die Präsentation eines bestpassendsten vergangenen Falls mit einer darin enthaltenen Näherungslösung (ballpark solution) (vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014).

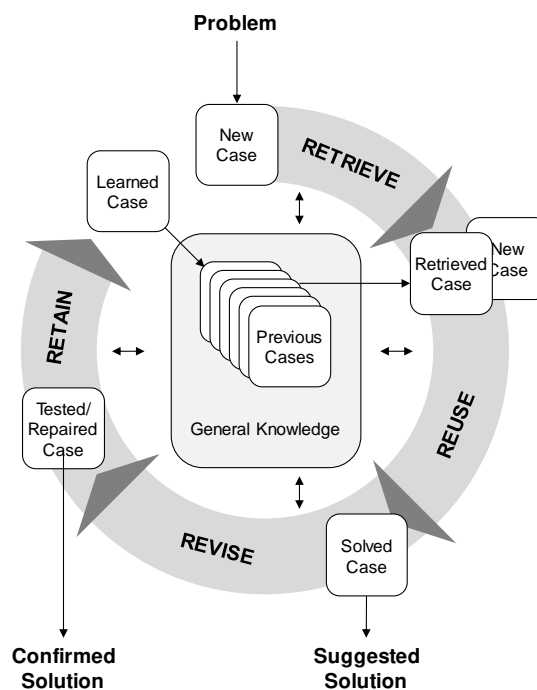


Abbildung 28: CBR-Cycle in Anlehnung an (Aamodt und Plaza 1994)



Diese Lösung wird im Schritt „Reuse“ auf die neue Problemstellung angewendet. Hieraus entsteht ein „Solved Case“, sprich ein gelöster Fall. Dieser wird im Schritt „Revise“ hinsichtlich seines Anwendungserfolgs bewertet und ggf. unter Verwendung von zusätzlichem domänenspezifischem Allgemeinwissen (General Knowledge) adaptiert oder repariert. In Folge entsteht ein „tested/repared Case“. Sofern die Adaptierungen als nützlich für zukünftige Fälle erachtet werden, erfolgt eine Speicherung dieses Falls als „Learned Case“ in der Fallbasis (engl. Case Base). Das Wissen des Gesamtsystems (d. h. sowohl dokumentierte Cases als auch domainspezifisches Allgemeinwissen) wird somit inkrementell mit jedem bearbeiteten Fall erweitert (vgl. Aamodt und Plaza 1994).

Die Gesamtleistungsfähigkeit eines CBR-Systems ergibt sich aus der Verbindung seiner Einzelkomponenten, d. h. (a) vom Umfang der Fallbasis, (b) der Fähigkeit die Ähnlichkeit zwischen Fällen zu bestimmen, (c) die Eigenschaft alte Lösungen auf neue Probleme anzupassen, (d) die Art und Weise, wie neue Lösungen evaluiert und ggf. korrigiert werden und (e) von der Fähigkeit neue Erfahrungen in die Fallbasis zu integrieren. (vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014)

Ein CBR-System ist vom Grundverständnis her als „Agent“<sup>10</sup> zu verstehen, welcher definierte Ziele verfolgt. Dieses Gesamtsystem kann nach AAMODT et al. aus drei Perspektiven beschrieben werden. Aus Sicht der durchzuführenden (1) Aufgaben (engl. tasks), aus Sicht der für die Durchführung der Aufgaben angewendeten (2) Methoden (engl. methods) und aus Sicht der (3) Modelle, welche das zugrundliegende Domänenwissen (engl. domain knowledge models) beschreibt. Auf dieses Domänenwissen wiederum greifen die Methoden entsprechend zu. Den Zusammenhang zwischen (1) und (2) formulieren AAMODT et al. in ihrem CBR-Framework mittels einer „Task-method structure“ (vgl. Abbildung 29). (vgl. Aamodt und Plaza 1994)

### 2.5.3 Task-method structure

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, dass keine, für alle Domains universell einsetzbaren, CBR Methoden existieren. CBR ist vielmehr ein Rahmenkonstrukt. Für die Anwendung des CBR-Ansatzes gilt es dieses Rahmenkonstrukt mit einem entsprechenden Methodenset auszugestalten (vgl. Aamodt und Plaza 1994).

---

<sup>10</sup> Nach RUSSEL und NORVIG setzt sich ein „Agent“ aus einem Programm und einer „Architektur“ zusammen. Das Agenten-Programm beinhaltet eine Agenten-Funktion, welche eine definierte Aufgabe erfüllen soll. Dieses Programm wird auf einer entsprechenden Hardware mit Sensoren und Aktoren betrieben, was als Architektur bezeichnet wird. (vgl. Russell und Norvig (2016))

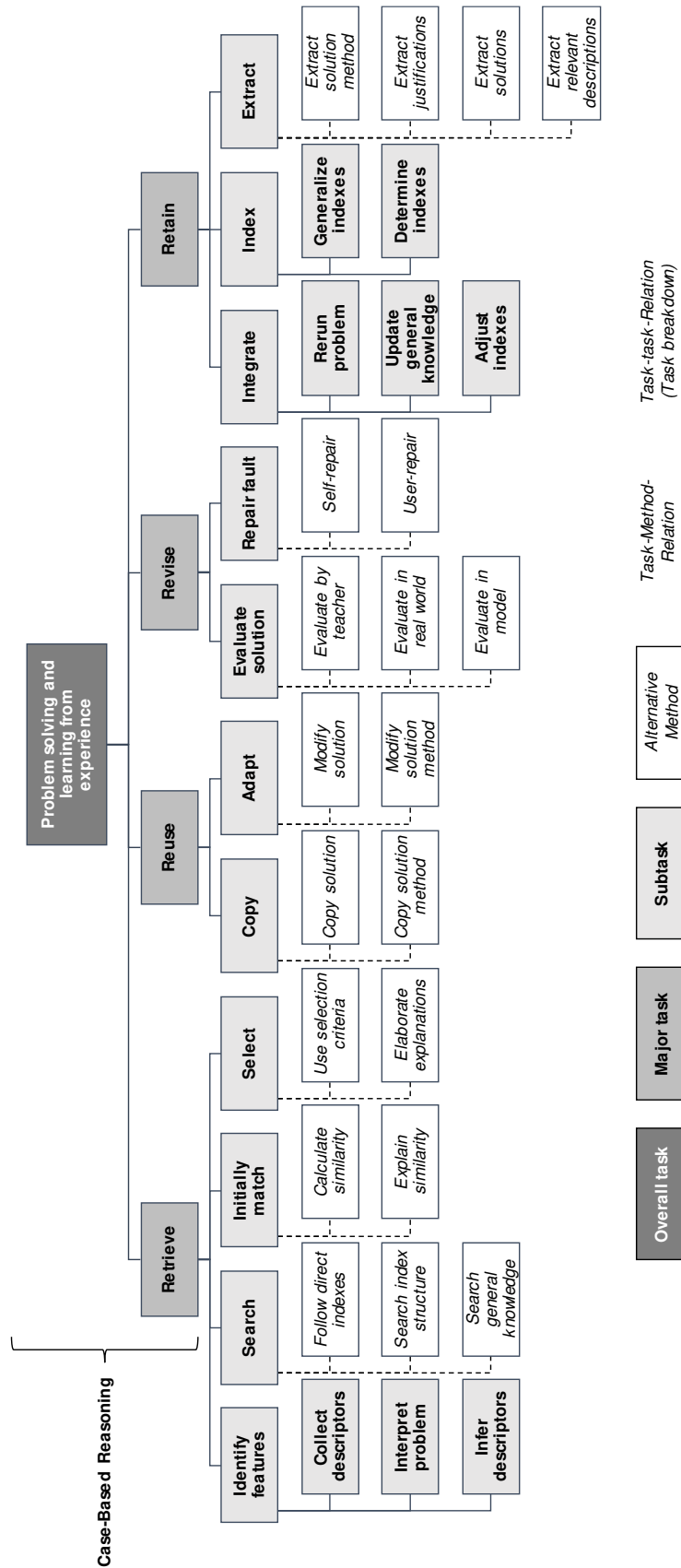


Abbildung 29: Task-method structure (Aamodt und Plaza 1994)



Die in der nachfolgenden Abbildung 29 dargestellte „Task-method structure“ zeigt Methoden in *kursiver* Schrift. Alle anderen Objekte stellen Aufgaben dar. Untergliederungen von Aufgaben sind mit durchgezogenen Linien abgebildet. Gestrichelte Linien repräsentieren alternative Methoden, die zur Durchführung einer Teilaufgabe angewendet werden können. Die übergeordnete Aufgabe (engl. overall task) bildet das „Problem solving and learning from experiences“ und die zugehörige Methode bildet das „Case-based Reasoning“ (dargestellt durch die geschweifte Klammer). Die übergeordnete Aufgabe kann in die vier Hauptaufgaben (engl. major tasks) „Retrieve“, „Reuse“, „Revise“ und „Retain“ gegliedert werden. Diese wiederum gliedern sich in entsprechende Teilaufgaben (engl. subtasks). Die Darstellung enthält keine Steuerungsmechanismen, die einen Rückschluss auf die Ablaufreihenfolge der einzelnen Teilaufgaben und verknüpften Methoden zulässt. Die dargestellten Methoden repräsentieren lediglich übergeordnete Methodenbeschreibungen. (vgl. Aamodt und Plaza 1994). Für die Durchführung einer bestimmten Teilaufgabe gilt es diese Methoden auf unterster Instanz final zu definieren (z. B. durch einen definierten Such- oder Vergleichsalgorithmus).

#### 2.5.4 Bestandteile eines Falls

Ein Fall (engl. case) repräsentiert ein spezifisches Erfahrungswissen, welches in einem definierten Kontext gesammelt wurde und welches einen wesentlichen Beitrag leistet, um die Ziele, die aus einer Schlussfolgerung gezogen werden sollen, zu erreichen. Das in Fällen enthaltene Wissen ist nur schwer oder gar nicht in einem allgemeingültigen Model darzustellen. Die Form und Umfänge von Fällen kann hierbei sehr unterschiedlich sein. (vgl. Kolodner 1993)

Ein Fall weist zwei wesentliche Bestandteile auf. (1) Eine „Lehre“, die aus einer bestimmten Problemsituation gezogen wurde und zur Lösung dieser beigetragen hat. Sie repräsentiert den Inhalt eines Falls. (2) Der „Kontext“ eines Falls ist der Rahmen, in dem die Lehre entstanden ist und für den sie bei einem erneuten auftreten wieder angewendet werden kann. Der Kontext wird mit Indizes beschrieben, welche zum Vergleich von Fällen herangezogen werden. (vgl. Kolodner 1993)

Formal werden die Inhalte eines Falls in drei Subkomponenten gegliedert. Einer (1) Problemdarstellung, einer (2) Lösungsdarstellung und einem (3) Resultat, sprich dem Ergebnis nach Anwendung einer Lösung. Mit dokumentierten Resultaten lassen sich Aussagen hinsichtlich der Qualität eines Falls und dessen enthaltener Lösung treffen. Viele CBR-Systeme dokumentieren jedoch keine Resultate und lösen das „Qualitätsproblem“ der Fälle, indem ausschließlich erfolgreiche Fälle in der Fallbasis dokumentiert werden. Diese Ansätze werden auch als „Retrieval only“ Ansätze bezeichnet. (vgl.

Beierle und Kern-Isberner 2014; Kolodner 1993). Die Berücksichtigung von Resultaten in der Fallbasis ist von der Zielsetzung eines CBR-Systems abhängig (vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014).

Für das Lösen von Problemfällen (problemorientiertes CBR) werden v. a. Problem- und Lösungsbeschreibungen benötigt. Für das Bewerten von Problemsituationen (interpretatives CBR) werden Situationsbeschreibungen und Resultate herangezogen. (vgl. Kolodner 1993)

Objekte bzw. Fälle können eine „einfache“ oder „komplexe“ Struktur aufweisen. Komplexe Objekte setzen sich systematisch aus einfachen (lokalen oder atomaren) Elementen zusammen. Ähnlich wie eine Anlage aus Baugruppen besteht, kann ein Fall aus mehreren Sub-Fällen bzw. aus deren Attributen (z. B. der Ausprägung des Ähnlichkeitsmaßes der Sub-Komponenten) zusammengesetzt sein.

**Tabelle 4: Bestandteile eines Falls (eigene Darstellung)**

| Fallbestandteile |                          | Beschreibung  |
|------------------|--------------------------|---|
| Kontext          | Problem-<br>darstellung  | Enthält Attribute, die als Indizes fungieren und zum Auffinden des Falls in der Fallbasis dienen. Des Weiteren können beschreibende Attribute enthalten sein, die Auskunft zum Entstehungsumfeld des Falls geben. |
|                  | Lösungs-<br>darstellung  | Enthält eine Lösungsbeschreibung eines vergangenen Falls (z. B. in Form von Attribut-Wert-Paaren)   |
| Lehre            | Ergebnis-<br>darstellung | Enthält die Beschreibung über die erfolgreichen oder nicht erfolgreichen Anwendungen der enthaltenen Lösung. Dieser Bestandteil ist abhängig vom CBR-System optional.   |

Dieses Prinzip wird als „Local-Global Prinzip“ bezeichnet. Es erlaubt eine spezifische Analyse von Teilkomponenten (z. B. die selektive Anwendung von mathematischen Ähnlichkeitsmaßen für bestimmte Sub-Komponenten). Mathematisch kann das Local-Global Prinzip wie folgt ausgedrückt werden, wobei gilt:  $A$  = Objekt (global),  $C$  = Mathematischer Operator der lokalen Elemente,  $A_i$  = Lokales Element und  $I$  = Indexmenge der lokalen Elemente (vgl. Richter und Weber 2013):

$$A = C(A_i | i \in I)$$

Beispiel: Anlage A besteht aus den Baugruppen 1, 5 und 8 von 20 möglichen Baugruppen. Daraus folgt:

$$\text{Anlage } A = \sum(BG_i | i \in I) \quad I = \{BG_1; BG_2; \dots\}$$

$$\text{Anlage } A = \sum(BG_1 + BG_5 + BG_8)$$

Die Anwendung dieses Lokal-Global Prinzips bedingt im Rahmen des CBR die Durchführung der Aufgaben (1) Dekomposition, d. h. die systematische Gliederung eines

bekanntes Objekt in seine unbekanntesten Bestandteile (z. B. die Gliederung eines komplexen Ziels in mehrere einfachere und bearbeitbare Zielsetzungen) und/oder der Aufgabe (2) Synthese, d. h. die Zusammenführung einzelner bekannter Komponenten zu einem zunächst unbekanntem Objekt (z. B. die Konstruktion einer komplexen Maschine aus Einzelkomponenten). (vgl. Richter und Weber 2013)

### 2.5.5 Wissens- und Fallbasis

Die Fallbasis beschreibt den Teil eines CBR-Systems, in dem bereits existierende Fälle vorgehalten werden (vgl. Abbildung 28). Sie ist daher als Speicherort zu betrachten (vgl. Richter und Weber 2013). Der Inhalt einer Fallbasis (engl. case base) kann unterschiedlich strukturiert werden. Es werden grundsätzlich drei verschiedene Arten von Fallbasisstrukturen unterschieden. (1) Flach, d. h. es bestehen keine Beziehungen unter den Fällen. Eine Fallbeschreibung ist in sich vollständig. Bei einer Fallsuche werden alle vorhandenen Fälle geprüft. Daher findet diese Organisation v. a. bei einer geringen gespeicherten Anzahl von Fällen ihre Anwendung. (2) Strukturiert, d. h. die Fälle sind in Netzwerken oder Hierarchien organisiert. Diese Struktur findet bei einer großen Anzahl von gespeicherten Fällen Anwendung, um die Suche auf eine definierte Fallauswahl zu beschränken und Suchzeiten zu minimieren. (3) Unstrukturiert; dies trifft v. a. auf Fälle zu, welche in Form von Texten und Bildern gespeichert sind. (vgl. Richter und Weber 2013)

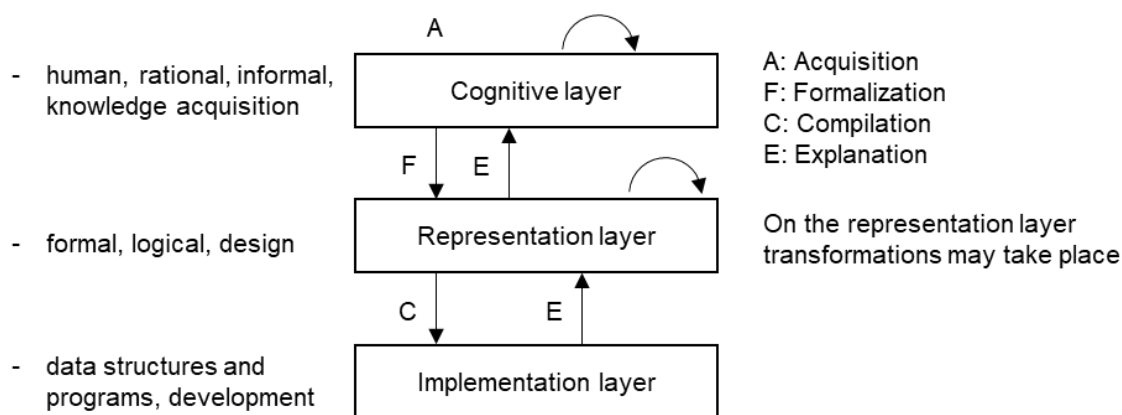
Neben dem gespeicherten Wissen in Form von Fällen bildet allgemeines Domain-Wissen häufig einen Bestandteil von CBR-Systemen. Dies können u. a. zusätzliche Informationen oder Regelwerke sein (vgl. Aamodt und Plaza 1994). Die Fallbasis in Kombination mit dem zusätzlichen allgemeinen Domain-Wissen bildet die gesamte Wissensbasis eines CBR-Systems. Das Konzept hinsichtlich des Aufbaus der Wissensbasis sowie die Definition der Art und Weise, wie das Wissen aufgenommen und abgebildet wird, erfolgt durch „Wissensingenieure“ (engl. knowledge engineers). Die laufende Ergänzung der Fallbasis mit neuen Fällen erfolgt hingegen durch die „Domain Experten“ nach den vorgegebenen Konzepten des Knowledge Engineers. (vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014)

### 2.5.6 Darstellung von Wissen

Das Handhaben von Fällen sowie die darin enthaltenen Problembeschreibungen und Lösungen erfordern eine formelle Beschreibung dieses Wissens (vgl. Richter und Weber 2013). Grundsätzlich wird Wissen auf drei Ebenen beschrieben (vgl. Abbildung 30):

- (1) Kognitive Ebene, d. h. informelles Wissen in den Köpfen von Menschen.
- (2) Darstellungsebene, d. h. formalisiertes bzw. beschriebenes Wissen, welches für alle zugänglich ist.
- (3) Implementierungsebene, d. h. kodiertes Wissen, das in Form von Datenstrukturen dargestellt und somit mittels Software und Computern maschinell verarbeitbar ist.

Für die Gestaltung eines CBR-Systems ist zunächst die Beschreibung der Darstellungsebene (engl. representation layer) von Relevanz. Diese formale Darstellung auf der Ebene (2) kann mittels Pseudocodes erfolgen. (vgl. Richter und Weber 2013)



**Abbildung 30: Representation Layers in Anlehnung an (Richter und Weber 2013)**

Hierfür wird der Fall zunächst in einer Sprache bzw. Ausdrucksform (Vokabular) beschrieben. Die Wahl der Sprache kann willkürliche gewählt werden. (vgl. Richter und Weber 2013) Da Fälle operatives Wissen repräsentieren, ist bei der Wahl des Darstellungsfomalismus der Problembeschreibung der Einsatzbereich des CBR-Systems zu berücksichtigen. (vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014; Kolodner 1993) Vor allem wenn eine interaktive Einbindung eines Benutzers in den CBR-Cycle vorgesehen ist, sollte sich die Falldarstellung an dessen Verständnis orientieren. (vgl. Beierle und Kern-Isberner 2014) Für die Definition des passenden Vokabulars werden zwei grundlegende Ansätze verfolgt (vgl. Kolodner 1993):

**Funktionaler Ansatz** (Functional approach): Eine Anzahl vorhandener Fälle sowie Aufgaben, die gelöst werden sollen, werden untersucht. Es wird geprüft, welcher Fall, welche Aufgabe löst. Anschließend wird geprüft, wie die Fälle beschrieben werden müssen, damit die vorhandenen Fälle und die vorhandenen Aufgaben einander zugeordnet werden können.

**Erinnerungsansatz** (Reminding approach): Es werden Erinnerungen und Gedankengänge von Experten beschrieben, um herauszufinden, welche Ähnlichkeiten zwischen einzelnen Fällen genutzt werden, um vergangene Lösungen anzuwenden. Hiermit werden relevante Deskriptoren abgeleitet.

Es existiert eine Vielzahl an Möglichkeiten auf der Darstellungsebene (representation layer) Wissen formal zu beschreiben. Von Relevanz für die vorliegende Arbeit sind sogenannte Attribut-Wert Paare. Hierbei werden sowohl für das Problem als auch die Lösung entsprechende Eigenschaften, die als Attribute bezeichnet werden, definiert. Jedes Attribut kann unterschiedliche Ausprägungen (Werte) annehmen. Die Menge an Attributen für die Beschreibung eines Falls kann fix oder variabel sein. (vgl. Richter und Weber 2013)

Attribut-Wert Paare werden auch als Deskriptoren bezeichnet. Ein Objekt wird somit durch den Vektor von Attributwerten beschrieben. Attribut-basierte Darstellungsformen kommen einer datentechnischen Wissensdarstellung für die Verarbeitung in Computern am nächsten. Fast alle Darstellungsformen werden in letzter Instanz in eine Attribut-basierte Darstellungsform übersetzt, um die Verarbeitung durch CBR-Systeme sicherzustellen. (vgl. Richter und Weber 2013)

## 2.6 Eingrenzung des Untersuchungsraums

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Reduktion der Ersatzteilidentifikationszeiten im Rahmen des Auftragsabwicklungsprozesses in Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus sowie zur Entlastung von Kernkompetenzträgern leisten. Die Gültigkeit des zu entwickelnden Ansatzes setzt jedoch bestimmte Rahmenbedingungen voraus, weshalb an dieser Stelle eine Eingrenzung des Untersuchungsraums nach mehreren Aspekten vorgenommen wird.

| Eingrenzung des Untersuchungsraums   Kategorien |                                 |
|---|---------------------------------|
| Branche   | Betrachtungsperspektive         |
| Service-Kit Bestandteile                        | Art der Instandhaltungsmaßnahme |
| Prozess   | Wissensmanagement Ansatz        |

**Abbildung 31: Kategorien des Untersuchungsraums (eigene Darstellung)**

Nachfolgend werden die angeführten Kategorien und ihre spezifischen Teilbereiche, für welche das Vorgehensmodell eine entsprechende Gültigkeit aufweisen soll, erläutert.

**Eingrenzung nach Branche:** Die vorliegende Arbeit ist im Kontext eines Projekts in Kooperation mit einem Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus im Bereich der Gasmotorenherstellung entstanden. Vor diesem Hintergrund wird die Anwendbarkeit des zu entwickelnden Vorgehensmodells auf diese Branche eingegrenzt. Eine Übertragbarkeit auf andere Branchen ist ggf. in einer gesonderten Arbeit zu überprüfen.

**Eingrenzung nach Betrachtungsperspektive:** Der Ersatzteilbedarf für Maschinen und Anlagen kann einerseits durch deren Anwender, welche Ersatzteile beim Anlagenhersteller bestellen, disponiert werden. Dies wird im Folgenden als „Kundenperspektive“ bezeichnet. Andererseits besteht die Option der Ersatzteilbedarfsdefinition durch den Maschinen-/Anlagenhersteller selbst. Dies wird nachstehend als „Herstellerperspektive“ bezeichnet. Letztere bildet den Fokus der vorliegenden Arbeit.

**Eingrenzung nach Service-Kit Bestandteile:** Service-Kits werden in den nachfolgenden Analysen wissenschaftlicher Arbeiten sowohl als anwendungs-/anlagenneutraler Teileverbund mit Gültigkeit für mehrere Produkte und Tätigkeiten sowie als anwendungs-/anlagenspezifischer Teileverbund mit ausschließlicher Anwendbarkeit für ein individuelles Produkt und/oder Tätigkeit betrachtet. Für die vorliegende Arbeit sind letztere von Relevanz.

**Eingrenzung nach Art der Instandhaltungsmaßnahme:** Instandhaltungsleistungen können gemäß den Ausführungen in Punkt 2.2.4 in verschiedene Instandhaltungsmaßnahmen gegliedert werden. Im Fokus der vorliegenden Arbeit liegen ausschließlich „Wartungsarbeiten“ gemäß DIN 31051. Diese Arbeit konzentriert sich auf anlagenspezifische Wartungsmaßnahmen (vgl. hierzu auch Punkt 2.3.4).

**Eingrenzung nach Prozess:** Das Anwendungsgebiet des zu entwickelnden Vorgehensmodells beschränkt sich auf die Aufgabe der Ersatzteilidentifikation auf Herstellerseite (vgl. Punkt 2.3.5 Teilprozess „Ersatzteilidentifikation“). Diese Aufgabe ist Bestandteil der technischen Klärung, welche in den Teilprozess „Auftragsauslösung“ innerhalb des Auftragsabwicklungsprozesses von Service-Aufträgen eingegliedert ist (vgl. Punkt 2.3.1).

**Eingrenzung nach Wissensmanagement-Ansatz:** Im Bereich des Wissensmanagements und der KI existieren mehrere Ansätze. Der Ansatz des CBR ermöglicht die Nutzung von Expertenwissen durch dessen strukturierte Darstellung, Speicherung und intelligente Abfrage. Dieser Ansatz soll für das zu entwickelnde Vorgehensmodell herangezogen und auf ein neues Anwendungsgebiet übertragen werden.



## 2.7 Zusammenfassung des Kapitels

In Punkt 2.1 wurden die Trends des After-Sales Service im Maschinen- und Anlagenbau sowie dessen zunehmende Relevanz erläutert. Anschließend wurden unter Punkt 2.2 dessen Aufgaben und Leistungsumfänge sowie grundlegende Definitionen dargestellt. Ergänzend wurden für das Gesamtverständnis unter Punkt 2.3 Prozessabläufe, im Speziellen der Ersatzteilidentifikationsprozess sowie damit verbundene Systeme und Dokumente angeführt. Unter Punkt 2.4 wurde Wissensmanagement im Allgemeinen sowie Techniken aus dem Bereich der KI zur Repräsentation von Wissen vorgestellt. Im Anschluss wurde unter Punkt 2.5 die Technik „Case-based Reasoning“ vertiefend vorgestellt. Diese Technik ermöglicht die Nutzung von Wissen aus vergangenen Erfahrungen. Hierdurch wird Expertenwissen formalisiert, Nicht-Experten zugänglich gemacht und eine schnelle Bearbeitung vorliegender Problemfälle ermöglicht.

Basierend auf diesem Bezugsrahmen wurde unter Punkt 2.4 eine Abgrenzung des Untersuchungsraums hinsichtlich der Kategorien „Branche“, „Betrachtungsperspektive“, „Service-Kit Bestandteile“, „Art der Instandhaltungsmaßnahme“, „Prozess“ und „Wissensmanagement-Ansatz“ vorgenommen. Die resultierenden Einzelausprägungen können der nachstehenden Abbildung 32 entnommen werden. Der definierte Untersuchungsraum wird als Basis für eine zielgerichtete Literaturanalyse in Kapitel 3 herangezogen und fließt in die Formulierung der Vorgehensmodellanforderungen in Kapitel 4 ein.

| Eingrenzung des Untersuchungsraums   Ausprägungen                           |  |
|---|--|
| Branche<br>»Maschinen- und Anlagenbau im Bereich der Gasmotorenherstellung« | Betrachtungsperspektive<br>»Herstellerperspektive« |
| Service-Kit Bestandteile<br>»Anwendungs-/anlagenspezifisch«                 | Art der Instandhaltungsmaßnahme<br>»Wartung«       |
| Prozess<br>»Ersatzteilidentifikation«                                       | Wissensmanagement-Ansatz<br>»Case-based Reasoning« |

Abbildung 32: Ausprägungen des Untersuchungsraums (eigene Darstellung)



### 3 Stand der Forschung

In diesem Kapitel wird der aktuelle Forschungsstand hinsichtlich wissenschaftlicher Ansätze für die Entwicklung von Service-Kits sowie deren Charakteristiken und Unterschiede dargelegt. Anschließend werden existierende Verwendungsansätze von Case-based Reasoning im wissenschaftlichen Kontext des After-Sales Service erläutert. Das Kapitel schließt mit einer Bewertung der erläuterten Ansätze hinsichtlich des definierten Untersuchungsraums.

#### 3.1 Vorgehensweise der Literaturrecherche

Das zu entwickelnde Vorgehensmodell integriert die Bereiche Service-Kit Bildung und Case-based Reasoning. Hierauf basierend werden nachfolgend vorhandene Ansätze beider Bereiche identifiziert, verglichen und hinsichtlich deren Eignung für den zuvor definierten Untersuchungsraum bewertet.

Die Basis der Literaturrecherche bilden die wissenschaftlichen Datenbanken (a) Science Direct, (b) IEEE Xplore, (c) Springer Link, (d) Google Scholar, (e) Die Österreichische Bibliothekenverbund und Service Gesellschaft m. b. H. (Online-Datenbank „Hochschulschriften“) sowie die (f) Deutsche Nationalbibliothek (Online-Datenbank „Diss-Online“). Die Datenbanken wurden hinsichtlich verfügbarer englisch- und deutschsprachiger Literatur geprüft. Die Relevanz der Suchergebnisse wurde zunächst anhand der Titelbezeichnungen bewertet. In einem Folgeschritt erfolgte die Relevanzbeurteilung und Eingrenzung anhand der Kurzbeschreibung der identifizierten Arbeiten. Bei der finalen Auswahl an Arbeiten wurden die Inhalte vollumfänglich im Hinblick auf den definierten Untersuchungsraum analysiert. Die aus diesem Schritt resultierenden relevanten Arbeiten können der Tabelle 5 und Tabelle 7 entnommen werden. Diese wurden anhand der definierten Kategorien des Untersuchungsraums miteinander verglichen und hinsichtlich deren Eignung für die Zielsetzung dieser Arbeit bewertet.

#### 3.2 Ansätze zur Konfiguration von Service-Kits

##### 3.2.1 Ansätze des „Repair Kit Problem“

Unter dem Begriff „Repair-Kit“ verstehen die nachfolgenden Ansätze den Ersatzteilbestand im Service-Fahrzeug eines Technikers für die Reparatur von elektrotechnischen Kleingeräten (z. B. Drucker, Kopiergeräte oder Kaffeemaschinen). Das Vorhalten dieses Repair-Kits führt zu einem Trade-Off. Einerseits entstehen Lagerhaltungskosten

(engl. holding costs) aufgrund von z. B. Kapitalbindung und Kraftstoffverbrauch. Andererseits können bei Nicht-Verfügbarkeit von Ersatzteilen die Service-Arbeiten nicht abgeschlossen werden. Dies bedingt Zusatzkosten aufgrund von Neuanfahrten der Service-Techniker oder Strafkosten (engl. penalty costs), welche als „Return-to-fit costs“ (RTF-costs) bezeichnet werden. Die Ansätze des Repair-Kit Problems (RKP) beschäftigen sich mit der Optimierung von „holding costs“ und „Return-to-fit costs“ und versuchen die optimale Zusammensetzung eines Repair-Kits abzuleiten. Die RKP-Ansätze werden in Kostenmodelle und Service-Modelle unterschieden. Kostenmodelle fokussieren auf die Minimierung der Gesamtkosten, bestehend aus „holding costs“ und „Return-to-fit costs“. Service-Modelle hingegen zielen auf die Minimierung der „holding costs“ bei gleichzeitiger Sicherstellung eines definierten „Service-Levels“ ab. Eine Literaturübersicht ist der Tabelle 5 zu entnehmen. Die darin enthaltenen relevantesten RKP-Ansätze (Ansätze 4-13) werden nachfolgend erläutert. Die Ansätze 1-3 sind der Vollständigkeit halber angeführt, werden jedoch nicht im Detail erläutert, da die erläuterten Ansätze auf diesen aufbauen und die wesentlichen Inhalte inkludieren.

**Tabelle 5: Literaturübersicht Service Kit-Ansätze (eigene Darstellung)**

| Nr.                       | Jahr | Autor                 | Titel   | Branche                       | Anwendungsgebiet  |
|---------------------------|------|-----------------------|---|-------------------------------|---|
| <b>Repair Kit Problem</b> |      |                       |   |                               |   |
| 1                         | 1980 | Smith et al.          | Optimal inventories based on job completion rate for repairs requiring multiple items | Kein spezieller Branchenfokus | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen (z. B. in Service-Wagen) für die Instandsetzung |
| 2                         | 1982 | Graves et al.         | A multiple-item inventory model with a job completion criterium                       | Kein spezieller Branchenfokus | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen für die Instandsetzung                          |
| 3                         | 1982 | Hausman               | On optimal repair kits under a job completion criterion                               | Kein spezieller Branchenfokus | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen für die Instandsetzung                          |
| 4                         | 1982 | Mamer und Smith       | Optimizing Field Repair Kits Based on Job Completion Rate                             | Kein spezieller Branchenfokus | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen für die Instandsetzung                          |
| 5                         | 1984 | March und Scudder     | On Optimizing Field Repair Kits Based on Job Completion Rate                          | Kein spezieller Branchenfokus | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen für die Instandsetzung                          |
| 6                         | 1993 | Brunelle und Granot   | The Repair Kit Problem Revisited  | Kein spezieller Branchenfokus | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen und Werkzeugen für die Instandsetzung           |
| 7                         | 1994 | Heeremans und Gelders | Multiple period repair kit problem with a job completion criterion: case study        | Haushalts-elektrogeräte       | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen für die Instandsetzung                          |
| 8                         | 2006 | Teunter               | The Multiple-Job Repair Kit Problem   | Büroelektronik (Kopiergeräte) | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen für die Instandsetzung                          |
| 9                         | 2010 | Bijvank et al.        | Optimising a General Repair Kit Problem with a Service Constraint                     | Büroelektronik (Kopiergeräte) | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen für die Instandsetzung                          |

|                                |      |                     |  |                                |  |
|--------------------------------|------|---------------------|--|--------------------------------|--|
| 10                             | 2017 | Saccani et al.      | Improving spare parts management for field services: a model and a case study for the repair kit problem | Büroelektronik (Elektrogeräte) | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen für die Instandsetzung |
| 11                             | 2017 | Prak et al.         | The Repair Kit Problem with positive replenishment lead times and fixed ordering costs                   | Büroelektronik (Drucker)       | Optimierung von mobilen Feldtechniker-Beständen für die Instandsetzung |
| <b>Weitere Kitting-Ansätze</b> |      |                     |  |                                |  |
| 12                             | 2013 | Güllü und Köksalan  | A model for performance evaluation and stock optimization in a kit management problem.                   | Medizin                        | Definition von Implantate-Kits für Operationen                         |
| 13                             | 2015 | Moharana und Sarmah | Determination of optimal kit for spare parts using association rule mining                               | Anlagen im Tagelbau            | Definition von vorzuhaltenden Ersatzteilkits                           |

**Ansatz Nr. 4:** Eine der früheren Veröffentlichungen des Repair-Kit Problems stammt von MAMER und SMITH. Diesem Ansatz liegen folgende Annahmen zugrunde. (1) Es wird von einem „Single-Period-Problem“ ausgegangen. Dies bedeutet, dass eine mengenmäßige Nachbestückung des Service-Wagens zwischen den einzelnen Service-Stops durchgeführt werden kann. Die vorgehaltenen Teilenummern eines Kits bleiben jedoch unverändert. (2) Zusätzlich wird ein „Multi-Item-Problem“ gelöst. D. h. von einem einzelnen Bauteil können mehrere Stück in einem Service-Wagen vorgehalten werden. (3) Die Optimierung erfolgt hinsichtlich der „Job-fill-rate“. Diese bezeichnet den Anteil an Service-Aufträgen (Jobs), welche mit den im Service-Wagen vorhandenen Teilen (Repair-Kit) erfüllt werden können. (4) Die „Return-to-fit costs“ bzw. „Penalty costs“ werden für jeden Auftrag als konstanter Wert angesetzt. (5) Eine Fehlfunktion einzelner Teilenummern ist stochastisch unabhängig von Fehlfunktionen anderer Teilenummern und (6) je Service-Auftrag wird maximal ein Stück von einer Teilenummer benötigt. (vgl. Mamer und Smith 1982)

Die Autoren bestimmen ein Repair-Kit  $M$ , welches die geringsten Gesamtkosten  $C(M)$  aufweist. Die Anzahl unterschiedlicher Typen von Service-Arbeiten (Job-Types) wird als  $J_m$  bezeichnet. Die einzelnen Teile(nummern) (Part Types)  $i$  werden als Zahl ( $i=1,2,\dots,n$ ) bezeichnet. Die Größe  $B_k$  bezeichnet die konkret benötigten Teile(nummern) für eine definierte Service-Arbeit  $J_k$ . Des Weiteren bezeichnet  $H_i$  die jährlichen Lagerkosten für eine Teile(nummer). Diese Summe der jährlichen Gesamtlagerkosten für ein Kit  $M$  kann folglich bezeichnet werden als:

$$\sum_{i \in M} H_i$$

Mit einem Repair-Kit  $M$  lassen sich zudem alle Service-Arbeiten durchführen, deren nötige Teilesammlung in dem (Gesamt)Repair-Kit  $M$  enthalten ist.

$$B_k \subseteq M$$

Alle anderen Service-Arbeiten, deren Teilesammlung nicht Bestandteil des Repair-Kits  $M$  ist, verursachen „Return-to-fit costs“ bzw. „Penalty costs“  $V_k$ . Um die RTF-costs bestimmen zu können, muss die erwartete jährliche Anzahl für die unterschiedlichen Service-Arbeitstypen bestimmt werden. Die erwartete Anzahl Service-Aufträge je Service-Arbeit-Typ  $j$  wird dabei mit der Zufallsvariablen  $N_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) definiert. Abgeleitet hiervon können die jährlichen RTF-costs für ein Repair-Kit  $M$  wie folgt beschrieben werden:

$$\sum_{\{j \mid B_j \not\subseteq M\}} E[N_j] V_j = \sum_{\{j \mid B_j \not\subseteq M\}} V_j \lambda_j$$

Die Hilfsvariable  $\lambda_j$  entspricht der erwarteten Anzahl Service-Aufträge des Service-Arbeit-Typs  $j$ , welche innerhalb von einem Jahr von einem Repair-Kit erfüllt werden können. Basierend hierauf werden die jährlichen Gesamtkosten eines Repair-Kits wie folgt beschrieben:

$$C(M) = \sum_{i \in M} H_i + \sum_{\{j \mid B_j \not\subseteq M\}} L_j, \text{ wobei } L_j = V_j \lambda_j$$

Gesucht wird nun ein Kit  $M$ , welches diese Gesamtkosten  $C(M)$  minimiert. Hieraus ergibt sich ein „Selection-Problem“. Dieses wird von MAMER et al. als „Netzwerk-Problem nach BALINSKI“ angesehen und entsprechend dargestellt. Der resultierende Graph stellt die Beziehungen zwischen Teile(nummern) und Service-Arbeit-Typen dar. Mit der Anwendung eines „maximal flow/ minimal cut Netzwerkalgorithmus“ wird anschließend die optimale Lagerhaltungsstrategie, sprich die Zusammensetzung des bestmöglichen Repair-Kits, bestimmt. MAMER und SMITH illustrieren anhand eines Beispiels den Einfluss der penalty costs auf den Umfang des empfohlenen Repair-Kits. Je niedriger die penalty costs angesetzt werden, desto kleiner ist der Teileumfang des Repair-Kits. Je höher die penalty costs angesetzt werden, desto mehr Teilenummern beinhaltet das Repair-Kit. Durch eine Variation der penalty costs stellen sie zudem die Sensitivität ihres Ansatzes dar. (vgl. Mamer und Smith 1982)

**Ansatz Nr. 5:** MARCH und SCUDDER greifen den von MAMER und SMITH entwickelten Ansatz auf und entwickeln diesen weiter. Ihre Grundannahmen entsprechen im Wesentlichen denen von MAMER und SMITH, d. h. die Annahmen (1), (2), (3), (5)

und (6) bleiben unberührt. Sie kritisieren jedoch die Grundannahme (4) von MAMER und SMITH, wonach die repair-to-fit costs bzw. penalty costs nicht als konstante Kenngröße angesetzt werden können. Sie entwickeln einen Ansatz, der eine Bandbreite für penalty costs angibt und Grenzpunkte aufweist, ab denen sich die Zusammensetzung des Repair-Kits ändert. Sie bringen hierfür einen Algorithmus von EISNER und SEVERANCE zur Anwendung, welcher ursprünglich für die effiziente Segmentierung von Datensätzen in geteilten Datenbanken entwickelt wurde. Das Ergebnis weist entsprechende Bandbreiten für penalty costs aus, innerhalb derer sich keine Änderung der berechneten Zusammensetzung des Repair-Kits ergibt. (vgl. March und Scudder 1984)

**Ansatz Nr. 6:** BRUNELLE und GRANOT bauen auf den zuvor erläuterten Ansätzen auf. Sie wenden jedoch den Ansatz des „Lattice Programming“ für die Bildung von Repair-Kits an. Das Ziel ist analog zu den bereits genannten Ansätzen die Minimierung der jährlichen „holding costs“ sowie den „penalty costs“ für nicht vollständig durchführbare Reparaturen. (vgl. Brunelle und Granot 1993)

**Ansatz Nr. 7:** HEEREMANS und GELDERS bauen auf einem Ansatz von GRAVES (vgl. Graves 1982) auf und erweitern diesen. Sie berücksichtigen in ihrem Ansatz zusätzlich eine „job-completion rate“, sprich ein angestrebtes Service-Level, welches es zu erfüllen gilt. HEEREMANS und GELDERS lösen im Gegensatz zu den vorhergenannten ein „Multi-Period Problem“. D. h. der Service-Wagen kann erst nach mehreren Service-Stops aufgefüllt werden. Im konkreten Fall nach zwölf Stops. Neben der Fragestellung, welche Teilenummer in ein Repair-Kit aufgenommen wird, muss somit zusätzlich die Frage, welche Menge von einer Teilenummer aufgenommen wird, beantwortet werden. Für die Lösung des Repair-Kit Problems bringen sie eine Rucksackproblem-Heuristik zur Anwendung. Ihre Arbeit ist im Kontext einer Optimierungsaufgabe für die Wartung und Reparatur von elektronischen Geräten für die Industrie und Privathaushalte entstanden. (vgl. Heeremans und Gelders 1995)

**Ansatz Nr. 8:** TEUNTER kritisiert den Ansatz von HEEREMANS und GELDERS. Laut TEUNTER verlangt deren Formulierung eine minimal erforderliche Wahrscheinlichkeit, dass keiner der Jobs zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wiederauffüllungen unterbrochen wird (tour-fill-rate). Ihre Lösung basiert somit auf der „tour-fill-rate“ anstelle einer minimal erforderlichen „job-fill-rate“. TEUNTER korrigiert den Ansatz von HEEREMANS und GELDERS, indem er zwei Rucksackproblem-Heuristiken zur Anwendung bringt. Die Job Heuristik (JH) beginnt mit einem leeren Repair-Kit und fügt nach und nach die Teilenummer hinzu, welche das geringste Verhältnis zwischen Lagerhaltungskosten und Zunahme der „job-fill rate“ aufweisen. Auf diese Weise wird eine Serie



von mehreren Repair-Kits erzeugt. Das beste dieser Serie wird schlussendlich ausgewählt. Schwierig ist die Verwendung dieser Heuristik dann, wenn mehrere Teile der gleichen Teilenummer für einen Job benötigt werden oder die Fehlfunktionen von Teilen Abhängigkeiten zu anderen aufweist. Basierend hierauf schlägt TEUNTER die Verwendung einer zweiten „Part Heuristic (PH)“ vor. Diese fügt einem Repair-Kit stets die Teilenummer hinzu, welche das geringste Verhältnis zwischen dem Zuwachs der Lagerhaltungskosten sowie dem Zuwachs der „part-fill rate“ aufweist. Die part-fill rate bezeichnet den Anteil der Teilenummern, welche nicht fehlen. Basierend auf der part-fill rate erfolgt eine Abschätzung der job-fill rate. Diese Abschätzung wird wiederum für die Auswahl der bestmöglichen Lösung genutzt. Da diese Heuristik in der Praxis zwar etwas ungenauer, aber einfacher anwendbar ist, empfiehlt TEUNTER diese für die praktische Anwendung. (vgl. Teunter 2006)

**Ansatz Nr. 9:** BIJVANK et al. kritisieren den Ansatz nach TEUNTER und erweitern diesen. Ihr Ansatz löst sowohl das Kostenmodell als auch das Service-Modell. Für die Berechnung der „job fill rate“ und somit des Service-Modells wird eine Lösung in geschlossener Form beschrieben. Ebenso wie TEUNTER betrachten BIJVANK et al. ein Multi-Period-Problem, legen jedoch keine maximale Anzahl an Perioden zwischen zwei Nachbestückungen fest. Des Weiteren fokussiert ihr Ansatz ebenfalls ein Multi-Item-Problem. Im Gegensatz zu TEUNTER lassen Sie aber je Reparaturvorgang die Mehrfachverwendung eines bestimmten Teils zu. BIJVANK et al. erweitern das Repair-Kit-Problem zudem um eine „All-or-nothing“ Komponente. Bisherigen Ansätzen liegt die Annahme zugrunde, dass im Fall einer nicht beendeten Reparatur aufgrund von nur einem fehlenden Teil, die restlichen benötigten Teile dennoch verbaut werden oder am Verbauplatz beim Kunden verbleiben, bis in einer Folgeperiode das fehlende Teil nachgeliefert und die Reparatur komplettiert wird. Diese Annahme ist nach BIJVANK et al. unrealistisch. Sie setzen für Ihre Lösung voraus, dass dem Service-Wagen kein Teil entnommen wird, sobald nur ein benötigtes Teil für eine geplante Reparatur nicht verfügbar ist. Somit wird die Teileverfügbarkeit für andere Reparaturen bis zur nächsten Nachbestückung erhöht. Der entwickelte dreistufige Algorithmus wird anhand einer Case-Study für das Unternehmen „Ricoh Europe“, welches Multifunktionsbürogeräte (Kopierer, Drucker, Fax etc.) vertreibt und serviziert, getestet. Eine entsprechende Verbesserung des Service-Levels bei gleichzeitiger Reduktion der Holding costs wird nachgewiesen. (vgl. Bijvank et al. 2010)

**Ansatz Nr. 10:** SACCANI et al. stellen fest, dass die Zusammenstellung von Repair Kits trotz diverser existierender RKP-Ansätze in der betrieblichen Praxis häufig auf Erfahrungswissen und Management-Vorgaben basieren. Die Zusammensetzung von Repair Kits differiert sowohl zwischen einzelnen Regionen als auch einzelnen Service-

Technikern desselben Unternehmens. Sie führen dies auf zwei fehlende Aspekte bisheriger RKP-Ansätze zurück. Erstens, die fehlende Begrenzung auf eine Maximalanzahl an Ersatzteilen (z. B. aus Platz- oder Budgetgründen) sowie zweitens die unterschiedliche Frequenz (z. B. täglich, wöchentlich etc.), mit der Repair Kits nachbestückt werden und welche sich u. a. auf das Service-Level auswirkt. Basierend hierauf präsentieren SACCANI et al. einen Ansatz der sowohl einen Maximalwert des Repair Kits (financial constraint) als auch eine Nachbestückungsfrequenz (replenishment frequency) berücksichtigt. Mittels der Nachbestückungsfrequenz werden zusätzlich zu den „holding costs“ und „penalty costs“ bisheriger Ansätze die „replenishment costs“ für das Auffüllen des Repair Kits (d. h. die Lieferung der Ersatzteile an den Service-Techniker) berücksichtigt. Eine Flächenrestriktion wurde im Hinblick auf die mangelnde Datenverfügbarkeit von Produktabmessungen in der betrieblichen Praxis nicht inkludiert. Hierdurch soll eine Praxisanwendung des entwickelten Ansatzes abgesichert werden. Ihr Ansatz repräsentiert ein Kosten-Modell, welches eine „Multi-Period“ und eine „Multi-Item“ Perspektive aufweist. Die entwickelte Lösung enthält eine sequentielle Anwendung einer Optimierung und einer Simulation (linear integer programming model). Basierend auf historischen Teilebedarfen und Stückkosten sowie Vorgaben hinsichtlich dem max. Repair Kit Wert und der Nachbestückungsfrequenz wird eine optimale Repair Kit Zusammensetzung ermittelt. Anschließend werden erwartete Gesamtkosten und „job fill rate“ bei variierendem zukünftigen Teilebedarf simuliert und ermittelt. Das dargestellte Modell wird im Rahmen einer Case study bei einem internationalen Unternehmen für Bürogeräte verifiziert. (vgl. Saccani et al. 2017)

**Ansatz Nr. 11:** PRAK und SACCANI kritisieren, dass bisherige Ansätze die Lieferzeit für die Nachbestückung der Bestände im Lieferwagen nicht berücksichtigen bzw. diese mit „null“ angenommen wird und somit die praktische Anwendbarkeit dieser Ansätze eingeschränkt ist. Selten benötigte Teile werden lt. PRAK und SACCANI in der Praxis häufig in einem Zentrallager bevorratet, sodass nicht davon ausgegangen werden kann, dass diese bis zur nächsten Tour nachgeliefert und wieder verfügbar sind. Das von PRAK und SACCANI entwickelte Service-Modell wird daher um eine Lieferzeiten-Komponente (replenishment lead times) sowie definierte Bestellkosten je Ersatzteil (fixed ordering costs per item) erweitert. Das Modell berücksichtigt außerdem folgende Aspekte: multi-item, multi-job (d. h. eine stochastische Anzahl Jobs je Tour) sowie eine „job fill rate“ als Service-Kennzahl. Dem Modell liegt zudem die Annahme zugrunde, dass keine Abhängigkeiten hinsichtlich des Bedarfs zwischen den einzelnen Teilen bestehen. Für die Bestimmung der job fill rate wird eine exakte Methode angeführt. Des Weiteren wird ein heuristischer Ansatz für die Optimierung des Bestellbestands und des Sollbestands für jedes Teil eines Kits entwickelt. (vgl. Prak et al. 2017)



### 3.2.2 Weitere Kitting-Ansätze

**Ansatz Nr. 12:** Das Anwendungsgebiet des Kit-Ansatzes von GÜLLÜ und KÖKSALAN ist die Krankenhauslogistik. GÜLLÜ und KÖKSALAN verstehen unter einem Kit eine Ansammlung von unterschiedlichen medizinischen Implantaten (tlw. gleiches Implantat in verschiedenen Größen) und medizinischen Werkzeugen. Dieses vorbereitete Kit wird in einem zentralen Lagerbereich vorgehalten, um im Notfall geringste Bereitstellungszeiten sicherzustellen. Ein Kit kann aus unterschiedlich vielen Teilen bestehen. Kommt es zur Verwendung des Kits, sind alle anderen nicht benötigten Kit-Bestandteile für die Dauer des Einsatzes (d. h. eine Operation) blockiert. Welches Teil benötigt wird, ist im Voraus nicht bekannt und resultiert aus dem Operationsverlauf. Die Bestandteile der Kits sind vordefiniert und orientieren sich am Einsatzzweck. Eine optimierte Gestaltung der Kit-Bestandteile ist nicht Teil des Ansatzes. Da die einzelnen Bestandteile sehr hochpreisig sind und tlw. wiederverwendet werden (Werkzeuge und nicht benötigte Implantate), werden im zentralen Lagerbereich lediglich Bestände auf minimalem Niveau vorgehalten. Bei zeitlich überschneidendem Teilebedarf werden die benötigten Bestandteile von externen Quellen geliehen sofern kein passendes Kit vorhanden ist, was sich ebenfalls sehr kostenintensiv darstellt. Nach Wiederverfügbarkeit der nicht benötigten Kit-Bestandteile werden die geliehenen Utensilien an die externe Quelle zurückgegeben. GÜLLÜ und KÖKSALAN setzen voraus, dass die Einzelteile im zentralen Lagerbereich nach der „Base-Stock Policy“ bewirtschaftet werden, d. h. jeder Verbrauch erzeugt eine unmittelbare Nachbestellung. GÜLLÜ und KÖKSALAN entwickeln eine Heuristik zur Ermittlung der optimalen Bestandshöhen der Einzelteile im zentralen Lagerbereich in Abhängigkeit einer vorgegebenen Kit-Verfügbarkeit und einer erwarteten Nutzungsdauer des Kits. Hierfür verwenden sie einen Greedy-Algorithmus. (vgl. Güllü und Köksalan 2013)

**Ansatz Nr. 13:** MOHARANA und SARMAH verstehen unter dem Begriff „associated spare parts“ eine Gruppe von Ersatzteilen, die während präventiven und korrekativen Wartungsaktivitäten gemeinsam verbraucht werden. Das Kit wird jedoch nicht als Bestand eines Service-Technikerwagens betrachtet, sondern als vorgehaltener kundenseitiger Lagerbestand am Standort einer Anlage. Sie verwenden eine Assoziationsanalyse (engl. association rule mining), um, basierend auf historischen Wartungsdaten, Abhängigkeiten zwischen einzelnen Teilen zu identifizieren. Das Ziel besteht darin, mehrere Teile mit starken Korrelationen zu bestimmen und diese gemeinsam als Kit für zukünftige Instandhaltungsmaßnahmen zu bevorraten. Identifizierte Abhängigkeiten werden in ihrem Ansatz nochmals durch die Meinung von erfahrenen Entscheidungsträgern abgesichert. Der entwickelte Ansatz berücksichtigt die Abhängigkeiten zwischen Teilenummern, nicht jedoch wie viele Teile je Teilenummer benötigt wurden.

Zudem liegt dem Ansatz die Annahme zugrunde, dass eine Teilenummer lediglich einmal je Kit vorkommen kann. Der Ansatz geht zudem davon aus, dass eine Reparatur nicht vollständig gestoppt wird, wenn eine Teilenummer nicht verfügbar ist. D. h. die verfügbaren restlichen Teile werden dennoch verbaut. Die Empfehlung für die zu lagernden Teile orientiert sich an den erwarteten Gesamtkosten. Diese setzen sich aus den „Holding cost“, „penalty costs“ und „additional penalty costs“, welche sich aus Teileabhängigkeiten ergeben, zusammen. Die Effizienz des Ansatzes wird anhand einer Case-Study für Anlagen zur Gesteins-/ Bodengewinnung in einem Tagebau dargestellt. Diese umfasst als Ausgangszahl insgesamt zehn ausgewählte Ersatzteile, für welche unterschiedliche Kit-Empfehlungen abgeleitet werden. (vgl. Moharana und Sarmah 2015)

### 3.2.3 Bewertung der Service-Kit Ansätze

Nachstehend erfolgt eine Bewertung hinsichtlich der Übereinstimmung der vorgestellten Service-Kit-Ansätze mit den Kategorien des Eingangs definierten Untersuchungsraums (vgl. Punkt 2.4).

Die erläuterten RKP-Ansätze wurden in einer Kategorie zusammengefasst. Ermöglicht wird dies aufgrund der Ähnlichkeit der einzelnen Ansätze hinsichtlich der Bewertungskriterien. Ebenso wurden die darüber hinaus vorgestellten Arbeiten in der Kategorie „Kitting Ansätze“ geclustert. Beide Arbeiten werden jedoch einzeln angeführt, da diese in Einzelausprägungen divergieren. Eine Übersicht der Bewertung kann Tabelle 6 entnommen werden. Eine detaillierte Erläuterung der Bewertungen wird in den nachstehenden Ausführungen vorgenommen.

**Übereinstimmung nach Branche:** Im Fokus der Methodenentwicklung der RKP-Ansätze stehen, sofern in der Literatur ersichtlich, ausschließlich Branchen, die nicht dem Maschinen- und Anlagenbau zuzurechnen sind. Eine Übereinstimmung mit dem initial definierten Untersuchungsraum ist somit nicht gegeben. Sofern im Rahmen der Case-studies Unternehmen angemerkt werden, sind die angeführten Branchen der Elektroindustrie (gemäß NACE Rev. 2) mit Fokus auf Büroequipment zuzuordnen. Im Allgemeinen kann aufgrund der Planungssystematik im Maschinen- und Anlagenbau davon ausgegangen werden, dass keiner der RKP-Ansätze mit dem Ziel der Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau entwickelt wurde. Wesentliche Merkmale der Service-Planung im Maschinen- und Anlagenbau, speziell bei Gasmotorenherstellern, sind:

- Ersatzteile und Service-Techniker werden getrennt disponiert, da das Volumen und Gewicht der Ersatzteile kein Transport in einem Service-Wagen zulassen. Es werden LKWs mit größerem Ladevolumen benötigt.

- Die Dauer der Instandhaltungsmaßnahmen (tlw. mehrere Tage) und die Distanz zwischen den Aufstellungsorten der Anlagen (global verteilt) ermöglichen max. einen Einsatz pro Tag. Multiple-Job-Einsätze sind nicht die Regel.
- Die ausgeprägte Anlagenindividualität erfordert definierte Materialnummern. Limitierungen z. B. hinsichtlich Bestandswert oder max. Anzahl an Teilen sind in diesem Kontext nicht zweckmäßig. Die benötigten Ersatzteile werden anlagen-spezifisch und auftragsbezogen für eine Service-Tätigkeit vorbereitet und nicht, wie in den RKP-Ansätzen, kunden- und auftragsneutral als Bestand in einem Service-Wagen vorgehalten.

Der Kitting-Ansatz nach GÜLLÜ und KÖKSALAN wurde im Kontext der Krankenhauslogistik entwickelt. Der Branchenfokus ist somit anders gelagert und nicht mit dem eingangs festgelegten Untersuchungsraum kongruent. Der Kitting-Ansatz nach MOHARANA und SARMAH fokussiert auf die Branche des Maschinen- und Anlagenbaus. Im Speziellen auf Anlagen zur Gesteins-/ Bodengewinnung in einem Tagebau. Der Branchenfokus ist somit deckungsgleich mit dem initial definierten Untersuchungsraum.

**Übereinstimmung nach Betrachtungsperspektive:** Die obige Zuordnung der Betrachtungsperspektive zeigt, dass die untersuchten RKP-Ansätze eine Herstellerperspektive aufweisen. Alle Ansätze zielen auf die Optimierung des Bestands- und Service-Grads aus Sicht der Produzenten ab. Eine Deckungsgleichheit mit dem definierten Untersuchungsraum dieser Arbeit ist somit gegeben. Der Ansatz von GÜLLÜ und KÖKSALAN hingegen nimmt eine Kundenperspektive ein. Die medizinischen Kit-Bestandteile werden aus Sicht des Anwenders für bestimmte Operationen zusammengefasst und nicht vordefiniert durch den Hersteller bereitgestellt. Somit ist keine Deckungsgleichheit dieses Ansatzes mit dem initialen Untersuchungsraum vorhanden. Der Ansatz von MOHARANA und SARMAH zeigt ebenfalls eine Kundenperspektive. Voneinander abhängige Teile werden vom Anwender als Service-Kit vorgehalten. Eine Deckungsgleichheit mit dem initialen Untersuchungsraum ist daher nicht gegeben.

**Übereinstimmung nach Service-Kit Bestandteile:** Die RKP-Ansätze weisen keinen anlagenspezifischen Charakter auf. Die Bestände in den Service-Wägen werden für ein breites Produktspektrum disponiert. Eine Übereinstimmung mit dem definierten Untersuchungsraum ist daher nicht gegeben. Der Ansatz von GÜLLÜ und KÖKSALAN hingegen richtet die Service-Kit Bestandteile auf eine Operation aus. Eine nähere Spezifizierung, z. B. abhängig vom Patienten, erfolgt jedoch nicht. Somit liegt ein teilweise verwendungsspezifischer Ansatz vor. Der Ansatz nach MOHARANA und SARMAH

generiert die Service-Kits anlagenspezifisch basierenden auf analysierten Ersatzteilbeziehungen. Eine Deckungsgleichheit des letztgenannten Ansatzes mit dem definierten Untersuchungsraum dieser Arbeit ist somit gegeben.

**Tabelle 6: Abgleich Service-Kit Ansätze mit dem definierten Untersuchungsraum (eigene Darstellung)**

| Grad der Erfüllung       | Symbol                                 | Service-Kit Ansätze |                       |                        |
|--------------------------|--|---------------------|-----------------------|------------------------|
|                          |  | RKP-Ansätze         | Kitting-Ansätze       |                        |
| Erfüllt                  | ●                                      |                     | GÜLLÜ und<br>KÖKSALAN | MOHARANA<br>und SARMAH |
| Teilweise erfüllt        | ◐                                      |                     |                       |                        |
| Nicht erfüllt            | ○                                      |                     |                       |                        |
| Branche                  | Maschinen- und Anlagenbau              | ○                   | ○                     | ●                      |
|                          | Andere                                 | ●                   | ●                     | ○                      |
| Betrachtungsperspektive  | Herstellerperspektive                  | ●                   | ○                     | ○                      |
|                          | Kundenperspektive                      | ○                   | ●                     | ●                      |
| Service-Kit Bestandteile | Verwendungs-/ Anlagenspezifisch        | ○                   | ◐                     | ●                      |
|                          | Verwendungs-/ Anlagenneutral           | ●                   | ○                     | ○                      |
| Instandhaltungsmaßnahmen | Wartung                                | ●                   | ○                     | ●                      |
|                          | Inspektion                             | ○                   | ○                     | ○                      |
|                          | Instandsetzung                         | ●                   | ●                     | ●                      |
|                          | Verbesserung                           | ○                   | ○                     | ○                      |
| Prozess eingrenzung      | Teilprozess »Ersatzteilidentifikation« | ○                   | ○                     | ◐                      |
|                          | Andere Prozesse                        | ●                   | ●                     | ●                      |
| Wissensmanagement-Ansatz | Case-based Reasoning                   | ○                   | ○                     | ○                      |
|                          | Andere Ansätze                         | ●                   | ●                     | ●                      |

**Übereinstimmung nach Instandhaltungsmaßnahme:** Die vorgestellten RKP-Ansätze definieren den Inhalt eines „Repair-Kits“ (gleichbedeutend mit Service-Kit) als die Gesamtheit von Ersatzteilen (Art und Anzahl), welche als Lagerbestand in einem Service-Wagen vorgehalten werden. Dieser Lagerbestand beinhaltet Ersatzteile für unterschiedliche Instandhaltungsmaßnahmen. Sowohl für Wartungen als auch Instandsetzungen (gemäß DIN 31051:2012-09). Die berücksichtigten Instandhaltungsmaßnahmen gehen somit über den für diese Arbeit definierten Untersuchungsraum hinaus. Es ist jedoch festzuhalten, dass kein direkter Bezug zwischen den Bestandtei-

len eines Repair-Kits und einem Kundenauftrag sowie einer dezidierten Wartungsmaßnahme besteht. Das grundlegende Verständnis eines Service-Kits weicht daher von der Service-Kit Definition dieser Arbeit ab (vgl. Punkt 2.3.4).

In einem „Kit“ (gleichbedeutend mit Service-Kit) sind, nach dem Verständnis von GÜLLÜ und KÖKSALAN, gezielt nicht benötigte Bestandteile enthalten, da der finale Bedarf erst während der Operation entsteht. Zusammen mit der Sichtweise, dass eine Operation im weitesten Sinne ausschließlich als eine „Instandsetzung“ betrachtet werden kann, ist keine Deckungsgleichheit mit dem definierten Untersuchungsraum dieser Arbeit gegeben. MOHARANA und SARMAH definieren ein „Optimal Kit“ (gleichbedeutend mit Service-Kit) als eine Gruppe Ersatzteile, die gemeinsam für präventive und korrektive Wartungsmaßnahmen konsumiert werden, und welche als kundenseitiger Lagerbestand am Anlagenstandort vorgehalten werden. Die Instandhaltungsmaßnahme „Wartung“ gemäß DIN 31051:2012-09 wird somit grundsätzlich berücksichtigt und eine Übereinstimmung mit dem Untersuchungsraum ist vorhanden. An dieser Stelle ist jedoch zu bemerken, dass die Service-Kit Definition von MOHARANA und SARMAH hinsichtlich der Betrachtungsperspektive (Definition des Service-Kits durch Kunde, nicht durch Anlagenhersteller) von der Service-Kit Definition dieser Arbeit abweicht. Sowohl für die RKP-Ansätze als auch für den Ansatz nach MOHARANA und SARMAH ist auf Basis der Beschreibungen nicht ersichtlich, ob die im Service-Kit enthaltenen Teile auch für die Durchführung von „Verbesserungen“ verwendet werden können. Für die Durchführung von „Inspektionen“ werden keine Ersatzteile benötigt. Folglich wurden in allen Fällen die Ausprägung als „nicht erfüllt“ markiert. Der Ansatz nach GÜLLÜ und KÖKSALAN kann, wie bereits erwähnt, ausschließlich als „Instandsetzung“ betrachtet werden.

**Übereinstimmung nach Prozesseingrenzung:** Die RKP-Ansätze konzentrieren sich auf den Prozess der Bestandsoptimierung, um somit minimale Gesamtkosten, u. a. bestehend aus Lagerhaltungs- und Ausfallkosten, sowie einen maximalen Servicegrad sicherzustellen. Aufgrund des auftragsneutralen Charakters des Lagerbestands im Service-Wagen steht der Teilprozess einer schnellen auftragsbezogenen und anlagenspezifischen Ersatzteilidentifikation nicht im Fokus dieser Ansätze. Somit ist eine Übereinstimmung mit dem definierten Untersuchungsraum nicht gegeben. Für den Ansatz nach GÜLLÜ und KÖKSALAN kann festgehalten werden, dass dieser auf die Optimierung der Lagerhaltungskosten bei vorgegebenen Rahmenparametern hinsichtlich Bestandteile und Kit-Verfügbarkeiten fokussiert. Aufgrund des „vorgangsorientierten“ Charakters, d. h. es werden u. a. mehrere gleiche Teile in unterschiedlichen Größen für eine definierte Operation bereitgestellt, zielt dieser Ansatz nicht auf die schnelle

und korrekte Ersatzteilidentifikation ab. Eine Übereinstimmung mit dem definierten Untersuchungsraum wird daher nicht gesehen. Der Ansatz von MOHARANA und SARMAH fokussiert auf die Generierung eines anlagenspezifischen Service-Kits bestehend aus definierten Ersatzteilnummern für mehrere potenzielle Instandhaltungsmaßnahmen. Da jedoch kein direkter Bezug zwischen Teilen und einer dezidierten Wartungsarbeit besteht und das Ziel in der Bestands- und Verfügbarkeitsoptimierung vorgehaltener Ersatzteile auf Kundenseite besteht, ist lediglich eine teilweise Übereinstimmung mit dem definierten Untersuchungsraum sichergestellt.

**Übereinstimmung nach Wissensmanagement-Ansatz:** Die vorgestellten RKP-Ansätze weisen keine Wissensmanagement-basierten Techniken auf. Sie fokussieren auf heuristische Ansätze. Analog hierzu basiert der Ansatz von GÜLLÜ und KÖKSALAN auf einer Heuristik. MOHARANA und SARMAH verwenden „Association Rule Mining“ zur Wissensgenerierung, was in der Bewertung entsprechend berücksichtigt wird.

### 3.2.4 Fazit Service-Kit Ansätze

Die dargestellten RKP-Ansätze verstehen unter dem Begriff „Service-Kit“ einen auftrags- und kundenneutralen Lagerbestand in einem Service-Fahrzeug und konzentrieren sich auf dessen Optimierung in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussgrößen. Das initiale Ziel der Generierung eines anlagenspezifischen und vollumfänglichen Service-Kits (vgl. Punkt 1.3) lässt sich aufgrund dieses differierenden Service-Kit Verständnisses nicht realisieren.

Der Ansatz nach GÜLLÜ und KÖKSALAN betrachtet ein „Service-Kit“ als fix vordefinierte Sammlung aus Teilen und Werkzeugen, welche „vorgangsorientiert“ (d. h. ausgerichtet an einer bestimmten Operationsart) in einem zentralen Lagerbereich vorgehalten wird. Der Ansatz konzentriert sich ausschließlich auf die Optimierung der Lagerhaltungskosten. Eine Definition bzw. Identifikation der korrekten Bestandteile des Service-Kits beinhaltet der Ansatz nicht. Dieser Vorgang bildet jedoch ein Kernbestandteil des in dieser Arbeit vorgestellten Vorgehensmodells. Der Ansatz kann somit nicht für das anfangs erläuterte Ziel der Generierung eines anlagenspezifischen und vollumfänglichen Service-Kits (vgl. Punkt 1.3) herangezogen werden.

Der Kitting-Ansatz nach MOHARANA und SARMAH weist grundsätzlich eine größere Übereinstimmung mit dem definierten Untersuchungsraum auf. Der Ansatz unterscheidet sich jedoch wesentlich durch die Betrachtungsperspektive, welche bei MOHARANA und SARMAH aus Sicht des Anlagennutzers, sprich dem Kunden, erfolgt. In



der vorliegenden Arbeit wird die Problemstellung und Zielsetzung aus Sicht des Anlagenherstellers betrachtet. Des Weiteren unterscheidet sich der Ansatz ebenfalls in seinem Verständnis des Begriffs „Service-Kit“, welcher den Lagerbestand auf Kunden-seite (bestehend aus Ersatzteilen für unterschiedliche Anlagen) beschreibt. Die Anwendung des vorgestellten Ansatzes lässt ebenfalls keine Lösung der in dieser Arbeit gesetzten Problemstellung sowie Realisierung der beschriebenen Zielsetzung zu. Verantwortlich hierfür sind zwei wesentliche Aspekte: (1) Der fehlende Mengenbezug. MOHARANA und SARMAH stellen eine Beziehung zwischen Teilenummern her, können jedoch mit ihrer Methode keine Aussage zur benötigten Teileanzahl treffen. Ein Bezug zu einer Quelle, welche Auskunft über den Mengenbedarf gibt (z. B. eine Service-Stückliste, vgl. Punkt 2.3.3), liegt nicht vor. Eine vollumfängliche Service-Kit Generierung ist somit nicht möglich. Des Weiteren weist der Ansatz (2) keinen Bezug zu definierten Wartungsarbeiten auf. Die Korrelationen zwischen Ersatzteilen werden lediglich basierend auf vergangenen Bedarfsdaten definiert. Anlagenzustände ändern sich jedoch in der betrieblichen Praxis, sodass - basierend auf vergangenen Verbräuchen - nicht zwingend ein Rückschluss über zukünftig benötigte Ersatzteile gezogen werden kann. Bsp.: Eine Wartung bei 4.000 Betriebsstunden benötigt andere Ersatzteile als eine erweiterte Wartung bei 20.000 Betriebsstunden einer Anlage. Aufgrund dieser Aspekte sowie den zuvor erläuterten Abweichungen bezogen auf den definierten Untersuchungsraum lässt sich auch durch diesen Ansatz das für die Arbeit gesetzte Ziel nicht realisieren.

Alle vorgestellten Ansätze eignen sich somit nicht für die Umsetzung der definierten Zielsetzung. Bezugnehmend auf den Ansatz nach MOHARANA und SARMAH soll jedoch Folgendes angemerkt werden: Von Relevanz ist, dass der Ansatz einen Prüfschritt aufweist, welcher die Validierung der identifizierten Ersatzteilkorrelationen durch erfahrene Experten im Unternehmen beinhaltet. Dies lässt bereits die Relevanz von Expertenwissen bei der Definition von Service-Kits erkennen. Hieraus lässt sich die anfänglich getroffene Aussage untermauern, dass aufgrund der Komplexität durch die Teilevielfalt sowie einer lückenhaften und nicht integrierten Servicedokumentation entsprechendes Expertenwissen benötigt wird, um eine valide Aussage zu den Bestandteilen eines Service-Kits treffen zu können. Dieses Expertenwissen beinhaltet im Wesentlichen Anlagenkenntnisse und Erfahrungswissen aus vergangenen Instandhaltungsmaßnahmen. An dieser Stelle sei der Vollständigkeit halber angemerkt, dass weitere existierende und relevante Ansätze zur Bildung von Service-Kits, nach intensiver Literaturrecherche, nicht identifiziert werden konnten.



### 3.3 CBR-Ansätze in relevanten Anwendungsgebieten

#### 3.3.1 Ansätze des Case-based Reasoning im Kontext von Instandhaltung und Ersatzteilmanagement

Aufbauend auf der Vorstellung der Funktionsweise von CBR werden in weiterer Folge die relevantesten Case-based Reasoning Ansätze im Kontext der Fachgebiete „Instandhaltung“ und „Service“ erläutert. Des Weiteren wird ein kurzer Ausblick auf CBR-Ansätze und deren Anwendungszwecke in angrenzenden Fachgebieten gegeben. Eine vollumfängliche Darstellung aller Teilentwicklungen im Bereich CBR ist aufgrund der großen Anzahl an Publikationen und Anwendungsgebiete im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Daher erfolgt an den entsprechenden Stellen ein Verweis auf weiterführende Literatur und Ansätze. Eine Übersicht der erläuterten Ansätze kann der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

**Tabelle 7: Literaturübersicht CBR-Ansätze im Kontext von Instandhaltung und Ersatzteilmanagement (eigene Darstellung)**

| Nr. | Jahr | Autor                  | Titel   | Branche                   | Anwendungsgebiet   |
|-----|------|------------------------|---|---------------------------|--|
| 1   | 2011 | Chougule et al.        | An integrated framework for effective service and repair in the automotive domain: An application of association mining and case-based-reasoning. | Automotive                | KfZ-Instandhaltung - Allgemein   |
| 2   | 2011 | Vong et al.            | Case-based expert system using wavelet packet transform and kernel-based feature manipulation for engine ignition system diagnosis.               | Automotive                | KfZ-Instandhaltung - Motorfehler   |
| 3   | 2013 | Kamsu-Foguem und Noyes | Graph-based reasoning in collaborative knowledge management for industrial maintenance.   | Maschinen- und Anlagenbau | Instandhaltung von Antriebseinheiten (Elektr. Motor, Getriebe und Lager) |
| 4   | 2013 | Potes Ruiz et al.      | Knowledge reuse integrating the collaboration from experts in industrial maintenance management.  | Maschinen- und Anlagenbau | Instandhaltung von Werkzeugmaschinen                                     |
| 5   | 2014 | Potes Ruiz et al.      | Generating knowledge in maintenance from Experience Feedback.   | Maschinen- und Anlagenbau | Instandhaltung von Deckenkränen  |
| 6   | 2017 | Mourtzis et al.        | Knowledge-based Estimation of Maintenance Time for Complex Engineered-to-Order Products Based on KPIs Monitoring: A PSS Approach.                 | Maschinen- und Anlagenbau | Instandhaltung von Werkzeugformen  |

**Ansatz Nr. 1:** Der Ansatz von CHOUGULE et al. nutzt Case-based Reasoning für die Optimierung von Kraftfahrzeugreparaturen. Er unterstützt die Identifikation von Schwierigkeiten bei der Reparatur von Fahrzeugen, das Ableiten von entsprechendem Schulungsbedarf bei Mechanikern und bietet eine Hilfestellung durch das Lernen aus vergangenen Reparaturmaßnahmen (cases), um eine schnelle und kosteneffiziente

Instandsetzung zu ermöglichen. Für die Generierung von Cases werden zwei Datenquellen genutzt. Die erste Quelle bildet eine Auftragsdatenbank. Sie beinhaltet allgemeine Fahrzeugdaten, Technikerdaten sowie eine textuelle Beschreibung (Fließtext) der durchgeführten Reparaturmaßnahmen. Des Weiteren wird eine Symptomdatenbank genutzt, welche Fahrzeugdaten, ausgelesene Fehlercodes und das Auslesedatum der Fehlercodes, beinhaltet. Aus einer Kombination beider Quellen werden entsprechende Fälle generiert, welche in der Fallbasis als Referenz für zukünftige Reparaturen bereitgestellt werden. Der Retrieve-Schritt erfolgt mittels der Methode „Text Mining“. Der Retain-Schritt wird durch einen unabhängigen Prüfschritt einer Zentrallinstanz unterstützt. Sofern die Reparatur, und somit der neue potenzielle „Retain-Case“, von einem unerfahrenen Mechaniker durchgeführt wurde, wird mittels „Association Rule Mining“ und „Text mining“ in einem separaten „Revise-Schritt“ geprüft, ob die verbauten Teile, die ausgelesenen Fehlercodes sowie die durchgeführten Maßnahmen und schriftlichen Anmerkungen des Mechanikers korrelieren. Somit wird sichergestellt, dass sich ausschließlich korrekt durchgeführte Reparaturmaßnahmen als Referenzfälle in der Fallbasis befinden. Dieser Revise-Schritt erfolgt manuell durch entsprechende Experten. Eine automatische Case-Anpassung wird aufgrund fehlender Verknüpfungen mit anderen Quellen (z. B. Service-Handbücher, Service-Bulletins, Konstruktionsdokumente) und somit fehlenden Abgleichmöglichkeiten derzeit nicht durchgeführt. Mit Hilfe des entwickelten CBR-Ansatzes konnte v. a. die Rückmeldezeit und das Lernen von im Feld auftretenden Problemen von mehreren Wochen auf wenige Minuten verkürzt werden. Des Weiteren ermöglicht der Ansatz das Identifizieren von Anomalien und Best-Practices, was davor aufgrund der großen Datenmengen nicht möglich war. (vgl. Chougule et al. 2011)

**Ansatz Nr. 2:** Der Ansatz nach VONG et al. unterstützt die Fehlerdetektion und Maßnahmenableitung für schadhafte KfZ-Motoren und dem damit verbundenen Zündsystem. Der präsentierte Ansatz nutzt neben dem Expertenwissen der Mechaniker die Motordaten, welche über ein entsprechendes Messgerät ausgelesen werden und Anschluss über den Motorzustand und das Zündverhalten geben. Die Herausforderung bei diesem Ansatz besteht darin, die Abfrage- und Vergleichszeiten der einzelnen Cases aufgrund der großen Anzahl an Motorkennwerten möglichst gering zu halten und somit ein effizientes Schlussfolgern zu ermöglichen. Des Weiteren stellt die Ähnlichkeit der Kurvenverläufe hinsichtlich des Zündverhaltens ein Problem dar. Die Autoren integrieren in ihrem Ansatz daher zusätzliche Methoden für eine Vorbearbeitung (engl. preprocessing) der Signale und Daten. Zum Einsatz kommt zunächst die Methode „Wavelet Packet-Transformation“ (WPT) für das Aufsplitten des Eingangssignals. Da die verbleibende Anzahl an Eigenschaften dennoch sehr hoch ist, wird für die

Reduktion der Dimensionsanzahl das mathematische Verfahren der „Kernel-Hauptkomponentenanalyse“ verwendet. Die Vorbearbeitung ist nach diesem Schritt abgeschlossen. Um die finalen Eigenschaften in weiterer Folge im Zuge des Retrieve-Schritts möglichst schnell abgleichen zu können, wird der „Kernel k-means“ Algorithmus zur Clusterung der Cases eingesetzt. Der finale vorgeschlagene Case wird aus einem der gebildeten Cluster ausgewählt, nicht als Einzelfall aus der originären Fallbasis, welche alle Fälle enthält. Die Autoren weisen zeitliche Einsparungspotenziale ihres Ansatzes gegenüber alternativen Machine Learning Ansätzen aus, machen jedoch keine Angaben in welchem Ausmaß die Diagnose- und Reparaturzeiten in der Praxis reduziert werden können. (vgl. Vong et al. 2011)

**Ansatz Nr. 3:** KAMSU-FOGUEM und NOYES entwickeln einen allgemeinen CBR-Ansatz für die Formalisierung von Experten bezogenem Instandhaltungswissen. Dieser Ansatz soll zur erweiterten Kollaboration und Effizienzsteigerung in der Instandhaltung beitragen. Der vorgestellte Ansatz wird am Beispiel von Antriebseinheiten, bestehend aus Elektromotor, Getriebe und Lager, demonstriert. Für die semantische Beschreibung von Problemstellungen und potenziellen Lösungen verwenden die Autoren die Methode der Konzeptgraphen. Diese werden in Bezug zueinander gesetzt, sodass während des Retrieve-Schrittes direkt von einer Problemstellung auf zugehörige Lösungsgraphen geschlossen werden kann. Die Case-Base enthält Lösungsvorschläge aus unterschiedlichen Perspektiven (z. B. Mechanik, Elektronik oder Software), welche ggf. mit demselben Problemgraphen verknüpft werden können. Der Mechaniker im Feld kann so, auf unterschiedliches Expertenwissen zugreifen, das ihm in Form von Service-Anweisungen, Fact-Sheets etc. zur Verfügung gestellt wird. Eine Quantifizierung der erzielten Ergebnisse wird durch die Autoren nicht vorgenommen. (vgl. Kamsu-Foguem und Noyes 2013)

**Ansatz Nr. 4:** POTES RUIZ et al. bauen auf dem zuvor beschriebenen CBR-Ansatz von KAMSU-FOGUEM und NOYES auf. Ihr Ansatz dient ebenfalls der Formalisierung von Experten bezogenem Instandhaltungswissen. Analog zum vorherigen Ansatz soll auch dieser die erweiterte Kollaboration in der Instandhaltung erhöhen und somit zur Effizienzsteigerung beitragen. Der entwickelte Ansatz wird anhand eines Beispiels für Werkzeugmaschinen demonstriert. Für die semantische Beschreibung von Expertenwissen, spricht von Problemsituationen und den damit verbundenen Lösungen, verwenden die Autoren ebenfalls die Methode der Konzeptgraphen. Im Zuge des Retrieve-Prozesses wird das Transferable Belief Model (TBM), welchem die Dempster-Shafer Theorie (Evidenztheorie) zugrunde liegt, verwendet. Dieses prüft innerhalb der Cases, wie viele Experten aus welchen gleichen bzw. unterschiedlichen Domains welche Hypothese hinsichtlich Problemursache und zugehörigem Lösungsvorschlag

empfehlen. Somit wird eine Gewichtung der Hypothesen erzeugt. Zudem wird eine Kennzahl zur Bewertung der semantischen Ähnlichkeit berechnet und anschließend der erfolversprechendste vergangene Case ausgegeben. Der präsentierte Ansatz wurde mittels einer theoretischen Case-study durchgeführt. Eine Quantifizierung des in der Praxis erzielbaren Nutzens ist nicht beschrieben. (vgl. Potes Ruiz et al. 2013)

**Ansatz Nr. 5:** POTES RUIZ et al. formulieren in diesem Ansatz eine Erweiterung ihres zuvor präsentierten Ansatzes. Das Ziel liegt nach wie vor auf dem Erfassen und Nutzbarmachen von Instandhaltungswissen, sprich der Dokumentation von spezifischen Anlagenfehlern und angewandte Lösungen bei deren Reparatur. Der vorliegende Ansatz wird anhand des Beispiels von Deckenkränen illustriert. Die Formalisierung des Wissens, sprich Problemstellungen und damit verbundene Lösungsmöglichkeiten, erfolgt analog zu den vorangegangenen Ansätzen mittels Konzeptgraphen. Der Retrieve-Prozess erfolgt ebenfalls durch das Schlussfolgern mittels der Verknüpfung der unterschiedlichen Konzeptgraphen. Des Weiteren verwenden POTES RUIZ et al. in ihrem Ansatz die Methode „Association Rule Mining“ (ARM). Diese wird jedoch nicht für die Identifikation von Anlagenproblemen verwendet, sondern für die Identifikation von Zusammenhängen zwischen den einzelnen Cases, die mittels der Konzeptgraphen entsprechend formalisierte Regeln und Zusammenhänge enthalten. Dieser Ansatz soll es ermöglichen, Transparenz hinsichtlich existierender und nicht-existierender Zusammenhängen sowie deren Häufigkeiten in der Case-Base zu erlangen und den Nutzern aufzuzeigen. Im Zuge des ARM wird ein Apriori-Algorithmus eingesetzt. Der Ansatz präsentiert ausschließlich qualitative Ergebnisse auf Konzeptebene. Eine Quantifizierung hinsichtlich des Praxisnutzens wurde nicht vorgenommen. (vgl. Potes Ruiz et al. 2014)

**Ansatz Nr. 6:** Der Ansatz von MOURTZIS et al. verwendet CBR für die Abschätzung der Instandhaltungsdauer für komplexe „Engineer-to-Order“ Kunststoffspritzgusswerkzeuge. Die allgemeine Anwendung des CBR-Ansatzes erfolgt durch Unternehmen, welche Werkzeugformen im Kundenauftrag überarbeiten, warten und instand setzen. Mittels einer schnellen und verlässlichen Abschätzung der Instandhaltungsdauer für die Spritzgusswerkzeuge soll den Kunden (Anlagenbetreibern) eine bessere Planungsgenauigkeit geboten und die allgemeine Kundenzufriedenheit erhöht werden. Des Weiteren ermöglicht der Ansatz eine optimierte Kostenabschätzung. MOURTZIS et al. untersuchen in ihrem Ansatz unterschiedliche Attribute (Instandhaltungsprozess- und Produktattribute), welche eine Auswirkung auf die Instandhaltungsdauer einer Werkzeugform aufweisen. Die numerischen und alphanumerischen Attribute werden anschließend normalisiert und gewichtet. Jeder attribuierte Case ist mit entsprechen-

den Instandhaltungszeiten verknüpft, die bei Anwendung des CBR-Ansatzes als vorgeschlagene Lösung ausgegeben werden. Im Zuge des Retrieve-Prozesses wird für numerische Werte die Ähnlichkeit mittels der euklidischen Distanz ermittelt. Alphanumerische Werte werden normalisiert als Zahlenwerte dargestellt (z. B. Type of Hardening: Good = 0; very Good = 1). Im Zuge des Retrieve-Prozesses erfolgt auch hier eine Distanzmessung mittels eines Abgleiches der einzelnen Werte. Der bestpassende Case (nearest neighbour) wird anhand der Gesamtähnlichkeit, welche sich aus den beiden zuvor beschriebenen Einzelähnlichkeiten zusammensetzt, bestimmt. Die Autoren präsentieren eine Evaluierung ihres Ansatzes im Zuge eines Tests. Die ausgegebene Abschätzung für die Instandhaltungsdauer eines Kunststoffspritzgusswerkzeuges betrug 71 Arbeitstage. Die real erzielte Instandhaltungsdauer war 68 Tage. Die Abweichung von 5,74 % wird als zufriedenstellend angesehen und zeigt das Potenzial des präsentierten Ansatzes. (vgl. Mourtzis et al. 2017)

### 3.3.2 Weitere Anwendungen von Case-based Reasoning in angrenzenden Themenbereichen

Neben den oben angeführten Anwendungsfällen von CBR im Kontext von Instandhaltung und Ersatzteilmanagement, existieren zahlreiche weitere Anwendungsbeispiele in angrenzenden Themenbereichen. Eine Übersicht kann der Tabelle 8 entnommen werden.

Ein Anwendungsgebiet stellt der Bereich der **Bruchmechanik** im Kontext von Bauteilprüfungen dar. Diese CBR-Ansätze unterstützen in Kombination mit weiteren KI-Methoden die Detektion, Analyse und Diagnose von Bauteilfehlern. Eine Übersicht existierender Arbeiten bietet die Arbeit von NASIRI et al. (vgl. Nasiri et al. 2017). Ebenso findet CBR seine Anwendung im Kontext der **Entwicklung und Produktion**. GUO et al. formulieren einen CBR-Ansatz für die Optimierung des **Konstruktionsprozesses** von Spritzgussteilen. Ziel ist die schnelle, effiziente und korrekte Konstruktion von Spritzgussteilen basierend auf dem Wissen aus vergangenen Fällen (vgl. Guo et al. 2012). DONG und KITAOKA präsentieren einen CBR-Ansatz für die Optimierung der **Produktionsplanung** von Wellpappe (vgl. Dong und Kitaoka 1994). CHANG et al. verwenden CBR für die Prognose von erwarteten **Produktionskosten** von Mobilfunkgeräten. Ziel ist eine möglichst präzise Kostenprognose basierend auf vergangenen Fällen für eine erhöhte Transparenz und als Basis für Managemententscheidungen (vgl. Chang et al. 2012). LV et al. verwenden CBR für die Optimierung von **Schleifprozessen** (vgl. Lv et al. 2015). BEGUM et al. entwickeln einen CBR-Ansatz, welcher das **Stresslevel von Radladerfahrern** anhand physiologischer Signale misst und auf Basis von vergangenen Fällen bewertet. Ziel ist das Herstellen einer Korrelation von



Parametern einer durchzuführenden Arbeit und der daraus resultierenden mentalen Arbeitsbelastung (vgl. Begum et al. 2014). TÖNNES entwickelt einen CBR-Ansatz für die Audi AG, welcher eine effektivere und effizientere **Nacharbeit** von auftretenden Fehlern in der Automobilendmontage unterstützen soll (vgl. Tönnnes 2018). KUO erarbeitet einen CBR-Ansatz für die Berechnung der erwarteten **Recycling-Rate** während der Entwicklungsphase eines Produkts. Ziel ist die optimale Gestaltung für ein bestmögliches Recycling (vgl. Kuo 2010).

**Tabelle 8: Anwendungsbereiche von CBR (eigene Darstellung)**

| Nr. | Jahr | Autor               | Anwendungsgebiet                            | Titel  |
|-----|------|---------------------|---|--|
| 1   | 1994 | Dong und Kitaoka    | Produktionsplanung                          | Implementation of a case-based production scheduling system in C language  |
| 2   | 2009 | Poon et al.         | Einsatzplanung von Flurförderzeugen         | A RFID case-based logistics resource management system for managing order-picking operations in warehouses                                       |
| 3   | 2010 | Ho et al.           | Lieferantenbewertung                        | Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection  |
| 4   | 2010 | Kuo                 | Recycling                                   | Combination of case-based reasoning and analytical hierarchy process for providing intelligent decision support for product recycling strategies |
| 5   | 2011 | Giannakis und Louis | SC-Risk Management                          | A multi-agent based framework for supply chain risk management   |
| 6   | 2012 | Chang et al.        | Herstellkostenprognose                      | Forecasting of manufacturing cost in mobile phone products by case-based reasoning and artificial neural network models                          |
| 7   | 2012 | Fu und Fu           | Überbetriebliches Kostenmanagement          | Case-Based Reasoning and Multi-Agents for Cost Collaborative Management in Supply Chain  |
| 8   | 2012 | Guo et al.          | Konstruktion von Spritzgussteilen           | A CBR system for injection mould design based on ontology  |
| 10  | 2014 | Begum et al.        | Stresslevelbewertung von Maschinenbedienern | Classification of physiological signals for wheel loader operators using Multi-scale Entropy analysis and case-based reasoning                   |
| 11  | 2015 | Lv et al.           | Schleifprozessoptimierung                   | Soft computing for overflow particle size in grinding process based on hybrid case based reasoning   |
| 12  | 2017 | Nasiri et al.       | Bruchmechanik                               | Fracture mechanics and mechanical fault detection by artificial intelligence methods   |
| 13  | 2017 | Rekik et al.        | Seefrachtcontainer-Manipulation             | A case based reasoning based multi-agent system for the reactive container stacking in seaport terminals   |
| 14  | 2018 | Tönnnes             | Nacharbeitsoptimierung Automobilmontage     | Applying data of historical defects to increase efficiency of rework in assembly   |

Weitere Anwendungsgebiete von CBR finden sich in der **Logistik** und dem **Supply Chain Management (SCM)**. CBR wurde bereits in mehreren wissenschaftlichen Arbeiten im Kontext der **Lieferantenauswahl** zum Einsatz gebracht. HO et al. geben in ihrer Arbeit eine Übersicht über existierende Ansätze für diesen Anwendungsfall (vgl. Ho et al. 2010). GIANNAKIS und LOUIS entwickeln ein Framework unter Verwendung von CBR für die Optimierung des **Supply Chain Risk Managements**. Ziel ist die Anwendung von bestmöglichen Korrekturmaßnahmen basierend auf Vergangenheitsfällen bei auftretenden SC-Problemen (vgl. Giannakis und Louis 2011). FU und FU formulieren im Kontext der SC-Optimierung einen CBR-Ansatz für ein **unternehmensübergreifendes Kostenmanagement** (vgl. Fu und Fu 2012). POON et al. nutzen einen CBR-Ansatz in Kombination mit einem RFID-Tracking System für die optimierte **Einsatzplanung von Flurförderzeugen**, sprich eine optimale Zuordnung von Kommissionieraufträgen zu Flurförderzeugen in Abhängigkeit deren aktueller Position in einem Lagergebäude. Ziel ist die Realisierung einer maximalen Effizienz durch kurze Wege und geringste Manipulationszeiten (vgl. Poon et al. 2009). REKIK et al. wenden einen CBR-Ansatz für die Optimierung der **Stellplatzzuweisung von Seefrachtcontainern** in Hafenterminals an. Ziel ist die Sicherstellung einer effizienten Container-Manipulation (vgl. Rekik et al. 2017).

### 3.3.3 Bewertung der CBR-Ansätze

Nachstehend erfolgt eine Bewertung der genannten Ansätze hinsichtlich deren Übereinstimmung mit dem zuvor definierten Untersuchungsraum. Eine Übersicht kann Tabelle 9 entnommen werden.

**Übereinstimmung nach Branche:** Die obige Zuordnung zeigt, dass CBR-Ansätze im Kontext von IH und ETM bereits erfolgreich im Maschinen- und Anlagenbau eingesetzt werden. Eine Übereinstimmung mit dem abgegrenzten Untersuchungsraum ist somit bei einigen Ansätzen gegeben. Die untersuchten Ansätze aus angrenzenden Themenbereichen sind in anderen Branchen angesiedelt.

**Übereinstimmung nach Betrachtungsperspektive:** Alle untersuchten CBR-Ansätze von IH und ETM weisen eine Herstellersichtweise als Betrachtungsperspektive auf und decken sich somit mit dem Untersuchungsraum. Angrenzende CBR-Ansätze weisen sowohl Hersteller- als auch Kundenperspektiven auf und überlagern sich daher teilweise mit dem Untersuchungsraum.

**Übereinstimmung nach Service-Kit Bestandteile:** Die einzelnen CBR-Ansätze des IH und ETM fokussieren nicht auf die Definition von Service-Kit Bestandteilen. Gleiches



gilt für die CBR-Ansätze der angrenzenden Themenbereiche. Eine Übereinstimmung mit dem definierten Untersuchungsraum ist somit nicht gegeben.

**Übereinstimmung nach Instandhaltungsmaßnahme:** Die CBR-Ansätze des IH und ETM entwickeln spezifische Lösungen für die Instandsetzung. Ein expliziter Fokus auf Wartungen ist nicht gegeben. Die Ansätze aus anderen Themenbereichen weisen im Allgemeinen keinen Bezug zu Instandhaltungsmaßnahmen auf. Eine Übereinstimmung der untersuchten Ansätze mit dem definierten Untersuchungsraum existiert daher nicht.

**Tabelle 9: Abgleich der CBR-Ansätze mit dem definierten Untersuchungsraum (eigene Darstellung)**

| Grad der Erfüllung       | Symbol                                 | CBR-Ansätze  |             |                        |                       |                       |                 | Angrenzende Themenbereiche |
|--------------------------|--|--|-------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------|
|                          |  | Instandhaltung (IH) und Ersatzteilmanagement (ETM) |             |                        |                       |                       |                 |                            |
| Erfüllt                  | ●                                      | CHOUGULE et al.                                    | VONG et al. | KAMSU-FOGUEM und NOYES | POTES RUIZ et al. (1) | POTES RUIZ et al. (2) | MOURTZIS et al. |                            |
| Teilweise erfüllt        | ◐                                      |  |             |                        |                       |                       |                 |                            |
| Nicht erfüllt            | ○                                      |  |             |                        |                       |                       |                 |                            |
| Branche                  | Maschinen- und Anlagenbau              | ○  | ○           | ●                      | ●                     | ●                     | ●               | ○                          |
|                          | Andere                                 | ●  | ●           | ○                      | ○                     | ○                     | ○               | ●                          |
| Betrachtungsperspektive  | Herstellerperspektive                  | ●  | ●           | ●                      | ●                     | ●                     | ●               | ◐                          |
|                          | Kundenperspektive                      | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○               | ◐                          |
| Service-Kit Bestandteile | Verwendungs-/ Anlagenspezifisch        | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○               | ○                          |
|                          | Verwendungs-/ Anlagenneutral           | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○               | ○                          |
| Instandhaltungsmaßnahmen | Wartung                                | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○               | ○                          |
|                          | Inspektion                             | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○               | ○                          |
|                          | Instandsetzung                         | ●  | ●           | ●                      | ●                     | ●                     | ●               | ○                          |
|                          | Verbesserung                           | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○               | ○                          |
| Prozesseingrenzung       | Teilprozess »Ersatzteilidentifikation« | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○               | ○                          |
|                          | Andere Prozesse                        | ●  | ●           | ●                      | ●                     | ●                     | ●               | ●                          |
| Wissensmanagement-Ansatz | Case-based Reasoning                   | ●  | ●           | ●                      | ●                     | ●                     | ●               | ●                          |
|                          | Andere Ansätze                         | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○               | ○                          |

**Übereinstimmung nach Prozesseingrenzung:** Im Bereich der IH und ETM fokussieren die CBR-Ansätze nicht auf den spezifischen Teilprozess der Ersatzteilidentifikation, sondern auf anderweitig gelagerte Sub-Prozesse. Gleiches gilt für die CBR-Ansätze angrenzender Themenbereiche. Der Untersuchungsraum divergiert daher im Vergleich zu den angeführten Ansätzen.

**Übereinstimmung nach Wissensmanagement-Ansatz:** Alle vorgestellten Ansätze wurden explizit aufgrund der Verwendung des CBR-Ansatzes gewählt. Folglich ist die Ausprägung „CBR“ jeweils voll erfüllt.

### 3.3.4 Fazit CBR-Ansätze

Die genannten Anwendungsbeispiele illustrieren die Vielseitigkeit des CBR-Ansatzes sowie den Nutzen, der durch die Wiederverwendung des Wissens aus vergangenen Fällen erzielt werden kann. Alle gezeigten Ansätze repräsentieren hybride Ansätze, d. h. sie sind eine Komposition mehrerer Submethoden, die innerhalb der Hauptmethode des CBR, den jeweiligen vier Hauptprozessschritten „Retrieve“, „Reuse“, „Revise“ und „Retain“ zugeordnet sind. Dies verdeutlicht die Flexibilität des CBR-Ansatzes sowie dessen anwendungsfallsspezifische Ausgestaltungsmöglichkeiten. Die durchgeführte Literaturrecherche ergab, dass der CBR-Ansatz bis dato noch nicht im Kontext der Konfiguration von Service-Kits bzw. des definierten Untersuchungsraums getestet und angewendet wurde.

## 3.4 Zusammenfassung des Kapitels

Die Gestaltung von Service-Kits wurde in der Literatur bereits in unterschiedlichen Arbeiten über einen längeren Zeitraum bearbeitet und verschiedene Lösungsansätze dargestellt. Diese Ansätze sind jedoch aufgrund ihres Verständnisses des Begriffs „Service-Kit“ sowie deren Anwendungskontext nicht für die eingangs definierte Zielsetzung anwendbar (vgl. Punkt 3.2.4). Einzelne Ansätze lassen jedoch bereits die Relevanz der Nutzung von Expertenwissen bei der Definition von Service-Kits erkennen.

Eine Anwendung von CBR im Kontext der Definition von Service-Kits erfolgte bis dato nicht. Die dargestellten Anwendungsfälle demonstrieren jedoch die Flexibilität hinsichtlich der anwendungsspezifischen Ausgestaltungsmöglichkeiten des CBR-Ansatzes und unterstreichen die in dieser Arbeit skizzierte Hypothese.

## 4 Anforderungsanalyse des Vorgehensmodells

Der Bedarf für die Reduktion des Ersatzteilidentifikationsaufwands im Rahmen der Auftragsabwicklung von Servicedienstleistungen in Maschinen- und Anlagenbauunternehmen sowie die Zielsetzungen dieser Arbeit wurden im Kapitel 1 dargelegt. Die Eingrenzung auf einen in der vorliegenden Arbeit zu analysierenden Untersuchungsraum, erfolgte im Anschluss an die Erläuterung des theoretischen Bezugsrahmens in Kapitel 2. Im vorangestellten Kapitel 3 wurde durch eine entsprechende Analyse des Forschungsstandes die Lücken bei bestehenden Ansätzen sowie deren Anwendungsbereiche aufgezeigt. Bezugnehmend zum DSRM-Prozess folgt in Kapitel 4 die Ableitung der Anforderungen an das zu entwickelnde Vorgehensmodell.

### 4.1 Vorgehensweise zur Anforderungsdefinition

Für die strukturierte Ableitung der Anforderungen werden nachstehend Ansätze und Methoden aus dem Bereich „Systems Engineering“ bzw. „Software Engineering“ verwendet. Das System Engineering bezeichnet eine eigene Wissenschaftsdisziplin, die auf dem Ansatz der Systemtheorie basiert und deren Ziel die strukturierte Entwicklung komplexer technischer Systeme ist. (vgl. Winzer 2013)

Das Systems Engineering gliedert ein Gesamtsystem in seine technischen Teilsysteme und nimmt hierbei eine ganzheitliche Betrachtungsweise ein. Es koordiniert u. a. die Gesamtarchitektur, das Zusammenspiel der Einzelkomponenten, die Anforderungen sowie deren Umsetzung und Verifikation. Eine Teildisziplin des Systems Engineering bildet das Software Engineering. (vgl. Weilkiens 2007)

Das Software Engineering verfolgt das Ziel der Erstellung von zuverlässigen Softwarelösungen (vgl. Partsch 2010). Der damit verbundene hohe Komplexitätsgrad bedingt eine strukturierte Vorgehensweise in mehreren Einzelschritten (vgl. Heinrich 2007). Hierfür verfügt das Software Engineering über unterschiedliche Vorgehensmodelle zur Strukturierung von Entwicklungsprojekten. Eine Übersicht bieten HEINRICH und WINZER (vgl. Winzer 2013; Heinrich 2007). Das für die vorliegende Arbeit relevante Vorgehensmodell ist das Spiralmodell nach BOEHM (vgl. Boehm 1988). Dieses wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit für die Entwicklung eines Software-Prototypen herangezogen, welcher parallel zu dem nachfolgend vorgestellten Vorgehensmodell erfolgte.

Das Modell besteht aus vier aufeinanderfolgenden Phasen, die ein Produkt im Vergleich zu den rein sequenziell ablaufenden Modellen mehrmals iterativ durchläuft.

Diese Vorgehensweise ermöglicht somit eine Risikominimierung durch den kontinuierlichen Abgleich des Produkts mit zuvor definierten Zielsetzungen. (vgl. Heinrich 2007) Der Begriff „Produkt“ kann neben einem vollumfänglichen Projekt auch die Erstellung einer Anforderungsspezifikation oder eines Architekturdokuments bezeichnen (vgl. Schatten et al. 2010).

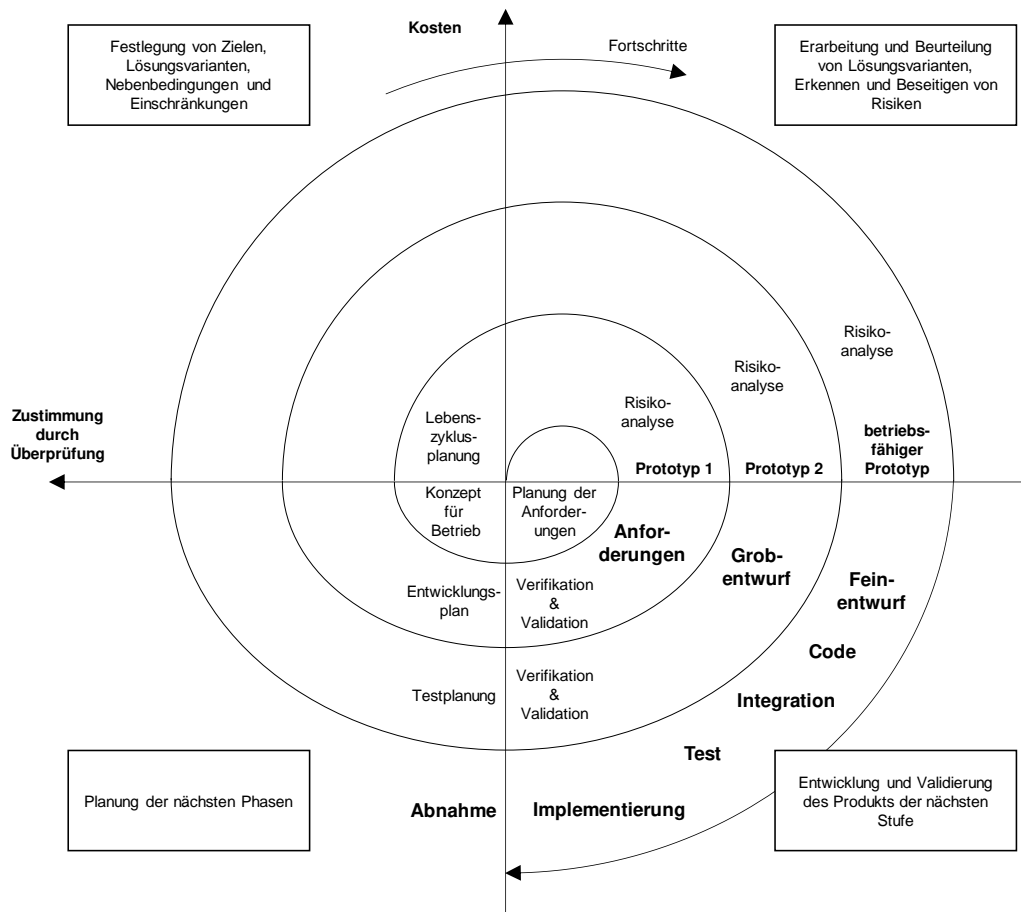


Abbildung 33: Spiralmodell nach BOEHM in Anlehnung an (Heinrich 2007)

Sofern das Produkt einer Phase eine Software repräsentiert, steht am Ende jeder Phase ein funktionstüchtiger Prototyp zur Verfügung. Mit dem Schritt „Festlegung von Zielen, Lösungsvarianten, Nebenbedingungen und Einschränkungen“ sieht das Spiralmodell, ebenso wie andere Vorgehensmodelle, die Definition von Anforderungen (engl. requirements) an eine Systementwicklung vor. (vgl. Heinrich 2007) Dieser Schritt zu Beginn einer Systementwicklung wird als „Requirements Engineering“ (dt. Anforderungsmanagement) bezeichnet (vgl. Partsch 2010). Es umfasst die Ermittlung, Analyse, Spezifikation und Validierung der Eigenschaften und Rahmenbedingungen eines Softwaresystems (vgl. Witte 2016). Aufgrund des häufig iterativen Charakters einer Softwareentwicklung, wird die Anforderungsanalyse bei jeder Iteration durchlaufen und aktualisiert (vgl. Schatten et al. 2010). Im Zuge der Entwicklung des genannten

Software-Prototypen wurden sukzessive aus jedem durchlaufenen Zyklus die Anforderungen an das zugrundeliegende Vorgehensmodell extrahiert.

## 4.2 Anforderungsarten, Anforderungsquellen und Ermittlungstechniken

Das Requirements Engineering unterscheidet „Rahmenbedingungen“, „funktionale Anforderungen“ sowie „nicht-funktionale Anforderungen“. Rahmenbedingungen repräsentieren organisatorische und/oder technische Restriktionen des finalen Systems sowie des damit verbundenen Entwicklungsprozesses. Hierzu gehört u. a. das Anwendungsgebiet der zu entwickelnden Lösung. Funktionale Anforderungen beschreiben die bereitzustellenden Funktionen oder Services eines Systems. Sie definieren somit „was“ ein System ausführen soll. Nicht-funktionale Anforderungen repräsentieren Qualitätsanforderungen an ein System und geben Auskunft „wie gut“ eine Systemfunktion ausgeführt wird. (vgl. Balzert 2009; Partsch 2010)

Potenzielle Anforderungsquellen im Rahmen des Requirement Engineerings sind (a) Stakeholder, (b) Dokumente und (c) Systeme in Betrieb. Für die systematische Anforderungserhebung bietet das Requirements Engineering unterschiedliche Ermittlungstechniken. Eine Übersicht kann den Ausführungen von POHL und RUPP entnommen werden. Die Ermittlungstechniken unterstützen primär die Erhebung von Wissen und Anforderungen der Stakeholder. Die Verwendung der unterschiedlichen Techniken erfolgt individuell und situationsbezogen. POHL und RUPP kategorisieren die Ermittlungstechniken in (a) Befragungstechniken (z. B. Interview), (b) Kreativitätstechniken (z. B. Brainstorming), (c) Dokumentenzentrierte Techniken (z. B. Perspektivenbasiertes Lesen), (d) Beobachtungstechniken (z. B. Feldbeobachtungen) sowie (e) unterstützende Techniken (z. B. Prototypenerstellung). (vgl. Pohl und Rupp 2015)

Die formale Beschreibung von Anforderungen erfolgt in Form von natürlicher Sprache, einer semi-formalen Darstellung (z. B. strukturierter natürlicher Sprache) oder mittels einer formalen Beschreibung (z. B. Flussdiagrammnotationen wie eEPK). (vgl. Partsch 2010)

## 4.3 Anforderungen

Aufbauend auf den eingangs formulierten Zielsetzungen werden, unter Verwendung unterschiedlicher Anforderungsquellen und Ermittlungstechniken, nachstehend die spezifischen Anforderungen an das zu entwickelnde Vorgehensmodell abgeleitet und präzisiert. Die einzelnen Anforderungen werden in natürlicher Sprache formuliert.

#### 4.3.1 Rahmenbedingungen

*Anf. 1 – Eignung für Gasmotorenhersteller: Das Vorgehensmodell ist für Gasmotorenproduzenten aus der Herstellerperspektive anwendbar.*

Diese Anforderung leitet sich aus der Anwendungsumgebung des zu entwickelnden Vorgehensmodells ab. Dieses resultiert aus einem Projekt in Kooperation mit einem Gasmotorenhersteller, welcher als Stakeholder eine Hauptanforderungsquelle darstellt. Das Vorgehensmodell muss einen generischen Charakter aufweisen, der eine Anwendung für Gasmotorenhersteller im Allgemeinen ermöglicht.

#### 4.3.2 Funktionale Anforderungen

*Anf. 2 – Beschreibung des Expertenwissens: Das Vorgehensmodell muss eine reproduzierbare Beschreibung des Expertenwissens für die Inferenzprozesse 1-3 (vgl. Abbildung 7) ermöglichen.*

Analog zur vorherigen Anforderung leitet sich diese Anforderung aus der Feldbeobachtung und formalisierten Darstellung des generischen Ersatzteilidentifikationsprozesses ab. Das zu beschreibende Expertenwissen beinhaltet u. a. die Identifikation der korrekten Ersatzteilbezeichnungen in den benötigten Wartungsanweisungen, die Identifikation der zugehörigen Teilenummern und Mengen sowie die Identifikation zusätzlich benötigter Teilenummern basierend auf persönlicher Erfahrung. Informations- und Medienbrüche, aufgrund der Art und des Umfangs verfügbarer Dokumentationen, sollen hierdurch neutralisiert werden.

*Anf. 3 – Nutzung von Case-based Reasoning: Das Vorgehensmodell nutzt Case-based Reasoning als Methode für die Erfassung und Bereitstellung von Expertenwissen.*

Die durchgeführte Literaturanalyse zeigt, dass sich CBR im Speziellen für die Beschreibung von Expertenwissen bei sich wiederholenden Aufgabenstellungen und einer geringen verfügbaren Datenmenge eignet. Die Analyse wissenschaftlicher Dokumente und der formale Vergleich bestehender Einsatzgebiete zeigt, dass CBR nach dem derzeitigen Wissensstand nicht für die Generierung von Service-Kits in dem dieser Arbeit zugrundeliegendem Anwendungsgebiet eingesetzt wird. Aus der Stakeholdersicht der Wissenschaft soll die Methode des CBR somit einem neuen Anwendungsgebiet zugeführt werden.

*Anf. 4 – Vollumfängliche Service-Kits für Wartungsfälle: Das Ergebnis der Vorgehensmodell-anwendung muss eine vollumfängliche Ersatzteilaufstellung (Service-Kit) für definierte Wartungsfälle gemäß DIN 31051 darstellen.*

Diese Anforderung leitet sich aus dem mittels Feldbeobachtung analysierten und in Form einer ereignisgesteuerten Prozesskette dargestellten Ersatzteilidentifikationsprozesses ab (vgl. Abbildung 7). Die Anforderungsquelle (Stakeholder) sind die unternehmensinternen Experten für die Ersatzteilidentifikation sowie die Kunden des Unternehmens, welche ein fehlerfreies und vollumfängliches Service-Kit erwarten. Ein vollumfängliches Service-Kit umfasst für alle relevanten Teile die letztgültigen Ersatzteilnummer, Ersatzteilbezeichnungen sowie Mengen für einen definierten Wartungsfall einer spezifischen Anlage.

#### 4.3.3 Nicht-funktionale Anforderungen

*Anf. 5 – Reduktion des Ersatzteilidentifikationsaufwands: Das Vorgehensmodell soll den Aufwand der Ersatzteilidentifikation auf Seiten der Gasmotorenhersteller reduzieren.*

Basierend auf Interviews und Feldbeobachtungen wurden in Kapitel 1 die allgemeinen und spezifischen Problemstellungen sowie der resultierende Mehraufwand im Kontext der operativen Ersatzteilidentifikation erläutert. Der Mehraufwand, welcher v. a. auf die hohe Anzahl Iterationsschleifen sowie die verwendete Anzahl unterschiedlicher Systeme und Dokumente sowie resultierender Informationslücken im Zuge des Ersatzteilidentifikationsprozesses (vgl. Abbildung 7) zurückzuführen ist, soll reduziert werden. Die Umsetzung dieser Anforderung soll primär die Stakeholdergruppe der Ersatzteilidentifikationsexperten entlasten.

#### 4.4 Zusammenfassung des Kapitels

In Kapitel 4 wurden unter Verwendung der Ansätze des Software Engineering sowie des damit verbundenen Requirement Engineerings insgesamt fünf Anforderungen an das zu entwickelnde Vorgehensmodell abgeleitet. Diese gliedern sich in Rahmenbedingungen, funktionale Anforderungen und nicht-funktionale Anforderungen. Diese konkretisieren die eingangs erläuterte spezifische Zielsetzung ggü. dem zu entwickelnden Vorgehensmodell und dienen als Leitlinien für die nachfolgende Modellentwicklung.



## 5 Entwicklung eines Vorgehensmodells für die wissensbasierte Konfiguration von Service-Kits

Basierend auf der in Kapitel 1 beschriebenen spezifischen Problemstellung, der Zielsetzung sowie den in Kapitel 4 abgeleiteten Anforderungen wird nachfolgend der entwickelte Ansatz vorgestellt, welcher eine wissensbasierte Konfiguration von Service-Kits im Maschinen- und Anlagenbau ermöglicht. Zunächst wird ein Überblick über das Gesamtsystem gegeben. Anschließend erfolgt eine Erläuterung der Fallstruktur und der Fallbestandteile. Hierauf aufbauend wird auf die einzelnen Phasen des Gesamtansatzes sowie dessen Teilschritte und verwendete Methoden im Detail eingegangen. Die nachfolgenden Ausführungen orientieren sich an den Aufgaben gemäß des vorgestellten CBR-Cycles sowie der Task-Method Structure (vgl. Punkte 2.5.2 und 2.5.3).

### 5.1 Gesamtübersicht CBR-System

In diesem Abschnitt erfolgt eine Erläuterung des entwickelten CBR-Systems aus holistischer Sicht. In den darauffolgenden Ausführungen werden die einzelnen Schritte des CBR-Systems im Detail erläutert. Eine schematische Grobdarstellung des CBR-Systems kann Abbildung 34 entnommen werden. Eine Illustration der enthaltenen Einzelschritte ist der Abbildung 35 zu entnehmen.

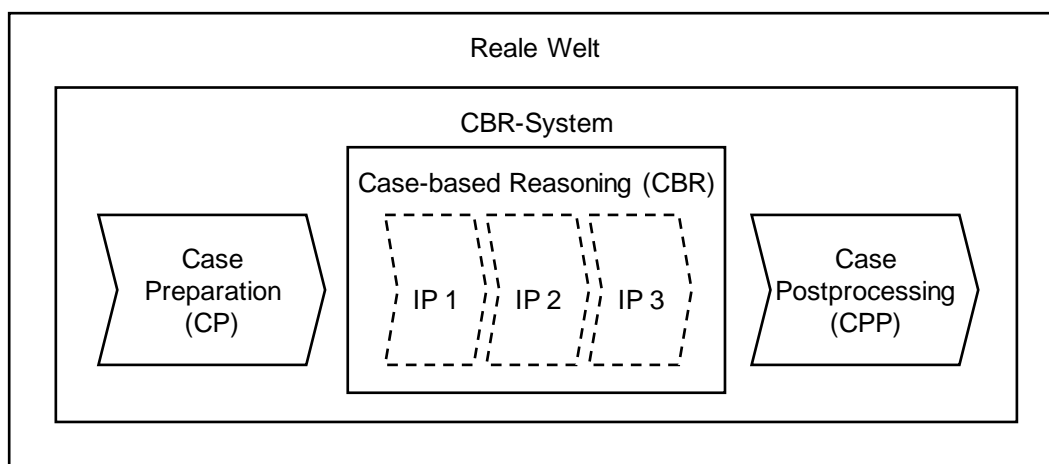


Abbildung 34: Schematische Darstellung des CBR-Systems (eigene Darstellung)

Das Gesamtsystem spiegelt die drei Phasen des derzeit manuell durchgeführten und nicht systemunterstützten Ist-Prozesses wider. Der entwickelte CBR-Ansatz ist als Teilkomponente (vgl. Phase 2) in das Gesamtsystem integriert. Die Darstellung zeigt zudem die schematische Einbettung des Ansatzes in den operativen Ersatzteilidentifikationsprozess sowie die Anwendung durch die Benutzer „Sachbearbeiter“ und/oder „Ersatzteilexperte“.

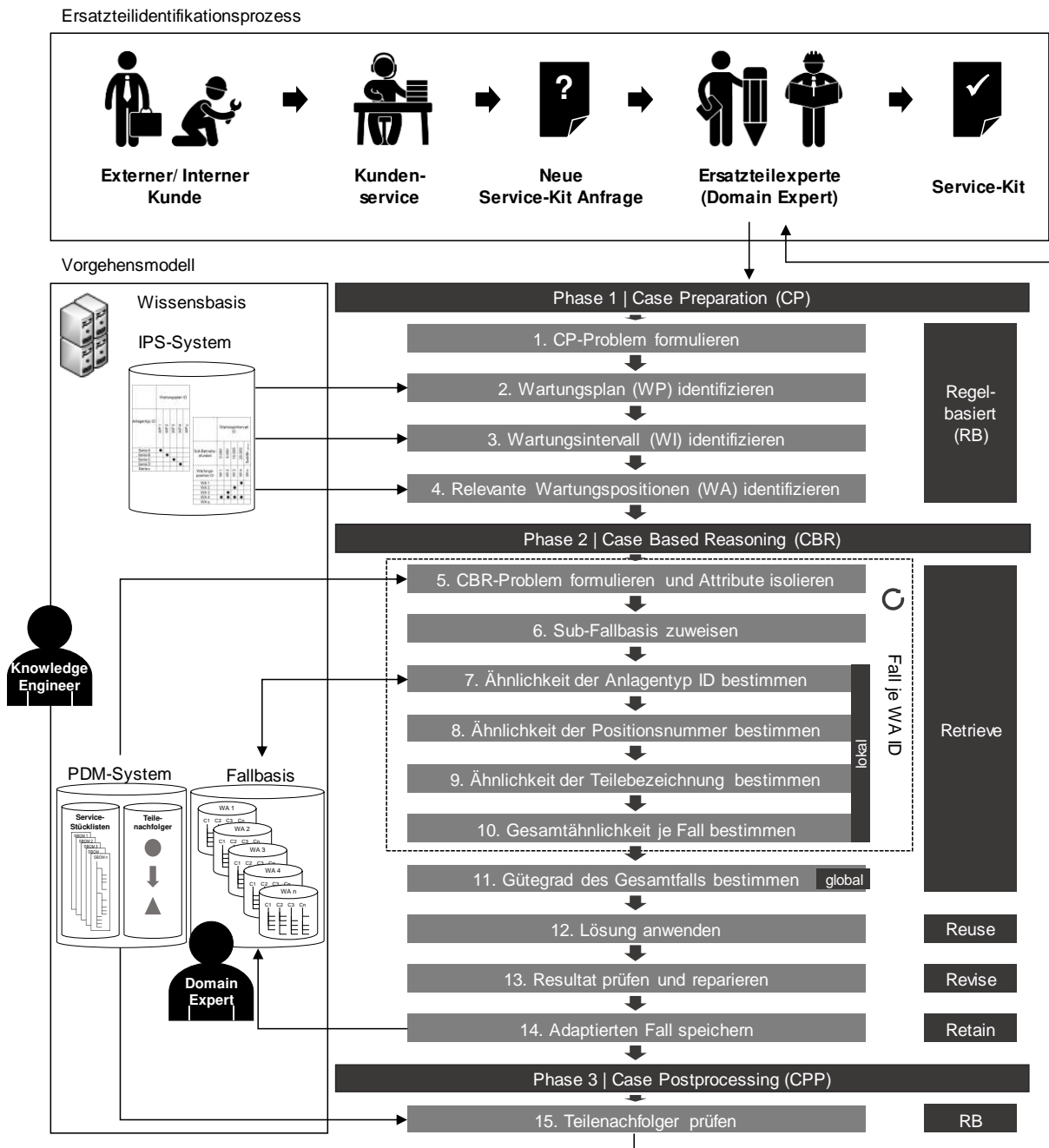


Abbildung 35: Detailaufbau und Ablauf des CBR-Systems in Anlehnung an (Riester et al. 2020)

## 5.2 Fallbestandteile

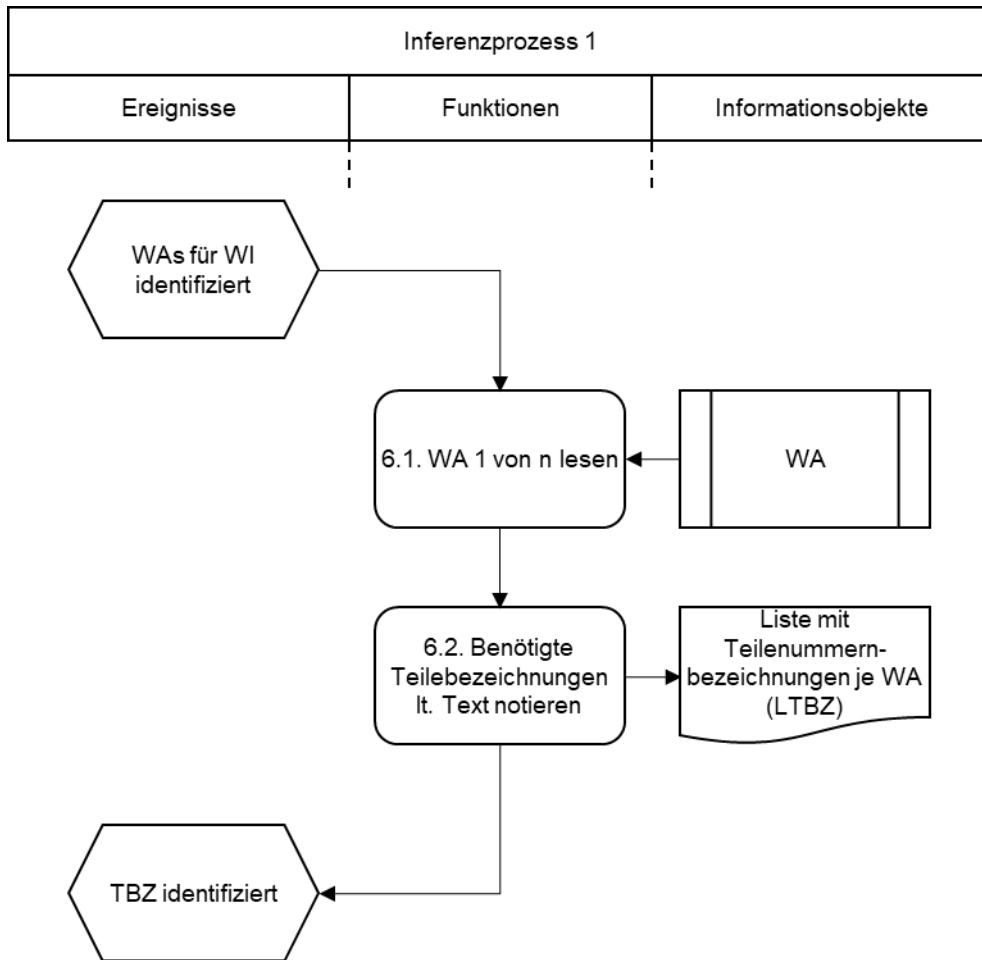
Die Definition der Fallbestandteile setzt eine formale Beschreibung des in den Fällen zu hinterlegenden Expertenwissens auf der Darstellungsebene voraus. Für die Extraktion des Expertenwissens der „Domain Experts“ wird der zuvor beschriebene „Reminding-Approach“ (vgl. Punkt 3.2.4) verwendet. Dieser wird anhand der bereits erfolgten Beschreibung des Ersatzteilidentifikationsprozesses (vgl. Punkt 1.2.2) sowie einer weiteren Detaillierung des Ist-Prozesses, im Speziellen der Inferenzprozesse IP 1 und IP

2, umgesetzt. Ziel ist die Beschreibung der Fallstruktur sowie der Denkweisen und des Expertenwissens, welche für die Bestimmung von Fallmerkmalen (Attributen) und deren Ähnlichkeiten zwischen einzelnen Fällen genutzt wird. Basierend hierauf werden geeignete Attribut-Wert-Paare abgeleitet, welche die Fallbestandteile „Problemdarstellung“ und „Lösungsdarstellung“ charakterisieren. Durch diese Vorgehensweise wird sichergestellt, dass sich die Falldarstellung an dem Verständnis und Vokabular des Benutzers orientiert. Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen EPK-Prozessdarstellungen der Inferenzprozesse 1 (IP 1) und 2 (IP 2) in einer höheren Granularität.

### 5.2.1 Detailbeschreibung der Inferenzprozesse

Eine Erläuterung des Ersatzteilidentifikationsprozesses ist Punkt 1.2.3 zu entnehmen. Nachstehend wird lediglich auf die Detailbeschreibung der Inferenzprozesse eingegangen. Die Prozessdarstellungen von IP 1 und IP 2 zeigen, dass die Lösungsableitung in mehreren Teilschritten erfolgt. Zunächst wird die Wartungspositionsdokumentation analysiert und die darin beschriebenen und für eine Wartungsposition benötigten Teilebezeichnungen notiert (vgl. Teilschritte 6.1. und 6.2.). In den folgenden Teilschritten des IP 2 wird zunächst eine der notierten Teilebezeichnungen selektiert und die entsprechende Teilebezeichnung in der vorliegenden Service-Stückliste gesucht. Hierfür nutzt der Experte implizit die Baumstruktur der Strukturstückliste. Ist die Teilebezeichnung in der Gesamtstückliste mehrmals enthalten, weiß der Experte aufgrund seiner Erfahrung und seines technischen Expertenwissens in welcher Baugruppe sich die gesuchte Teilebezeichnung befinden sollte. Er identifiziert bei diesem Vorgang daher implizit die korrekte Positionsnummer einer Teilebezeichnung in der Servicestückliste. Die Identifikation des korrekten Teils wird durch einen Abgleich der gesuchten Teilebezeichnung aus der Wartungspositionsdokumentation mit der Teilebezeichnung in der Service-Stückliste abgesichert (vgl. Teilschritt 7.4.). Wurde die korrekte Teilebezeichnung in der Service-Stückliste identifiziert, wird die Teilenummer notiert, welche neben der identifizierten Teilebezeichnung in der Service-Stückliste angeführt ist (vgl. Teilschritt 7.5.).

Wie in Punkt 4.1.1. erläutert, verläuft die Identifikation zusätzlicher Peripherie-Teile in IP 3 analog zu IP 2. Die einzige Abweichung besteht dahingehend, dass die benötigten Teilebezeichnungen nicht den Wartungspositionsdokumentationen zu entnehmen sind, sondern ausschließlich aus dem Erfahrungswissen des Experten resultieren. Die zuvor erläuterten Teilschritte werden für alle relevanten Wartungsposition IDs aus Phase 1 durchlaufen.



**Abbildung 36: Detaildarstellung Inferenzprozess 1 (eigene Darstellung)**

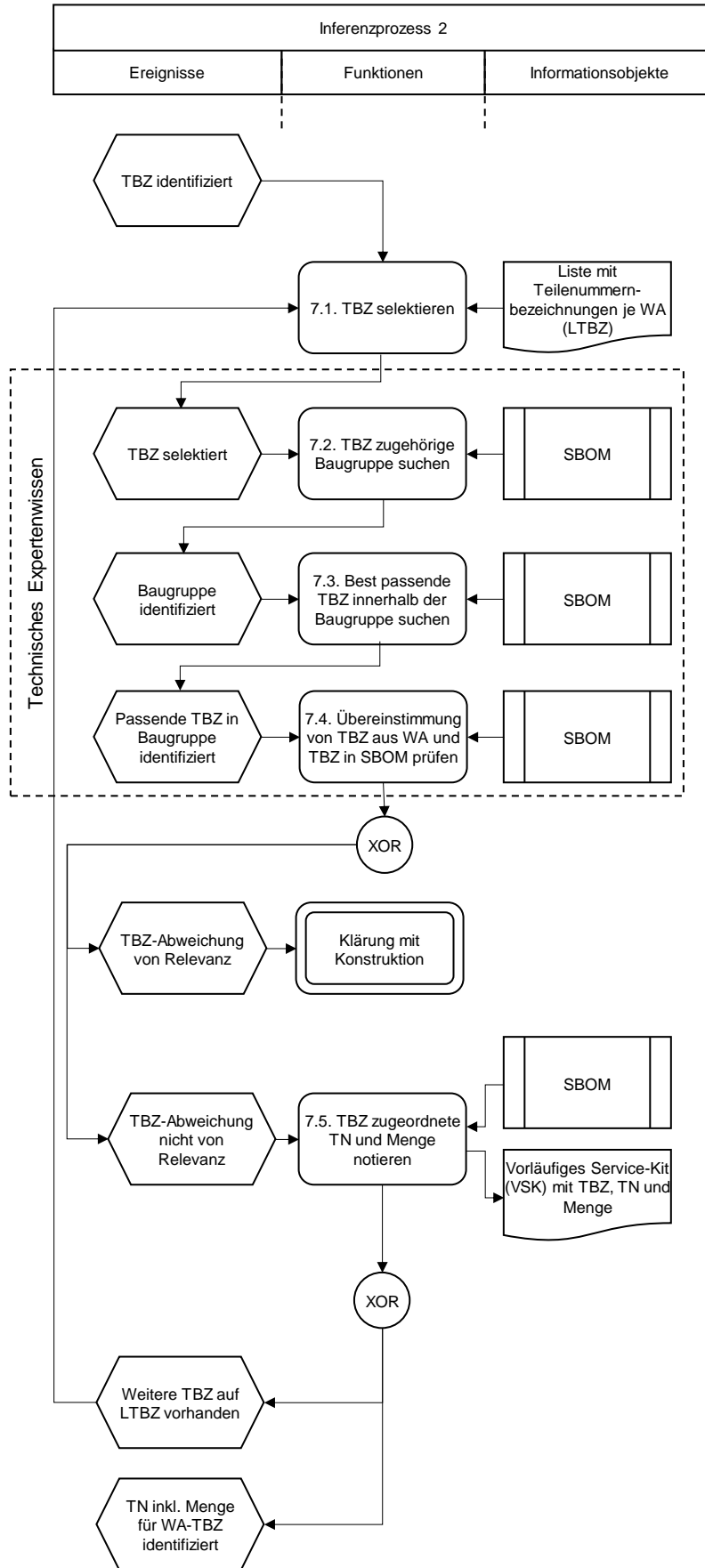


Abbildung 37: Detaildarstellung Inferenzprozess 2 (eigene Darstellung)

## 5.2.2 Expertenaufgaben

Basierend auf der Prozessbeschreibung unter Punkt 1.2.2 und der vorangegangenen Detailprozessbeschreibung kann abgeleitet werden, dass der Ersatzteilexperte formal folgende Aufgabenstellungen je Phase beantwortet:

### Phase 1

*(1) Welche Wartungsposition IDs sind für die vorliegende Service-Anfrage von Relevanz?*

### Phase 2

*(2) Welche Teilnummern von welchen Positionsnummern der Service-Stückliste werden für die Durchführung der benötigten Wartungsposition IDs in welcher Menge benötigt?*

*(3) Welche Teilnummern von welchen Positionsnummern der Service-Stückliste und in welcher Menge werden zusätzlich zu den Vorgaben der Wartungspositionsdokumentation je Wartungsposition ID benötigt, um die Wartung erfolgreich durchführen zu können?*

*(4) Entsprechen die auf den identifizierten Positionsnummern der Service-Stückliste angeführten Teilebezeichnungen den geforderten Teilebezeichnungen aus der vorliegenden Wartungspositionsdokumentation?*

### Phase 3

*(5) Existieren Nachfolgerteilenummern für die sich auf den identifizierten Positionsnummern in der Service-Stückliste befindlichen Teilenummern?*

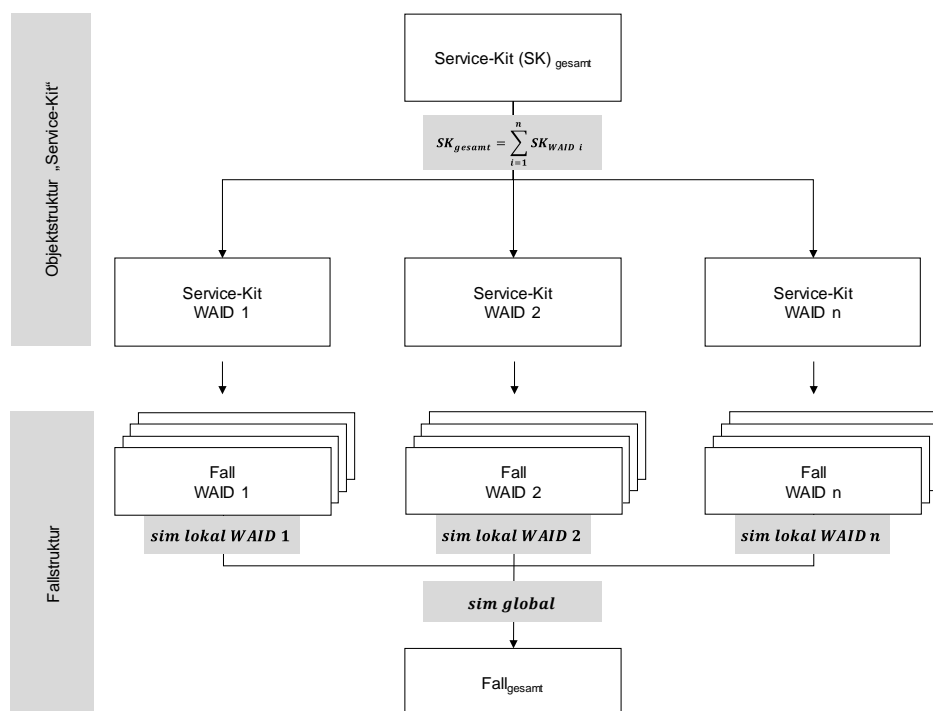
Die dargestellten Aufgaben sollen durch das zu entwickelnde Vorgehensmodell gelöst werden. Die formulierten Expertenaufgaben dienen, in Kombination mit den Prozessanalysen, in weiterer Folge der Definition der Fallstruktur und -bestandteile.

## 5.2.3 Fallstruktur nach dem „Lokal-Global Prinzip“

Der Prozessdarstellung ist zu entnehmen, dass das Zielobjekt „Vollumfängliches Service-Kit“ in mehreren Teilschritten erstellt wird. Hierfür identifiziert der Experte zunächst alle benötigten Informationen und schlüsselt die gesamte Service-Anfrage in die benötigten, aber zunächst unbekannt, Wartungsposition IDs auf. Dies entspricht im Sinne des Lokal-Global Prinzips (vgl. Punkt 2.5.4) der Aufgabe „Dekomposition“.

Diese Aufgabe wird im vorliegenden CBR-Ansatz in Phase 1 „Case Preparation“ durchgeführt. Der Vorgang erfolgt regelbasiert mit Hilfe von allgemeinem Domain-Wissen in Form von Informationen aus dem angeschlossenen IPS-System (vgl. Abbildung 35). Die Fallbasis wird in Phase 1 jedoch nicht herangezogen.

In Phase 2 folgt der eigentliche Schließprozess des CBR-Systems. Hier identifiziert der Experte für jede Wartungsposition ID die benötigten Ersatzteilnummern unter Einbringung seines Erfahrungswissens aus vergangenen Fällen und führt die Service-Kits je Wartungsposition ID in einem übergeordneten, zuvor unbekanntem, Gesamt-Service-Kit zusammen. Dies entspricht im Sinne des Lokal-Global Prinzips (vgl. Punkt 2.5.4) der Aufgabe „Synthese“. Diese Aufgabe wird im vorliegenden CBR-System in Phase 2 verrichtet. Für die Durchführung des Schließprozesses wird die Fallbasis herangezogen (vgl. Abbildung 35).



**Abbildung 38: Fallstruktur nach Lokal-Global-Prinzip (eigene Darstellung)**

In Phase 3 erfolgt eine Validierung der Anwendungsergebnisse aller empfohlenen Fälle aus den einzelnen Schließprozessen je Wartungsposition ID (WAID). Dies ist weder Teil der Aufgabe „Dekomposition“ noch der Aufgabe „Synthese“. Es entspricht lediglich einer Datenbankabfrage. Daher ist Phase 3 bei der Beschreibung der Fallstruktur nicht weiter zu berücksichtigen. Die Fallbasis wird in Phase 3 nicht herangezogen.



Abgeleitet aus den vorangegangenen Ausführungen lässt sich für den Aufbau des CBR-Ansatzes das „Lokal-Global Prinzip“ zur Anwendung bringen. Das „Gesamt-Service-Kit“ gliedert sich in mehrere „Service-Kits je WAID“ (vgl. Abbildung 38). Letztere werden in separaten CBR-Prozessen ermittelt. Zunächst werden die bestpassendsten Fälle je Wartungsposition ID auf Basis eines Ähnlichkeitsmaßes (engl. similarity measure) ermittelt. Das globale Ähnlichkeitsmaß setzt sich in weiterer Folge aus den lokalen Ähnlichkeitsmaßen der Fälle je Wartungsposition ID zusammen. Analog ergibt sich aus den Lösungen der einzelnen Fälle je Wartungsposition ID die finale Gesamtlösung.

Für die vorliegende Arbeit ist die Fallstruktur daher wie in Abbildung 38 definiert. Nachstehend wird auf die Bestandteile und Attribute der lokalen Fälle eingegangen.

#### 5.2.4 Attributableitung für die Problemdarstellung

Aufbauend auf der Fallstruktur erfolgt nachstehend die Herleitung der Attribut-Wert-Paare für die formale Beschreibung der Problemdarstellung. Diese gliedert sich in drei Deskriptorengruppen (vgl. Abbildung 39). Die Attribute der Problemdarstellung dienen als Indizes für den Abgleich der Ähnlichkeit eines Falls mit neuen Problemsituationen. Eine Übersicht der Fallbestandteile sowie der Attributbezeichnungen und Variablen können der Abbildung 39 und Tabelle 10 entnommen werden. Ergänzend zu den nachfolgenden Ausführungen sind im Anhang A.3 für ein holistisches Verständnis entsprechende Beispiele je Attribut angeführt.

##### **Attribut „Wartungsposition ID“**

Den vorangegangenen Ausführungen ist zu entnehmen, dass die Herausforderung in der Definition der benötigten Wartungsposition IDs und deren einzelner Teilenummern besteht. Das Attribut Wartungsposition ID *WAID* ist daher ein Teil der Problemdarstellung. Der Wert des Attributs wird mit dem Datentyp „String“ beschrieben. Dieser enthält die exakte Wartungspositionsbezeichnung.

##### **Attribut „Anlagentyp ID“**

Für eine *WAID* kann eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungsmöglichkeiten (Fälle) existieren. D. h. eine benötigte Teilenummer kann bei unterschiedlichen Anlagen auf divergierenden Positionsnummern verortet sein. Ursachen hierfür sind u. a.: Baugruppenvarianten, die individuelle Entscheidung des verantwortlichen Konstrukteurs oder auch die Gültigkeit einer generischen Wartungspositionsdokumentation über mehrere Anlagentypen hinweg. Für die Dezimierung der zu prüfenden Anzahl an Fällen im Rah-

men einer Abfrage wird das Attribut Anlagentyp ID  $ATID$  in die Problemdarstellung aufgenommen. Der Wert des Attributs wird ebenfalls mit dem Datentyp „String“ beschrieben. Dieser enthält die exakte Anlagentypbezeichnung. Dieses Attribut trägt zur Leistungserhöhung des CBR-Systems und folglich zur Minimierung der Teileidentifikationszeiten bei.

|   | Case   Allgemein                                      |                             |   | Case   Beispiel                                       |                |
|---|---|-----------------------------|---|---|----------------|
| Problem   | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«           |                             |   | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«           |                |
|   | Attribut  | Attributsanzahl             | Wert (Datentyp)   | Attribut  | Wert           |
|   | WAID  | fix (1x)                    | String  | WA ID   | WAID 2         |
|   | ATID  | fix (1x)                    | String  | ATID  | Serie A        |
|   | Typ <sub>AT ID</sub>                                  | fix (1x)                    | Boolean   | Typ <sub>Serie A</sub>                                | 1              |
|   | Deskriptorengruppe 2<br>»Fall-Indizes   Position (P)« |                             |   | Deskriptorengruppe 2<br>»Fall-Indizes   Position (P)« |                |
| Attribut  | Attributsanzahl                                       | Wert (Datentyp)             | Attribut  | Wert  |                |
| P <sub>i</sub>  | variabel  | Boolean                     | P <sub>10-30-20</sub>   | 1   |                |
|   |   |                             | P <sub>10-30-30</sub>   | 1   |                |
| Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« |   |                             | Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« |   |                |
| Attribut  | Attributsanzahl                                       | Wert (Datentyp)             | Attribut  | Wert  |                |
| TBZ <sub>i</sub>  | variabel  | String                      | TBZ <sub>10-30-20</sub>   | Motorölpumpe  |                |
|   |   |                             | TBZ <sub>10-30-30</sub>   | O-Ring  |                |
| Lösung  | Deskriptorengruppe 4<br>»Teilenummern (TN)«           |                             |   | Deskriptorengruppe 4<br>»Teilenummern (TN)«           |                |
|   | Attribut  | Attributsanzahl             | Wert (Datentyp)   | Attribut  | Wert           |
|   | f <sub>TBZi</sub>                                     | variabel                    | TN <sub>i</sub> als String                                      | f <sub>Motorölpumpe</sub>                             | 1011           |
|   |   |                             |   | f <sub>O-ring</sub>                                   | 1012           |
|   | Deskriptorengruppe 5<br>»Stückzahlen (STK)«           |                             |   | Deskriptorengruppe 5<br>»Stückzahlen (STK)«           |                |
| Attribut  | Attributsanzahl                                       | Wert (Datentyp)             | Attribut  | Wert  |                |
| m <sub>TBZi</sub>   | variabel  | STK <sub>i</sub> als Double | m <sub>Motorölpumpe</sub>                                       | 1   |                |
|   |   |                             | m <sub>O-ring</sub>   | 1   |                |
| Kontext   | Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation«           |                             |   | Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation«           |                |
|   | Attribut  | Attributsanzahl             | Wert (Datentyp)   | Attribut  | Wert           |
|   | Ist-Bh  | fix (1x)                    | String  | Ist-Bh  | 9.890          |
|   | AID   | fix (1x)                    | String  | AID   | A1990          |
|   | FED   | fix (1x)                    | String  | FED   | 27.11.2019     |
|   | FID   | fix (1x)                    | String  | FID   | 1200           |
|   | UID   | fix (1x)                    | String  | UID   | Max Mustermann |

Abbildung 39: Fallbestandteile (eigene Darstellung)

### Attribut „Typ<sub>Anlagentyp ID</sub>“

Das Attribut Typ<sub>Anlagentyp ID</sub>  $Typ_{ATID}$  wird von dem vorherigen Attribut  $ATID$  abgeleitet. Die Attributbezeichnung enthält den Wert (String) des Attributs  $ATID$  und wird mit dem Datentyp „Boolean“ beschrieben. Für  $Typ_{ATID}$  gilt stets  $Typ_{ATID} = 1$  (d. h. Attribut = vorhanden). Die Umwandlung des semantischen String-Werts in einen numerischen Boolean-Wert erfolgt aus technischen Gründen. Hierdurch werden der Ähnlichkeitsabgleich und die datentechnische Verarbeitung beschleunigt.

Sowohl das Attribut *WAID* als auch die Attribute *ATID* und *Typ<sub>ATID</sub>* sind Bestandteile der Deskriptorengruppe 1 (vgl. Abbildung 39)<sup>11</sup>. Sie werden in der vorliegenden Arbeit als Fallbasis-Indizes bezeichnet, da diese Attribute eine eindeutige Aussage bzgl. der Eignung eines Falls für eine vorliegende Problemstellung zulassen. Die zu prüfenden Fälle der Fallbasis lassen sich somit eingrenzen. In einer Fallbeschreibung können diese Attribut-Wert-Paare jeweils nur einmal vorkommen.

**Tabelle 10: Attribute und Variablen der Fallbestandteile (eigene Darstellung)**

| Fallbestandteil | Attributbezeichnung                                     | Abkürzung                          |
|-----------------|---|------------------------------------|
| Problem         | <i>Wartungsposition ID</i>                              | <i>WAID</i>                        |
|                 | <i>Anlagentyp ID</i>                                    | <i>ATID</i>                        |
|                 | <i>Typ<sub>Anlagentyp ID</sub></i>                      | <i>Typ<sub>ATID</sub></i>          |
|                 | <i>Positionsnummer</i>                                  | <i>i</i>                           |
|                 | <i>Position</i>   | <i>P<sub>i</sub></i>               |
|                 | <i>Teilebezeichnung der Positionsnummer i</i>           | <i>TBZ<sub>i</sub></i>             |
| Lösung          | <i>Teilenummer der Teilebezeichnung TBZ<sub>i</sub></i> | <i>f<sub>TBZ<sub>i</sub></sub></i> |
|                 | <i>Teilenummer der Positionsnummer i</i>                | <i>TN<sub>i</sub></i>              |
|                 | <i>Stückzahl der Teilebezeichnung TBZ<sub>i</sub></i>   | <i>m<sub>TBZ<sub>i</sub></sub></i> |
|                 | <i>Stückzahl der Positionsnummer i</i>                  | <i>STK<sub>i</sub></i>             |
| Kontext         | <i>Ist-Betriebsstunden</i>                              | <i>Ist-Bh</i>                      |
|                 | <i>Anlagen ID</i>                                       | <i>AID</i>                         |
|                 | <i>Fallerstellungsdatum</i>                             | <i>FED</i>                         |
|                 | <i>Fall ID</i>  | <i>FID</i>                         |
|                 | <i>Autor ID</i>   | <i>UID</i>                         |

### Attribute „Position“ und „Positionsnummer“

Auf Basis der Detailprozessanalyse sowie den resultierenden Expertenaufgaben lässt sich ableiten, dass das entscheidende Expertenwissen nicht die Kenntnis hinsichtlich der korrekten und benötigten Ersatzteilnummern darstellt, sondern aus der Anlagenkenntnis des Experten besteht. Mit Hilfe dieses Expertenwissens werden die Positionen in der Service-Strukturstückliste identifiziert, von der die benötigten Teilenummern abzulesen sind. Folglich muss im Zuge des Abgleichs eines gespeicherten Falls mit einer vorliegenden Problemstellung eine Prüfung erfolgen, ob eine benötigte Position sowohl im Fall als auch in der vorliegenden Problemstellung enthalten ist. Das Attribut Position  $P_i$  ist daher ein Teil der Problemdarstellung eines Falls.

Das Attribut  $P_i$  weist eine direkte Abhängigkeit von dem Attribut Positionsnummer  $i$  auf. Sämtliche Positionsnummern eines Falls sowie eines vorliegenden Abfrageproblems

<sup>11</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Attribute können dem Anhang A.3 entnommen werden.

bilden die Indexmenge  $I$ . Die Positionsnummer bildet sich aus der Verkettung der lokalen Positionsnummern der einzelnen Stücklistenstufen eines Teils (vgl. Abbildung 21 und Abbildung 40). Die einzelnen Positionsnummern werden in PDM-Systemen als ID für die Verortung eines Teils in einer Stücklistenebene vergeben. Der Wert des Attributs  $P_i$  ist als Datentyp „Boolean“ definiert. Das Attribut  $P_i$  ist genau dann 1, wenn die Positionsnummer  $i$  in einem Fall oder Abfrageproblem existent ist. Bezogen auf einen Fall bedeutet dies, dass das Teil dieser Position für die Durchführung der zugehörigen Wartungsposition benötigt wird. Hierdurch werden ebenfalls ein schnellerer Ähnlichkeitsabgleich sowie eine datentechnische Verarbeitung ermöglicht. Der beschriebene Zusammenhang wird mit folgender Gleichung ausgedrückt:

**Formel 1: Positionsgleichung<sup>12</sup>**

$$P_i = \begin{cases} 1, & \text{falls Positionsnummer } i \text{ in Fall oder Abfrageproblem vorkommt} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$$i \in I$$

*I ... Menge aller Positionsnummern*

Diese Attribut-Wert-Paare werden in Abbildung 39 in der „Deskriptorengruppe 2“ angeführt. Abhängig vom Teileumfang einer Wartungsposition kann die Anzahl der Attribut-Wert-Paare in dieser Deskriptorengruppe variieren.

**Attribut „Teilebezeichnung“**

Als weiteres Attribut der Problemdarstellung lässt sich die Teilebezeichnung  $TBZ_i$  definieren. Die Prozessanalyse zeigt, dass der Experte einen Abgleich der Teilebezeichnung einer benötigten Positionsnummer der Service-Stückliste und der Teilebezeichnung einer Wartungsposition vornimmt, um die Übereinstimmung der Teile sicherzustellen. Folglich muss ein entsprechender Mechanismus in den Retrieval-Prozess des CBR-Ansatzes integriert werden. Analog zum vorherigen Attribut weist daher auch die Teilebezeichnung einen Bezug zum Attribut Positionsnummer  $i$  auf. Der Wert des Attributs wird durch den Datentyp „String“ angegeben. Diese Attribut-Wert-Paare werden in Abbildung 39 als „Deskriptorengruppe 3“ angeführt. Die Anzahl der Attribut-Wert-Paare dieser Deskriptorengruppe korreliert aufgrund ihrer direkten Abhängigkeit mit der Anzahl Attribut-Wert-Paare der Deskriptorengruppe 2.

---

<sup>12</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Attribute können dem Anhang A.3 entnommen werden.

Mit den abgeleiteten Deskriptorengruppen 1, 2 und 3 ist die Problemdarstellung eines Falls vollständig beschrieben.

### 5.2.5 Attributableitung für die Lösungsdarstellung

Analog zur Attributableitung der Problemdarstellung, erfolgt nachstehend die Definition relevanter Attribute für die Lösungsdarstellung. Diese gliedert sich in zwei Deskriptorengruppen (vgl. Abbildung 39). Wurde ein Fall nach der Ähnlichkeitsprüfung als „bestpassender“ identifiziert, repräsentieren diese Attribute den Lösungsvorschlag. Eine Übersicht der Fallbestandteile sowie der Attributbezeichnungen und Variablen können der Abbildung 39 und Tabelle 10 entnommen werden. Ergänzend zu den nachfolgenden Ausführungen sind im Anhang A.3 entsprechende Beispiele je Attribut für ein holistisches Verständnis angeführt.

#### Attribut „Teilenummer“

Den Prozessbeschreibungen ist zu entnehmen, dass der Experte nach Identifikation der korrekten Position und einem positiven Abgleich der Teilebezeichnungen, die in der Service-Strukturstückliste angeführte Teilenummer, welche der Positionsnummer und der Teilebezeichnung zugeordnet ist, als Lösungsmerkmal notiert. Demzufolge wird das Attribut Teilenummer der Teilebezeichnung  $f_{TBZ_i}$  in die formale Lösungsbeschreibung aufgenommen. Die Prozesserläuterungen sowie die Expertenaufgaben 2 und 3 (vgl. Punkt 5.2.2) zeigen, dass die Lösung nicht aus einem absoluten Wert besteht, sondern aus dem Wissen von welcher Positionsnummer  $i$  in der Stückliste die benötigte Teilenummer abzulesen ist. Folglich wird der Wert des Attributs  $f_{TBZ_i}$  als weitere Variable Teilenummer  $TN_i$  definiert. Sowohl  $f_{TBZ_i}$  als auch  $TN_i$  weisen eine Abhängigkeit zur Positionsnummer  $i$  auf. Der beschriebene Zusammenhang wird mit folgender Gleichung ausgedrückt:

#### Formel 2: Teilenummergleichung<sup>13</sup>

$$f_{TBZ_i} = TN_i$$

$$i \in I$$

*I ... Menge aller Positionsnummern*

*f<sub>TBZ<sub>i</sub></sub>* ... Teilenummer der Teilebezeichnung TBZ<sub>i</sub>

---

<sup>13</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Attribute können dem Anhang A.3 entnommen werden.

$TBZ_i$  ... *Teilebezeichnung der Positionsnummer  $i$*

$TN_i$  ... *Teilenummer der Positionsnummer  $i$*

Dem Wert des Attributs wird der Datentyp „String“ zugewiesen. Die Attribut-Wert-Paare werden in Abbildung 39 in der „Deskriptorengruppe 4“ angeführt. Die Anzahl der Attribut-Wert-Paare dieser Deskriptorengruppe korreliert aufgrund ihrer direkten Abhängigkeit mit der Anzahl Attribut-Wert-Paare der Deskriptorengruppe 2.

### Attribut „Stückzahl“

Analog zum vorherigen Attribut notiert sich der Experte neben der benötigten Teilenummer auch die benötigte Stückzahl basierend auf den Angaben der Service-Strukturstückliste. Folgerichtig wird daher auch das Attribut Stückzahl der Teilebezeichnung  $m_{TBZ_i}$  in die formale Lösungsbeschreibung integriert. Aus den vorherigen Ausführungen (vgl. Punkte 5.2.1 und 5.2.2) lässt sich ableiten, dass auch die Lösung für die Stückzahl nicht aus einem absoluten Wert besteht, sondern ebenfalls aus einer Vorgabe von welcher Positionsnummer  $i$  in der Stückliste die benötigte Stückzahl  $STK_i$  abzulesen ist. Den Bezug zur Positionsnummer  $i$  weisen daher sowohl die Attributs- als auch die Wert-Variable auf. Gemäß der Formalvorgaben der Strukturstücklisten-darstellung (vgl. Punkt 2.3.3) setzt sich die Gesamtstückzahl aus der Multiplikation der angegebenen Stückzahl je Strukturstücklistenstufe zusammen. Der beschriebene Zusammenhang wird mit folgender Gleichung ausgedrückt:

#### Formel 3: Stückzahlgleichung<sup>14</sup>

$$m_{TBZ_i} = STK_i = \prod_{k \in K_i} STK_k$$

$i \in I$

$I$  ... *Menge aller Positionsnummern*

$K_i$  ... *Menge aller Subpositionsnummern der Positionsnummer  $i \in I$*

$STK_k$  ... *Stueckzahl der Subpositionsnummer  $k$*

$m_{TBZ_i}$  ... *Stueckzahl der Teilebezeichnung  $TBZ_i$*

$TBZ_i$  ... *Teilebezeichnung der Positionsnummer  $i$*

$STK_i$  ... *Stueckzahl der Positionsnummer  $i$*

---

<sup>14</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Attribute können dem Anhang A.3 entnommen werden.

Dem Wert des Attributs wird der Datentyp „Double“ zugewiesen. Die Attribut-Wert-Paare werden in Abbildung 39 in der „Deskriptorengruppe 5“ angeführt. Die Anzahl der Attribut-Wert-Paare dieser Deskriptorengruppe korreliert aufgrund ihrer direkten Abhängigkeit mit der Anzahl Attribut-Wert-Paare der Deskriptorengruppe 2. Mit den abgeleiteten Deskriptorengruppen 4 und 5 ist die Lösungsdarstellung eines Falls vollständig beschrieben.

### 5.2.6 Attributableitung für weitere Rahmeninformationen

Der Fallbeschreibung werden weitere Attribut-Wert-Paare hinzugefügt. Diese sind weder Teil der Lösungsdarstellung noch Teil der Problemdarstellung. Sie dienen lediglich als Rahmeninformation.

- *AID ... Anlagen ID*: Anlage für die der vorliegende Fall generiert wurde.
- *Ist – Bh ... Ist – Betriebsstunden*: Anzahl der Betriebsstunden der Anlage zum Zeitpunkt der Fall-Generierung.
- *FED ... Fallerstellungsdatum*: Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Falls.
- *FID ... Fall ID*: Fortlaufende Fallnummerierung zur eindeutigen Identifikation.
- *UID ... Autor ID*: ID des Autors, der den Fall dem CBR-System hinzugefügt hat.

Die oben angeführten Deskriptoren<sup>15</sup> dienen zur Nachvollziehbarkeit der Fallentstehung sowie langfristig für die Instandhaltung und Pflege der Fallbasis. Wird beispielsweise eine *WAID* für eine Anlagenserie zu einem bestimmten Stichtag neu eingeführt oder die Inhalte der alten Version erweitert, können mit Hilfe der Kontextdeskriptoren alle alten und somit obsoleten Fälle aus der Fallbasis gelöscht werden. Die Anzahl der zu prüfenden Fälle kann hierdurch reduziert und die Leistung des CBR-Systems erhöht werden. Die Werte der jeweiligen Attribute werden mit dem Datentyp „String“ definiert. Die angeführten Attribut-Wert-Paare können in einer Fallbeschreibung jeweils nur einmal vorkommen. Sie werden in Abbildung 39 als Deskriptorengruppe 6 angeführt.

---

<sup>15</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Attribute können dem Anhang A.3 entnommen werden.





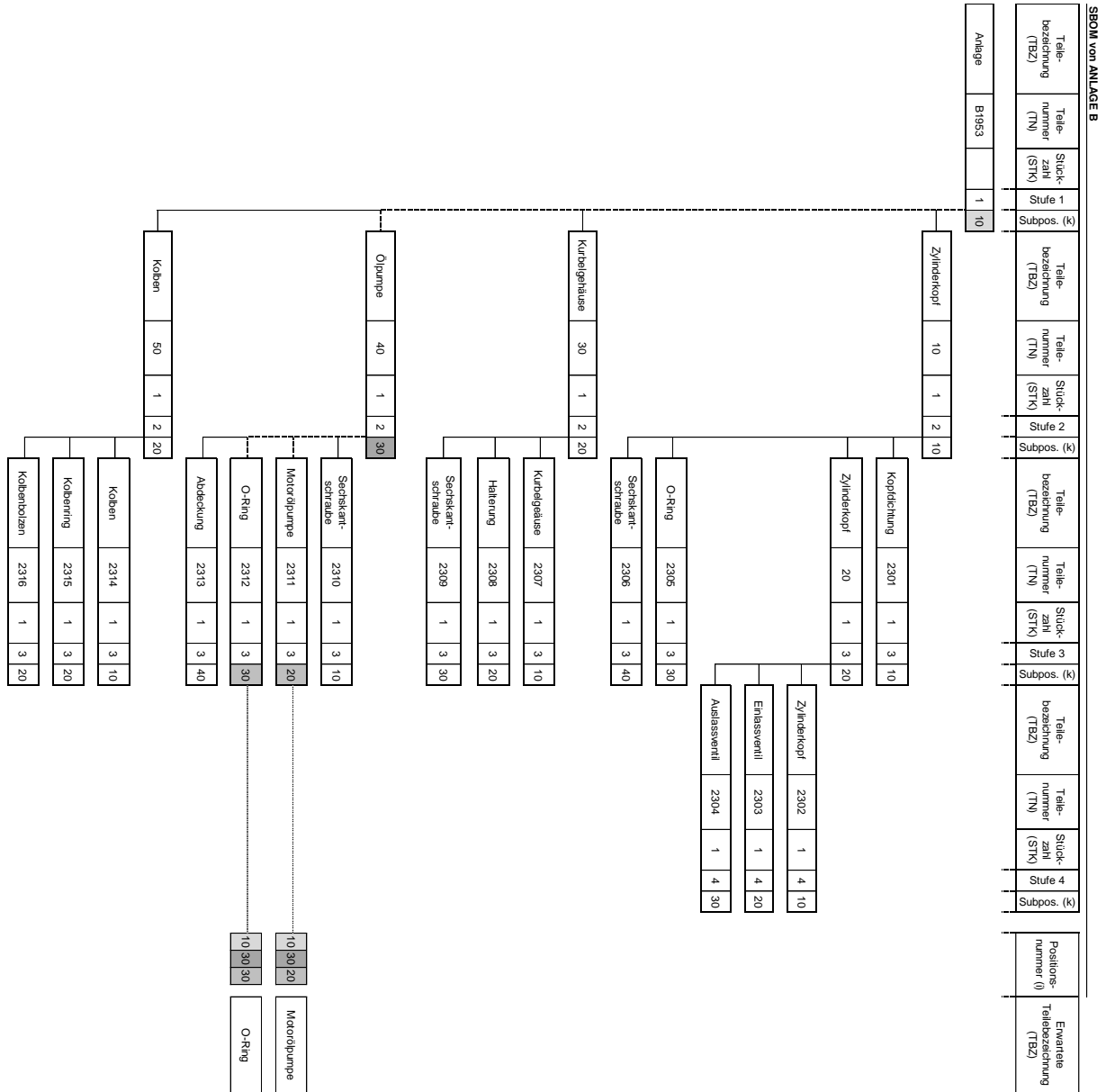
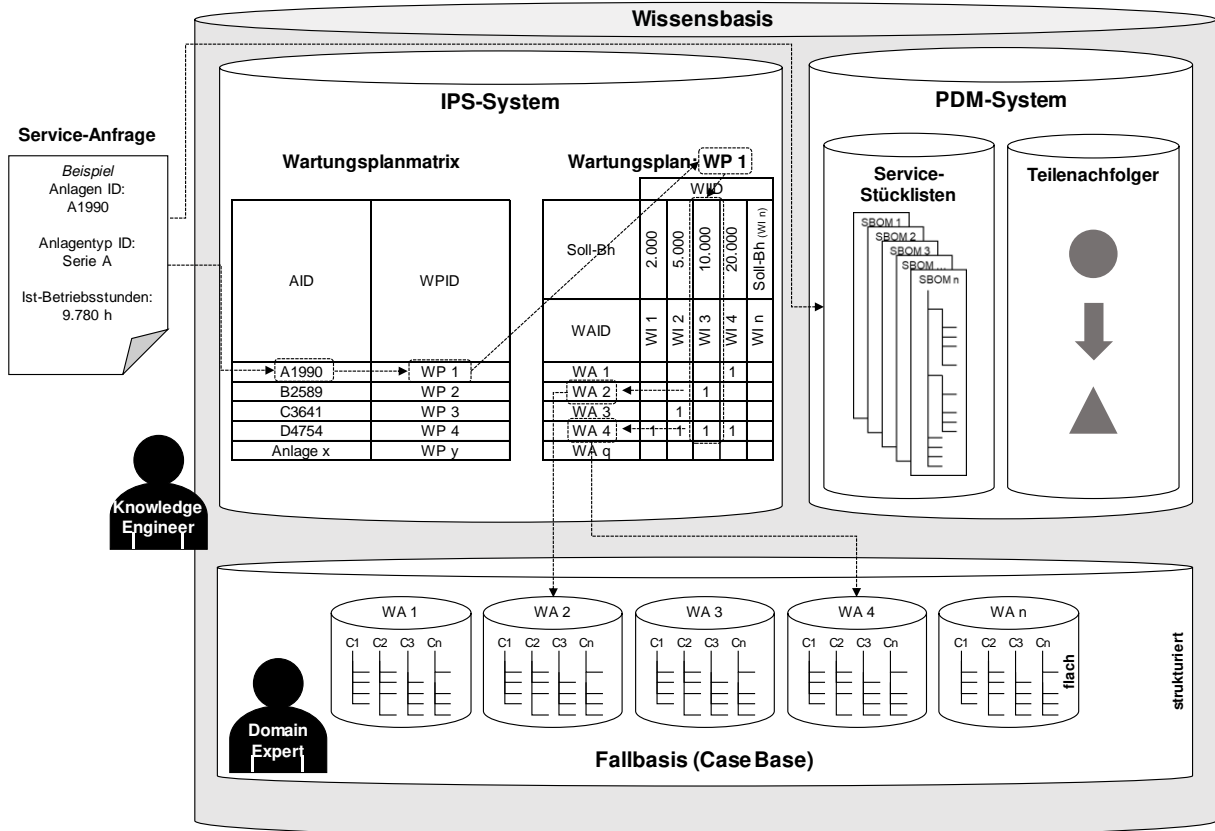


Abbildung 41: Attributableitung Lösungsdarstellung 2/2 (eigene Darstellung)

### 5.3 Struktur der Wissens- und Fallbasis

Nachdem die Bestandteile eines Falls formal beschrieben wurden, gilt es in weiterer Folge die Struktur der Wissensbasis sowie der Fallbasis zu definieren. Die Wissensbasis setzt sich aus dem PDM-System, dem IPS-System und der eigentlichen Fallbasis des CBR-Systems zusammen (vgl. Abbildung 35 und Abbildung 42). Das PDM-System dient zur Bereitstellung der Stücklisten einer spezifischen Anlage, welche in Phase 2 des CBR-Systems für die Problemformulierung sowie in weiterer Folge für den Abgleich mit vorhandenen Fällen benötigt wird. Darüber hinaus beinhaltet das System Informationen für Teilnachfolgeregelungen, welche in Phase 3 für die Validierung des sich aus dem CBR-Ansatz ergebenden „Vorläufigen Service-Kit (VSK)“ herangezogen werden. Das IPS-System beinhaltet Wartungspläne sowie Informationen hinsichtlich deren Gültigkeit für einzelne *ATIDs*. Diese Informationen werden in Phase 1 zur Herleitung der relevanten *WAIDs* benötigt. Die Fallbasis enthält vergangene Fälle, welche in Phase 2 für den Schließprozess herangezogen werden. Wie die vorherigen Ausführungen zeigen, setzt sich die Gesamtlösung aus mehreren Einzelfällen zusammen. Daher ist für die vorliegende Arbeit die „strukturierte“ Organisation der Fallbasis von Relevanz (vgl. Punkt 2.5.5). Diese Struktur orientiert sich hierbei an der zuvor erläuterten Fallstruktur und erfolgt nach *WAIDs*. Für jede *WAID* existiert eine separate Sub-Fallbasis, in dem die Fälle für die jeweilige *WAID* enthalten sind. Innerhalb einer Sub-Fallbasis erfolgt keine weitere Strukturierung, d. h. die Organisation ist „flach“. Ist für eine Problemstellung eine Lösung aus einer dieser Sub-Fallbasen erforderlich, werden alle darin enthaltenen Lösungen einem Vergleich unterzogen. Die Bestpassendste wird ausgewählt. Die Trennung der Fälle und Sub-Speicher bietet den Vorteil, dass nach erfolgter Identifikation der relevanten *WAIDs* in Phase 1 mehrere Datenbanken parallel nach bestpassenden Fällen durchsucht werden können. Die formale Beschreibung, die systemtechnische Strukturierung sowie die Verknüpfung des in der Wissensbasis enthaltenen Wissens wird durch einen Wissensingenieur (engl. knowledge engineer) sichergestellt. Die Bereitstellung und laufende Integration des Expertenwissens für die Fälle der Fallbasis erfolgen durch entsprechende Domain Experten (Ersatzteilexperten). Nachdem die Fallstruktur und der Aufbau der Wissensbasis definiert wurden, folgt nachstehend die Erläuterung der einzelnen Schritte des entwickelten CBR-Systems.



**Abbildung 42: Wissens- und Fallbasis-Struktur sowie schematisches Beispiel für das Regelwerk der Phase 1 (eigene Darstellung)**

### 5.4 Phase 1 | Case Preparation

In Phase 1 „Case Preparation“ wird die reale Situation bzw. Problemstellung, repräsentiert durch eine Service-Anfrage, mit zusätzlichen Informationen aus den vorhandenen Datenbanken angereichert. Die Tätigkeiten der Phase 1 sind „regelbasiert“ und erfordern kein spezifisches Experten- bzw. Erfahrungswissen. Sie sind als Zwischenschritt im gesamten CBR-System jedoch zwingend erforderlich, da nicht alle benötigten Eingangsattribute für den CBR-Vorgang direkt aus der eingehenden Service-Anfrage extrahiert werden können. Nachfolgend werden die Einzelschritte der Phase 1 mit ihren jeweiligen Ein- und Ausgangsgrößen (vgl. Abbildung 43) im Detail erläutert.

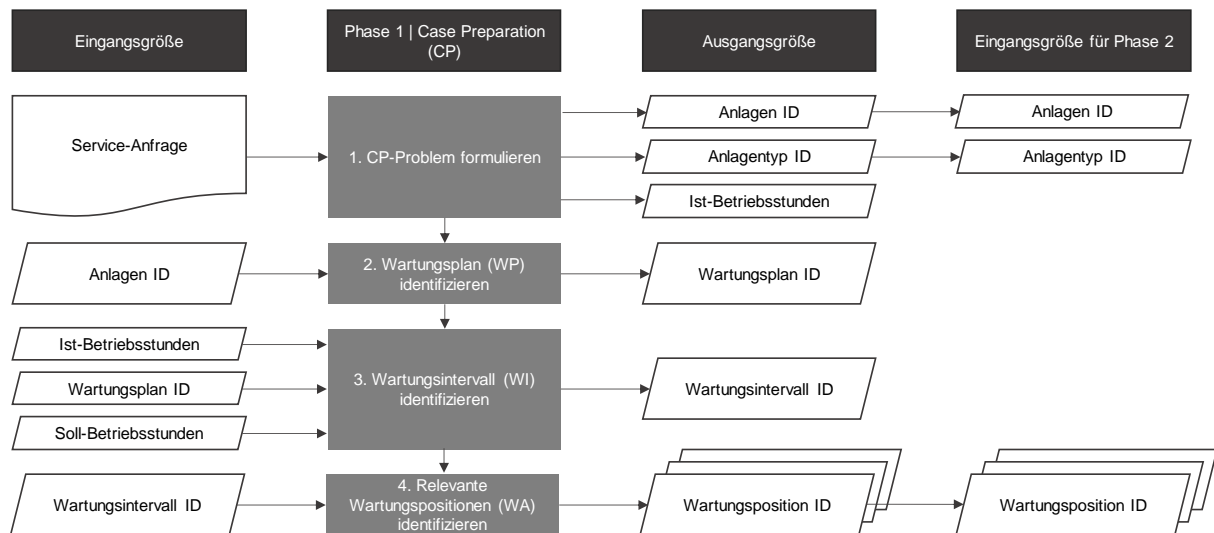


Abbildung 43: Ein- und Ausgangsgrößen der Phase 1 (eigene Darstellung)

#### 5.4.1 Schritt 1 | CP-Problem formulieren

Eine Service-Anfrage (SA) kann diverse Attribute unterschiedlichster Kategorien enthalten. Hierzu gehören u. a. Kundendaten (z. B. Kundenname, Kundennummer und Ansprechpartner) sowie Anlagendaten (z. B. Aufstellungsort und Typenbezeichnung). Für die Durchführung der Folgeschritte des vorliegenden Ansatzes müssen zunächst relevante Problemattribute aus der vorliegenden Service-Anfrage isoliert werden. Diese sind:

- *AID ... Anlagen ID* (i. d. R. eine Seriennummer)
- *ATID ... Anlagentyp ID* (i. d. R. eine Typen- oder Baureihenbezeichnung)
- *Ist – Bh ... Ist – Betriebsstunden* (i. d. R. resultierend aus einem eingebauten Betriebsstundenzähler)

Das Extrahieren dieser Attribute kann automatisiert durch das Auslesen eines vorliegenden digitalen Dokuments oder manuell durch eine Person erfolgen, sofern eine mündliche oder nicht maschinell auslesbare schriftliche Kundenanfrage vorliegt. Das Attribut *Ist – Bh* ist ein Interimsattribut. Hierunter werden Attribute verstanden, die lediglich innerhalb einer der drei abgeschlossenen Phasen benötigt werden. Die Attribute *AID* und *ATID* hingegen sind phasenübergreifend. Sie dienen als Eingangsattribute für die Phase 2 sowie zur Problemformulierung des CBR-Ansatzes.

### 5.4.2 Schritt 2 | Wartungsplan identifizieren

Mit Hilfe des Attributs *AID* wird in Schritt 2 der zugehörige Wartungsplan (WP) in der Wartungsplandatenbank (WPD) identifiziert. Dieser ist im IPS-System eines Unternehmens hinterlegt. Ausgangsattribut dieses Schritts und gleichzeitig Eingangsattribut des Folgeschritts bildet das Attribut Wartungsplan ID *WPID*. Als Restriktion ist an dieser Stelle anzuführen, dass für einen Anlagentyp ausschließlich ein gültiger und zuordenbarer Wartungsplan existieren kann. Wäre das nicht der Fall, müssten diesem Schritt weitere Attribute hinzugefügt werden, die eine eindeutige Identifikation der zugehörigen *WPID* ermöglicht. Analog zum Attribut *Ist – Bh* ist das Attribut *WPID* ein Interimattribut, welches für die Durchführung der Folgeprozesse von Phase 1 benötigt wird. Eine weitere Verdeutlichung der Attributzusammenhänge der Schritte 3-5 illustriert Abbildung 42 anhand eines Beispiels. Die formale Regel kann mittels eines Pseudocodes wie folgt beschrieben werden:

#### Formel 4: Regel für die Abfrage der Wartungsplandatenbank<sup>16</sup>

**Wenn**  $AID_{WPID} = AID_{SA}$  **Dann**

**Selektiere** *WPID*

**Sonst** Prüfe nächste *WPID*

**Resultat** Passende *WPID* zur  $AID_{SA}$  wurde identifiziert.

*WPID* ... *Wartungsplan ID*

*SA* ... *Service – Anfrage ID*

$AID_{WPID}$  ... *Anlagen ID der WPID*

$AID_{SA}$  ... *Anlagen ID der SA*

### 5.4.3 Schritt 3 | Wartungsintervall identifizieren

In Schritt 3 wird mittels des Attributs *Ist – Betriebsstunden* die zugehörige Wartungsintervall ID *WIID* identifiziert. Jedes Wartungsintervall muss bei einer vorgegebenen Soll-Betriebsstundenzahl *Soll – Bh* durchgeführt werden. Die Auswahl der korrekten Ausprägung des Attributs *WAID* erfolgt durch den Abgleich des Werts der *Ist – Bh* mit dem einem Wartungsintervall fix zugeordneten Attribut *Soll – Bh*. Die Attribute *WAID*

---

<sup>16</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.

und  $Soll - Bh$  repräsentieren Interimsattribute. Mittels Pseudocode lässt sich die Vorgehensweise wie nachstehende darstellen:

**Formel 5: Regel für die Abfrage des Wartungsintervalls<sup>17</sup>**

**Wenn**  $Ist - Bh_{SA} < Soll - Bh_{WIID}$  **Und**

$|Soll - Bh_{WIID} - Ist - Bh_{SA}| = Min$  **Dann**

**Selektiere**  $WIID$

**Sonst** Prüfe nächste  $WIID$

**Resultat** Nächstgültige  $WAID$  ist identifiziert.

$Ist - Bh_{SA}$  ...  $Ist - Betriebsstunden der Service - Anfrage$

$WIID$  ...  $Wartungsintervall ID$

$Soll - Bh_{WIID}$  ...  $Soll - Betriebsstunden fuer die Durchfuehrung der WIID$

#### 5.4.4 Schritt 4 | Relevante Wartungspositionen identifizieren

Der letzte Schritt in Phase 1 beinhaltet die Identifikation der einer  $WIID$  zugeordneten Wartungsposition IDs. Mit jeder Wartungsposition ID  $WAID$  ist ein Dokument mit textuellen Arbeitsanweisungen und Teilebezeichnungen, jedoch ohne konkrete Teilenummernangabe, verknüpft. Dieses Dokument dient dem Ersatzteilexperten bis dato als Grundlage für die Identifikation der relevanten Ersatzteilbezeichnungen und in weiterer Folge der Ersatzteilnummern. Im vorliegenden CBR-System dient die Wartungsposition ID als Eingangsattribut für den in Phase 2 folgenden CBR-Prozess. Der zugehörige Pseudocode lautet:

**Formel 6: Regel für die Auswahl der zugehörigen Wartungspositionen**

$W_x$  ...  $Zuordnungsvariable der WAID zu einem WIID$

$$W_x = \begin{cases} 1, & \text{falls } WAID \ x \text{ bei } WIID \text{ durchgefuehrt werden muss} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$x \in X$

$X$  ...  $Menge aller WAIDs$

$Y \subseteq X$  ...  $Menge aller WAIDs, die fuer die WIID benoetigt werden$

$WAID$  ...  $Wartungsposition ID$

---

<sup>17</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.



*WIID ... Wartungsintervall ID*

Identifiziere alle *WAID* für die gilt:

**Wenn  $W_x = 1$  Dann**

**Speichere  $x$  in  $Y$**

**Sonst** Prüfe nächstes  $W_x$

**Resultat** Alle relevanten *WAIDs* des *WIID* sind identifiziert.

#### 5.4.5 Zusammenfassung Phase 1

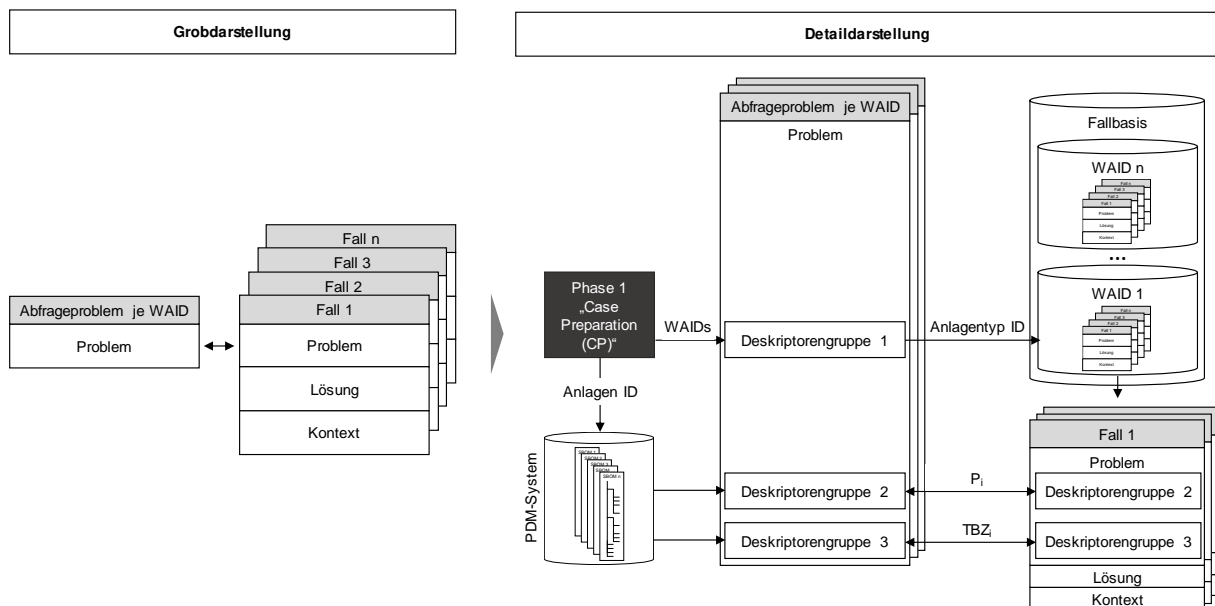
Mit Abschluss von Schritt 5 sind alle notwendigen Vorarbeiten für den nachfolgenden CBR-Prozess erfüllt. Um in weiterer Folge das Zielobjekt „Vollumfängliches Service-Kit“ generieren zu können, wurde in Phase 1 die initiale Service-Anfrage regelbasiert mit Hilfe des vorhandenen allgemeinen Domain-Wissens in Form von Informationen und Datenbanken in relevante Wartungsposition IDs gegliedert. D. h. die Dekompositionsaufgabe des Lokal-Global Prinzips ist erfolgt. Die Expertenaufgabe 1 (vgl. Punkt 5.2.2) ist somit beantwortet und formal in das CBR-System integriert.

### 5.5 Phase 2 | Case-based Reasoning

In Phase 2 „Case-based Reasoning“ erfolgt, basierend auf den Ausgangsgrößen der Phase 1, der Schließprozess. Die dargestellten Einzelschritte orientieren sich an dem im Punkt 2.5.2 beschriebenen CBR-Zyklus sowie an der im Punkt 2.5.3 beschriebenen Task-Method Structure. Analog zur vorangegangenen Phase werden nachfolgend die Einzelschritte der Phase 2 im Detail erläutert.

#### 5.5.1 Schritt 5 | CBR-Problem formulieren und Attribute isolieren

In Schritt 5 erfolgt die formale Formulierung des Abfrageproblems der aktuellen Problemsituation, um in weiterer Folge eine Gegenüberstellung mit den in der Fallbasis gespeicherten Fällen durchführen zu können. Hierfür werden die Attribut-Wert-Paare der Problemdarstellung aus den vorliegenden Ausgangsinformationen isoliert. Die Bestandteile des Abfrageproblems verhalten sich analog zu den Bestandteilen der Problemdarstellung eines bereits gespeicherten Falls. Die indizierten Attribut-Wert-Paare werden ebenfalls in den Deskriptorengruppen 1-3 zusammengefasst. Aufgrund der zuvor erläuterten Objektzusammensetzung des Gesamt-Service-Kits sowie der resultierenden Fall- und Fallbasisstruktur wird je benötigter *WAID* ein separates Abfrageproblem generiert (vgl. Abbildung 35 und Abbildung 44). Die Vorgänge in Schritt 5 entsprechen der Aufgabe „Identify Features“ der Task-method structure (vgl. Punkt 2.5.3).



**Abbildung 44: Schematische Darstellung der CBR-Problemformulierung (eigene Darstellung)**

### Deskriptorengruppe 1

Die Deskriptorengruppe 1 enthält die Fallbasis-Indizes *WAID* und *ATID*. Mit Ihnen lässt sich der Suchraum auf eine Sub-Fallbasis sowie eine Auswahl darin enthaltener Fälle eingrenzen. Die Attribute dieser Deskriptorengruppe resultieren aus Phase 1<sup>18</sup>.

**Attribut *WAID*:** Es werden alle relevanten *WAIDs*, welche in Phase 1 identifiziert wurden, in die Phase 2 übernommen. Gemäß der Fallstruktur in Abbildung 38 wird für jede *WAID* ein separates Abfrageproblem generiert (vgl. Abbildung 44). Die *WAID* ist für die Ansteuerung der zugehörigen Sub-Fallbasis in der Fallbasis verantwortlich. Analog zur Attributbeschreibung der Fallbestandteile in Punkt 5.2.4 wird der Wert des Attributs mit dem Datentyp „String“ dargestellt. Je Abfrageproblem kann dieses Attribut lediglich einmal auftreten.

**Attribut *ATID*:** Dieses Attribut grenzt die Anzahl der zu prüfenden Fälle in der jeweiligen Sub-Fallbasis einer *WAID* ein. Es werden ausschließlich Fälle mit einer übereinstimmenden *ATID* den weiteren Ähnlichkeitsprüfungen unterzogen. Folglich ist die *ATID* Bestandteil von jedem Abfrageproblem je *WAID*. Der Wert der *ATID* ist ebenfalls mit dem Datentyp „String“ definiert. Je Abfrageproblem kann dieses Attribut nur eine Ausprägung besitzen.

<sup>18</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.

Attribut  $Typ_{ATID}$ : Analog zum vorherigen Attribut und mit dem gleichen Ziel ergibt sich das Attribut  $Typ_{ATID}$ . Das Attribut weist den Datentyp „Boolean“ auf und bekommt den  $Wert = 1$  (d. h. Attribut = vorhanden) zugewiesen. Je Abfrageproblem kann dieses Attribut lediglich einmal vorhanden sein.

## Deskriptorengruppe 2

Die Deskriptorengruppe 2 enthält die Attribut-Wert-Paare für die Position  $P_i$  der vorliegenden Problemstellung. Diese Attribute werden nicht aus Phase 1 übernommen und müssen daher zunächst identifiziert werden.

Die Attribute werden mittels einer Datenbankabfrage der Wissensbasis generiert. Hierfür wird das in Phase 1 identifizierte Attribut  $AID$  genutzt. Mit Hilfe dieses Attributs wird zunächst die Service-Stückliste der zu servicierenden Anlage identifiziert. Hierbei ist es zwingend erforderlich, dass die Stückliste im Format einer Strukturstückliste (vgl. hierzu Punkt 2.3.4) extrahiert wird. I. d. R. sind Stücklisten im PDM-System eines Unternehmens hinterlegt. Der Wert des Attributs wird mit dem Datentyp „Boolean“ dargestellt und kann demzufolge den  $Wert = 0$  oder den  $Wert = 1$  annehmen. Die Attributanzahl ist variabel. Die Pseudocodeformulierung ergibt sich wie folgt:

### Formel 7: Regel für die Abfrage der Stücklistendatenbank<sup>19</sup>

**Wenn**  $AID_{SBOM} = AID_{SA}$  **Dann**

**Selektiere**  $SBOM$

**Sonst** Prüfe nächste  $AID_{SBOM}$

**Resultat** Passende  $SBOM$  zur  $AID_{SA}$  wurde identifiziert.

*SBOM ...ID der Service Bill of Material*

*AID<sub>SBOM</sub> ...Anlagen ID der SBOM*

*AID<sub>SA</sub> ...Anlagen ID der Service – Anfrage*

In weiterer Folge wird je Eintrag in der Service-Strukturstückliste die Positionsnummer  $i$  sowie für jeden Eintrag das Attribut Position  $P_i$  generiert und mit dem booleschen  $Wert = 1$  versehen (vgl. Abbildung 40, Abbildung 41 und Abbildung 45). Die Interpre-

---

<sup>19</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.

tation dieses Attribut-Wert-Paares sagt aus, dass die Position  $P_i$  in der Service-Strukturstückliste existiert. Die Anzahl der Attribute ist variabel und korreliert mit der Anzahl der Stücklisteneinträge.

| Abfrageproblem   Allgemein                                      | Abfrageproblem   Beispiel - Teil 1 "WAID 2"                     | Abfrageproblem   Beispiel - Teil 2 "WAID 4"                     |
|---|---|---|
| Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«                     | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«                     | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«                     |
| Attribut      Attributsanzahl      Wert (Datentyp)              | Attribut      Wert  | Attribut      Wert  |
| WAID                      fix (1x)                      String  | WAID                      WAID 2                                | WAID                      WAID 4                                |
| ATID                      fix (1x)                      String  | ATID                      Serie A                               | ATID                      Serie A                               |
| TypAnlagentyp ID      fix (1x)                      Boolean     | TypSerie A                      1                               | TypSerie A                      1                               |
| Deskriptorengruppe 2<br>»Fall-Indizes   Positionsnummer (P)«    | Deskriptorengruppe 2<br>»Fall-Indizes   Positionsnummer (P)«    | Deskriptorengruppe 2<br>»Fall-Indizes   Positionsnummer (P)«    |
| Attribut      Attributsanzahl      Wert (Datentyp)              | Attribut      Wert  | Attribut      Wert  |
| $P_i$ variabel                      Boolean                     | $P_{10}$ 1  | $P_{10}$ 1  |
|   | $P_{10-10}$ 1   | $P_{10-10}$ 1   |
|   | $P_{10-10-10}$ 1  | $P_{10-10-10}$ 1  |
|   | $P_{10-10-20-20}$ 1   | $P_{10-10-20-20}$ 1   |
|   | $P_{10-10-20-10}$ 1   | $P_{10-10-20-10}$ 1   |
|   | $P_{10-10-20-20}$ 1   | $P_{10-10-20-20}$ 1   |
|   | $P_{10-10-20-30}$ 1   | $P_{10-10-20-30}$ 1   |
|   | $P_{10-10-30}$ 1  | $P_{10-10-30}$ 1  |
|   | $P_{10-20-40}$ 1  | $P_{10-20-40}$ 1  |
|   | $P_{10-20}$ 1   | $P_{10-20}$ 1   |
|   | $P_{10-20-10}$ 1  | $P_{10-20-10}$ 1  |
|   | $P_{10-20-20}$ 1  | $P_{10-20-20}$ 1  |
|   | $P_{10-20-30}$ 1  | $P_{10-20-30}$ 1  |
|   | $P_{10-30}$ 1   | $P_{10-30}$ 1   |
|   | $P_{10-30-10}$ 1  | $P_{10-30-10}$ 1  |
|   | $P_{10-30-20}$ 1  | $P_{10-30-20}$ 1  |
|   | $P_{10-30-30}$ 1  | $P_{10-30-30}$ 1  |
|   | $P_{10-30-40}$ 1  | $P_{10-30-40}$ 1  |
|   | $P_{10-40}$ 1   | $P_{10-40}$ 1   |
|   | $P_{10-40-10}$ 1  | $P_{10-40-10}$ 1  |
|   | $P_{10-40-20}$ 1  | $P_{10-40-20}$ 1  |
|   | $P_{10-40-30}$ 1  | $P_{10-40-30}$ 1  |
|   | $P_{10-40-40}$ 1  | $P_{10-40-40}$ 1  |
| Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« | Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« | Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« |
| Attribut      Attributsanzahl      Wert (Datentyp)              | Attribut      Wert  | Attribut      Wert  |
| TBZ <sub>i</sub> variabel                      String           | TBZ <sub>10</sub> Anlage  | TBZ <sub>10</sub> Anlage  |
|   | TBZ <sub>10-10}</sub> Zylinderkopf                              | TBZ <sub>10-10}</sub> Zylinderkopf                              |
|   | TBZ <sub>10-10-10}</sub> Kopfdichtung                           | TBZ <sub>10-10-10}</sub> Kopfdichtung                           |
|   | TBZ <sub>10-10-20-20}</sub> Zylinderkopf                        | TBZ <sub>10-10-20-20}</sub> Zylinderkopf                        |
|   | TBZ <sub>10-10-20-10}</sub> Zylinderkopf                        | TBZ <sub>10-10-20-10}</sub> Zylinderkopf                        |
|   | TBZ <sub>10-10-20-20}</sub> Einlassventil                       | TBZ <sub>10-10-20-20}</sub> Einlassventil                       |
|   | TBZ <sub>10-10-20-30}</sub> Auslassventil                       | TBZ <sub>10-10-20-30}</sub> Auslassventil                       |
|   | TBZ <sub>10-10-30}</sub> O-Ring                                 | TBZ <sub>10-10-30}</sub> O-Ring                                 |
|   | TBZ <sub>10-20-40}</sub> Sechskantschraube                      | TBZ <sub>10-20-40}</sub> Sechskantschraube                      |
|   | TBZ <sub>10-20}</sub> Kolben                                    | TBZ <sub>10-20}</sub> Kolben                                    |
|   | TBZ <sub>10-20-10}</sub> Kolben                                 | TBZ <sub>10-20-10}</sub> Kolben                                 |
|   | TBZ <sub>10-20-20}</sub> Kolbenring                             | TBZ <sub>10-20-20}</sub> Kolbenring                             |
|   | TBZ <sub>10-20-30}</sub> Kolbenbolzen                           | TBZ <sub>10-20-30}</sub> Kolbenbolzen                           |
|   | TBZ <sub>10-30}</sub> Ölpumpe                                   | TBZ <sub>10-30}</sub> Ölpumpe                                   |
|   | TBZ <sub>10-30-10}</sub> Sechskantschraube                      | TBZ <sub>10-30-10}</sub> Sechskantschraube                      |
|   | TBZ <sub>10-30-20}</sub> Motorölpumpe                           | TBZ <sub>10-30-20}</sub> Motorölpumpe                           |
|   | TBZ <sub>10-30-30}</sub> O-Ring                                 | TBZ <sub>10-30-30}</sub> O-Ring                                 |
|   | TBZ <sub>10-30-40}</sub> Abdeckung                              | TBZ <sub>10-30-40}</sub> Abdeckung                              |
|   | TBZ <sub>10-40}</sub> Kurbelgehäuse                             | TBZ <sub>10-40}</sub> Kurbelgehäuse                             |
|   | TBZ <sub>10-40-10}</sub> Kurbelgehäuse                          | TBZ <sub>10-40-10}</sub> Kurbelgehäuse                          |
|   | TBZ <sub>10-40-20}</sub> Halterung                              | TBZ <sub>10-40-20}</sub> Halterung                              |
|   | TBZ <sub>10-40-30}</sub> Sechskantschraube 1                    | TBZ <sub>10-40-30}</sub> Sechskantschraube 1                    |
|   | TBZ <sub>10-40-40}</sub> Sechskantschraube 2                    | TBZ <sub>10-40-40}</sub> Sechskantschraube 2                    |

Abbildung 45: Bestandteile eines beispielhaften Abfrageproblems (eigene Darstellung)

### Deskriptorengruppe 3

Diese Deskriptorengruppe enthält das Attribut Teilebezeichnung  $TBZ_i$ <sup>20</sup>. Der Attributswert wird mit dem Datentyp „String“ hinterlegt. Die Attributanzahl ist variabel und korreliert mit der Anzahl des Attributs Position  $P_i$ . Die Indizierung erfolgt gemeinsam mit der zuvor beschriebenen Datenbankabfrage der Service-Strukturstückliste. Hierfür wird bei jedem Stücklisteneintrag, sprich für jede zuvor identifizierte Position, die hinterlegte Teilebezeichnung  $TBZ_i$  in das Abfrageproblem übernommen.

Mit der Definition der zuvor erläuterten Attribute ist die Indizierung der Abfrageprobleme, und somit die Aufgabe „Identify Features“ gemäß der Task-Method-Structure, abgeschlossen. Das Ergebnis kann hinsichtlich seiner Anzahl an resultierenden Abfrageproblemen sowie des Umfangs der Abfrageprobleme von Fall zu Fall variieren. Maßgebend hierfür sind die Anzahl  $WAID$ s aus Phase 1 sowie die Anzahl Einträge in einer Service-Strukturstückliste. Das Ergebnis von Schritt 5 dient in weiterer Folge dem Ähnlichkeitsabgleich mit den in der Fallbasis hinterlegten Fällen.

#### 5.5.2 Schritt 6 | Sub-Fallbasis zuweisen

In Schritt 6 wird dem vorliegenden Abfrageproblem auf Basis des Attribut-Wert-Paares  $WAID$  der zugehörige Datenspeicher (Sub-Fallbasis) der Fallbasis für den weiteren Fallabgleich zugewiesen. Wie in Punkt 5.3 beschrieben, gliedert sich die Fallbasis in eine Sub-Fallbasis je  $WAID$ . Somit wird der Suchraum eingegrenzt und die Anzahl der zu prüfenden Fälle minimiert. Dieser Vorgang entspricht einem Teil der Aufgabe „Search“ gemäß Task-Method Structure (vgl. Abbildung 35). Der Pseudocode für die Sub-Fallbasiszuweisung lautet:

#### Formel 8: Regel für die Zuweisung der Sub-Fallbasis

**Wenn**  $WAID_{SF} = WAID_{AP}$  **Dann**

**Selektiere**  $WAID_{SF}$

**Sonst** Prüfe nächste  $WAID_{SF}$

**Resultat** Sub-Fallbasis ist dem Abfrageproblem zugewiesen.

$WAID_{AP}$  ...  $WAID$  des Abfrageproblems

$WAID_{SF}$  ...  $WAID$  der Sub – Fallbasis

---

<sup>20</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.

### 5.5.3 Schritt 7 | Ähnlichkeit der Anlagentyp ID bestimmen

In diesem Schritt wird das Ähnlichkeitsmaß (engl. similarity measure) des Attributs Anlagentyp ID  $ATID$  bestimmt. Wie in Punkt 5.2.4 erläutert, sind Anlagentypen i. d. R. unterschiedlich aufgebaut. Gespeicherte Fälle einer definierten  $ATID$  sind daher nicht auf eine andere übertragbar. Folglich kann die Eignung eines selektierten Falls für ein vorliegendes Abfrageproblem durch den Vergleich des Attribut-Wert-Paares der  $Typ_{ATID}$  eindeutig definiert werden. Ziel dieses Vorgangs ist, die Eingrenzung der im Detail zu prüfenden Fallzahlen.

Für den Abgleich der Ähnlichkeit (engl. similarity) wird zunächst das Maß für deren Ermittlung definiert. Hierfür werden die zwei grundlegenden Betrachtungsweisen der „Ähnlichkeit“, d. h. wie stark gleichen sich zwei Objekte, sowie der Betrachtungsweise „Distanz“, d. h. wie unterschiedlich sind zwei Objekte, unterschieden. Es existieren verschiedenste Arten von Ähnlichkeitsmaßen, die jedoch alle einen mathematischen Charakter aufweisen. Eine vollumfängliche Darstellung ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. An dieser Stelle sei daher auf die Arbeiten von RICHTER und WEBER (vgl. Richter und Weber 2013) sowie FERBER (vgl. Ferber 2003) verwiesen. Eine Übersicht hinsichtlich Ähnlichkeitsmaßen kann zudem der Ausarbeitung von HAENELT (vgl. Haenelt 2012) entnommen werden. Eine für die Durchführung des vorliegenden Schritts relevante Ausprägung der Ähnlichkeitsmaße sind zählende Ähnlichkeitsmaße (engl. counting similarities). (vgl. Richter und Weber 2013)

Im vorliegenden Schritt soll geprüft werden, ob der Wert des Attributs  $Typ_{ATID}$  des Abfrageproblems mit dem Wert des entsprechenden Attributs des selektierten Falls übereinstimmt. Hieraus lässt sich die Anforderung ableiten, dass das Ähnlichkeitsmaß, den  $Wert = 1$  (d. h. übereinstimmendes Attribut  $Typ_{ATID}$ ) oder den  $Wert = 0$  (d. h. keine Übereinstimmung des Attributs  $Typ_{ATID}$ ) wiedergeben muss. Diese Aussage lässt sich erzielen, wenn aus den Vektoren des Abfrageproblems sowie des selektierten Falls das Skalarprodukt (vgl. Formel 9) gebildet wird. Mathematisch lässt sich dieser Vorgang wie folgt beschreiben (vgl. Richter und Weber 2013; Haenelt 2012).

**Formel 9: Ähnlichkeit der Anlagentyp ID<sup>21</sup>**

$$sim\ ATID = \sum_{j \in J} (p_j)(q_j)$$

$p$  ...  $Typ_{ATID}$  – Vektor des Abfrageproblems

$q$  ...  $Typ_{ATID}$  – Vektor des selektierten Falls

$J$  ... Menge aller  $Typ_{ATID}$

$sim\ ATID$  ... Aehnlichkeit der  $ATID$

Im engeren Sinne betrachtet, wird in diesem Schritt die Gleichheit bewertet und nicht die Ähnlichkeit erhoben, da die Ergebnisausprägungen ausschließlich den  $Wert = 1$  oder den  $Wert = 0$  annehmen und keinen graduellen Wert aufweisen können (vgl. Richter und Weber 2013).

Mit der Bestimmung der Ähnlichkeit für das Attribut  $Typ_{ATID}$  ist der Schritt 6 abgeschlossen. Beträgt  $sim\ ATID = 0$ , wird die weitere Ähnlichkeitsprüfung aufgrund der grundsätzlichen Nicht-Eignung des selektierten Falls an dieser Stelle abgebrochen und der nächste Fall der Fallbasis selektiert. Hierdurch kann die Bearbeitungszeit in der „flach“ strukturierten Sub-Fallbasis je  $WAID$  minimiert werden. Ergibt  $sim\ ATID = 1$ , werden die nachfolgenden Schritte initiiert. Die beschriebenen Vorgänge in diesem Schritt entsprechen einem Teil der Aufgaben „Search“ und „initially match“ der Task-method structure (vgl. Punkt 2.5.3).

---

<sup>21</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.



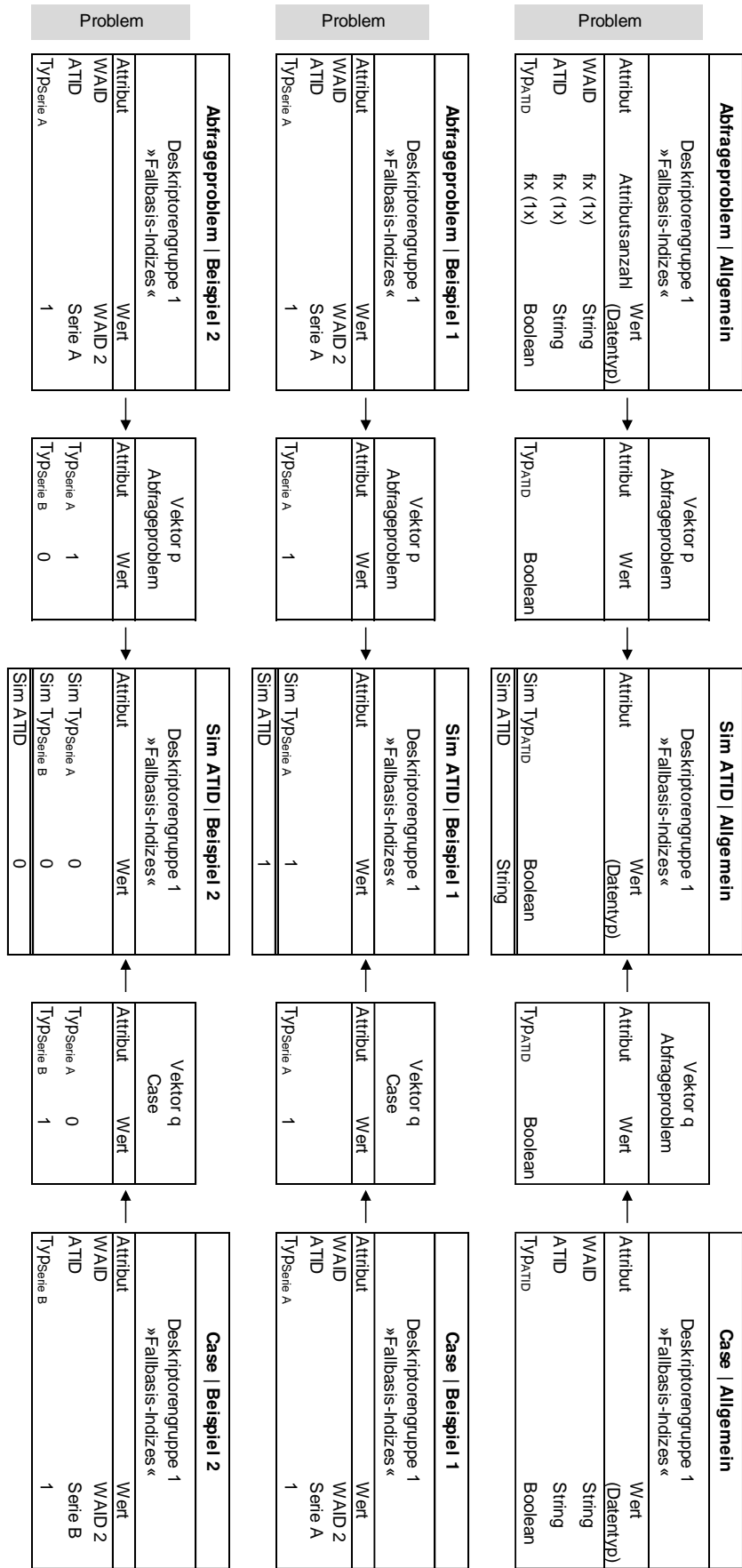


Abbildung 46: Ähnlichkeit der Anlagentyp ID (eigene Darstellung)

#### 5.5.4 Schritt 8 | Ähnlichkeit der Positionen bestimmen

Nach einem positiven Ähnlichkeitsabgleich im vorherigen Schritt, erfolgt in Schritt 8 der Ähnlichkeitsabgleich des Attributs Position  $P_i$ . Ziel ist die Prüfung der Anzahl übereinstimmender Positionen zwischen einem selektierten Fall und des vorliegenden Abfrageproblems. Hintergrund sind die variantenbedingten unterschiedlichen Ausprägungsmöglichkeiten von Anlagenbaugruppen. Folglich können gespeicherte Fälle eine unterschiedliche Anzahl an Positionen für die Durchführung einer *WAID* beinhalten. Zudem variieren die Service-Strukturstücklisten einer *AID*. Daher kann die Position eines benötigten Teils zwischen Abfrageproblem und selektiertem Fall abweichen. Die Bestimmung der „Anzahl übereinstimmender Positionen“ entspricht einem Zählvorgang. Somit können Ähnlichkeitsmaße vom Typ „counting similarities“ herangezogen werden. In weiterer Folge ist ein Abgleich jedes einzelnen Positionsattributs zwischen dem Abfrageproblem und selektiertem Fall erforderlich. Analog zum Ähnlichkeitsmaß im vorherigen Schritt kann hierfür das Skalarprodukt als Berechnungsmethode verwendet werden. Hierfür werden die Positionsattribute des Abfrageproblems sowie des selektierten Falls als hochdimensionale Vektoren dargestellt (vgl. Abbildung 48 und Abbildung 49).

Die Attributsanzahl, sprich die Dimensionalität der Vektoren  $p$  und  $q$ , resultiert aus der Anzahl unterschiedlicher Positionsattribute des Abfrageproblems sowie des selektierten Falls. Für die Werte der einzelnen Positionsattribute beider Vektoren werden die Werte aus dem Abfrageproblem bzw. dem selektierten Fall übernommen. Ist eine Position darin nicht existent, wird der Vektor um diese Position erweitert und der Wert = 0 zugewiesen. Die einzelnen Positionsattribute werden im Zuge der Skalarproduktbildung miteinander verglichen. Hierbei ergibt sich eine Ähnlichkeit der Positionen  $sim P_i$ . Diese kann aufgrund des booleschen Datentyps den Wert = 0 oder den Wert = 1 annehmen. Das resultierende Skalarprodukt, sprich die Ähnlichkeit  $sim P_{ges}$ , ergibt sich aus der Addition der einzelnen  $sim P_i$  (vgl. Tabelle 10). Die resultierende Summe gibt an, wie viele übereinstimmende Positionen das Abfrageproblem und der selektierte Fall aufweisen. Die Bestimmung der  $sim P_i$  und  $sim P_{ges}$  in diesem Schritt entspricht, analog zum Vorgängerschritt, einem Teil der Aufgaben „Search“ und „initially match“ der Task-method structure (vgl. Punkt 2.5.3).<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.

**Formel 10: Ähnlichkeit der Position**

$$sim P_i = p_i \cdot q_i$$

$$sim P_{ges} = \sum_{i \in I} sim P_i = \sum_{i \in I} (p_i)(q_i)$$

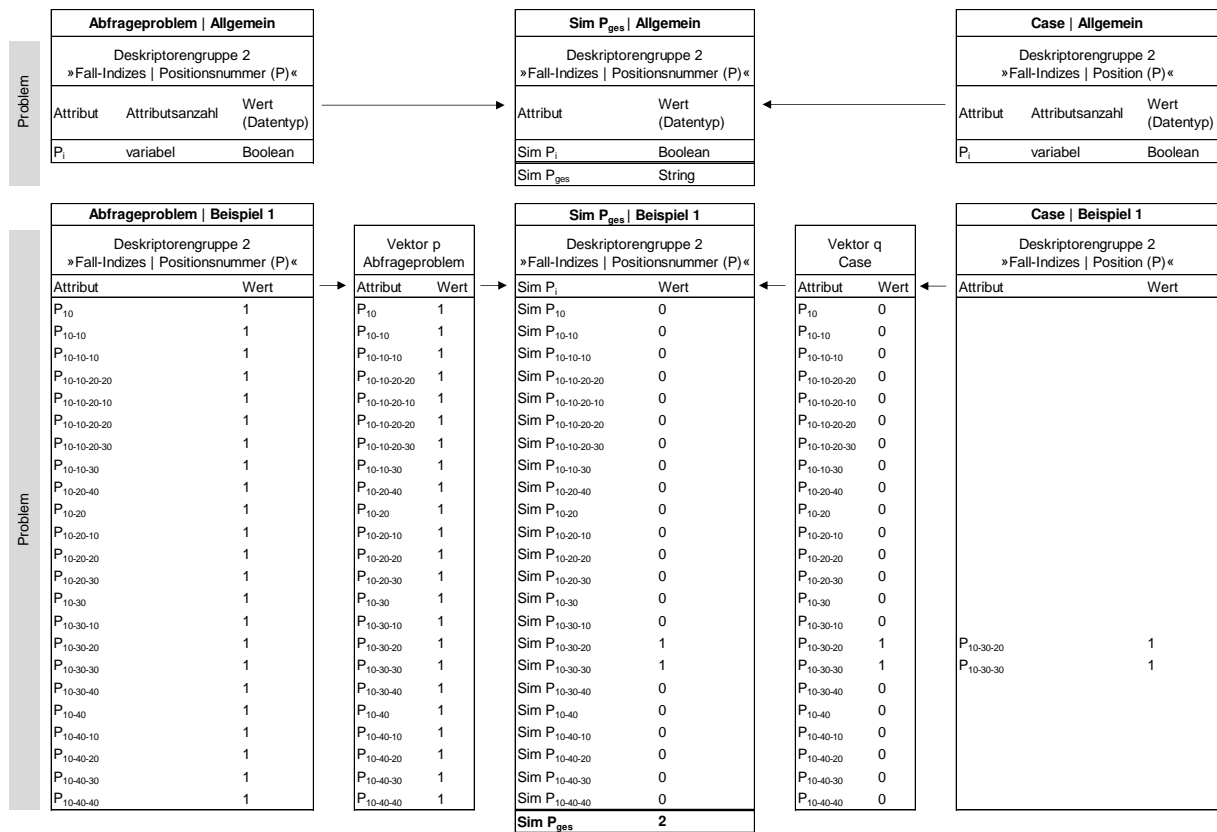
*I ... Menge aller Positionsnummern*

*p ... Positionsvektor des Abfrageproblems*

*q ... Positionsvektor des selektierten Falls*

*sim P<sub>i</sub> ... Aehnlichkeit der Position in Abhaengigkeit der Positionsnummer i*

*sim P<sub>ges</sub> ... Aehnlichkeit aller Positionen*



**Abbildung 47: Ähnlichkeit der Positionen (eigene Darstellung – 1/2)**

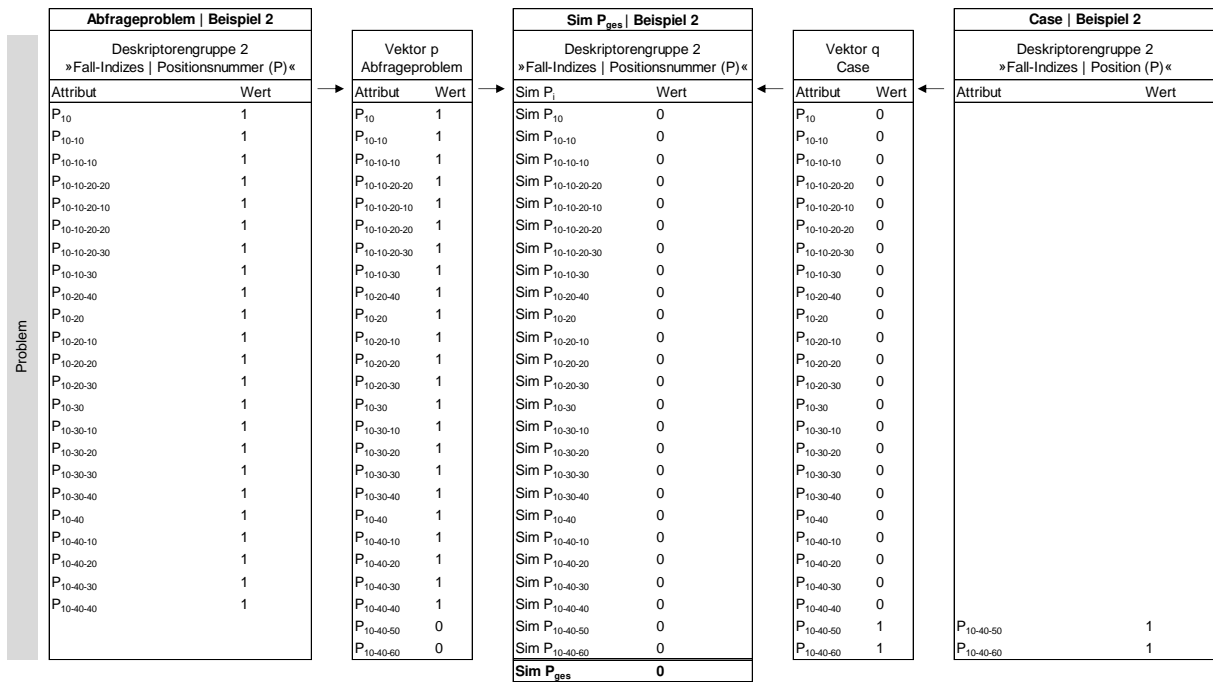


Abbildung 48: Ähnlichkeit der Positionen (eigene Darstellung – 2/2)

### 5.5.5 Schritt 9 | Ähnlichkeit der Teilebezeichnungen bestimmen

Im Anschluss an den Abgleich der Positionen wird in Schritt 9 die Ähnlichkeit der Teilebezeichnungen bestimmt. Ziel ist die Ermittlung der Ähnlichkeit der Teilebezeichnung  $sim TBZ_i$  je übereinstimmender Position zwischen einem selektierten Fall und des vorliegenden Abfrageproblems.

Die alleinige Existenz einer übereinstimmenden Positionsnummer lässt keine Aussage über die Eignung eines Teils zu, welches sich auf dieser befindet. Daher wird der Vergleich der vorhandenen Teilebezeichnung einer Position in der Service-Strukturstückliste des vorliegenden Abfrageproblems mit der zugehörigen Teilebezeichnung im selektierten Fall benötigt, um eine Gesamtaussage hinsichtlich der Eignung eines selektierten Falls abzuleiten. Teilebezeichnungen können analog zum vorherigen Schritt aufgrund von variantenbedingten Ausprägungsmöglichkeiten von Anlagenbaugruppen divergieren. Die Ermittlung der  $sim TBZ_i$  kann abstrahiert als Transformationsprüfung betrachtet werden. Hierbei wird bestimmt, welcher Aufwand besteht, um ein bestehendes Objekt in ein anderes zu konvertieren. Für diesen Vorgang können Ähnlichkeitsmaße des Typs „transformation similarities“ eingesetzt werden. (vgl. Richter und Weber 2013)

Ziel dieses Schritts ist der Abgleich des String-Werts des Attributs  $TBZ_i$  des Abfrageproblems mit dem entsprechenden Attributwert des selektierten Falls. Dies erfolgt jedoch ausschließlich für die Attribute  $TBZ_i$ , deren Bewertung der Positionsähnlichkeit im vorherigen Schritt  $sim P_i = 1$  beträgt. Als Methode für die Berechnung kann die Levenshtein-Distanz, auch Editierdistanz genannt, herangezogen werden (vgl. Richter und Weber 2013). RAHMANN definiert die Editierdistanz wie folgt: „Die Edit-Distanz zwischen zwei Strings  $s$  und  $t$  ist definiert als die Anzahl der Edit-Operationen, die man mindestens benötigt, um einen String in einen anderen zu überführen. Edit-Operationen sind Löschen, Einfügen und Verändern eines Zeichens.“ (Rahmann 2017) Die Berechnung der Editierdistanz kann mittels eines Dynamic-Programming-Algorithmus erfolgen (vgl. Rahmann 2017). Hierfür werden die zwei zu vergleichenden Teilebezeichnungen (Strings) in einer Matrix gegenübergestellt, für die gilt (Rahmann 2017):

**Formel 11: Berechnungsweise der Editierdistanz (Levenshtein-Distanz)<sup>23</sup>**

*String  $s = TBZ_i$  des Abfrageproblems*

*String  $t = TBZ_i$  des selektierter Falls*

$m := |s|$  und  $n := |t|$

$(m + 1) \times (n + 1)$  Matrix  $D = (D[k, j])$

$D[k, j] =$  Editierdistanz des  $k$  – Praefix von  $s$  und des  $j$  – Praefix von  $t$ .

*Fuer die Matrix  $D[k, j]$  gilt:*

$$D[0,0] = 0$$

$$D[k, 0] = k$$

$$D[0, j] = j$$

*fuer alle anderen Eintraege gilt:*

$$D[k, j] = \min \left\{ \begin{array}{l} D[k - 1, j - 1] + d(s[k - 1], t[j - 1]), \\ D[k - 1, j] + 1, \\ D[k, j - 1] + 1. \end{array} \right\}$$

*Die Lev  $TBZ_i =$  (Editierdistanz von  $s, t$ ) kann  $D[m, n]$  entnommen werden.*

*$TBZ_i$  ... Teilebezeichnung der Positionsnummer  $i$*

*$i$  ... Positionsnummer*

*Lev  $TBZ_i$  ... Editierdistanz der  $TBZ_i$*

<sup>23</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.

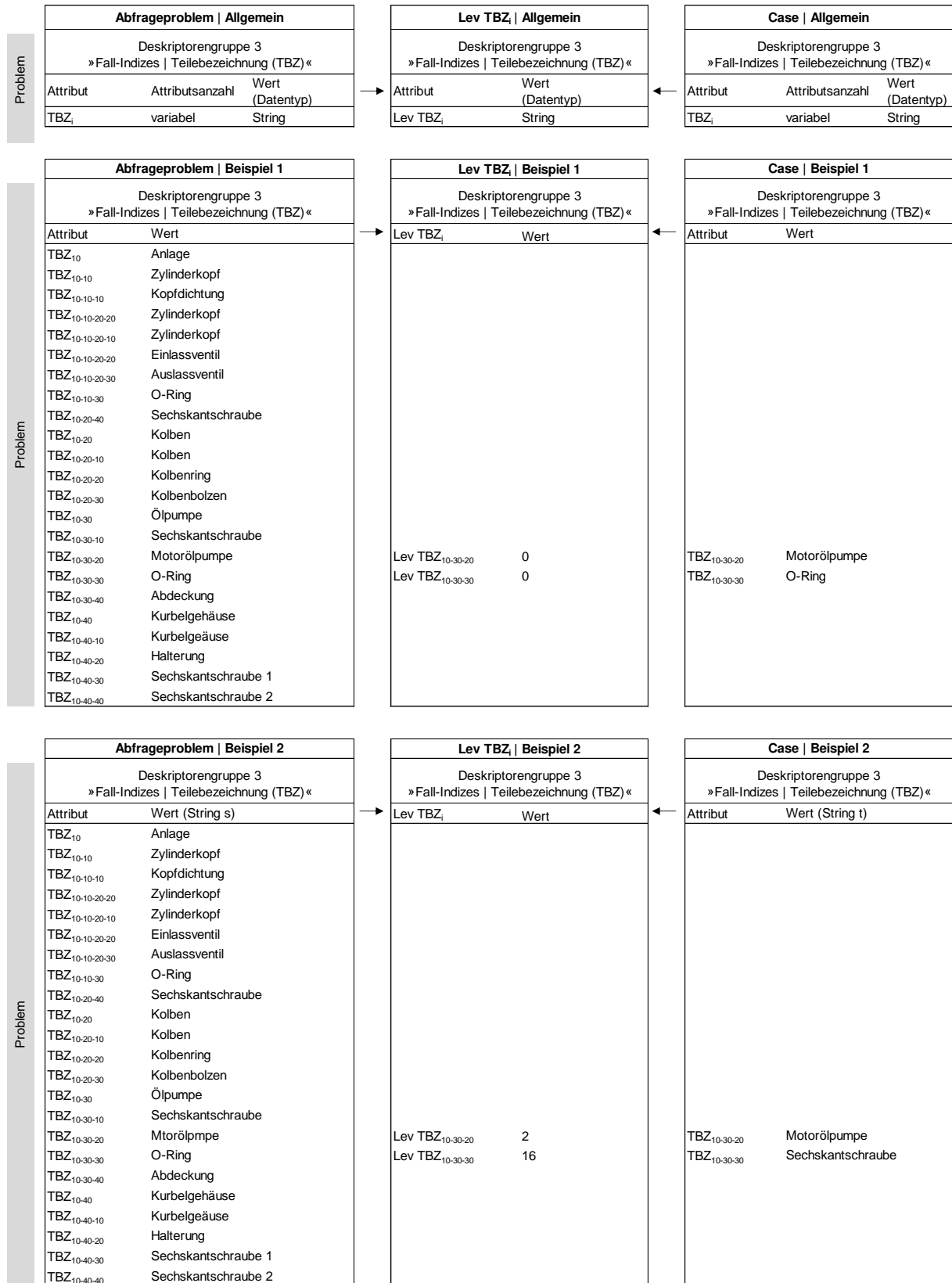
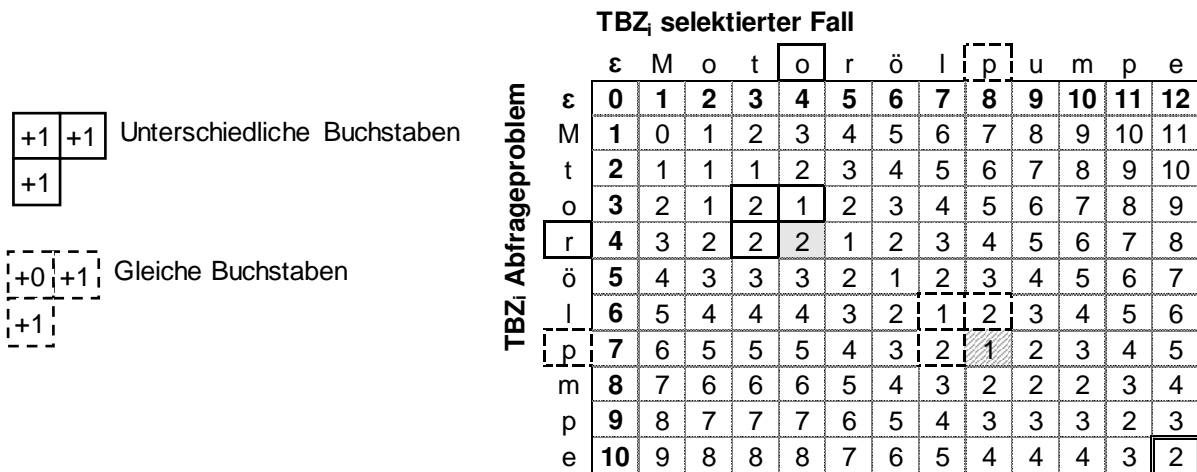


Abbildung 49: Editierdistanz der Teilebezeichnungen (eigene Darstellung)



**Abbildung 50: Beispielrechnung Editierdistanz (eigene Darstellung)**

Die Editierdistanz selbst kann noch nicht als Ähnlichkeitsmaß für die vorliegende Arbeit herangezogen werden, da sie als Distanzmaß den Unterschied zweier Teilebezeichnungen ausdrückt und nicht deren Gemeinsamkeiten. Eine Kombination mit den zuvor ermittelten Ähnlichkeiten, deren Fokus auf den Überschneidungen zwischen Abfrageproblem und selektiertem Fall liegt, würde zu falschen Aussagen führen. Folglich wird die Distanzaussage der Editierdistanz mit der nachfolgenden Formel in eine Ähnlichkeitsaussage transformiert:

**Formel 12: Ähnlichkeit der Teilebezeichnung<sup>24</sup>**

$$sim TBZ_i = 1 - \frac{Lev TBZ_i}{|TBZ_i (Abfrageproblem)| + |TBZ_i (selektierter Fall)|}$$

es gilt:

$$sim TBZ_i = 0, \text{ wenn } sim P_i = 0$$

$$i \in I,$$

*I* ... Menge aller Positionsnummern *i*

*TBZ<sub>i</sub>* ... Teilebezeichnung der Positionsnummer *i*

*Lev TBZ<sub>i</sub>* ... Editierdistanz der *TBZ<sub>i</sub>*

*|TBZ<sub>i</sub> (Abfrageproblem)|* ... Anzahl Zeichen der *TBZ<sub>i</sub>* des Abfrageproblems

*|TBZ<sub>i</sub> (selektierter Fall)|* ... Anzahl Zeichen der *TBZ<sub>i</sub>* des selektierten Falls

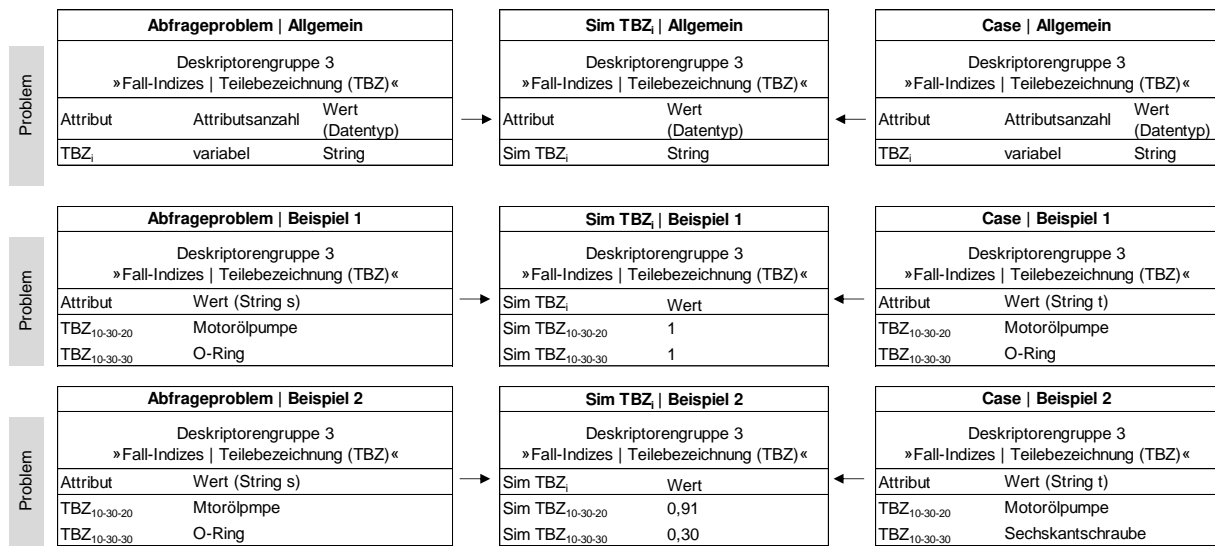
*sim TBZ<sub>i</sub>* ... Aehnlichkeit der *TBZ<sub>i</sub>*

<sup>24</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.



Hierfür wird die Editierdistanz durch die Beträge der beiden Strings  $TBZ_i$  (*Abfrageproblem*) und  $TBZ_i$  (*selektierter Fall*), sprich deren Zeichenanzahl, geteilt. Der resultierende Wert, welcher ein Verhältnis der durchzuführenden Änderung zu der Gesamtzeichenanzahl darstellt, wird von dem  $Wert = 1$  abgezogen. Beträgt die Editierdistanz  $Lev TBZ_i = 0$ , sprich beide Strings sind identisch, ist der Wert von  $sim TBZ_i = 1$ , d. h. eine 100 %ige Übereinstimmung liegt vor. Jede Abweichung, welche durch die Editierdistanz ausgedrückt wird, mindert die Ähnlichkeit.

Für den Fall, dass die zugehörige Positionsähnlichkeit  $sim P_i = 0$  ist, sprich die Position  $P_i$  des Abfrageproblems ist nicht in dem selektierten Fall enthalten, wird der Wert  $sim TBZ_i = 0$  gesetzt, da die Variable  $TBZ_i$  (*selektierter Fall*) nicht existent ist.



**Abbildung 51: Ähnlichkeit der Teilebezeichnungen (eigene Darstellung)**

Die Ergebnisqualität des vorliegenden Schritts kann durch die Bereinigung der Teilebezeichnungen um Leerstellen und Sonderzeichen vor der Berechnung von  $sim TBZ_i$  erhöht werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 52 angeführt. Ebenso kann die Verwendung von Synonymwörter-Tabellen bei der Durchführung der Berechnung von  $sim TBZ_i$  zu besseren Ergebnissen führen (Bsp.: O-Ring = Gasket = Sealing).

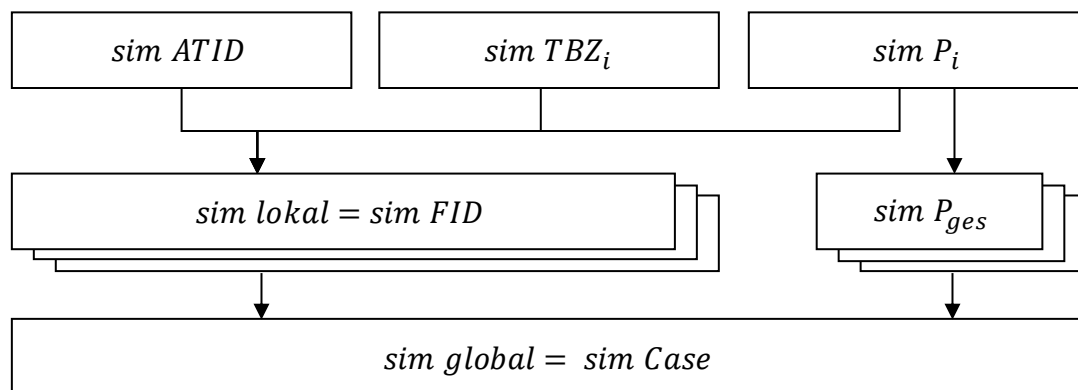
| Beispiel   Ohne Bereinigung der Teilebezeichnung |         |         | Beispiel   Mit Bereinigung der Teilebezeichnung |         |         |
|--|---------|---------|---|---------|---------|
| TBZ  | Lev TBZ | sim TBZ | TBZ   | Lev TBZ | sim TBZ |
| Sechskant-schraube 1.8                           | 3       | 0,93    | Sechskantschraube18                             | 0       | 1,00    |
| Sechskantschraube1,8                             |         |         | Sechskantschraube18                             |         |         |

**Abbildung 52: Beispiel für Sonderzeichen-Bereinigung (eigene Darstellung)**

Die Bestimmung der  $sim TBZ_i$  kann ebenfalls den Aufgaben „Search“ und „initially match“ der Task-method structure (vgl. Punkt 2.5.3) zugeordnet werden. Darüber hinaus dient die methodengestützte Durchführung dieses Schritts zur Beantwortung der Expertenaufgabe 4 (vgl. Punkt 5.2.2).

### 5.5.6 Schritt 10 | Gesamtähnlichkeit je Fall bestimmen

Nachdem alle Deskriptorengruppen der Problembeschreibung miteinander verglichen wurden, erfolgt in Schritt 10 die Bewertung der Ähnlichkeit eines selektierten Falls in seiner Gesamtheit. Ziel ist die mathematische Kombination der zuvor bestimmten Ähnlichkeitsmaße  $sim ATID$ ,  $sim P_i$  und  $sim TBZ_i$  zu einem lokalen Ähnlichkeitsmaß  $sim FID$  (vgl. Abbildung 38 und Abbildung 53). Dieser Vorgang wird für jeden Fall einer relevanten  $W A I D$  bzw. Sub-Fallbasis ausgeführt. Das Ähnlichkeitsmaß  $sim FID$  repräsentiert das Selektionskriterium für den bestpassenden Fall je Sub-Fallbasis.



**Abbildung 53: Schematische Kombination der Ähnlichkeitsmaße (eigene Darstellung)**

Die Kombination der bisher ermittelten Ähnlichkeitsmaße erfolgt anhand nachstehender Gleichung:

#### Formel 13: Gesamtähnlichkeit eines Falls<sup>25</sup>

$$sim FID = sim ATID \cdot \sum_{i \in I} (sim P_i + sim TBZ_i)$$

*I* ... Menge aller Positionsnummern

*FID* ... Fall ID

*W A I D* ... Wartungsposition ID

<sup>25</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.

*ATID ... Anlagentyp ID**P<sub>i</sub> ... Position**TBZ<sub>i</sub> ... Teilbezeichnung der Positionsnummer i**sim FID ... Aehnlichkeit eines Falls**sim ATID ... Aehnlichkeit der ATID**sim P<sub>i</sub> ... Aehnlichkeit der Position in Abhaengigkeit der Positionsnummer i**sim TBZ<sub>i</sub> ... Aehnlichkeit der TBZ<sub>i</sub>*

Der Wert des Terms *sim ATID* steuert den nachfolgenden Term. Ist der Anlagentyp eines selektieren Falls innerhalb der Sub-Fallbasis für eine *WAID* nicht deckungsgleich mit dem des Abfrageproblems, setzt der Term *sim ATID* die gesamte Gleichung auf null. Sind die *ATIDs* kongruent, ergibt sich der *Wert* = 1 und die restliche Gleichung bleibt unverändert.

Der Term *sim P<sub>i</sub>* gibt einen binären Wert an. Wohingegen *sim TBZ<sub>i</sub>* einen  $0 < \textit{Wert} < 1$  annimmt. Sofern *sim P<sub>i</sub>* = 0 ist, ist auch *sim TBZ<sub>i</sub>* = 0 (vgl. Punkt 5.5.5). Entspricht *sim P<sub>i</sub>* = 1, beträgt  $0 < \textit{sim TBZ}_i < 1$ . Somit kann der Term innerhalb der Klammer die *Werte* = 0 oder einen  $1 < \textit{Wert} < 2$  annehmen. Das Ergebnis der Gleichung ist ein Skalar. Je höher dessen Wert, desto passender ist der selektierte Fall. Eine gesonderte Gewichtung der einzelnen Ähnlichkeitsmaße bedarf es nicht. Diese ergibt sich bereits aus der Anzahl gemeinsamer Positionen sowie der Ausprägung der Editierdistanz. Ebenso ist ein Maximum nicht definierbar, da die Anzahl an benötigten Teilen und somit der resultierende Wert aufgrund der Anzahl gemeinsamer Positionen *P<sub>i</sub>* variieren kann.

Bezogen auf die Task-method structure zählt dieser Schritt zu den Aufgaben „Initially match“ und „Select“. Der Schritt 10 wird gemeinsam mit den zuvor erläuterten Schritten 6-9 für alle in Phase 1 identifizierten *WAIDs* durchlaufen. Je *WAID* werden grundsätzlich geeignete Fälle einer Sub-Fallbasis geprüft. Der resultierende Fall mit der höchsten Ausprägung der *sim FID* wird final herangezogen.

### 5.5.7 Schritt 11 | Gütegrad des Gesamtfalls bestimmen

Mit Abschluss des vorherigen Schritts wurde die Ähnlichkeit für jede benötigte *WAID* eines Abfrageproblems bestimmt. Diese einzelnen Ähnlichkeiten werden in Schritt 11 in ein Gesamtähnlichkeitsmaß (*sim global* = *sim Case*) überführt. Der Gesamtfall setzt sich aus den bestpassenden Fällen je Sub-Fallbasis zusammen. Diese können

aufgrund von divergierenden  $TBZ$  von deren bestmöglicher Ausprägung (d. h. alle  $sim TBZ_i = 1$ ), und somit der bestmöglicher Ausprägung der  $sim FID$ , abweichen. Das nachfolgende Ähnlichkeitsmaß bewertet diese Abweichung. Es gibt Auskunft welchen Ähnlichkeitsgrad der aus den zusammengesetzten Sub-Fällen bestehende Fall, im Verhältnis zu dessen bestmöglicher Ausprägung, besitzt. Dieses Ähnlichkeitsmaß entspricht somit einem Gütegrad. Dieser Gütegrad, welcher einen  $0 < Wert < 1$  aufweist, kann anhand von Formel 14 bestimmt werden:

**Formel 14: Gütegrad des Gesamtfalls<sup>26</sup>**

$$sim Case = \frac{1}{n} \sum_{t \in T} \frac{sim FID_t}{2 \cdot sim P_{ges_t}}, \text{ wobei } sim FID_t \text{ der beste Fall je Sub – Fallbasis ist.}$$

$n$  ... Anzahl WAIDs

$T$  ... Menge der besten FIDs je Sub – Fallbasis

$sim FID$  ... Aehnlichkeit eines Falls

$sim P_{ges}$  ... Aehnlichkeit aller Positionen

$sim Case = Guetegrad \text{ des Gesamtfalls}$

Die Ähnlichkeit  $sim FID_t$  drückt in Form eines Skalars das Ähnlichkeitsmaß des bestpassenden Falls eines Sub-Fallbasis aus. Der Term  $sim P_{ges_t}$  im Nenner gibt an, wie viele übereinstimmende Positionen  $P_i$  ein bestpassender Fall aufweist. Vorausgesetzt es existieren keine Abweichungen bei den Teilebezeichnungen, d. h.  $sim TBZ_i = 1$ , wird jede  $sim P_i$  mit dem Wert = 1 addiert (vgl. Punkt 5.5.6). Dies ist gleichbedeutend mit der Verdoppelung des Terms  $sim P_{ges_t}$ . Folglich kann die höchstmögliche Punktzahl für eine  $sim FID_t$  mit dem Term  $2 \cdot sim P_{ges_t}$  ausgedrückt werden. Dieser Wert ist als Bezugsbasis je  $sim FID_t$  in der obigen Gleichung angeführt. Die resultierenden Werte werden je WAID addiert und durch die Anzahl  $n$  der WAIDs dividiert. In Folge ergibt sich ein Gütegrad für den Gesamtfall mit der Ausprägung von 0 bis 1.

Mit der Durchführung von Schritt 11 ist die Hauptaufgabe „Retrieve“ bei der Gestaltung eines CBR-Systems (vgl. hierzu die Punkte 2.5.2 und 2.5.3) abgeschlossen. Gemäß Abbildung 35 folgt im nächsten Schritt die Hauptaufgabe „Reuse“.

---

<sup>26</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Anhang A.4 entnommen werden.

### 5.5.8 Schritt 12 | Lösung anwenden

In Schritt 12 wird die in einem selektierten Fall enthaltene Lösung auf das vorliegende Abfrageproblem übertragen. Ziel ist die Identifikation der korrekten Teilenummern und Mengen in der SBOM des vorliegenden Abfrageproblems. Hierfür werden die Fälle je benötigter *WAID* herangezogen, für die zuvor die größte Gesamtähnlichkeit mit dem vorliegenden Abfrageproblem ermittelt wurde. Für einen bestpassendsten Fall werden die Attribute der enthaltenen Deskriptorengruppe 4 (DG 4) und Deskriptorengruppe 5 (DG 5) auf die in Schritt 5 selektierte SBOM angewendet.

Die DG 4 enthält die Attribut-Wert-Paare für  $f_{TBZ_i}$  und  $TN_i$ . Sowohl das Attribut als auch dessen Wert sind abhängig von der Positionsnummer  $i$ . Hieraus folgt die Anwendung der bereits angeführten Formel 2:

#### Formel 2: Teilenummergleichung

$$f_{TBZ_i} = TN_i$$

$$i \in I$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern  $i$

$f_{TBZ_i}$  ... Teilenummer der Teilebezeichnung  $TBZ_i$

$TBZ_i$  ... Teilebezeichnung der Positionsnummer  $i$

$TN_i$  ... Teilenummer der Positionsnummer  $i$

Dem Wert des Attributs wird der Datentyp „String“ zugewiesen. Für die Ausgabe der Lösung wird jede  $f_{TBZ_i}$  der DG 4 selektiert, die entsprechende Positionsnummer  $i$  in der SBOM aufgerufen und die dieser Positionsnummer zugeordnete Teilenummer  $TN_i$  ausgegeben.

Die DG 5 enthält die Attribut-Wert-Paare für  $m_{TBZ_i}$  und der  $STK_i$ . Beide weisen ebenfalls eine Abhängigkeit zur Positionsnummer  $i$  auf. Hieraus folgt die Anwendung der ebenfalls bereits vorgestellten Formel 3:

#### Formel 3: Stückzahlgleichung

$$m_{TBZ_i} = STK_i = \prod_{k \in K_i} STK_k$$

$$i \in I$$

$$k \in K_i$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern  $i$

$K_i$  ... Menge aller Subpositionsnummern  $k$  der Positionsnummer  $i \in I$

$STK_k$  ... Stueckzahl der Subpositionsnummer  $k$

$m_{TBZ_i}$  ... Stueckzahl der Teilebezeichnung  $TBZ_i$

$TBZ_i$  ... Teilebezeichnung der Positionsnummer  $i$

$STK_i$  ... Stueckzahl der Positionsnummer  $i$

Analog zur DG 4 wird für die Lösungsermittlung jede  $m_{TBZ_i}$  der DG 5 die angegebene Positionsnummer  $i$  in der SBOM selektiert und der damit verknüpfte  $STK_i$  ausgegeben. Das Ergebnis ist eine Teilleiste je  $WAID$  mit den  $f_{TBZ_i}$  und deren zugehörige Teilenummer  $TN_i$  sowie mit der  $m_{TBZ_i}$  und deren Stückzahl  $STK_i$  (vgl. Tabelle 11). Diese Teilleiste entspricht dem „Vorläufigen Service-Kit (VSK)“ der initialen Darstellung des Inferenzprozesses 2 (vgl. Abbildung 37).

**Tabelle 11: Beispiel für eine Teilleiste „Vorläufiges Service-Kit“ (eigene Darstellung)**

| Teilleiste (Vorläufiges Service-Kit) |                 |                        |                        |                        | Zusatzinformationen je Teil |                           |                 |  |                          |                              |
|--------------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|--|--------------------------|------------------------------|
| Attribute                            | Laufende Nummer | Teilebezeichnung       | Teilenummer            | Stückzahl              | Wartungsposition ID         | Fallidentifikationsnummer | Positionsnummer | Erwartete Teilebezeichnung lt. Fall ID | Ähnlichkeit Position     | Ähnlichkeit Teilebezeichnung |
|                                      | <i>Nr.</i>      | <i>TBZ<sub>i</sub></i> | <i>f<sub>TBZ</sub></i> | <i>m<sub>TBZ</sub></i> | <i>WAID</i>                 | <i>FID</i>                | <i>i</i>        | <i>TBZ<sub>i</sub></i>                 | <i>sim P<sub>i</sub></i> | <i>sim TBZ<sub>i</sub></i>   |
| Werte                                | 1               | Motorölpmpe            | 2311                   | 1                      | WAID 2                      | 1200                      | 10-30-20        | P <sub>10-30-20</sub>                  | 1                        | 0,91                         |
|                                      | 2               | Sechskantschraube      | 2310                   | 1                      | WAID 2                      | 1200                      | 10-30-30        | P <sub>10-30-30</sub>                  | 1                        | 0,30                         |

Der Schritt 12 ist für alle WA IDs zu wiederholen, die im Schritt 4 des CBR-Ansatzes identifiziert wurden. Das Kopieren und Anwenden der in den selektierten Fällen enthaltenen Lösungen entspricht der Hauptaufgabe „Reuse“ der Task-method-structure in Punkt 2.5.3. Des Weiteren beantwortet dieser Schritt die im 5.2.2 beschriebenen Expertenaufgaben 2 und 3.

### 5.5.9 Schritt 13 | Resultat prüfen und reparieren

In Schritt 13 wird das resultierende Ergebnis aus dem Vorgängerschritt überprüft und bei relevanten Abweichungen repariert. Ziel ist die Ergänzung fehlender sowie die Korrektur falscher Teilenummern und Stückzahlen in der ausgegebenen Teilleiste.

Abweichungen der Lösung können auf unterschiedliche Ursachen zurückgeführt werden. Sofern die Anlage des Abfrageproblems z. B. einem neueren Baujahr zugehörig ist, sind ggf. keine oder nicht ausreichend vergangene Fälle in der Fallbasis enthalten. Die Ähnlichkeit *sim ATID* kann den Wert = 0 annehmen. Unterschiedliche Wartungsumfänge, Varianten im Stücklistenaufbau oder Datenfehler ergeben Abweichungen bei den Ähnlichkeiten *sim P<sub>i</sub>* und *sim TBZ<sub>i</sub>*. Die Abweichungen bei den angeführten





Beispielhafte Ursachen für Abweichungen der Ähnlichkeitsmaße sind in der Stückliste in Abbildung 54 angeführt. Bei abweichenden Ähnlichkeitsmaßen sieht der vorliegende CBR-Ansatz eine manuelle Korrektur und Reparatur durch den Ersatzteilexperten vor. Dieser Vorgang wird für detektierte Abweichungen, analog zur Vorgehensweise ohne CBR-Ansatz, gemäß der Inferenzprozesse 2 und 3 (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 37) durchgeführt. Das Ergebnis dieses Vorgangs repräsentiert eine Erweiterung der Teileliste aus dem Vorgängerschritt. In ihr werden durch den Experten entsprechende Teilenummern und Stückzahlen ergänzt bzw. korrigiert (Beispiel vgl. Tabelle 12). Das Ergebnis entspricht dem „Erweiterten Service-Kit (ESK)“ des IP 3 in Abbildung 7.

**Tabelle 12: Beispiel für eine korrigierte Ergebnisliste (eigene Darstellung)**

| Ergebnisliste (Erweitertes Service-Kit) |                 |                        |                        |                        | Zusatzinformationen je Teil |                           |                 |  |                          |                              |
|---|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|--|--------------------------|------------------------------|
| Attribute                               | Laufende Nummer | Teilebezeichnung       | Teilenummer            | Stückzahl              | Wartungsposition ID         | Fallidentifikationsnummer | Positionsnummer | Erwartete Teilebezeichnung lt. Fall ID | Ähnlichkeit Position     | Ähnlichkeit Teilebezeichnung |
|   | <i>Nr.</i>      | <i>TBZ<sub>i</sub></i> | <i>f<sub>TBZ</sub></i> | <i>m<sub>TBZ</sub></i> | <i>WAID</i>                 | <i>FID</i>                | <i>i</i>        | <i>TBZ<sub>i</sub></i>                 | <i>sim P<sub>i</sub></i> | <i>sim TBZ<sub>i</sub></i>   |
| Werte                                   | 1               | Motorölpumpe           | 2311                   | 1                      | WAID 2                      | 1200                      | 10-30-20        | P <sub>10-30-20</sub>                  | 1                        | 1,00                         |
|   | 2               | O-Ring                 | 2312                   | 1                      | WAID 2                      | 1200                      | 10-30-30        | P <sub>10-30-30</sub>                  | 1                        | 1,00                         |

Das Prüfen und Korrigieren der Lösung entspricht der Hauptaufgabe „Revise“ der Task-method-structure in Punkt 2.5.3. Des Weiteren unterstützt dieser Schritt ebenfalls die im Punkt 5.2.2 beschriebenen Expertenaufgaben 2 und 3.

#### 5.5.10 Schritt 14 | Adaptierten Fall speichern

In Schritt 14 wird die neu generierte Lösung aufbereitet und als zusätzlicher Fall der Fallbasis hinzugefügt. Ziel ist die Erweiterung der Fallbasis mit neuem Wissen für zukünftige CBR-Vorgänge. Ausgehend von der korrigierten Lösung müssen für die Fallbeschreibung die notwendigen Fallbestandteile (vgl. hierzu Punkt 5.2) formal beschrieben werden. Hierfür wird zunächst die korrigierte Lösung mittels der Attribut-Wert-Paare der Deskriptorengruppen 4 und 5 formalisiert. Alle Teilenummern und Stückzahlen, korrekte und korrigierte, werden mittels der Formel 2 und Formel 3 in Punkt 5.5.8 beschrieben. Mittels der Deskriptorengruppen 2 und 3 werden die neuen Fallindizes vergeben, um das Auffinden und Abgleichen bei zukünftigen Problemstellungen zu ermöglichen. Hierfür werden die Attribute  $P_i$  und  $TBZ_i$  definiert. Details zur Ableitung der Attribut-Wert-Paare können dem Punkt 5.5.1 entnommen werden. Auf eine neuerliche Erläuterung wird an dieser Stelle verzichtet.

Die Attribut-Wertpaare der Deskriptorengruppe 1, d. h. die Attribute  $WAID$ ,  $ATID$  und  $Typ_{ATID}$  werden bei der Korrektur von Fällen unverändert übernommen. Hintergrund bildet die Tatsache, dass der zu korrigierende Fall nicht angezeigt worden wäre, wenn

keine vollumfängliche Übereinstimmung dieser Attribute vorliegen würde. Diese Attribut-Wert-Paare sind nur dann zu ergänzen, wenn kein Fall für eine entsprechende *WAID* und *ATID* in der Fallbasis vorhanden ist. Hier wäre die Definition eines gänzlich neuen Falls, inkl. der genannten Attribut-Wert-Paare, erforderlich. Analog zu den Beschreibungen in Punkt 5.2.6 werden dem neuen Fall ergänzende Rahmeninformationen zugewiesen. Hierzu zählen die Attribut-Wert-Paare für die Anlagen ID, Ist-Betriebsstunden, Fall-Erstellungsdatum, Fall ID und Autor ID. Diese Angaben ermöglichen eine optimierte Instandhaltung und Servicierung der Fallbasis. Ein Beispiel für einen adaptierten Fall zeigt Abbildung 55.

|   |   |   |   |   |                        |
|---|---|---|---|---|------------------------|
| Problem                                     | <b>Selektierter Fall</b>  |   | <b>Neuer Fall</b><br>(basierend auf korrigierter Ergebnisliste) |   |                        |
|   | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«                     |   | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«                     |   |                        |
|   | Attribut  | Wert  | Attribut  | Wert  |                        |
|   | WAID  | WAID 2                                      | WAID  | WAID 2                                      |                        |
|   | ATID  | Serie A                                     | ATID  | Serie A                                     |                        |
|   | Typ <sub>Serie A</sub>  | 1   | Typ <sub>Serie A</sub>  | 1   |                        |
|   | Deskriptorengruppe 2<br>»Fall-Indizes   Position (P)«           |   | Deskriptorengruppe 2<br>»Fall-Indizes   Position (P)«           |   |                        |
|   | Attribut  | Wert  | Attribut  | Wert  |                        |
|   | P <sub>10-30-20</sub>   | 1   | P <sub>10-30-10</sub>   | 1   |                        |
|   | P <sub>10-30-30</sub>   | 1   | P <sub>10-30-20</sub>   | 1   |                        |
|   | Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« |   | Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« |   |                        |
|   | Attribut  | Wert  | Attribut  | Wert  |                        |
|   | TBZ <sub>10-30-20</sub>   | Motorölpumpe                                | TBZ <sub>10-30-10</sub>   | O-Ring                                      |                        |
|   | TBZ <sub>10-30-30</sub>   | O-Ring                                      | TBZ <sub>10-30-20</sub>   | Motorölpumpe                                |                        |
|   | Lösung  | Deskriptorengruppe 4<br>»Teilenummern (TN)« |   | Deskriptorengruppe 4<br>»Teilenummern (TN)« |                        |
|   |   | Attribut                                    | Wert  | Attribut                                    | Wert                   |
|   |   | f <sub>Motorölpumpe</sub>                   | TN <sub>10-30-20</sub>  | f <sub>O-Ring</sub>                         | TN <sub>10-30-10</sub> |
|   |   | f <sub>O-Ring</sub>                         | TN <sub>10-30-30</sub>  | m <sub>Motorölpumpe</sub>                   | TN <sub>10-30-20</sub> |
| Deskriptorengruppe 5<br>»Stückzahlen (STK)« |   | Deskriptorengruppe 5<br>»Stückzahlen (STK)« |   |   |                        |
| Attribut                                    |   | Wert  | Attribut  | Wert  |                        |
| m <sub>Motorölpumpe</sub>                   |   | STK <sub>10-30-20</sub>                     | m <sub>O-Ring</sub>   | STK <sub>10-30-10</sub>                     |                        |
| m <sub>O-Ring</sub>                         |   | STK <sub>10-30-30</sub>                     | m <sub>Motorölpumpe</sub>                                       | STK <sub>10-30-20</sub>                     |                        |
| Kontext                                     |   | Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation« |   | Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation« |                        |
|   |   | Attribut                                    | Wert  | Attribut                                    | Wert                   |
|   | Ist-Bh  | 9.890                                       | Ist-Bh  | 9.710                                       |                        |
|   | AID   | A1990                                       | AID   | A1946                                       |                        |
|   | FED   | 27.11.2019                                  | FED   | 26.02.2020                                  |                        |
|   | FID   | 1200  | FID   | 1990  |                        |
|   | UID   | Max Mustermann                              | UID   | Mark Müller                                 |                        |

**Abbildung 55: Beispiel für die formale Beschreibung eines adaptierten Falls (eigene Darstellung)**

Das Ergebnis dieses Schritts ist, analog zu den Beschreibungen und Darstellungen in Punkt 5.2, ein neuer, vollständig beschriebener Fall. Dieser wird gemäß seiner *WAID*

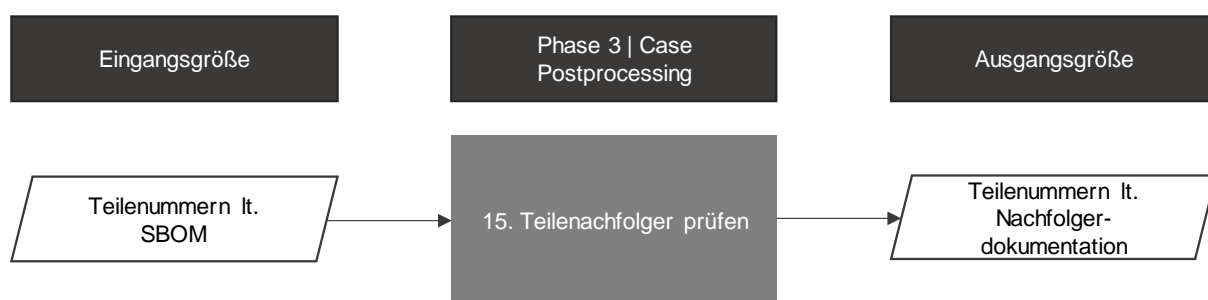
in die entsprechende Sub-Fallbasis integriert (vgl. Punkt 5.3). Das Extrahieren von neuem Wissen, dessen formelle Beschreibung und Indexierung sowie die Rückführung in die Fallbasis in Form eines Falls entspricht der Hauptaufgabe „Retain“ der Task-method-structure in Punkt 2.5.3.

### 5.5.11 Zusammenfassung Phase 2

Mit Abschluss von Schritt 14 ist der Case-based Reasoning Prozess abgeschlossen. Die vorab definierten Expertenaufgaben 2, 3 und 4 sind beantwortet und formal in das CBR-System integriert. Hierfür wurden Regeln, Vorgehensweisen und Methoden für die Hauptprozesse des CBR-Zyklus definiert sowie deren Funktionsweise detailliert beschrieben. Im Speziellen wurden unterschiedliche Ähnlichkeitsmaße sowie deren Zusammenhang für den Fallabgleich präsentiert. Das Anwendungsergebnis des CBR-Zyklus bildet ein „Erweitertes Service Kit (ESK)“.

## 5.6 Phase 3 | Case Postprocessing

In der Phase 3 „Case Postprocessing“ wird das Ergebnis der Phase 2 mit zusätzlichen Informationen aus vorhandenen Datenbanken überprüft. Die Tätigkeiten der Phase 3 sind „regelbasiert“ und erfordern analog zu Phase 1 kein spezifisches Expertenwissen. Die Validierung in Phase 3 ist jedoch erforderlich, um Datenlücken und -fehler in den vorliegenden Stücklisten zu identifizieren und auszugleichen. Abbildung 56 zeigt analog zur regelbasierten Phase 1 die Ein- und Ausgangsgrößen der durchzuführenden Teilenummernprüfung. Nachfolgend werden die Einzelschritte der Phase 3 im Detail erläutert.



**Abbildung 56: Ein- und Ausgangsgrößen der Phase 3 (eigene Darstellung)**

### 5.6.1 Schritt 15 | Teilnachfolger prüfen

In Schritt 15 wird das aus Schritt 13 resultierende „Erweiterte Service-Kit“ auf durchzuführende Anpassungen von Teilenummern geprüft. Ziel ist die Überprüfung der abgeleiteten Teilenummern  $TN_i$  auf verfügbare und einzusetzende Nachfolgerteilenum-

mern *NFNFD*. Hintergrund sind über die Zeit entstehende Abweichungen von verbauten und somit in der SBOM enthaltenen Teilenummern im Gegensatz zu den im Wartungsfall zu verbauenden Teilenummern. Zurückführen lassen sich diese Abweichung z. B. auf einen Lieferantenwechsel bei Zukaufteilen oder die Weiterentwicklungen von Bauteilen durch die Engineering-Bereiche. Gehen Weiterentwicklungen mit Funktionsintegrationen oder -trennungen einher, hat dies zudem eine notwendige Änderung der SBOM-Struktur zur Folge, die zum Zeitpunkt der Ersatzteilpaketabfrage ebenfalls noch nicht in der zugrundeliegenden SBOM ersichtlich ist. Entsprechende Informationen hinsichtlich der Nachfolgeregelungen für einzelne Teile stehen in den Datenbanken von Unternehmen bereit. Abhängig von der Ausprägung der Systemlandschaft sind diese Informationen i. d. R. über das ERP- oder PDM-System abrufbar. Die Überprüfung der Teilenummernliste aus Schritt 13 erfolgt regelbasiert. Der Pseudocode für die Abfrage lautet:

**Formel 15: Regel für die Prüfung von Teilenummernachfolger in der Nachfolgeteiledokumentation<sup>27</sup>**

**Wenn**  $TN_i = TNNFD_z$  **Dann**

**Ersetze**  $TN_i$  durch  $NFNFD_z$

**Sonst** Prüfe nächste  $TNNFD_z$

**Resultat** Alle Nachfolgeteilenummern sind identifiziert.

*z ... Zeilenindizes der Nachfolgeteiledokumentation*

*TNNFD = Alte Teilenummer in der Nachfolgeteiledokumentation*

*NFNFD = Nachfolgeteilenummer in der Nachfolgeteiledokumentation*

*TBZ<sub>i</sub> ... Teilbezeichnung der Positionsnummer i*

*TN<sub>i</sub> ... Teilenummer der Positionsnummer i*

Diese Prüfung ist für jede  $TN_i$  der korrigierten Ergebnisliste aus Schritt 13 durchzuführen. Des Weiteren ist dieser Schritt für jede Ergebnisliste je *WAID* zu vollziehen. Das Ergebnis dieses Schritts ist eine validierte Ergebnisliste, welche das finale vollumfängliche Service-Kit für die Durchführung eines Wartungsfalls einer spezifischen Anlage repräsentiert. Das Service-Kit enthält Teilenummern, Teilebezeichnungen und Men-

---

<sup>27</sup> Beispiele zur Veranschaulichung aller Einzelschritte können dem Punkt A.4 entnommen werden.

genangaben für alle Teile, welche für die Durchführung eines definierten Wartungsintervalls *WIID* benötigt werden. Des Weiteren beantwortet dieser Schritt die im Punkt 5.2.2 beschriebene Expertenaufgabe 5.

**Tabelle 13: Beispiel für eine Teilennachfolgerdokumentation und finale Ergebnisliste (eigene Darstellung)**

| Nachfolgerteiledokumentation |                 |                             |                        |                                   | Ergebnisliste (Vollumfängliches Service-Kit) |                        |                        |                        |
|------------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------|--|------------------------|------------------------|------------------------|
| Zeilenindex                  | Teilenummer alt | Bezeichnung Teilenummer alt | Nachfolger-teilenummer | Bezeichnung Nachfolgerteilenummer | Attribute                                    | Teile-bezeichnung      | Teile-nummer           | Stückzahl              |
| <i>z</i>                     | <i>TNNFD</i>    | <i>TBZ-TNNFD</i>            | <i>NFNFD</i>           | <i>TBZ-NFNFD</i>                  |  | <i>TBZ<sub>i</sub></i> | <i>f<sub>TBZ</sub></i> | <i>m<sub>TBZ</sub></i> |
| 1                            | 2311            | Motorölpumpe                | 2354                   | Motorölpumpe                      | <b>Werte</b>                                 | Motorölpumpe           | 2354                   | 1                      |
| 2                            |                 |                             |                        |                                   |  | O-Ring                 | 2312                   | 1                      |

### 5.6.2 Zusammenfassung Phase 3

Mit Abschluss von Schritt 15 ist die Phase 3 des CBR-Systems beendet. Entsprechende Teilenummernabweichungen aufgrund von verfügbaren Nachfolgerteilen wurden geprüft und ggf. behoben. Die resultierende Teilenummernliste repräsentiert das „Vollumfängliche Service-Kit (VUSK)“, welches für die Initiierung weiterer Unternehmensprozesse herangezogen wird.

### 5.7 Zusammenfassung des Kapitels

In Kapitel 5 wurde, basierend auf der spezifischen Problemstellung und Zielsetzung sowie den damit einhergehenden Anforderungen, ein CBR-System für die wissensbasierte Konfiguration von Service-Kits für den Maschinen- und Anlagenbau entwickelt. Der Aufbau sowie die Funktionsweise orientieren sich an den in Kapitel 2 vorgestellten theoretischen Grundlagen. Die Ausprägung sowie das Anwendungsbiet unterscheiden sich von den in Kapitel 3 vorgestellten bestehenden Ansätzen und deren Anwendungsgebieten.

## 6 Anwendung und Validierung des Vorgehensmodells

In diesem Kapitel wird die Funktionsweise des entwickelten CBR-Systems anhand eines realen Beispiels bei einem österreichischen Hersteller von Gasmotoren demonstriert. Zunächst werden die Rahmenbedingungen sowie der Aufbau des Gesamtsystems und der Wissensbasis erläutert. Im Anschluss folgt die beispielhafte Anwendung des entwickelten CBR-Systems, gefolgt von der Darstellung und Interpretation der erzielten Ergebnisse.

### 6.1 Ausgangssituation und Rahmenbedingungen

Das Unternehmen des Fallbeispiels ist ein führender Lösungsanbieter von Gasmotoren, Energieanlagen, einer digitalen Plattform sowie ergänzender Dienstleistungen im Bereich Energieerzeugung und Gasverdichtung nahe am Verbraucher. Die ausgelieferte Flotte beträgt über 48.000 Motoren weltweit. (vgl. INNIO Jenbacher GmbH & Co OG 2019)

Die Gasmotoren bieten einen Leistungsbereich von 200 kW bis 10 MW. Diese werden mit Erdgas oder anderen Gasen betrieben und erzeugen Strom, Wärme und Kälte in unterschiedlichsten gewerblichen, industriellen und kommunalen Anwendungsbereichen direkt vor Ort. Hierzu zählen insbesondere erneuerbare Energien, Energieerzeugung aus Abfällen, industrielle Energieerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), sowie Energieversorgung von Ölfeldern. Das Produktportfolio umfasst fünf Baureihen mit zwölf Motortypen. Alle Motortypen gliedern sich wiederum in mehr als 200 Varianten, die u. a. aus den unterschiedlichen Gasarten resultieren. (vgl. INNIO Jenbacher GmbH & Co OG 2019)

Ergänzend zu den Primärprodukten bietet das Unternehmen ein umfassendes Service-Angebot. Dies enthält u. a. die Bereitstellung von Originalersatzteilen, wiederaufbereiteten Komponenten, Upgrades, Generalüberholungen sowie die Vereinbarung von mehrjährigen Servicevereinbarungen. Letztere können die Form von Ersatzteilbereitstellungsverträgen oder vollumfassenden Instandhaltungsverträgen annehmen. (vgl. INNIO Jenbacher GmbH & Co OG 2020)

Bezugnehmend auf die in Abbildung 14 unter Punkt 2.2.3 dargestellten Leistungsebenen ist das Unternehmen in der „Leistungsebene 4“ einzuordnen.



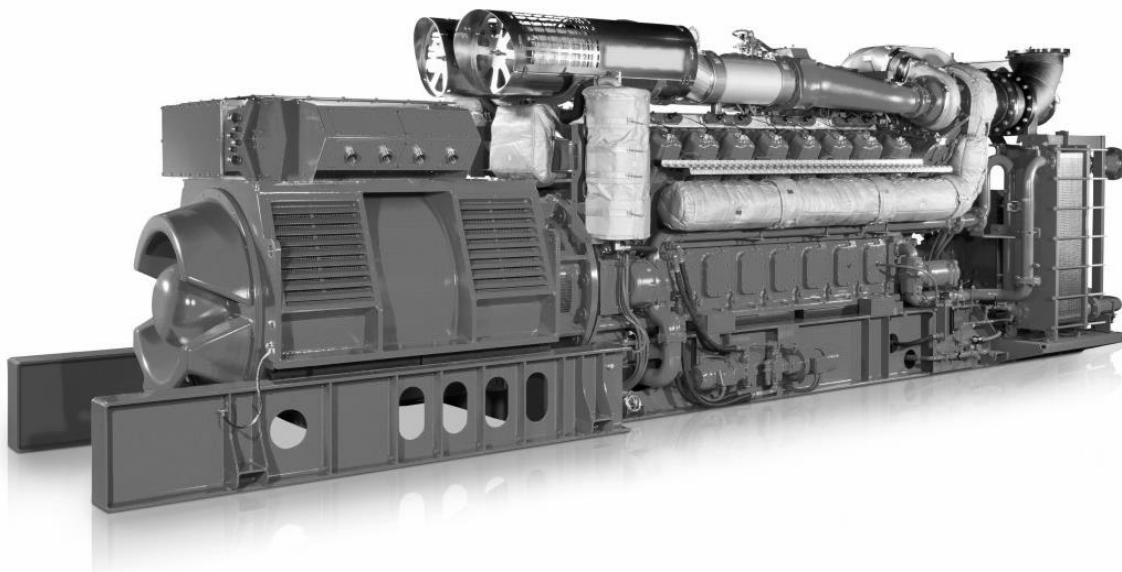


Abbildung 57: Beispielhafter Gasmotor (INNIO Jenbacher GmbH & Co OG 2020)

## 6.2 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Für das Fallbeispiel wurden die Baureihen A<sup>28</sup> (BRA) und Baureihe B (BRB) ausgewählt. Diese Baureihen umfassen ca. 75 % der weltweit installierten und aktiven Flotte des Anwendungspartners. Mit dieser Auswahl soll das Ergebnis maximal repräsentativ sein. Innerhalb der Baureihen erfolgt eine weitere Fokussierung auf die Motortypen A20 und B20. Diese entsprechen dem Fallattribut Anlagentyp ID *ATID*, d. h. *ATID* = A20 und *ATID* = B20. Des Weiteren wird die Validierung des Vorgehensmodells anhand des beiden Motortypen zugewiesenen Wartungsintervalls bei 30.000 Betriebsstunden vorgenommen. Dem *WIID* = *WI 30k* sind in der Realität 20 x Wartungsposition IDs *WAIDs* zugeordnet, für die jeweils mehrere Fälle existieren. Um die Komplexität des Fallbeispiels einzugrenzen wird die Anzahl der Wartungspositionen auf acht begrenzt. Diese repräsentieren sowohl einfache Wartungspositionen mit geringem Teileumfang als auch komplexe Wartungspositionen mit höherem Teileumfang. Darüber hinaus sind Wartungspositionen mit Gültigkeit für beide *ATIDs* enthalten.

---

<sup>28</sup> Für das Fallbeispiel wurden aus Datenschutzgründen folgende Parameter neutralisiert: Baureihenbezeichnung, Motortypenbezeichnung, Anlagen IDs, Wartungsposition IDs und Teilenummern. Der Funktionsnachweis des entwickelten Vorgehensmodells wird hierdurch nicht beeinträchtigt.



Die Durchführung des Fallbeispiels erfolgt in zwei Schritten:

**Schritt 1 – Aufbau der Wissensbasis:** Für die spätere Anwendung des entwickelten Vorgehensmodells wird zunächst die Wissensbasis modelliert (analog Punkt 5.3) und die darin enthaltene Fallbasis mit initialen Fällen, als Basis für ein Abfrageproblemvergleich, generiert. Das IPS-System mit der Zuordnung von Wartungspositionen zu Wartungsintervallen sowie deren Gültigkeit für die einzelnen Motortypen wird anhand eines realen Wartungsplans demonstriert und die Zuordnung in Excel-Tabellen dargestellt. Die benötigten Informationen des PDM-Systems werden zu Demonstrationszwecken als Datenexport außerhalb des Systems bereitgestellt. Hierfür erfolgt der Export von Service-Stücklisten und Teilenachfolgerlisten in Form von Text- und Excel-Dateien. Für die initialen Fallbasisinhalte werden je Motortyp  $15 \times AIDs$  selektiert und Fälle abgeleitet. Mit Unternehmensexperten werden anhand dieser Anlagen und den zugeordneten Wartungspositionen die Beispielfälle erzeugt, formal beschrieben und in Tabellen dargestellt. Diese repräsentieren die Fallbasis.

**Schritt 2 – Anwendung des Vorgehensmodells:** Die Anwendung des Vorgehensmodells erfolgt anhand einer beispielhaften Anlage ( $AID = X26036_1$ ) des Motortyps B20. Diese wird aus dem bereitgestellten Datenexport der Service-Stücklisten ausgewählt und die in Kapitel 5 beschriebenen Einzelschritte des Vorgehensmodells zur Generierung eines anlagenspezifischen Service-Kits durchgeführt.

Das Fallbeispiel endet mit der Darstellung eines entwickelten Software-Demonstrators sowie einer Abschätzung der zu erwartenden Aufwandsreduktion im Rahmen des Ersatzteilidentifikationsprozesses.

## 6.3 Fallbeispiel

### 6.3.1 Aufbau der Wissensbasis

Nachfolgend werden die realen Rahmenbedingungen der Baureihen A und B auf die in Kapitel 5 beschriebene Struktur der Wissensbasis, bestehend aus IPS-System, PDM-System und Fallbasis, übertragen.

### IPS-System | **Wartungsplanmatrix und Wartungspläne**

Für die Durchführung der Phase 1 „Case Preparation“ werden eine Wartungsplanmatrix sowie detaillierte Wartungspläne benötigt. Abhängig von Baujahr und Version existieren je Baureihe mehrere generische Wartungspläne. Diese generischen Wartungspläne sind mehrseitige Dokumente, welche Hinweise zu deren Gültigkeitsbereich sowie Anmerkungen zu relevanten Wartungspositionen je Wartungsintervall enthalten.

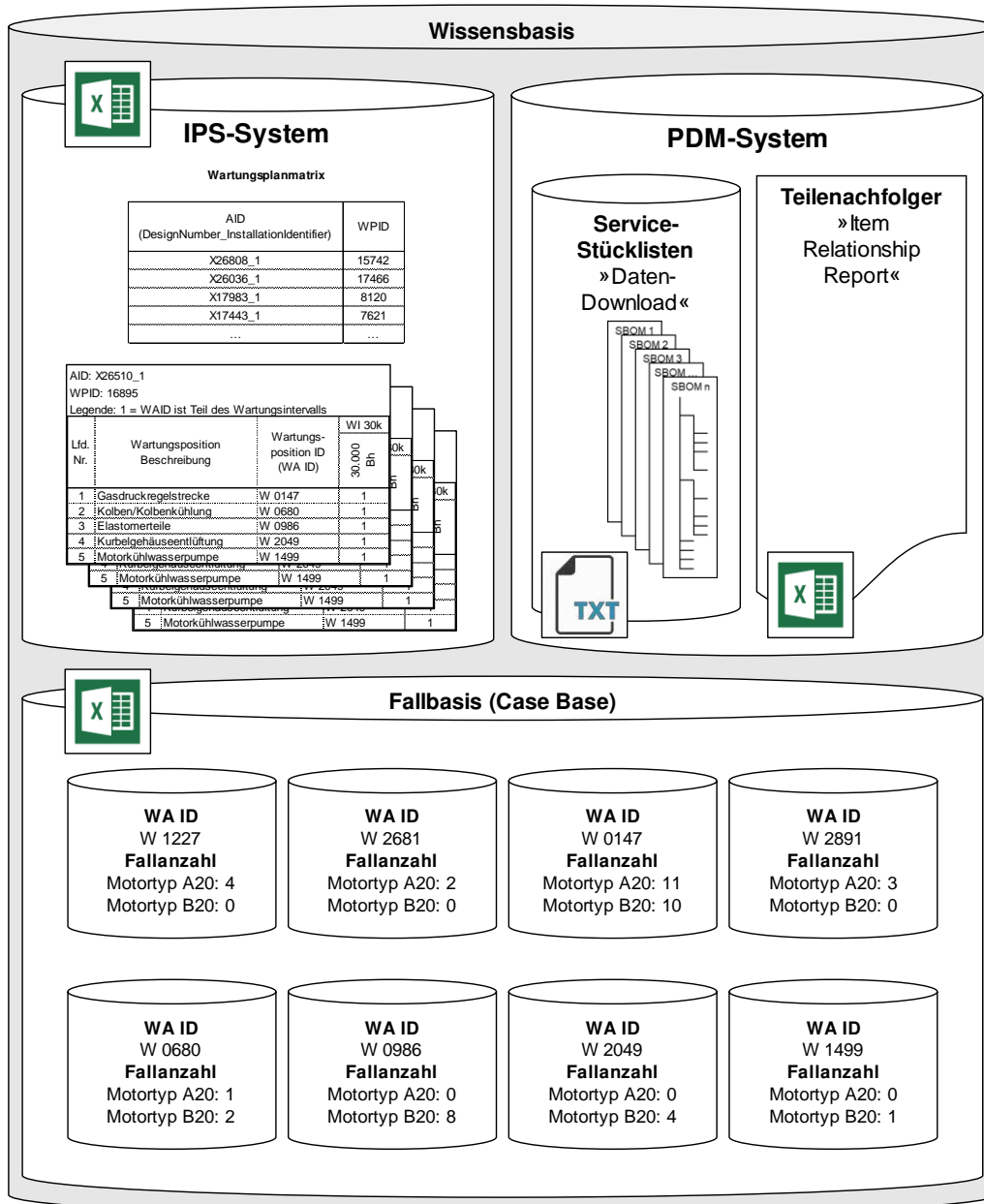


Abbildung 58: Aufbau und Struktur der Wissensbasis (eigene Darstellung)

Alle Wartungsarbeiten und -intervallzuordnungen sind darin ergänzend in Tabellenform dargestellt (vgl. Abbildung 59). Die enthaltenen Beschreibungen dienen zur allgemeinen Information und haben Gültigkeit für mehrere Motorkonfigurationen einer Baureihe. Bei Auslieferung wird, basierend auf dem generischen Wartungsplan, für jeden Motor ein anlagenspezifischer Wartungsplan abgeleitet. Dieser enthält, basierend auf den Anlagenspezifika (z. B. Gasart), eine anlagenspezifische Zuordnung von relevanten Wartungsanweisungen und -intervallen. Dieser individuelle Wartungsplan je Anlage erhält eine eigene und eineindeutige Wartungsplan ID. Im Fallbeispielunternehmen wird diese Wartungsplan ID als „PM Schedule Number“ bezeichnet und ist dem „Installed Base Report (IBR)“ zu entnehmen. Der IBR ist ein Anlagenverzeichnis,



**Tabelle 14: Wartungsplanmatrix (eigene Darstellung)**

| AID<br>(DesignNumber_InstallationIdentifier) | WPID  |
|--|-------|
| X26808_1                                     | 15742 |
| X26036_1                                     | 17466 |
| X17983_1                                     | 8120  |
| X17443_1                                     | 7621  |
| ...  | ...   |

Die Tabelle 15 illustriert zudem den baureihen- und motortypübergreifenden Charakter der einzelnen *WAIDs*. So ist beispielsweise die *WAID* = *W 0147* „Gasdruckregelstrecke“ dem Motortyp A20 und B20 zugewiesen. Insgesamt ergeben sich hieraus acht unterschiedliche *WAIDs* als Basis für die weitere Detaillierung des Fallbeispiels.

### **PDM-System | Service-Stücklisten und Teilnachfolger**

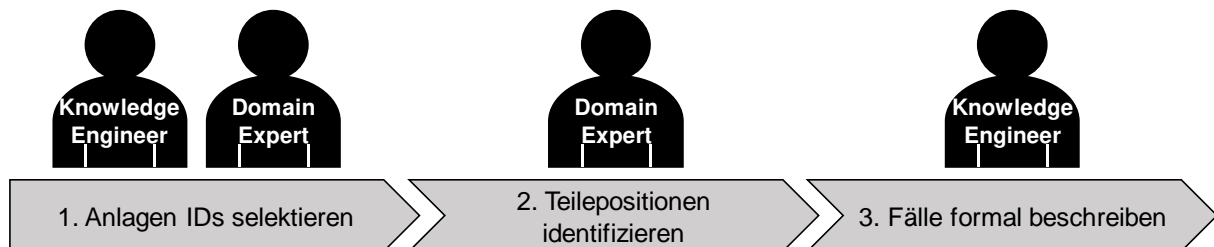
Für die Durchführung der Phase 2 „Case-based Reasoning“ werden Service-Stücklisten benötigt, um in weiterer Folge entsprechende Abfrageprobleme formulieren zu können. Diese werden im Fallbeispielunternehmen zentral in einem PDM-System verwaltet. Zur Darstellung des Funktionsnachweises des entwickelten Ansatzes werden mehrere beispielhafte Service-Stücklisten als exportierte Einzeldateien im Text-Format in einem separaten Datenspeicher vorgehalten.

Für die Durchführung der Phase 3 „Case-Postprocessing“ ist eine Teilnachfolgerdokumentation erforderlich. Diese Dokumentation entspricht im Fallbeispielunternehmen dem „Item Relationship Report (IRR)“. Der IRR ist eine Exceldatei, welche alle bekannten Teilenummern mit Vorgänger- und Nachfolgerbeziehungen inkl. Anmerkungen enthält. Die Exceldatei ist ein Export aus dem PDM-System, der regelmäßig aktualisiert und unterschiedlichen Funktionsbereichen als Informationsmedium zentral bereitgestellt wird. Zur Erbringung des Funktionsnachweises des entwickelten Ansatzes wird der Item Relationship Report beispielhaft in den Demonstrator integriert.

### **Fallbasisstruktur und -inhalte**

Abgeleitet von der Gliederung des *WIID* = *WI 30k* und der Selektion der fünf *WAIDs* je Motortyp sowie analog zum vorgeschlagenen Fallbasisaufbau (vgl. Punkt 5.3), strukturiert sich die Fallbasis des Fallbeispiels in acht Sub-Datenspeicher (Sub-Fallbasen). Jeweils eine Sub-Fallbasis je *WAID*. Für die Demonstration und Validierung des ent-

wickelten CBR-Ansatzes müssen die Sub-Fallbasen initial mit Fällen angereichert werden, um den späteren Abgleich mit einem vorliegenden Abfrageproblem zu ermöglichen. Daher wird nachfolgend die in Abbildung 60 dargestellte Vorgehensweise zur Herleitung der initialen Fallbasisinhalte erläutert.



**Abbildung 60: Vorgehensweise zur Erstellung der initialen Fallbasisinhalte (eigene Darstellung)**

**1. Anlagen IDs selektieren:** In einem ersten Schritt wird nach dem Zufallsprinzip jeweils eine initiale Anlagen ID  $AID$  für den Anlagentyp  $ATID = A20$  sowie  $ATID = B20$  als Referenzanlage aus dem Installed Base Report ausgewählt. Dieser Schritt erfolgt gemeinsam durch einen Ersatzteilexperten (Domain Expert) und einen Knowledge Engineer. Für die Baureihe A wurde die  $AID = X26808_1$  und für die Baureihe B die  $AID = X26036_1$  gewählt. Für diese zwei Anlagen werden die nachfolgenden Schritte 2 und 3 vollumfänglich für alle  $WAIDs$  ausgeführt. Hieraus resultiert exakt ein Fall je Sub-Fallbasis. Um einen späteren Fallabgleich mit mehreren Fällen je Sub-Fallbasis zu ermöglichen, muss die Fallanzahl je Sub-Fallbasis erhöht werden. Hierfür werden je  $ATID$  weitere  $14 \times AIDs$  selektiert und in Schritt 2 analysiert. Die Auswahl erfolgt analog zu den initialen Referenzanlagen nach dem Zufallsprinzip aus dem Installed Base Report. Für diese zusätzlichen Anlagen erfolgt Schritt 3 jedoch nur, sofern sich Abweichungen (d. h. neue Fälle) je  $WAID$  im Vergleich zu den initialen Referenzanlagen ergeben. Eine Übersicht der selektierten Anlagen kann Tabelle 15 entnommen werden.

**2. Teilepositionen identifizieren:** Basierend auf den anlagenspezifischen Wartungsplänen sowie den selektierten Wartungspositionsdokumentationen, die der 30.000 Betriebsstundenwartung zugeordnet sind, werden manuell durch Ersatzteilexperten des Unternehmens die benötigten Positionsnummern je  $WAID$  und  $AID$  in den zugehörigen Service-Stücklisten detektiert. Die Vorgehensweise entspricht dem generischen Ist-Prozess zur Ersatzteilidentifikation (vgl. Punkt 1.2.2). Die detektierten Positionsnummern dienen als Basis für die Problemformulierung der Fälle in Schritt 3.

Die Tabelle 16 zeigt beispielhaft für die  $WAID = W 0986$  „Elastomerteile“ die analysierten Referenzanlagen des Motortyps B20 sowie alle für die  $WIID = WI 30k$  benötigten Positionsnummern  $i$  und erwarteten Teilebezeichnungen  $TBZ_i$ . An diesem Beispiel lässt sich erkennen, dass für die Durchführung der  $WAID$ , in Abhängigkeit des Falls, insgesamt 10-12 Teile benötigt werden. Diese sind bei den analysierten Anlagen auf insgesamt 22 unterschiedlichen Positionsnummern  $i$  verortet. Dieser Identifikationsprozess berücksichtigt personalisiertes Expertenwissen, um zusätzlich benötigte Peripherieteile zu identifizieren (vgl. Abbildung 7, Schritt 8), welche nicht explizit in der  $WAID$  beschrieben sind. So enthält die  $WAID = W 0986$  beispielsweise keine präzisen Teilebezeichnungen für die auszutauschenden Elastomerteile. Es wird u. a. lediglich folgender Austauschhinweis angeführt: „Sämtliche O-Ringe: Zylinderbüchse, Kurbelgehäuse, Zylinderkopf, Kolbenkühldüsen“. Welche Positionsnummern für diese Beschreibung als relevant zu betrachten sind, wird durch den Domainexperten definiert.

Analog zur  $WAID = W 0986$  „Elastomerteile“ in Tabelle 16, können dem Anhang A.5 die Teileumfänge der restlichen sieben  $WAIDs$  aus Tabelle 15 entnommen werden.

**3. Fälle formal beschreiben:** Die resultierenden Teilenummernlisten werden, analog zu den Ausführungen unter Punkt 5.2, anschließend durch einen Knowledge Engineer in formale Fallbeschreibungen überführt und den einzelnen Sub-Fallbasen zugewiesen. Für die  $WAID = W 0986$  „Elastomerteile“ des Motortyps B20 können bei 15 analysierten  $AIDs$  insgesamt acht Anlagen mit unterschiedlichen Ausprägungen, d. h. Fälle, mit einem Umfang von jeweils 10-12 Teilenummern, identifiziert werden (vgl. Tabelle 16). Die Anzahl und der Umfang der unterschiedlichen Positionsausprägungen der weiteren  $WAIDs$  können analog zu Schritt 2 dem Anhang A.5 entnommen werden.

Aus den Fallausprägungen wird abgeleitet, dass sowohl der Teileumfang für die  $WAIDs$ , als auch die Verortung der einzelnen Teile in der jeweiligen Servicestückliste zwischen den Motortypen variiert. Diese Varianz ist einer der in Punkt 1.2 beschriebenen Komplexitäts- und Aufwandstreiber der Ersatzteilidentifikation. Tabelle 15 zeigt das Ergebnis der unterschiedlichen Fallanzahl je  $WAID$  sowie deren Teileumfang für die jeweils fünf definierten  $WAIDs$  der 30.000 Betriebsstundenwartung der Motortypen A20 und B20. Jeder abgeleitete Fall wird analog zu den Ausführungen unter Punkt 5.2 mit den Deskriptorengruppen 1-6 formal beschrieben. Eine beispielhafte Fallbeschreibung der  $WAID = W 0986$  „Elastomerteile“ für die  $AID = X26036_1$  des Motortyps B20 kann der Abbildung 61 entnommen werden. Analog hierzu werden alle in Tabelle 16 angeführten Fälle formal beschrieben und der Fallbasis hinzugefügt.







**Tabelle 16: Teileumfang für WA ID = W 0986 „Elastomerteile“ für AIDs des Motortyps B20 (eigene Darstellung)**

Baureihe: B  
 Motortyp: B20  
 WAID: W 0986  
 WA Bezeichnung: Elastomerteile  
 Intervall: 30.000 Bh  
 Legende: 1 = Teilenummer auf dieser Position wird benötigt

| Lfd. Nr. | Positionsnummer | Teilebezeichnung     | Anlagen ID |          |          |          |          |          |          |          |   |
|----------|-----------------|----------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
|          |                 |                      | X26036_1   | X17443_1 | X18172_1 | X18376_1 | X21739_1 | X25843_1 | X29389_1 | X29771_1 |   |
| 1        | 200#160#2#      | Rubber rail          | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1 |
| 2        | 200#160#3#      | Elastic bearing      | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1 |
| 3        | 200#160#4#      | Rubber rail          | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1 |
| 4        | 200#160#7#      | Screw                | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1 |
| 5        | 200#160#9#      | Hexagonal head screw | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1 |
| 6        | 200#170#4#      | Rubber rail          | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | -        | -        | - |
| 7        | 200#170#5#      | Rubber rail          | 1          | 1        | -        | 1        | -        | 1        | 1        | -        | - |
| 8        | 200#170#10#     | Stud bolt            | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | -        | -        | - |
| 9        | 200#170#15#     | Hexagonal head screw | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | -        | -        | - |
| 10       | 200#950#5#12#   | Sealing              | 1          | -        | -        | -        | -        | 1        | 1        | 1        | 1 |
| 11       | 200#1330#5#2#   | Sealing              | 1          | 1        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | 1 |
| 12       | 200#1330#5#3#   | Sealing              | 1          | 1        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | 1 |
| 13       | 200#1330#5#101# | Sealing              | -          | -        | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        | - |
| 14       | 200#1330#5#100# | Sealing              | -          | -        | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        | - |
| 15       | 200#170#11#     | Screw                | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | - |
| 16       | 200#1330#5#13#  | Sealing              | -          | -        | 1        | 1        | -        | -        | -        | -        | - |
| 17       | 200#1330#5#12#  | Sealing              | -          | -        | 1        | 1        | -        | -        | -        | -        | - |
| 18       | 200#1330#12#    | Sealing              | -          | -        | 1        | 1        | -        | -        | -        | -        | - |
| 19       | 200#170#20#     | Stud bolt            | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1 |
| 20       | 200#170#30#     | Screw                | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1 |
| 21       | 200#170#10#     | Rubber rail          | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1 |
| 22       | 200#950#5#100#  | Sealing              | -          | 1        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | - |
| Summe:   |                 |                      | 12         | 12       | 11       | 12       | 11       | 12       | 10       | 11       |   |

|   |   |   |   |                              |                           |
|---|---|---|---|------------------------------|---------------------------|
| Problem   | <b>Fall</b>   | Lösung                                      | Deskriptorengruppe 4<br>»Teilenummern (TN)« |                              |                           |
|   | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«           |   | Attribut      Wert                          |                              |                           |
|   | Attribut  |   | Wert  | f <sub>Rubber rail</sub>     | TN <sub>200#160#2#</sub>  |
|   | WAID  |   | W 0986                                      | f <sub>Elastic bearing</sub> | TN <sub>200#160#3#</sub>  |
|   | ATID  |   | B20   | f <sub>Rubber rail</sub>     | TN <sub>200#160#4#</sub>  |
|   | Typ <sub>B20</sub>                                    |   | 1   | f <sub>Screw</sub>           | TN <sub>200#160#7#</sub>  |
|   | Deskriptorengruppe 2<br>»Fall-Indizes   Position (P)« |   | f <sub>Hexagonal head screw</sub>           | TN <sub>200#160#9#</sub>     |                           |
|   | Attribut  |   | Wert  | f <sub>Rubber rail</sub>     | TN <sub>200#170#4#</sub>  |
|   | P <sub>200#160#2#</sub>                               |   | 1   | f <sub>Rubber rail</sub>     | TN <sub>200#170#5#</sub>  |
|   | P <sub>200#160#3#</sub>                               |   | 1   | f <sub>Stud bolt</sub>       | TN <sub>200#170#10#</sub> |
| P <sub>200#160#4#</sub>   | 1   | f <sub>Hexagonal head screw</sub>           | TN <sub>200#170#15#</sub>                   |                              |                           |
| P <sub>200#160#7#</sub>   | 1   | f <sub>Sealing</sub>                        | TN <sub>200#950#5#12#</sub>                 |                              |                           |
| P <sub>200#160#9#</sub>   | 1   | f <sub>Sealing</sub>                        | TN <sub>200#1330#5#2#</sub>                 |                              |                           |
| P <sub>200#170#4#</sub>   | 1   | f <sub>Sealing</sub>                        | TN <sub>200#1330#5#3#</sub>                 |                              |                           |
| P <sub>200#170#5#</sub>   | 1   | f <sub>Rubber rail</sub>                    | TN <sub>200#170#10#</sub>                   |                              |                           |
| P <sub>200#170#10#</sub>  | 1   | Deskriptorengruppe 5<br>»Stückzahlen (STK)« |   |                              |                           |
| P <sub>200#170#15#</sub>  | 1   | Attribut                                    | Wert  |                              |                           |
| P <sub>200#950#5#12#</sub>                                      | 1   | m <sub>Rubber rail</sub>                    | STK <sub>200#160#2#</sub>                   |                              |                           |
| P <sub>200#1330#5#2#</sub>                                      | 1   | m <sub>Elastic bearing</sub>                | STK <sub>200#160#3#</sub>                   |                              |                           |
| P <sub>200#1330#5#3#</sub>                                      | 1   | m <sub>Rubber rail</sub>                    | STK <sub>200#160#4#</sub>                   |                              |                           |
| P <sub>200#170#10#</sub>  | 1   | m <sub>Screw</sub>                          | STK <sub>200#160#7#</sub>                   |                              |                           |
| Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« |   | m <sub>Hexagonal head screw</sub>           | STK <sub>200#160#9#</sub>                   |                              |                           |
| Attribut  | Wert  | m <sub>Rubber rail</sub>                    | STK <sub>200#170#4#</sub>                   |                              |                           |
| TBZ <sub>200#160#2#</sub>                                       | Rubber rail   | m <sub>Rubber rail</sub>                    | STK <sub>200#170#5#</sub>                   |                              |                           |
| TBZ <sub>200#160#3#</sub>                                       | Elastic bearing                                       | m <sub>Stud bolt</sub>                      | STK <sub>200#170#10#</sub>                  |                              |                           |
| TBZ <sub>200#160#4#</sub>                                       | Rubber rail   | m <sub>Hexagonal head screw</sub>           | STK <sub>200#170#15#</sub>                  |                              |                           |
| TBZ <sub>200#160#7#</sub>                                       | Screw   | m <sub>Sealing</sub>                        | STK <sub>200#950#5#12#</sub>                |                              |                           |
| TBZ <sub>200#160#9#</sub>                                       | Hexagonal head screw                                  | m <sub>Sealing</sub>                        | STK <sub>200#1330#5#2#</sub>                |                              |                           |
| TBZ <sub>200#170#4#</sub>                                       | Rubber rail   | m <sub>Sealing</sub>                        | STK <sub>200#1330#5#3#</sub>                |                              |                           |
| TBZ <sub>200#170#5#</sub>                                       | Rubber rail   | m <sub>Rubber rail</sub>                    | STK <sub>200#170#10#</sub>                  |                              |                           |
| TBZ <sub>200#170#10#</sub>                                      | Stud bolt   | Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation« |   |                              |                           |
| TBZ <sub>200#170#15#</sub>                                      | Hexagonal head screw                                  | Attribut                                    | Wert  |                              |                           |
| TBZ <sub>200#950#5#12#</sub>                                    | Sealing   | Ist-Bh                                      | 29.522                                      |                              |                           |
| TBZ <sub>200#1330#5#2#</sub>                                    | Sealing   | AID   | X26036_1                                    |                              |                           |
| TBZ <sub>200#1330#5#3#</sub>                                    | Sealing   | FED   | 03.01.2020                                  |                              |                           |
| TBZ <sub>200#170#10#</sub>                                      | Rubber rail   | FID   | F0000001                                    |                              |                           |
|   |   | UID   | 1229733_Riester                             |                              |                           |
|   |   | Kontext                                     |   |                              |                           |

Abbildung 61: Fallbeschreibung der WAID = W 0986 für die AID = X26036\_1 (eigene Darstellung)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

### 6.3.2 Fallbeispiel „Motortyp B20“ | Phase 1

Nachstehend werden die Teilschritte der Phase 1 gemäß Punkt 5.4 auf das vorliegende Fallbeispiel angewendet.

#### Schritt 1 | CP-Problem formulieren

Für die Durchführung von Schritt 1 werden zunächst die relevanten Problemattribute, *AID*, *ATID* und *Ist – Bh* einer Service-Anfrage isoliert.

Die Praxisanwendung des entwickelten CBR-Ansatzes wird anhand der *AID = X26510\_1* demonstriert. Die *AID* setzt sich im Fallbeispielunternehmen aus der *Design Number* sowie dem *Installation Identifier* zusammen. Die *Design Number* beschreibt eine Gesamtanlage, welche aus mehreren Einzelanlagen bestehen kann. Die ID *Installation Identifier* ist eine fortlaufende Nummer, beginnend bei 1, welche an die Einzelanlagen vergeben wird. Würde die obige Gesamtanlage mit der *Design Number = X26510* aus zwei Einzelanlagen bestehen, wäre deren *AID = X26510\_1* und *AID = X26510\_2*. Die *Design Number* und der *Installation Identifier* können dem Installed Base Report entnommen werden.

Für das Attribut Anlagentyp ID *ATID* wird im Fallbeispielunternehmen der *Motortyp* (engl. *Engine Type*) herangezogen. Die vorliegende Beispielanlage *AID = X26510\_1* gehört zum *Motortyp = B20*.

Das Attribut *Ist – Bh* kann dem Betriebsstundenzähler oder alternativ einer digitalen Anlagendatenübertragung entnommen werden. Der Wert des Attributs *Ist – Bh* (vgl. *Engine Counter Ophs*) der Anlage *X26510\_1* zeigte am 19.05.2017 insgesamt 29.146 Betriebsstunden an. Analog zum Attribut *AID* können auch die Attribute *ATID* und *Ist – Bh* dem Installed Base Report entnommen werden.

Alle notwendigen Problemattribute von Schritt 1 sind somit definiert.

$$AID = X26510_1$$

$$ATID = B20$$

$$Ist - Bh = 29.146 Bh$$

#### Schritt 2 | Wartungsplan identifizieren

Mit Hilfe der unter Punkt 5.4.2 angeführten Regel, wird im Fallbeispielunternehmen der zugewiesene Wartungsplan für die Anlagen ID der Service-Anfrage ( $AID_{SA} = X26510_1$ ) aus der Wartungsplandatenbank abgerufen. Die Wartungsplandatenbank

(WPD) wird im Fallbeispiel analog zu Schritt 1 durch den Installed Base Report (IBR) repräsentiert. Das Attribut *Wartungsplan ID* entspricht im Fallbeispielunternehmen der *PM Schedule Number (PMSN)*. Ein Auszug des Installed Base Reports kann Tabelle 17 entnommen werden. Für die Beispielanlage X26510\_1 wird die *WPID* = 16895 ermittelt.

Anwendung von Formel 4: Regel für die Abfrage der Wartungsplandatenbank:

$$AID_{SA} = X26510\_1$$

$$WPID = PMSN$$

**Wenn  $AID_{PMSN} = X26510\_1$  Dann**

**Selektiere *PMSN***

**Sonst Prüfe nächste *PMSN***

**Resultat  $PMSN = 16895$**

*PMSN ... Wartungsplan ID*

*SA ... Service – Anfrage*

*AID<sub>PMSN</sub> ... Anlagen ID der PMSN*

*AID<sub>SA</sub> ... Anlagen ID der SA*

**Tabelle 17: Auszug des Installed Base Reports/Anlagenverzeichnis (eigene Darstellung in Anlehnung an (INNIO Jenbacher GmbH & Co OG 2015))**

| Erweiterung Fallbeispiel                             | Auszug Installed Base Report |                         |                          |                            |                |                           |                                   |
|--|------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Anlagen ID<br>(DesignNumber_Installation Identifier) | Design<br>Number             | PM Schedule<br>Category | PM<br>Schedule<br>Number | Installation<br>Identifier | Engine<br>Type | Engine<br>Counter<br>Ophs | Engine<br>Counter<br>Reading Date |
| <i>AID</i>   | <i>DN</i>                    | <i>PMSC</i>             | <i>PMSN</i>              | <i>INID</i>                | <i>ATID</i>    | <i>Ist-Oph</i>            | <i>ECRD</i>                       |
| X15185_1   | X15185                       | standard 30-60          | 6990                     | 1                          | B20            | 29830                     | 16.05.2017                        |
| X15188_1   | X15188                       | standard 30-60          | 7151                     | 1                          | B20            | 29033                     | 19.05.2017                        |
| X14931_2   | X14931                       | standard 30-60          | 6906                     | 2                          | B20            | 29225                     | 12.05.2017                        |
| X10690_1   | X10690                       | standard 30-60          | 2566                     | 1                          | B20            | 29583                     | 11.01.2017                        |
| X15959_1   | X15959                       | standard 30-60          | 6738                     | 1                          | B20            | 29151                     | 19.05.2017                        |
| X15895_1   | X15895                       | standard 30-60          | 7203                     | 1                          | B20            | 29952                     | 19.05.2017                        |
| X15901_1   | X15901                       | standard 30-60          | 7178                     | 1                          | B20            | 29044                     | 19.05.2017                        |
| X21199_1   | X21199                       | standard 30-60          | 14303                    | 1                          | B20            | 29538                     | 19.05.2017                        |
| X23513_1   | X23513                       | standard 30-60          | 13230                    | 1                          | B20            | 29208                     | 19.05.2017                        |
| X24668_2   | X24668                       | bio gas 20-40-60        | 16099                    | 2                          | B20            | 29960                     | 19.05.2017                        |
| X24668_1   | X24668                       | bio gas 20-40-60        | 16091                    | 1                          | B20            | 29966                     | 19.05.2017                        |
| X26510_1   | X26510                       | standard 30-60          | 16895                    | 1                          | B20            | 29146                     | 19.05.2017                        |
| X26512_1   | X26512                       | standard 30-60          | 16846                    | 1                          | B20            | 29279                     | 15.03.2017                        |

### Schritt 3 | Wartungsintervall identifizieren

Mit Hilfe des Attributs *Ist – Bh* sowie der Anwendung, der unter Punkt 5.4.3 angeführten Regel, wird für das Fallbeispiel das gültige Wartungsintervall identifiziert. Die *Soll – Bh* = 30.000 *Bh* der geplanten *WIID* = *WI 30k* weisen einen höheren Wert als die *Ist – Bh* = 29.146 auf. Zudem ist der Betrag zwischen beiden Werten im Vergleich zu anderen *WAIDs* mit höheren *Soll – Bh* minimal. D. h. es existiert kein weiteres Wartungsintervall zwischen den beiden Werten bzw. alle höheren Wartungsintervalle ergeben kein Minimum. Somit sind beide Bedingungen der Abfrageregul erfüllt und die *WAID* = *WI 30k* wird als nächster durchzuführender Wartungsintervall identifiziert (vgl. Tabelle 18).

Anwendung von Formel 5: Regel für die Abfrage des Wartungsintervalls:

$$Ist - Bh_{SA} = 29.146$$

$$Soll - Bh_{WIID} = 30.000$$

**Wenn** 29.146 < 30.000 **Und**

$$|30.000 - 29.146| = \text{Min} \text{ Dann}$$

**Selektiere** *WI 30k*

**Sonst** Prüfe nächste *WIID*

**Resultat** *WIID* = *WI 30k*

*Ist – Bh<sub>SA</sub> ... Ist – Betriebsstunden der Service – Anfrage*

*WIID ... Wartungsintervall ID*

*Soll – Bh<sub>WIID</sub> ... Soll – Betriebsstunden fuer die Durchfuehrung der WIID*

**Tabelle 18: Auszug des Wartungsplans der AID = X26510\_1 (eigene Darstellung)**

AID: X26510\_1

WPID: 16895

Legende: 1 = WAID ist Teil des Wartungsintervalls

| Lfd. Nr. | Wartungsposition Beschreibung | Wartungsposition ID (WA ID) | WI 29k    | WI 30k    | WI 31k    |
|----------|-------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
|          |                               |                             | 29.000 Bh | 30.000 Bh | 31.000 Bh |
| 1        | Gasdruckregelstrecke          | W 0147                      |           | 1         |           |
| 2        | Kolben/Kolbenkühlung          | W 0680                      |           | 1         |           |
| 3        | Elastomerteile                | W 0986                      |           | 1         |           |
| 4        | Kurbelgehäuseentlüftung       | W 2049                      |           | 1         |           |
| 5        | Motorkühlwasserpumpe          | W 1499                      |           | 1         |           |

## Schritt 4 | Relevante Wartungspositionen identifizieren

Die Identifikation der relevanten Wartungsposition IDs erfolgt anhand des zuvor definierten Wartungsplans und Wartungsintervalls sowie der definierten Auswahlregel. Nachfolgende Ausführungen verdeutlichen dies für die *WAIDs* in Tabelle 18.

Anwendung von Formel 6: Regel für die Auswahl der zugehörigen Wartungspositionen:

$$W_{W\ 0147\ "Gasdruckregelstrecke"} = 1$$

$$W_{W\ 0680\ "Kolben/Kolbenkühlung"} = 1$$

$$W_{W\ 0986\ "Elastomerteile"} = 1$$

$$W_{W\ 2049\ "Kurbelgehäuseentlüftung"} = 1$$

$$W_{W\ 1499\ "Motorkühlwasserpumpe"} = 1$$

$$X = \{W\ 0147, W\ 0680, W\ 0986, W\ 2049, W\ 1499\}$$

Identifiziere alle *WAID* für die gilt:

**Wenn**  $W_x = 1$  **Dann**

**Speichere**  $x$  in  $Y$

**Sonst** Prüfe nächstes  $W_x$

**Resultat**  $Y = \{W\ 0147\ "Gasdruckregelstrecke", W\ 0680\ "Kolben/Kolbenkühlung", W\ 0986\ "Elastomerteile", W\ 2049\ "Kurbelgehäuseentlüftung", W\ 1499\ "Motorkühlwasserpumpe"\}$

$W_x$  ... Zuordnungsvariable der *WAID* zu einem *WIID*

$X$  ... Menge aller *WAIDs*

$Y \subseteq X$  ... Menge aller *WAIDs*, die fuer die *WIID* benoetigt werden

*WAID* ... *Wartungsposition ID*

*WIID* ... *Wartungsintervall ID*

Mit Abschluss von Schritt 4 ist die Phase 1 des CBR-Ansatzes abgeschlossen.

### 6.3.3 Fallbeispiel „Motortyp B20“ | Phase 2

Nachstehend werden die Teilschritte der Phase 2 gemäß Punkt 5.5 auf das vorliegende Fallbeispiel angewendet.

## Schritt 5 | CBR-Problem formulieren und Attribute isolieren

Gemäß der in Punkt 5.2.3 erläuterten Fallstruktur wird je *WAID* ein separates Abfrageproblem erzeugt. Das Wartungsintervall des Fallbeispiels setzt sich aus fünf *WAIDs* zusammen. Folglich resultieren aus diesem Schritt insgesamt fünf Abfrageprobleme. Für jedes Abfrageproblem gilt es die Attribut-Wert-Paare der Deskriptorengruppen 1-3 zu definieren.

**Deskriptorengruppe 1:** Die Attribut-Wert-Paare für die Attribute *WAID* und *ATID* werden aus den Schritten der Phase 1 übernommen. Um den nachfolgenden Ähnlichkeitsabgleich zu ermöglichen, wird je Abfrageproblem zusätzlich das Attribut  $Typ_{ATID} = 1$  ergänzt. Das Resultat der Deskriptorengruppe 1 je Abfrageproblem kann der Abbildung 64 entnommen werden.

**Deskriptorengruppe 2:** Für die Formulierung der Deskriptorengruppe 2 wird mittels des Attributs *AID* und der unter Punkt 5.5.1 formulierten Abfragerregel zunächst die korrekte Service-Stückliste identifiziert. Im vorliegenden Fallbeispiel liegen die Service-Stücklisten in Form von Textdateien in einem Datenspeicher bereit. Die als passend identifizierte Service-Stückliste lautet  $SBOM = X26510\_1\_8013022$ .

Anwendung von Formel 7: Regel für die Abfrage der Stücklistendatenbank:

$$AID_{SA} = X26510\_1$$

**Wenn**  $AID_{SBOM} = X26510\_1$  **Dann**

**Selektiere** *SBOM*

**Sonst** Prüfe nächste  $AID_{SBOM}$

**Resultat**  $SBOM = X26510\_1\_8013022$

*SBOM ...ID der Service Bill of Material*

*AID<sub>SBOM</sub> ... Anlagen ID der SBOM*

*AID<sub>SA</sub> ... Anlagen ID der Service – Anfrage*

Die Service-Stückliste der Gesamtanlage weist insgesamt 3.373 Positionsnummern *i* auf. Diese gliedern sich innerhalb der Strukturstückliste in sieben Stufen. Abbildung 63 zeigt einen Auszug der Stückliste. Analog zu den Positionsnummern *i* weisen die einzelnen Abfrageprobleme die gleiche Anzahl Attribute Position  $P_i$  auf. Um die Übersichtlichkeit der AbfrageproblemDarstellungen sicherzustellen, werden in der Abbildung 64 auszugsweise 10 Positionen der Baugruppe 5510 „Gasdruckregelstrecke“ angegeben.



Diesen Positionen wird, gemäß den Erläuterungen unter Punkt 5.4.1, der Wert = 1 zugewiesen.

| Name       | Größe    | Typ          |
|------------|----------|--------------|
| 809_1_ 615 | 1.201 KB | Textdokument |
| 512_1_ 069 | 1.488 KB | Textdokument |
| 510_1_ 022 | 1.479 KB | Textdokument |
| 070_1_ 332 | 1.540 KB | Textdokument |
| 060_1_ 264 | 1.534 KB | Textdokument |
| 056_1_ 230 | 1.494 KB | Textdokument |
| 054_1_ 222 | 1.499 KB | Textdokument |
| 052_1_ 220 | 1.499 KB | Textdokument |
| 032_1_ 109 | 1.500 KB | Textdokument |
| 030_1_ 130 | 1.462 KB | Textdokument |
| 022_1_ 000 | 1.541 KB | Textdokument |
| 135_1_ 980 | 1.083 KB | Textdokument |
| 133_1_ 973 | 1.083 KB | Textdokument |

Abbildung 62: Fallbeispiel-Datenspeicher mit SBOM-Dateien (neutralisierte eigene Darstellung)

| 510_1_ 022 |  |
|------------|--|
| Unit       | ε=12.0   |
| 200        | 021 FA JGS 620 F02 50                          |
| 400        | 023 CA JGS 620 F02 50                          |
| 500        | 025 HQLP JGS 620 F02 50                        |
| 5110       | 618 Elastic bearing                            |
| 5120       | 6481 Elastic bearing                           |
| 5300       | 285 Accessories.Montagezubeh. Generator        |
| 5320       | 6483 Elastic bearing..Unterlegstreifen         |
| 5505       | 212 Gas injection..TECJET 50 plus.- DN 80 PN10 |
| 5506       | 396 Gas line                                   |
| 5510       | 0874 Gas train..620-F111.DUNGS.3000            |
| 1          | 143 Gasket                                     |
| 2          | 065 Valve                                      |
| 3          | 710 Druckmessgeraet                            |
| 4          | 925 Valve..1/2"                                |
| 5          | 086 Filter                                     |
| 6          | 719 Filter cartridge..Insert                   |
| 7          | 725 Sealing ring..DN80.x                       |
| 8          | 061 Sealing                                    |
| 9          | 137 Gasket                                     |
| 10         | 861 Pressure regulator..Gas                    |
| 11         | 582 Safety valve                               |
| 12         | 980 Control spring                             |

Abbildung 63: Auszug der SBOM der Anlagen ID = X26510\_1 (neutralisierte eigene Darstellung)

**Deskriptorengruppe 3:** Die Attribut-Wert-Paare des Attributs Teilebezeichnung  $TBZ_i$  werden ebenfalls der  $SBOM = X26510_1_1_1083022$  entnommen. Da die Anzahl  $TBZ_i$

mit der Anzahl Positionsnummern  $i$  korreliert, muss für die grafische Darstellung ebenfalls eine Eingrenzung vorgenommen werden. In Abbildung 64 sind zur Verdeutlichung exemplarisch die zugehörigen Teilebezeichnungen der 10 Positionen  $P_i$  der Baugruppe 5510 „Gasdruckregelstrecke“ dargestellt.

Nachdem die Attribut-Wert-Paare der Deskriptorengruppen 1-3 je Abfrageproblem definiert sind, ist die Problemformulierung abgeschlossen.

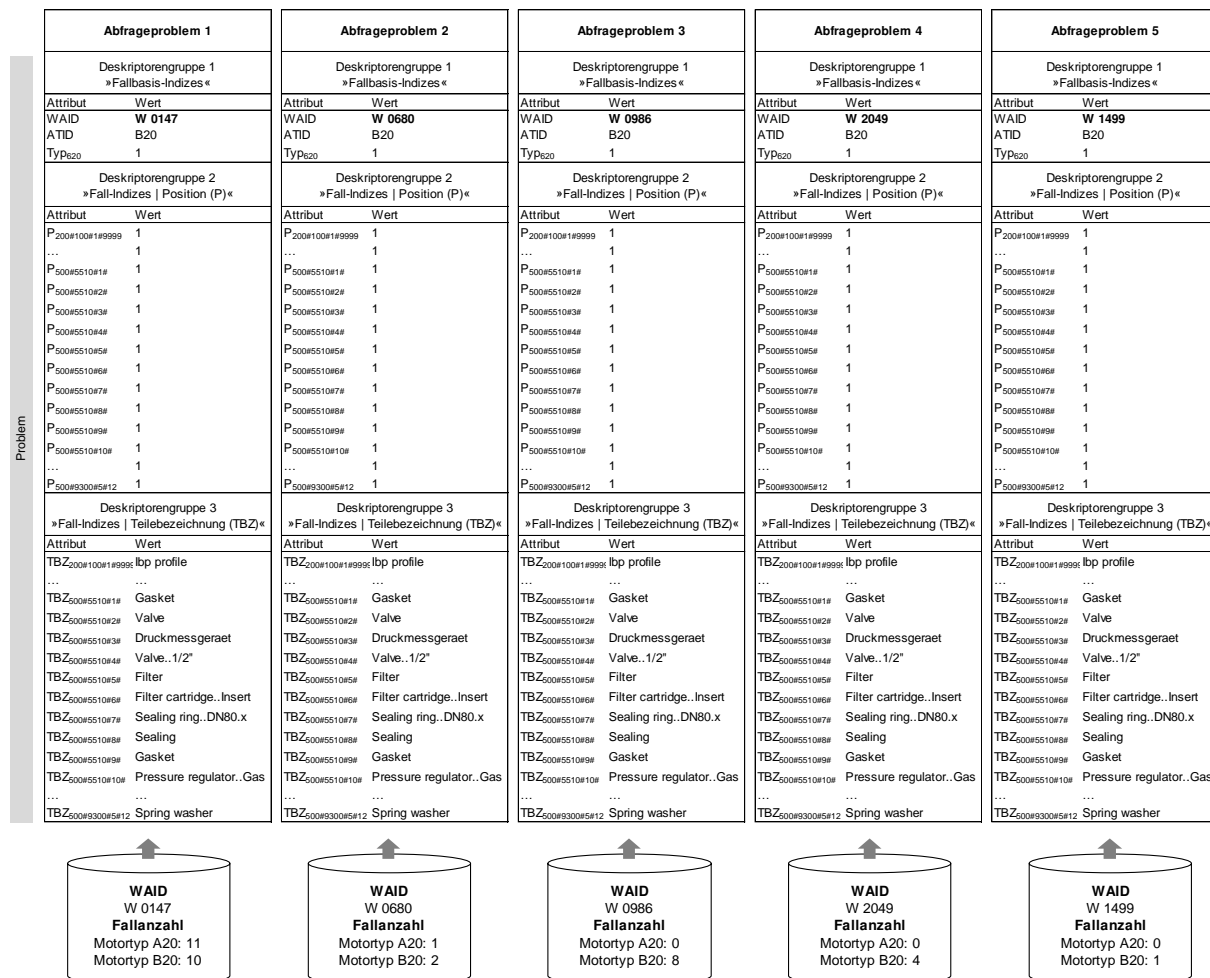


Abbildung 64: Resultierende Abfrageprobleme und Zuordnung zu Sub-Fallbasen (eigene Darstellung)

Schritt 6 | Sub-Fallbasis zuweisen

Für die Eingrenzung des Suchraums und zur Beschleunigung des Fallabgleichs werden die einzelnen Abfrageprobleme mit der in Punkt 5.5.2 definierten Regel den einzelnen Sub-Fallbasen zugewiesen. Somit müssen lediglich die in einer Sub-Fallbasis enthaltenen Fälle auf ihre Ähnlichkeit mit dem Abfrageproblem abgeglichen werden. Nachstehend erfolgt beispielhaft die Zuweisung der Sub-Fallbasis für das Abfrage-

problem der  $WAID = W 0147$  "Gasdruckregelstrecke". Analog hierzu werden die anderen Sub-Fallbasen der Abbildung 58 zugewiesen. Das Ergebnis kann Abbildung 64 entnommen werden. Insgesamt werden fünf der acht Sub-Fallbasen mit einer 1:1 Beziehung den einzelnen Abfrageproblemen zugeordnet. Für die restlichen drei Sub-Fallbasen erfolgt keine Zuweisung, da kein Abfrageproblem mit übereinstimmender  $WAID$  existiert.

Anwendung von Formel 8: Regel für die Zuweisung der Sub-Fallbasis:

$$WAID_{AP} = W 0147 \text{ "Gasdruckregelstrecke"}$$

**Wenn**  $WAID_{SF} = W 0147$  "Gasdruckregelstrecke" **Dann**

**Selektiere**  $WAID_{SF}$

**Sonst** Prüfe nächste  $WAID_{SF}$

**Resultat**  $WAID_{SF} = W0147$ Gasdruckregelstrecke

$WAID_{AP}$  ...  $WAID$  des Abfrageproblems

$WAID_{SF}$  ...  $WAID$  der Sub – Fallbasis

## Schritt 7 | Ähnlichkeit der Anlagentyp ID bestimmen

In diesem Schritt werden die aufgrund des Attributs  $Typ_{ATID}$  relevanten Fälle einer Sub-Fallbasis detektiert. Die angeführte Sub-Fallbasis  $W 0147$  enthält 21 Fälle, welche in Punkt 6.3.1 initial erstellt wurden. Auf die  $ATID = B20$  entfallen 10 Fälle und auf die  $ATID = A20$  entfallen 11 Fälle. Aufgrund der flachen Sub-Fallbasisorganisation muss das zugeordnete Abfrageproblem mit allen Fällen abgeglichen werden. Da sich dieser Schritt auf den Abgleich des Attributs  $Typ_{ATID}$  fokussiert, ist zur besseren Übersicht lediglich die Deskriptorengruppe 1 der einzelnen Fälle und des Abfrageproblems dargestellt. Um eine Identifikation der einzelnen Fälle zu ermöglichen, ist ergänzend die Deskriptorengruppe 6 mit entsprechenden Rahmeninformationen angeführt. Die Darstellung aller Fälle kann dem Anhang A.7 entnommen werden.

Die Berechnung der  $sim_{ATID}$  erfolgt mittels der Formel 9. Abbildung 65 zeigt die Bildung der Vektoren  $p$  und  $q$  für die  $FID = F0000001$  (Motortyp B20) sowie die  $FID = F0000011$  (Motortyp A20).

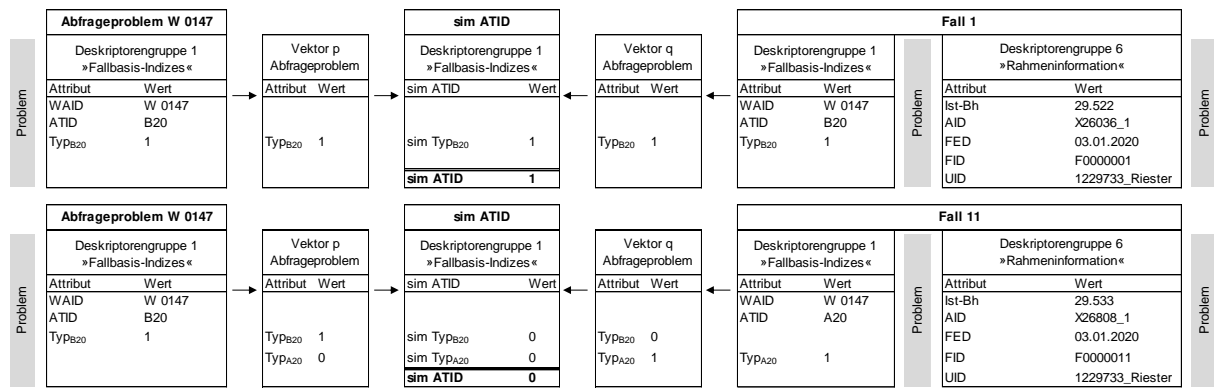


Abbildung 65: Vektorenableitung der *sim ATID* für  $FID = F000001$  und  $FID = F000011$  (eigene Darstellung)

Anwendung der Formel 9 auf diese beiden Fälle kann den nachfolgenden Ausführungen entnommen werden. Die Berechnungsergebnisse aller Fälle kann Tabelle 19 entnommen werden. Die Ergebnisbetrachtung zeigt, dass alle Fälle des Motortyps A20 die *sim ATID* = 0 aufweisen. Für diese Fälle erfolgen keine weiteren Ähnlichkeitsabgleiche. Für alle Fälle des Motortyps B20 beträgt die *sim ATID* = 1. Diese werden in den nachfolgenden Schritten weiterhin berücksichtigt.

Anwendung auf Formel 9 auf die  $FID = F000001$ :

$$sim\ ATID = \sum_{j \in J} (p_j) (q_j)$$

$$J = \{Typ_{B20}\}$$

$$p = (Typ_{B20}) = (1),$$

$$q = (Typ_{B20}) = (1)$$

$$sim\ ATID = (1) \cdot (1) = 1$$

$p$  ...  $Typ_{ATID}$  – Vektor des Abfrageproblems

$q$  ...  $Typ_{ATID}$  – Vektor des selektierten Falls

$J$  ... Menge aller  $Typ_{ATID}$

*sim ATID* ... Ähnlichkeit der *ATID*

Anwendung von Formel 9 auf die  $FID = F0000011$ :

$$sim\ ATID = \sum_{j \in J} (p_j) (q_j)$$

$$J = \{Typ_{B20}; Typ_{A20}\}$$

$$p = \begin{pmatrix} Typ_{B20} \\ Typ_{A20} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$q = \begin{pmatrix} Typ_{B20} \\ Typ_{A20} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$sim\ ATID = (1) \cdot (0) + (0) \cdot (1) = 0$$

$p$  ...  $Typ_{ATID}$  – Vektor des Abfrageproblems

$q$  ...  $Typ_{ATID}$  – Vektor des selektierten Falls

$J$  ... Menge aller  $Typ_{ATID}$

$sim\ ATID$  ... Ähnlichkeit der  $ATID$

**Tabelle 19: sim ATID der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ (eigene Darstellung)**

| ATID     | B20      |          |          |          |          |          |          |          |          |          | A20      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
|          | F0000001 | F0000002 | F0000003 | F0000004 | F0000005 | F0000006 | F0000007 | F0000008 | F0000009 | F0000010 | F0000011 | F0000012 | F0000013 | F0000014 | F0000015 | F0000016 | F0000017 | F0000018 | F0000019 | F0000020 | F0000021 |  |
| FID      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
| AID      | X26036_1 | X18376_1 | X19205_1 | X19211_1 | X21739_1 | X21833_1 | X25591_1 | X23269_1 | X23477_1 | X25843_1 | X26808_1 | X19655_1 | X20696_1 | X23345_1 | X24226_1 | X25691_1 | X26526_1 | X26938_1 | X27003_1 | X27057_1 | X28425_5 |  |
| sim ATID | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |  |

Die  $sim\ ATID$  für die Fälle der weiteren Abfrageprobleme je Sub-Fallbasis aus Abbildung 64, welche analog bestimmt wurden, können dem Anhang A.7 entnommen werden.

### Schritt 8 | Ähnlichkeit der Positionen bestimmen

In Schritt 8 werden die Anzahl übereinstimmender Positionen  $P_i$  der Deskriptorengruppe 2 zwischen den einzelnen Fällen und dem jeweiligen Abfrageproblem bestimmt. Für die Identifikation der einzelnen Fälle ist analog zum vorherigen Schritt ergänzend wieder die Deskriptorengruppe 6 angeführt. Für die Berechnung des Ähnlichkeitsmaßes wird die Formel 10 herangezogen. Abbildung 66 kann die Ableitung der Vektoren  $p$  und  $q$  für das Abfrageproblem der  $WAID = W\ 0147$  sowie der  $FID = F0000001$  und  $FID = F0000007$  entnommen werden. Da die Stückliste der Fallbeispielanlagen  $AID = X26510_1$  insgesamt 3.373 Positionen umfasst, erfolgt lediglich eine auszugsweise Darstellung der Positionen  $P_i$  in der formellen Fallbeschreibung.

Nach Anwendung der Formel 10 ergibt sich für die  $FID = F0000001$  die Ähnlichkeit  $sim\ P_{ges} = 7$ . D. h. alle sieben Positionen  $P_i$  des Falls sind im Abfrageproblem vorhan-

den. Für die  $FID = F0000007$  ergibt sich das Ähnlichkeitsmaß  $sim P_{ges} = 5$ . D. h. lediglich fünf der sieben im Fall enthaltenen Positionen  $P_i$  sind übereinstimmend mit dem Abfrageproblem, sprich der Stückliste des Fallbeispielanlage. Die detaillierte Anwendung der Formel 10 für die Fälle  $FID = F0000001$  und  $FID = F0000007$  kann den nachfolgenden Ausführungen entnommen werden.

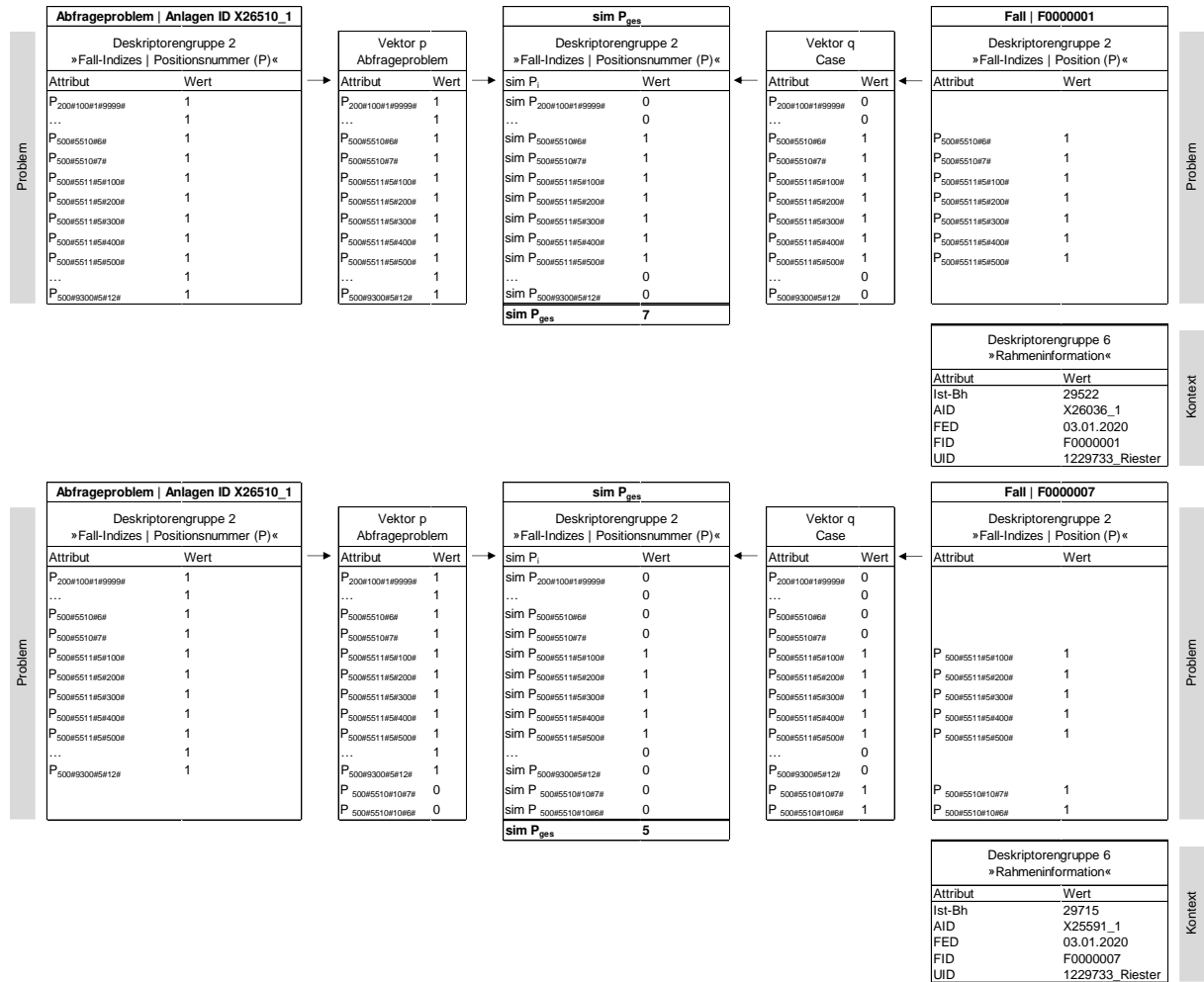


Abbildung 66: Vektorenableitung der  $sim P_i$  und  $sim P_{ges}$  für die  $FID = F0000001$  und  $FID = F0000007$  (eigene Darstellung)

Anwendung der Formel 10 auf die  $FID = F0000001$ :

$$\text{sim } P_i = p_i \cdot q_i$$

$$\text{sim } P_{ges} = \sum_{i \in I} \text{sim } P_i = \sum_{i \in I} (p_i)(q_i)$$

$$p = \begin{pmatrix} P_{200\#100\#1\#9999\#} \\ \dots \\ P_{500\#9300\#5\#12\#} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$q = \begin{pmatrix} P_{200\#100\#1\#9999\#} \\ \dots \\ P_{500\#9300\#5\#12\#} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$I = \{200\#100\#1\#9999, \dots, 500\#9300\#5\#12\}$$

$$\text{sim } P_{ges} = \sum_{i \in I} (\text{sim } P_i) = \sum_{i \in I} \begin{pmatrix} 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} = 7$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern

$p$  ... Positionsvektor des Abfrageproblems

$q$  ... Positionsvektor des selektierten Falls

$\text{sim } P_i$  ... Aehnlichkeit der Position in Abhaengigkeit der Positionsnummer  $i$

$\text{sim } P_{ges}$  ... Aehnlichkeit aller Positionen

Anwendung der Formel 10 auf die  $FID = F0000007$ :

$$\text{sim } P_i = p_i \cdot q_i$$

$$\text{sim } P_{ges} = \sum_{i \in I} \text{sim } P_i = \sum_{i \in I} (p_i)(q_i)$$

$$p = \begin{pmatrix} P_{200\#100\#1\#9999\#} \\ \dots \\ P_{500\#5510\#10\#6\#} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$q = \begin{pmatrix} P_{200\#100\#1\#9999\#} \\ \dots \\ P_{500\#5510\#10\#6\#} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$I = \{200\#100\#1\#9999, \dots, 500\#9300\#5\#12\}$$

$$\text{sim } P_{ges} = \sum_{i \in I} (\text{sim } P_i) = \sum_{i \in I} \begin{pmatrix} 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix} = 5$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern

$p$  ... Positionsvektor des Abfrageproblems



$q$  ... Positionsvektor des selektierten Falls

$sim P_i$  ... Ähnlichkeit der Position in Abhängigkeit der Positionsnummer  $i$

$sim P_{ges}$  ... Ähnlichkeit aller Positionen

Die Berechnungsergebnisse für die restlichen Fälle der  $WAID = W 0147$  sind in Tabelle 20 vermerkt. Detailergebnisse für die Fälle mit  $sim P_{ges} > 0$  befinden sich in Anhang A.7. Ebenfalls enthalten ist eine Übersicht der Berechnungsergebnisse der weiteren  $WAIDs$  sowie die Detailergebnisse der restlichen Abfrageprobleme. Die Fälle mit dem höchsten Ähnlichkeitsmaß  $sim P_{ges}$  sind jeweils grau hinterlegt.

Die Ergebnisbetrachtung zeigt, dass, sowohl bei der im Detail erläuterten  $WAID = W 0147$  sowie bei den  $WAIDs$  der restlichen Abfrageprobleme, signifikante Abweichungen der  $sim P_{ges}$  Werte zwischen den einzelnen Fällen der Fallbasis bestehen.

**Tabelle 20:  $sim P_{ges}$  der  $WAID = W 0147$  „Gasdruckregelstrecke“ (eigene Darstellung)**

| ATID                                   | B20      |          |          |          |          |          |          |          |          |          | A20      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| FID                                    | F0000001 | F0000002 | F0000003 | F0000004 | F0000005 | F0000006 | F0000007 | F0000008 | F0000009 | F0000010 | F0000011 | F0000012 | F0000013 | F0000014 | F0000015 | F0000016 | F0000017 | F0000018 | F0000019 | F0000020 | F0000021 |
| AID                                    | X26036_1 | X18376_1 | X19205_1 | X19211_1 | X21739_1 | X21833_1 | X25591_1 | X23289_1 | X23477_1 | X25843_1 | X26808_1 | X19655_1 | X20696_1 | X23345_1 | X24226_1 | X25691_1 | X26526_1 | X26938_1 | X27003_1 | X27057_1 | X28425_5 |
| sim ATID                               | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Anzahl enthaltene Positionen ( $P_i$ ) | 7        | 6        | 5        | 5        | 7        | 5        | 7        | 7        | 7        | 7        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| sim $P_{ges}$                          | 7        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2        | 5        | 0        | 2        | 7        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |

## Schritt 9 | Ähnlichkeit der Teilebezeichnung bestimmen

In diesem Schritt erfolgt die Bestimmung des Ähnlichkeitsmaßes  $sim TBZ_i$  zwischen den in der Fallbeschreibung hinterlegten Teilebezeichnungen je Position sowie den Teilebezeichnungen je Position des Abfrageproblems. Hierfür wird zunächst die Editierdistanz zwischen den einzelnen Teilebezeichnungen mit Hilfe der Formel 11 bestimmt. Exemplarisch ist dies nachfolgend für die  $TBZ_{500\#5510\#6\#}$  der  $FID = F0000001$  der  $WAID = W 0147$  "Gasdruckregelstrecke" im Detail dargestellt. Die in den Fällen dargestellten Teilebezeichnungen entsprechen einer vorgegebenen Nomenklatur, welche durch die Domainexperten beim Anlegen der initialen Fallbasis unternehmensintern definiert wurde.

Tabelle 21: Editierdistanzmatrix für TBZ<sub>500#5510#6#</sub> der FID = F0000001 (eigene Darstellung)

**TBZ<sub>i</sub> selektierter Fall**

|   | ε  | F  | i  | l  | t  | e  | r  | c  | a  | r  | r  | i  | d  | g  | e  |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ε | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| F | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| i | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| l | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| t | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| e | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
| r | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| c | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| a | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
| r | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| t | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| r | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| i | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  |
| d | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  |
| g | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  |
| e | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  |
| . | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  |
| . | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  |
| n | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  |
| l | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  |
| s | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  |
| e | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  |
| r | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  |
| r | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  |
| t | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  |

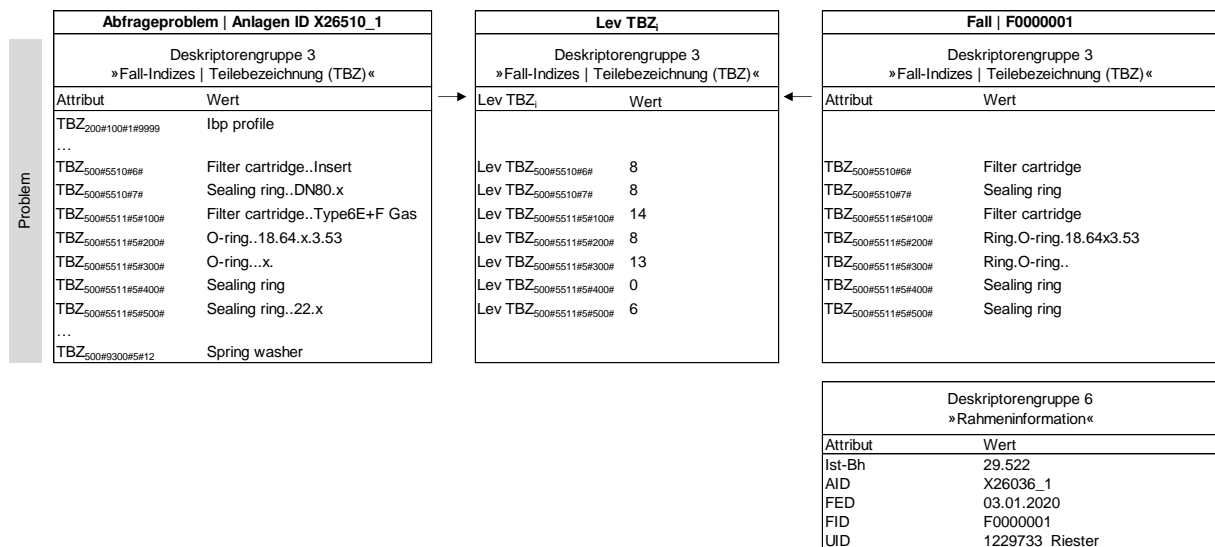


Abbildung 67: Ergebnisübersicht der Editierdistanzberechnung für die FID = F0000001 (eigene Darstellung)

Die Matrizen für die Berechnungsergebnisse der Editierdistanz aller weiteren TBZ<sub>i</sub> der FID = F0000001 sind im Anhang A.8 angeführt. Ebenfalls enthalten sind die Berechnungsergebnisse, analog zu Abbildung 67, aller weiteren FIDs der WAID = W 0147 "Gasdruckegelstrecke", für die gilt  $sim P_{ges} > 0$ .

Nachdem die Editierdistanz bestimmt wurde, wird im nächsten Schritt die Zeichenanzahl je Teilebezeichnung ( $|TBZ_i|$ ) bestimmt. Eine Übersicht ist Tabelle 22 zu entnehmen.

**Tabelle 22: Zeichenanzahl je  $TBZ_i$  für das Abfrageproblem sowie alle Fälle der WAID = W 0147 für die gilt  $sim P_{ges} > 0$  (eigene Darstellung)**

| Abfrageproblem              |                                |           | Fall   F000001              |                        |           | Fall   F000007              |                        |           |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------|-----------------------------|------------------------|-----------|-----------------------------|------------------------|-----------|
| $TBZ_i$                     | Wert                           | $ TBZ_i $ | $TBZ_i$                     | Wert                   | $ TBZ_i $ | $TBZ_i$                     | Wert                   | $ TBZ_i $ |
| $TBZ_{500\#5510\#3}$        | Druckmessgeraet                | 15        | $TBZ_{500\#5510\#6}$        | Filter cartridge       | 16        | $TBZ_{500\#5511\#5\#100\#}$ | Filter cartridge       | 16        |
| $TBZ_{500\#5510\#4}$        | Valve..1/2"                    | 11        | $TBZ_{500\#5510\#7}$        | Sealing ring           | 12        | $TBZ_{500\#5511\#5\#200\#}$ | Ring.O-ring.18.64x3.53 | 22        |
| $TBZ_{500\#5510\#6}$        | Filter cartridge..Insert       | 24        | $TBZ_{500\#5511\#5\#100\#}$ | Filter cartridge       | 16        | $TBZ_{500\#5511\#5\#300\#}$ | Ring.O-ring..          | 13        |
| $TBZ_{500\#5510\#7}$        | Sealing ring..DN80.x           | 20        | $TBZ_{500\#5511\#5\#200\#}$ | Ring.O-ring.18.64x3.53 | 22        | $TBZ_{500\#5511\#5\#400\#}$ | Sealing ring           | 12        |
| $TBZ_{500\#5511\#5\#100\#}$ | Filter cartridge..Type6E+F Gas | 30        | $TBZ_{500\#5511\#5\#300\#}$ | Ring.O-ring..          | 13        | $TBZ_{500\#5511\#5\#500\#}$ | Sealing ring           | 12        |
| $TBZ_{500\#5511\#5\#200\#}$ | O-ring..18.64.x.3.53           | 20        | $TBZ_{500\#5511\#5\#400\#}$ | Sealing ring           | 12        | /                           |                        |           |
| $TBZ_{500\#5511\#5\#300\#}$ | O-ring...X.                    | 11        | $TBZ_{500\#5511\#5\#500\#}$ | Sealing ring           | 12        |                             |                        |           |
| $TBZ_{500\#5511\#5\#400\#}$ | Sealing ring                   | 12        |                             |                        |           |                             |                        |           |
| $TBZ_{500\#5511\#5\#500\#}$ | Sealing ring..22.x             | 18        |                             |                        |           |                             |                        |           |

| Fall   F000006       |                  |           | Fall   F000009       |                  |           | Fall   F000010              |                        |           |
|----------------------|------------------|-----------|----------------------|------------------|-----------|-----------------------------|------------------------|-----------|
| $TBZ_i$              | Wert             | $ TBZ_i $ | $TBZ_i$              | Wert             | $ TBZ_i $ | $TBZ_i$                     | Wert                   | $ TBZ_i $ |
| $TBZ_{500\#5510\#6}$ | Filter cartridge | 16        | $TBZ_{500\#5510\#6}$ | Filter cartridge | 16        | $TBZ_{500\#5510\#3}$        | Filter cartridge       | 16        |
| $TBZ_{500\#5510\#7}$ | Sealing ring     | 12        | $TBZ_{500\#5510\#7}$ | Sealing ring     | 12        | $TBZ_{500\#5510\#4}$        | Sealing kit            | 11        |
| /                    |                  |           | /                    |                  |           | $TBZ_{500\#5511\#5\#100\#}$ | Filter cartridge       | 16        |
|                      |                  |           |                      |                  |           | $TBZ_{500\#5511\#5\#200\#}$ | Ring.O-ring.18.64x3.53 | 22        |
|                      |                  |           |                      |                  |           | $TBZ_{500\#5511\#5\#300\#}$ | Ring.O-ring..          | 13        |
|                      |                  |           |                      |                  |           | $TBZ_{500\#5511\#5\#400\#}$ | Sealing ring           | 12        |
|                      |                  |           |                      |                  |           | $TBZ_{500\#5511\#5\#500\#}$ | Sealing ring           | 12        |

Unter Anwendung von Formel 12 wird im Folgeschritt die Ähnlichkeit der Teilebezeichnungen bestimmt. Beispielhaft wird dies nachstehend für die  $TBZ_{500\#5510\#6}$  der  $FID = F000001$  der  $WAID = W 0147$  "Gasdruckregelstrecke" angeführt.

Anwendung der Formel 12 auf die  $TBZ_{500\#5510\#6}$  der  $FID = F000001$ :

$$sim TBZ_i = 1 - \frac{Lev TBZ_i}{|TBZ_i (Abfrageproblem)| + |TBZ_i (selektierter Fall)|}$$

es gilt:

$$sim TBZ_i = 0, \text{ wenn } sim P_i = 0$$

$$i \in I,$$

$$sim TBZ_{500\#5510\#6} = 1 - \frac{Lev TBZ_{500\#5510\#6}}{|TBZ_{500\#5510\#6}| + |TBZ_{500\#5510\#6}|}$$

$$sim TBZ_{500\#5510\#6} = 1 - \frac{8}{|24| + |16|}$$

$$sim TBZ_{500\#5510\#6} = 0,8$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern  $i$

$TBZ_i$  ... Teilebezeichnung der Positionsnummer  $i$

$Lev TBZ_i$  ... Editierdistanz der  $TBZ_i$

$|TBZ_i$  (Abfrageproblem) | ... Anzahl Zeichen der  $TBZ_i$  des Abfrageproblems

$|TBZ_i$  (selektierter Fall) | ... Anzahl Zeichen der  $TBZ_i$  des selektierten Falls

$sim TBZ_i$  ... Ähnlichkeit der  $TBZ_i$

Eine Übersicht der restlichen  $sim TBZ_i$  der  $FID = F0000001$  ist der Abbildung 68 zu entnehmen. Die Ergebnisübersichten für die restlichen  $FIDs$  der  $WAID = W 0147$  "Gasdruckregelstrecke" befinden sich in Anhang A.9.

| Abfrageproblem   Anlagen ID X26510_1                            |                                | sim TBZ <sub>i</sub>  |      | Fall   F0000001   |                        |
|---|--------------------------------|---|------|---|------------------------|
| Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« |                                | Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« |      | Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« |                        |
| Attribut  | Wert                           | sim TBZ <sub>i</sub>  | Wert | Attribut  | Wert                   |
| TBZ <sub>200#100#1#9999</sub>                                   | lbp profile                    |   |      |   |                        |
| ...   |                                |   |      |   |                        |
| TBZ <sub>500#5510#6#</sub>                                      | Filter cartridge..Insert       | sim TBZ <sub>500#5510#6#</sub>                                  | 0,80 | TBZ <sub>500#5510#6#</sub>                                      | Filter cartridge       |
| TBZ <sub>500#5510#7#</sub>                                      | Sealing ring..DN80.x           | sim TBZ <sub>500#5510#7#</sub>                                  | 0,75 | TBZ <sub>500#5510#7#</sub>                                      | Sealing ring           |
| TBZ <sub>500#5511#5#100#</sub>                                  | Filter cartridge..Type6E+F Gas | sim TBZ <sub>500#5511#5#100#</sub>                              | 0,70 | TBZ <sub>500#5511#5#100#</sub>                                  | Filter cartridge       |
| TBZ <sub>500#5511#5#200#</sub>                                  | O-ring..18.64.x.3.53           | sim TBZ <sub>500#5511#5#200#</sub>                              | 0,81 | TBZ <sub>500#5511#5#200#</sub>                                  | Ring,O-ring.18.64x3.53 |
| TBZ <sub>500#5511#5#300#</sub>                                  | O-ring...x.                    | sim TBZ <sub>500#5511#5#300#</sub>                              | 0,46 | TBZ <sub>500#5511#5#300#</sub>                                  | Ring,O-ring..          |
| TBZ <sub>500#5511#5#400#</sub>                                  | Sealing ring                   | sim TBZ <sub>500#5511#5#400#</sub>                              | 1,00 | TBZ <sub>500#5511#5#400#</sub>                                  | Sealing ring           |
| TBZ <sub>500#5511#5#500#</sub>                                  | Sealing ring..22.x             | sim TBZ <sub>500#5511#5#500#</sub>                              | 0,80 | TBZ <sub>500#5511#5#500#</sub>                                  | Sealing ring           |
| ...   |                                |   |      |   |                        |
| TBZ <sub>500#9300#5#12</sub>                                    | Spring washer                  |   |      |   |                        |

| Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation« |                 |
|---|-----------------|
| Attribut                                    | Wert            |
| Ist-Bh                                      | 29.522          |
| AID   | X26036_1        |
| FED   | 03.01.2020      |
| FID   | F0000001        |
| UID   | 1229733_Riester |

Abbildung 68: Ergebnisübersicht der  $sim TBZ_i$  für die  $FID = F0000001$  (eigene Darstellung)

Analog zu der Bestimmung der Editierdistanz sowie der Berechnung des Ähnlichkeitsmaßes  $sim TBZ_i$  wurde mit den Fällen der restlichen Sub-Fallbasen der jeweiligen  $WAID$  verfahren. Eine Übersicht der Berechnungsergebnisse für  $sim TBZ_i$  lässt sich Anhang A.9 entnehmen. Die Ergebnisbetrachtung zeigt, dass auf den geprüften Positionsnummern  $i$  je  $FID$  Abweichungen zwischen den Teilebezeichnungen einer Fallbeschreibung sowie den entsprechenden Teilebezeichnungen der Stückliste bestehen. Dies gilt für die Fälle aller Sub-Fallbasen.

### Schritt 10 | Gesamtähnlichkeit je Fall bestimmen

Basierend auf den zuvor ermittelten Ähnlichkeitsmaßen wird in Schritt 10 die lokale Ähnlichkeit  $sim FID$  bestimmt und der bestpassende Fall je Sub-Fallbasis identifiziert. Unter Anwendung von Formel 13 wird die Berechnung der  $sim FID$  anhand der  $FID = F0000001$  der  $WAID = W 0147$  "Gasdruckregelstrecke" dargestellt. Die zugrundeliegenden Berechnungswerte sowie Ergebnisse aller  $FIDs$  der  $WAID =$

W 0147 "Gasdruckregelstrecke" können Tabelle 23 entnommen werden. Alle Berechnungswerte und -ergebnisse der weiteren Sub-Fallbasen sind in Anhang A.10 angeführt.

Anwendung von Formel 13 auf die  $FID = F0000001$ :

$$\text{sim } FID = \text{sim } ATID \cdot \sum_{i \in I} (\text{sim } P_i + \text{sim } TBZ_i)$$

$$\text{sim } F0000001 = 1 \cdot \sum_{i \in I} ((1 + 0,8) + \dots + (1 + 0,8))$$

$$\text{sim } F0000001 = 1 \cdot 12,31 = 12,31$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern

$FID$  ... Fall ID

$WAID$  ... Wartungsposition ID

$ATID$  ... Anlagentyp ID

$P_i$  ... Position

$TBZ_i$  ... Teilebezeichnung der Positionsnummer  $i$

$\text{sim } FID$  ... Aehnlichkeit eines Falls

$\text{sim } ATID$  ... Aehnlichkeit der ATID

$\text{sim } P_i$  ... Aehnlichkeit der Position in Abhaengigkeit der Positionsnummer  $i$

$\text{sim } TBZ_i$  ... Aehnlichkeit der  $TBZ_i$

**Tabelle 23: sim FID für die Fälle der Sub-Fallbasis W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ (eigene Darstellung)**

| ATID   | B20                                |      |                                  |     |                                    |      |                                      |     |                                    |      |
|--|------------------------------------|------|----------------------------------|-----|------------------------------------|------|--------------------------------------|-----|------------------------------------|------|
| FID  | F0000001                           |      | F0000006                         |     | F0000007                           |      | F0000009                             |     | F0000010                           |      |
| AID  | X26036_1                           |      | X21833_1                         |     | X25591_1                           |      | X23477_1                             |     | X25843_1                           |      |
| sim ATID                                       | 1                                  |      | 1                                |     | 1                                  |      | 1                                    |     | 1                                  |      |
| Anzahl enthaltene Positionen (P <sub>i</sub> ) | 7                                  |      | 5                                |     | 7                                  |      | 7                                    |     | 7                                  |      |
| sim P <sub>ges</sub>                           | 7                                  |      | 2                                |     | 5                                  |      | 2                                    |     | 7                                  |      |
| sim P <sub>i</sub>                             | sim P <sub>500#5510#6#</sub>       | 1    | sim P <sub>500#5511#5#5#</sub>   | 0   | sim P <sub>500#5510#10#7#</sub>    | 0    | sim P <sub>500#5511#5#5#500#</sub>   | 0   | sim P <sub>500#5510#3#</sub>       | 1    |
|  | sim P <sub>500#5510#7#</sub>       | 1    | sim P <sub>500#5511#5#4#</sub>   | 0   | sim P <sub>500#5510#10#6#</sub>    | 0    | sim P <sub>500#5511#5#5#400#</sub>   | 0   | sim P <sub>500#5510#4#</sub>       | 1    |
|  | sim P <sub>500#5511#5#100#</sub>   | 1    | sim P <sub>500#5511#5#1#</sub>   | 0   | sim P <sub>500#5511#5#100#</sub>   | 1    | sim P <sub>500#5511#5#5#300#</sub>   | 0   | sim P <sub>500#5511#5#100#</sub>   | 1    |
|  | sim P <sub>500#5511#5#200#</sub>   | 1    | sim P <sub>500#5510#6#</sub>     | 1   | sim P <sub>500#5511#5#200#</sub>   | 1    | sim P <sub>500#5511#5#5#200#</sub>   | 0   | sim P <sub>500#5511#5#200#</sub>   | 1    |
|  | sim P <sub>500#5511#5#300#</sub>   | 1    | sim P <sub>500#5510#7#</sub>     | 1   | sim P <sub>500#5511#5#300#</sub>   | 1    | sim P <sub>500#5511#5#5#100#</sub>   | 0   | sim P <sub>500#5511#5#300#</sub>   | 1    |
|  | sim P <sub>500#5511#5#400#</sub>   | 1    |                                  |     | sim P <sub>500#5511#5#400#</sub>   | 1    | sim P <sub>500#5510#6#</sub>         | 1   | sim P <sub>500#5511#5#400#</sub>   | 1    |
|  | sim P <sub>500#5511#5#500#</sub>   | 1    |                                  |     | sim P <sub>500#5511#5#500#</sub>   | 1    | sim P <sub>500#5510#7#</sub>         | 1   | sim P <sub>500#5511#5#500#</sub>   | 1    |
| sim TBZ <sub>i</sub>                           | sim TBZ <sub>500#5510#6#</sub>     | 0,80 | sim TBZ <sub>500#5511#5#5#</sub> | 0   | sim TBZ <sub>500#5510#10#7#</sub>  | 0    | sim TBZ <sub>500#5511#5#5#500#</sub> | 0   | sim TBZ <sub>500#5510#3#</sub>     | 0,52 |
|  | sim TBZ <sub>500#5510#7#</sub>     | 0,75 | sim TBZ <sub>500#5511#5#4#</sub> | 0   | sim TBZ <sub>500#5510#10#6#</sub>  | 0    | sim TBZ <sub>500#5511#5#5#400#</sub> | 0   | sim TBZ <sub>500#5510#4#</sub>     | 0,55 |
|  | sim TBZ <sub>500#5511#5#100#</sub> | 0,70 | sim TBZ <sub>500#5511#5#1#</sub> | 0   | sim TBZ <sub>500#5511#5#100#</sub> | 0,70 | sim TBZ <sub>500#5511#5#5#300#</sub> | 0   | sim TBZ <sub>500#5511#5#100#</sub> | 0,70 |
|  | sim TBZ <sub>500#5511#5#200#</sub> | 0,81 | sim TBZ <sub>500#5510#6#</sub>   | 0,8 | sim TBZ <sub>500#5511#5#200#</sub> | 0,81 | sim TBZ <sub>500#5511#5#5#200#</sub> | 0   | sim TBZ <sub>500#5511#5#200#</sub> | 0,81 |
|  | sim TBZ <sub>500#5511#5#300#</sub> | 0,46 | sim TBZ <sub>500#5510#7#</sub>   | 0,8 | sim TBZ <sub>500#5511#5#300#</sub> | 0,46 | sim TBZ <sub>500#5511#5#5#100#</sub> | 0   | sim TBZ <sub>500#5511#5#300#</sub> | 0,67 |
|  | sim TBZ <sub>500#5511#5#400#</sub> | 1,00 |                                  |     | sim TBZ <sub>500#5511#5#400#</sub> | 1,00 | sim TBZ <sub>500#5510#6#</sub>       | 0,8 | sim TBZ <sub>500#5511#5#400#</sub> | 1,00 |
|  | sim TBZ <sub>500#5511#5#500#</sub> | 0,80 |                                  |     | sim TBZ <sub>500#5511#5#500#</sub> | 0,80 | sim TBZ <sub>500#5510#7#</sub>       | 0,8 | sim TBZ <sub>500#5511#5#500#</sub> | 0,80 |
| sim FID  | <b>12,31</b>                       |      | 3,55                             |     | 8,76                               |      | 3,55                                 |     | 12,03                              |      |

Basierend auf den Berechnungsergebnissen können die Fälle je *WAID* mit der höchsten Ausprägung für *sim FID* identifiziert werden. Ein Überblick der final selektierten Fall IDs je Sub-Fallbasis bietet Tabelle 24.

**Tabelle 24: Übersicht der Fall IDs je Sub-Fallbasis mit max. sim Case ID (eigene Darstellung)**

| Sub-Fallbasis                  | Fall ID  | Max. sim Case ID |
|--------------------------------|----------|------------------|
| W 0147 Gasdruckregelstrecke    | F0000001 | 12,31            |
| W 0680 Kolben/Kolbenkühlung    | F0000022 | 15,50            |
| W 0986 Elastomerteile          | F0000027 | 17,97            |
| W 2049 Kurbelgehäuseentlüftung | F0000033 | 4,00             |
| W 2681 Motorkühlwasserpumpe    | F0000040 | 3,54             |

Das Fallbeispiel unterstreicht die im Theorieteil angedeutete Varianz der Maximalwerte für das Ähnlichkeitsmaß *sim FID*. Die Berechnungsergebnisse der einzelnen *FIDs* sowohl innerhalb einer *WAID* als auch *WAID* übergreifend, weisen entsprechende Unterschiede in ihrer Höhe auf. Diese begründen sich durch die unterschiedliche Anzahl Positionen  $P_i$  je Fall sowie der abweichenden Anzahl übereinstimmender Positionen  $P_i$  mit dem Abfrageproblem.

### Schritt 11 | Gütegrad des Gesamtfalls bestimmen

In Schritt 11 erfolgt die Berechnung des Gütegrads der ermittelten Gesamtlösung im Hinblick auf deren theoretisch bestmögliche Ausprägung. Dessen Berechnung erfolgt mit Hilfe der Fälle je *WAID*, welche die höchsten Werte für das Ähnlichkeitsmaß

*sim FID* aufweisen. Die Werte können der Tabelle 23 sowie dem Anhang A.10 entnommen werden. Der Gesamtfall setzt sich im vorliegenden Fallbeispiel aus insgesamt fünf *WAIDs* zusammen, welche dem Wartungsintervall zugeordnet sind.

Anwendung von Formel 14 zur Berechnung des globalen Gütegrads der selektierten Fälle:

$$sim\ Case = \frac{1}{n} \sum_{t \in T} \frac{sim\ FID_t}{2 \cdot sim\ P_{ges_t}}, \text{ wobei } sim\ FID_t \text{ der beste Fall je Sub - Fallbasis ist.}$$

$$n = 5$$

$$T = \{F0000001; F0000022; F0000027; F0000033; F0000040\}$$

$$sim\ Case = \frac{1}{5} \left( \left( \frac{sim\ F0000001}{2 \cdot sim\ P_{gesF0000001}} \right) + \left( \frac{sim\ F0000022}{2 \cdot sim\ P_{gesF0000022}} \right) + \left( \frac{sim\ F0000027}{2 \cdot sim\ P_{gesF0000027}} \right) + \left( \frac{sim\ F0000033}{2 \cdot sim\ P_{gesF0000033}} \right) + \left( \frac{sim\ F0000040}{2 \cdot sim\ P_{gesF0000040}} \right) \right)$$

$$sim\ Case = \frac{1}{5} \left( \left( \frac{12,31}{2 \cdot 7} \right) + \left( \frac{15,5}{2 \cdot 9} \right) + \left( \frac{17,97}{2 \cdot 12} \right) + \left( \frac{4}{2 \cdot 2} \right) + \left( \frac{3,54}{2 \cdot 2} \right) \right)$$

$$sim\ Case = 0,87$$

*n* ... Anzahl *WAIDs*

*T* ... Menge der besten *FIDs* je Sub - Fallbasis

*sim FID* ... Aehnlichkeit eines Falls

*sim P<sub>ges</sub>* ... Aehnlichkeit aller Positionen

*sim Case* = Guetegrad des Gesamtfalls

Als Gütegrad basierend auf den bestpassenden Fällen je Sub-Fallbasis ergibt sich der Wert *sim Case* = 0,87. Mit Durchführung dieses Schritts ist die Fallselektion abgeschlossen und es folgt die Anwendung der enthaltenen Lösungen.

## Schritt 12 | Lösung anwenden

In Schritt 12 folgt die Anwendung der Lösungsbestandteile der selektierten Fälle je *WAID* auf deren zugehörigen Abfrageprobleme. Unter Anwendung Formel 2 und Formel 3 wird die Teilleiste für das „Vorläufige Service Kit (VSK)“ erzeugt. Die beispielhafte Anwendung erfolgt nachstehend für die Positionsnummer *i* = 500#5510#6# der *FID* = F0000001. Das Ergebnis aller Positionsnummern der selektierten Fälle in Tabelle 24 kann der Tabelle 25 entnommen werden.



Anwendung von Formel 2 am Beispiel  $i = 500\#5510\#6\#$ :

$$f_{TBZ_i} = TN_i$$

$$i \in I$$

$$f_{\text{Filter cartridge..Insert}} = TN_{500\#5510\#6\#}$$

$$f_{\text{Filter cartridge..Insert}} = 111360$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern  $i$

$f_{TBZ_i}$  ... Teilenummer der Teilebezeichnung  $TBZ_i$

$TBZ_i$  ... Teilbezeichnung der Positionsnummer  $i$

$TN_i$  ... Teilenummer der Positionsnummer  $i$

Anwendung von Formel 3 am Beispiel  $i = 500\#5510\#6\#$ :

$$m_{TBZ_i} = STK_i = \prod_{k \in K_i} STK_k$$

$$i \in I$$

$$k \in K_i$$

$$m_{\text{Filter cartridge..Insert}} = STK_{500\#5510\#6\#}$$

$$m_{\text{Filter cartridge..Insert}} = 1$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern  $i$

$K_i$  ... Menge aller Subpositionsnummern  $k$  der Positionsnummer  $i \in I$

$STK_k$  ... Stueckzahl der Subpositionsnummer  $k$

$m_{TBZ_i}$  ... Stueckzahl der Teilebezeichnung  $TBZ_i$

$TBZ_i$  ... Teilbezeichnung der Positionsnummer  $i$

$STK_i$  ... Stueckzahl der Positionsnummer  $i$

Tabelle 25: Resultierende Teileliste „Vorläufiges Service-Kit“ (eigene Darstellung)

| Teileliste (Vorläufiges Service-Kit) |                                |                  |                  | Zusatzinformationen je Teil |                           |                   |                                       |                      |                             |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Laufende Nummer                      | Teilbezeichnung                | Teilenummer      | Stückzahl        | Wartungsposition ID         | Fallidentifikationsnummer | Positionnummer    | Erwartete Teilbezeichnung lt. Fall ID | Ähnlichkeit Position | Ähnlichkeit Teilbezeichnung |
| M/.                                  | TBZ <sub>i</sub>               | f <sub>TBZ</sub> | m <sub>TBZ</sub> | W/AD                        | F/ID                      | i                 | TBZ <sub>i</sub>                      | sim P <sub>i</sub>   | sim TBZ <sub>i</sub>        |
| 1                                    | Filter cartridge..Insert       | 111360           | 1                | W/ 0147                     | F0000001                  | 500#5510#6#       | Filter cartridge                      | 1                    | 0,80                        |
| 2                                    | Sealing ring..DN80 x           | 111363           | 1                | W/ 0147                     | F0000001                  | 500#5510#7#       | Sealing ring                          | 1                    | 0,75                        |
| 3                                    | Filter cartridge..Type6E+F Gas | 603679           | 1                | W/ 0147                     | F0000001                  | 500#5511#5#100#   | Filter cartridge                      | 1                    | 0,70                        |
| 4                                    | O-ring..18,64 x 3,53           | 605160           | 1                | W/ 0147                     | F0000001                  | 500#5511#5#200#   | Ring O-ring.. 18,64x3,53              | 1                    | 0,81                        |
| 5                                    | O-ring...x.                    | 606830           | 1                | W/ 0147                     | F0000001                  | 500#5511#5#300#   | Ring O-ring..                         | 1                    | 0,46                        |
| 6                                    | Sealing ring                   | 606831           | 1                | W/ 0147                     | F0000001                  | 500#5511#5#400#   | Sealing ring                          | 1                    | 1,00                        |
| 7                                    | Sealing ring..22.x             | 606293           | 1                | W/ 0147                     | F0000001                  | 500#5511#5#500#   | Sealing ring                          | 1                    | 0,80                        |
| 8                                    | Piston                         | 279958           | 10               | W/ 0680                     | F0000022                  | 200#120#100#1#    | Piston                                | 1                    | 1,00                        |
| 9                                    | Piston pin..Type6,85 x 120..ST | 199793           | 10               | W/ 0680                     | F0000022                  | 200#120#100#5#    | Piston pin                            | 1                    | 0,51                        |
| 10                                   | Locking ring..80.x.3.ST        | 80719            | 20               | W/ 0680                     | F0000022                  | 200#120#100#7#    | Snap ring                             | 1                    | 0,44                        |
| 11                                   | Piston                         | 279959           | 10               | W/ 0680                     | F0000022                  | 200#120#100#1#    | Piston                                | 1                    | 1,00                        |
| 12                                   | Piston pin..Type6,85 x 120..ST | 199793           | 10               | W/ 0680                     | F0000022                  | 200#120#100#5#    | Piston pin                            | 1                    | 0,51                        |
| 13                                   | Locking ring..80.x.3.ST        | 80719            | 20               | W/ 0680                     | F0000022                  | 200#120#100#7#    | Snap ring                             | 1                    | 0,44                        |
| 14                                   | Injector                       | 227114           | 20               | W/ 0680                     | F0000022                  | 200#120#8000#1#9# | Injector                              | 1                    | 1,00                        |
| 15                                   | O-ring..28.x.3.5..rubber       | 52889            | 20               | W/ 0680                     | F0000022                  | 200#120#8000#3#   | Ring O-ring..rubber 28.0x3.5          | 1                    | 0,60                        |
| 16                                   | Hexagonal head screw           | 50233            | 20               | W/ 0680                     | F0000022                  | 200#120#8000#7#   | Hexagonal head screw                  | 1                    | 1,00                        |
| 17                                   | Rubber rail..900.x.80.x.80     | 142532           | 2                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#160#2#        | Rubber rail                           | 1                    | 0,59                        |
| 18                                   | Rubber rail..x.x.              | 166933           | 2                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#160#3#        | Elastic bearing                       | 1                    | 0,50                        |
| 19                                   | Rubber rail..1650.x.80.x.80    | 142536           | 2                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#160#4#        | Rubber rail                           | 1                    | 0,58                        |
| 20                                   | Cylinder screw                 | 50597            | 8                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#160#7#        | Screw                                 | 1                    | 0,53                        |
| 21                                   | Hexagonal head screw           | 50241            | 8                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#160#9#        | Hexagonal head screw                  | 1                    | 1,00                        |
| 22                                   | Rubber rail..1050.x.80.x.80    | 268210           | 4                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#170#4#        | Rubber rail                           | 1                    | 0,58                        |
| 23                                   | Stud bolt..M12.x.40..ST        | 50531            | 8                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#170#10#       | Stud bolt                             | 1                    | 0,58                        |
| 24                                   | Hexagonal head screw           | 50241            | 8                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#170#15#       | Hexagonal head screw                  | 1                    | 1,00                        |
| 25                                   | Gasket                         | 50303            | 2                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#1330#5#12#    | Sealing                               | 1                    | 0,54                        |
| 26                                   | Gasket                         | 50895            | 2                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#1330#5#13#    | Sealing                               | 1                    | 0,54                        |
| 27                                   | Gasket                         | 50303            | 2                | W/ 0986                     | F0000027                  | 200#1330#12#      | Sealing                               | 1                    | 0,54                        |
| 28                                   | Oil mist separator             | 4505347          | 1                | W/ 2049                     | F0000033                  | 200#120#4200#29#  | Oil mist separator                    | 1                    | 1,00                        |
| 29                                   | Oil mist separator             | 4505321          | 1                | W/ 2049                     | F0000033                  | 200#120#4200#33#  | Oil mist separator                    | 1                    | 1,00                        |
| 30                                   | Gasket                         | 50303            | 19               | W/ 1499                     | F0000040                  | 200#900#62#       | Sealing                               | 1                    | 0,54                        |
| 31                                   | Circulation pump               | 4503243          | 1                | W/ 1499                     | F0000040                  | 200#901#1#        | Circulation pump                      | 1                    | 1,00                        |

Mit Abschluss des Schritt 12 ist die vorläufige Teileliste bzw. das „Vorläufige Service-Kit“ für das Fallbeispiel auf Basis der bestpassenden Fälle der Fallbasis bestimmt.

### Schritt 13 | Resultat prüfen und reparieren

In Schritt 13 wird das vorläufige Service-Kit durch einen Ersatzteilexperten manuell auf Richtigkeit und notwendige Ergänzungen geprüft. Bei Betrachtung der Ergebnisliste werden zunächst alle Positionen mit  $sim TBZ_i \neq 1$  geprüft. Bei genauerer Betrachtung der erwarteten Teilebezeichnungen lt. Fallbeschreibung sowie den tatsächlichen Teilebezeichnungen in der SBOM des Abfrageproblems können folgende Abweichungen identifiziert werden (vgl. Tabelle 25):

- Abweichende Schreibweisen der Teilebezeichnungen
  - Laufende Nr.: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12, 15, 17, 19, 22, 23,
- Andere Teilebezeichnung mit gleicher Bedeutung (Synonyme)
  - Laufende Nr.: 10, 13, 18, 20, 25, 26, 27, 30

Die genannten Abweichungen können akzeptiert und die vorgeschlagene Lösung somit übernommen werden. Die Ergänzung zusätzlicher Teile oder eine Änderung der Stückzahlen ist nicht notwendig. Das „Vorläufige Service-Kit“ repräsentiert somit zugleich das „Erweiterte Service-Kit (ESK)“ gemäß dem Inferenzprozess 3.

### Schritt 14 | Adaptierten Fall speichern

Basierend auf den Erkenntnissen des Vorgängerschritts erfolgt in Schritt 14 die Erstellung eines zusätzlichen Falls. Die oben angeführten synonymen Teilebezeichnungen sollen ihre Berücksichtigung in einem neuen Fall für die  $WAID = W 0986$  (*Elastomerteile*) finden. Hierdurch soll abgesichert werden, dass bei zukünftigen Abgleichen mit ähnlichen Abfrageproblemen der Gesamtgütegrad der erzielten Lösung gesteigert und die manuelle Prüfzeit für den Ersatzteilexperten reduziert wird.

Abbildung 69 zeigt die formale Fallbeschreibung mit den Deskriptorengruppen 1-6 der neuen  $FID = F0000047$ . Neben den neuen Rahmenparametern der DG 6, enthält sie die angepassten erwarteten Teilebezeichnungen für die nachfolgenden Positionsnummern:

$i = 200\#160\#3\#$

$i = 200\#1330\#5\#12\#$

$i = 200\#1330\#5\#13\#$

$i = 200\#1330\#12\#$

$i \dots$  Positionsnummer

Mit der Generierung der neuen  $FID = F0000047$  wurde zusätzliches Expertenwissen formal beschrieben und die Fallbasis  $W 0986$  in Abbildung 58 ergänzt. Zukünftige Abfrageprobleme können somit auf zusätzliches Wissen in der Wissensbasis zugreifen. Mit Abschluss des Schritt 14 ist die Phase 2 des CBR-Ansatzes abgeschlossen.

| Fall  |                      |
|---|----------------------|
| Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«                     |                      |
| Attribut  | Wert                 |
| WAID  | W 0986               |
| ATID  | B20                  |
| Typ <sub>620</sub>  | 1                    |
| Deskriptorengruppe 2<br>»Fall-Indizes   Position (P)«           |                      |
| Attribut  | Wert                 |
| P <sub>200#160#2#</sub>   | 1                    |
| P <sub>200#160#3#</sub>   | 1                    |
| P <sub>200#160#4#</sub>   | 1                    |
| P <sub>200#160#7#</sub>   | 1                    |
| P <sub>200#160#9#</sub>   | 1                    |
| P <sub>200#170#4#</sub>   | 1                    |
| P <sub>200#170#10#</sub>  | 1                    |
| P <sub>200#170#15#</sub>  | 1                    |
| P <sub>200#170#16#</sub>  | 1                    |
| P <sub>200#1330#5#12#</sub>                                     | 1                    |
| P <sub>200#1330#5#13#</sub>                                     | 1                    |
| P <sub>200#1330#12#</sub>                                       | 1                    |
| Deskriptorengruppe 3<br>»Fall-Indizes   Teilebezeichnung (TBZ)« |                      |
| Attribut  | Wert                 |
| TBZ <sub>200#160#2#</sub>                                       | Rubber rail          |
| TBZ <sub>200#160#3#</sub>                                       | Rubber rail          |
| TBZ <sub>200#160#4#</sub>                                       | Rubber rail          |
| TBZ <sub>200#160#7#</sub>                                       | Screw                |
| TBZ <sub>200#160#9#</sub>                                       | Hexagonal head screw |
| TBZ <sub>200#170#4#</sub>                                       | Rubber rail          |
| TBZ <sub>200#170#10#</sub>                                      | Stud bolt            |
| TBZ <sub>200#170#15#</sub>                                      | Hexagonal head screw |
| TBZ <sub>200#170#16#</sub>                                      | Disc                 |
| TBZ <sub>200#1330#5#12#</sub>                                   | Gasket               |
| TBZ <sub>200#1330#5#13#</sub>                                   | Gasket               |
| TBZ <sub>200#1330#12#</sub>                                     | Gasket               |

| Lösung                                      |                               |
|---|-------------------------------|
| Deskriptorengruppe 4<br>»Teilenummern (TN)« |                               |
| Attribut                                    | Wert                          |
| f <sub>Rubber rail</sub>                    | TN <sub>200#160#2#</sub>      |
| f <sub>Rubber rail</sub>                    | TN <sub>200#160#3#</sub>      |
| f <sub>Rubber rail</sub>                    | TN <sub>200#160#4#</sub>      |
| f <sub>Screw</sub>                          | TN <sub>200#160#7#</sub>      |
| f <sub>Hexagonal head screw</sub>           | TN <sub>200#160#9#</sub>      |
| f <sub>Rubber rail</sub>                    | TN <sub>200#170#4#</sub>      |
| f <sub>Stud bolt</sub>                      | TN <sub>200#170#10#</sub>     |
| f <sub>Hexagonal head screw</sub>           | TN <sub>200#170#15#</sub>     |
| f <sub>Disc</sub>                           | TN <sub>200#170#16#</sub>     |
| f <sub>Gasket</sub>                         | TN <sub>200#1330#5#12#</sub>  |
| f <sub>Gasket</sub>                         | TN <sub>200#1330#5#13#</sub>  |
| f <sub>Gasket</sub>                         | TN <sub>200#1330#12#</sub>    |
| Deskriptorengruppe 5<br>»Stückzahlen (STK)« |                               |
| Attribut                                    | Wert                          |
| m <sub>Rubber rail</sub>                    | STK <sub>200#160#2#</sub>     |
| m <sub>Rubber rail</sub>                    | STK <sub>200#160#3#</sub>     |
| m <sub>Rubber rail</sub>                    | STK <sub>200#160#4#</sub>     |
| m <sub>Screw</sub>                          | STK <sub>200#160#7#</sub>     |
| m <sub>Hexagonal head screw</sub>           | STK <sub>200#160#9#</sub>     |
| m <sub>Rubber rail</sub>                    | STK <sub>200#170#4#</sub>     |
| m <sub>Stud bolt</sub>                      | STK <sub>200#170#10#</sub>    |
| m <sub>Hexagonal head screw</sub>           | STK <sub>200#170#15#</sub>    |
| m <sub>Disc</sub>                           | STK <sub>200#170#16#</sub>    |
| m <sub>Gasket</sub>                         | STK <sub>200#1330#5#12#</sub> |
| m <sub>Gasket</sub>                         | STK <sub>200#1330#5#13#</sub> |
| m <sub>Gasket</sub>                         | STK <sub>200#1330#12#</sub>   |
| Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation« |                               |
| Attribut                                    | Wert                          |
| Ist-Bh                                      | 29.838                        |
| AID   | X26510_1                      |
| FED   | 26.02.2020                    |
| FID   | F0000047                      |
| UID   | 1229733_Riester               |

| Kontext |                 |
|---------|-----------------|
| Ist-Bh  | 29.838          |
| AID     | X26510_1        |
| FED     | 26.02.2020      |
| FID     | F0000047        |
| UID     | 1229733_Riester |

Abbildung 69: Formale Beschreibung der neuen FID = F0000047 (eigene Darstellung)

### 6.3.4 Fallbeispiel „Motortyp B20“ | Phase 3

Nachstehend werden die Teilschritte der Phase 3 gemäß Punkt 5.5 auf das vorliegende Fallbeispiel angewendet.

#### Schritt 15 | Teilenachfolger prüfen

In Schritt 15 wird das „Erweiterte Service-Kit“ mit Hilfe der Nachfolgerteilenummerndokumentation auf zu berücksichtigende Teileaktualisierungen geprüft. Die Nachfolgerteildokumentation des Unternehmens enthielt zum Auswertungszeitpunkt 7.669 Einträge für alle Baureihen und Motortypen. Ein Auszug der Dokumentation ist in Tabelle 26 dargestellt.

Unter Anwendung der unter Punkt 5.6.1 angeführten Regel, kann für die Teilenummern  $TN = 111360$ ,  $TN = 279958$  und  $TN = 279959$  jeweils eine Nachfolgerteilenummer identifiziert werden. Nachstehend erfolgt die exemplarische Anwendung der Formel 15 für  $TN = 111360$ :

$$TN_{500\#5510\#6\#} = 111360$$

**Wenn**  $TN_{500\#5510\#6\#} = TNNFD_9$  **Dann**

**Ersetze**  $TN_{500\#5510\#6\#}$  durch  $NFNFD_9$

**Sonst** Prüfe nächste  $TNNFD_z$

**Resultat**  $TN_{500\#5510\#6\#} = NFNFD_9 = 609838$

*Z ... Zeilenindizes der Nachfolgerteildokumentation*

*TNNFD = Alte Teilenummer in der Nachfolgerteildokumentation*

*NFNFD = Nachfolgerteilenummer in der Nachfolgerteildokumentation*

*TBZ<sub>i</sub> ... Teilebezeichnung der Positionsnummer i*

*TN<sub>i</sub> ... Teilenummer der Positionsnummer i*

**Tabelle 26: Auszug der Nachfolgerteildokumentation (eigene Darstellung)**

**Nachfolgeteiledokumentation**

| Zeilenindex | Teilenummer alt | Bezeichnung Teilenummer alt | Nachfolgeteilenummer | Bezeichnung Nachfolgeteilenummer          |
|-------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|---|
| <i>z</i>    | <i>TNNFD</i>    | <i>TBZ-TNNFD</i>            | <i>NFNFD</i>         | <i>TBZ-NFNFD</i>                          |
| 1           | 50035           | Shaft seal..36.x.12         | 91027                | Sealing ring..36.x.8                      |
| 2           | 50042           | Filler ring                 | 145862               | Collar nut..M22.ST                        |
| 3           | 500417          | Catalytic converter         | 601323               | Catalytic converter..20 x 4,5 inch        |
| 4           | 50042           | Oil pump gear               | 161056               | Oil pump gear..oil                        |
| 5           | 50043           | Socket                      | 117136               | Bearing bush..15.x..x.25                  |
| 6           | 50044           | Screw..M22.x.263.ST         | 209141               | Screw..M22.x.287.ST                       |
| 7           | 50058           | Filter cartridge            | 112563               | Filter cartridge..Oil                     |
| 8           | 500651          | Gas line                    | 4512253              | Gas line                                  |
| 9           | 111360          | Filter cartridge..Insert    | 609838               | Filter cartridge..Type2+3.DN80            |
| 10          | 164580          | Protection                  | 190974               | Protection                                |
| 11          | 164586          | Shell                       | 190974               | Protection                                |
| 12          | 164613          | Coolingwater pipe           | 192096               | Coolingwater pipe                         |
| 13          | 164618          | Coolingwater pipe           | 193500               | Coolingwater pipe                         |
| 14          | 164719          | Insulation..Unit            | 184493               | Insulation                                |
| 15          | 164787          | Heater                      | 296689               | Heater                                    |
| 16          | 164794          | Ignition coil               | 256821               | Ignition coil                             |
| 17          | 164797          | Oil pipe                    | 211049               | Oil pipe                                  |
| 18          | 164798          | Oil pipe                    | 211051               | Oil pipe                                  |
| 19          | 279958          | Piston                      | 613128               | Piston..Type6 Bank A.E12                  |
| 20          | 279959          | Piston                      | 613128               | Piston..Type6 Bank B.E12                  |
| 21          | 336827          | Valve                       | 227025               | Exhaust valve..DN500PN10.230V             |
| 22          | 336828          | Gas line                    | 227198               | Gas line                                  |
| 23          | 336828          | Gas train                   | 228065               | Gas train                                 |
| 24          | 336829          | Exhaust Heat Exchanger      | 249291               | Exhaust Heat Exchanger                    |
| 25          | 336829          | Oil pan                     | 277395               | Oil pan..1000l                            |
| 26          | 336830          | Heat exchanger              | 279097               | Plate heat exchanger                      |
| 27          | 336830          | Heat exchanger              | 279616               | Plate heat exchanger                      |
| 28          | 336831          | Thermal reactor             | 287330               | Thermal reactor..auxiliary equipment. 208 |
| 29          | 336831          | Coolingwater pipe           | 288133               | Coolingwater pipe                         |
| 30          | 336832          | Coolingwater pipe           | 289918               | Coolingwater pipe                         |

Im vorliegenden Beispiel wurde diese Prüfung und Identifikation automatisiert für jede Teilenummer der Ergebnisliste mittels einer Abfrage in der bereitgestellten Nachfolgeteiledokumentation in Form einer Excel-Datei durchgeführt. Die identifizierten Nachfolgeteilenummern sowie deren Bezeichnungen wurden in die finale Ergebnisliste in Tabelle 27 übertragen. Die Ergebnisliste entspricht dem „Vollumfänglichen Service-Kit (VUSK)“ des Eingangs vorgestellten Ersatzteilidentifikationsprozesses (vgl. Abbildung 7) und ist das finale Ergebnis des entwickelten CBR-Ansatzes. Die verifizierte Auflistung beinhaltet sämtliche Teile, welche für eine erfolgreiche Durchführung der erläuterten Wartungsarbeiten im Rahmen des 30.000 h Wartungsintervalls benötigt werden.

Mit der Durchführung von Schritt 15 ist die Phase 3 sowie die Anwendung des entwickelten CBR-Ansatzes auf die vorliegende Problemstellung abgeschlossen.

Tabelle 27: Finale Ergebnisliste „Vollumfängliches Service-Kit“ (eigene Darstellung)

| Teilleiste (Vollumfängliches Service-Kit) |                                 |                   |                   |                     | Zusatzinformationen je Teil |                  |                             |                      |                             |
|---|---------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Laufende Nummer                           | Teilbezeichnung                 | Teilenummer       | Stückzahl         | Wartungsposition ID | Fallidentifikationsnummer   | Positionsnummer  | Erwartete Teilbezeichnung   | Ähnlichkeit Position | Ähnlichkeit Teilbezeichnung |
| Nr.                                       | TBZ <sub>i</sub>                | f <sub>Teil</sub> | m <sub>Teil</sub> | WALD                | FID                         | i                | TBZ <sub>i</sub>            | sim P <sub>i</sub>   | sim TBZ <sub>i</sub>        |
| 1   | Filter cartridge - Type2+3 DN80 | 609838            | 1                 | W 0147              | F0000001                    | 500#5510#6#      | Filter cartridge            | 1                    | 0,80                        |
| 2   | Sealing ring, DN80 x            | 111363            | 1                 | W 0147              | F0000001                    | 500#5510#7#      | Sealing ring                | 1                    | 0,75                        |
| 3   | Filter cartridge - Type6E+G Gas | 603679            | 1                 | W 0147              | F0000001                    | 500#5511#5#100#  | Filter cartridge            | 1                    | 0,70                        |
| 4   | O-ring - 18,64 x 3,53           | 605160            | 1                 | W 0147              | F0000001                    | 500#5511#5#200#  | Ring-O-ring 18,64x3,53      | 1                    | 0,81                        |
| 5   | O-ring - x.                     | 606830            | 1                 | W 0147              | F0000001                    | 500#5511#5#300#  | Ring-O-ring..               | 1                    | 0,46                        |
| 6   | Sealing ring                    | 606831            | 1                 | W 0147              | F0000001                    | 500#5511#5#400#  | Sealing ring                | 1                    | 1,00                        |
| 7   | Sealing ring -22 x              | 606293            | 1                 | W 0147              | F0000001                    | 500#5511#5#500#  | Sealing ring                | 1                    | 0,80                        |
| 8   | Piston - Type6 Bark A E12       | 613128            | 10                | W 0680              | F0000022                    | 200#120#100#1#   | Piston                      | 1                    | 1,00                        |
| 9   | Piston pin - Type6,85 x 120 ST  | 199793            | 10                | W 0680              | F0000022                    | 200#120#100#5#   | Piston pin                  | 1                    | 0,51                        |
| 10  | Locking ring - 80 x 3 ST        | 80719             | 20                | W 0680              | F0000022                    | 200#120#100#7#   | Snap ring                   | 1                    | 0,44                        |
| 11  | Piston - Type6 Bark B E12       | 613128            | 10                | W 0680              | F0000022                    | 200#120#100#1#   | Piston                      | 1                    | 1,00                        |
| 12  | Piston pin - Type6,85 x 120 ST  | 199793            | 10                | W 0680              | F0000022                    | 200#120#100#5#   | Piston pin                  | 1                    | 0,51                        |
| 13  | Locking ring - 80 x 3 ST        | 80719             | 20                | W 0680              | F0000022                    | 200#120#100#7#   | Snap ring                   | 1                    | 0,44                        |
| 14  | Injector                        | 227114            | 20                | W 0680              | F0000022                    | 200#120#900#1#9# | Injector                    | 1                    | 1,00                        |
| 15  | O-ring - 28 x 3,5 rubber        | 52889             | 20                | W 0680              | F0000022                    | 200#120#800#3#   | Ring-O-ring rubber 28 0x3 5 | 1                    | 0,60                        |
| 16  | Hexagonal head screw            | 50233             | 20                | W 0680              | F0000022                    | 200#120#800#7#   | Hexagonal head screw        | 1                    | 1,00                        |
| 17  | Rubber rail - 900 x 80 x 80     | 142532            | 2                 | W 0986              | F0000027                    | 200#160#2#       | Rubber rail                 | 1                    | 0,59                        |
| 18  | Rubber rail... x. x.            | 166933            | 2                 | W 0986              | F0000027                    | 200#160#3#       | Elastic bearing             | 1                    | 0,50                        |
| 19  | Rubber rail - 1650 x 80 x 80    | 142536            | 2                 | W 0986              | F0000027                    | 200#160#4#       | Rubber rail                 | 1                    | 0,58                        |
| 20  | Cylinder screw                  | 50597             | 8                 | W 0986              | F0000027                    | 200#160#7#       | Screw                       | 1                    | 0,53                        |
| 21  | Hexagonal head screw            | 50241             | 8                 | W 0986              | F0000027                    | 200#160#9#       | Hexagonal head screw        | 1                    | 1,00                        |
| 22  | Rubber rail - 1050 x 80 x 80    | 286210            | 4                 | W 0986              | F0000027                    | 200#170#4#       | Rubber rail                 | 1                    | 0,58                        |
| 23  | Stud bolt - M12 x 40 ST         | 50531             | 8                 | W 0986              | F0000027                    | 200#170#10#      | Stud bolt                   | 1                    | 0,58                        |
| 24  | Hexagonal head screw            | 50241             | 8                 | W 0986              | F0000027                    | 200#170#15#      | Hexagonal head screw        | 1                    | 1,00                        |
| 25  | Gasket                          | 50303             | 2                 | W 0986              | F0000027                    | 200#1330#5#12#   | Sealing                     | 1                    | 0,54                        |
| 26  | Gasket                          | 50895             | 2                 | W 0986              | F0000027                    | 200#1330#5#13#   | Sealing                     | 1                    | 0,54                        |
| 27  | Gasket                          | 50303             | 2                 | W 0986              | F0000027                    | 200#1330#12#     | Sealing                     | 1                    | 0,54                        |
| 28  | Oil mist separator              | 4505347           | 1                 | W 2049              | F0000033                    | 200#120#420#29#  | Oil mist separator          | 1                    | 1,00                        |
| 29  | Oil mist separator              | 4505321           | 1                 | W 2049              | F0000033                    | 200#120#420#33#  | Oil mist separator          | 1                    | 1,00                        |
| 30  | Gasket                          | 50303             | 19                | W 1499              | F0000040                    | 200#900#62#      | Sealing                     | 1                    | 0,54                        |
| 31  | Circulation pump                | 4503243           | 1                 | W 1499              | F0000040                    | 200#901#1#       | Circulation pump            | 1                    | 1,00                        |



## 6.4 Umsetzung in Demonstrator

Das erläuterte CBR-System wurde prototypenhaft in einem Demonstrator umgesetzt. Dieser repräsentiert gemäß den Ausführungen unter Punkt 2.4.2 ein Expertensystem. Die Darstellung der User-Oberfläche kann Abbildung 70 entnommen werden. Die linke Bildhälfte zeigt die eingefügte Stückliste, der für das Fallbeispiel verwendeten  $AID = X26510_1$ . Diese wurde manuell aus einem Datenspeicher importiert (vgl. Abbildung 62). Die rechte Bildhälfte zeigt eine Auswahl von Wartungsintervallen (Events), welche in Abhängigkeit der Service-Anfrage selektiert werden können. U. a. ist die  $WIID = WI 30k$  für den Wartungsplan F des behandelten Fallbeispiels angeführt. Die untere Bildhälfte zeigt einen Ausschnitt des Ergebnisfelds. Dieses enthält die identifizierten Artikelnummern (Item), die Hinweise auf Nachfolgeteilenummern (Current), die benötigte Mengen (Extended Quantity), die Positionsnummern (Sequence Path), die vorhandenen Teilebezeichnungen in der SBOM (Description), die erwarteten Teilebezeichnungen aus den zugeordneten Fällen der Fallbasis (Expected) sowie die Ähnlichkeit der Teilebezeichnungen  $sim TBZ_i$  (HitRate). Der Reiter „Relationship“ (in der Bildmitte) zeigt die Nachfolgeteilenummer der im Ergebnisfeld markierten Teilenummer. Hierfür wird eine Datenabfrage des „Item Relationship Reports“ im Hintergrund durchgeführt. Die Anwendung des Demonstrators führte bei mehreren Praxisversuchen des Fallbeispielunternehmens durchgängig zu verkürzten Teileidentifikationszeiten. Abhängig von Teileumfang und Mitarbeitererfahrung konnte die Gesamtdauer für die Erstellung von vollumfänglichen Service-Kits um bis zu 80 % reduziert werden. Die Tatsache, dass für die Service-Kits größerer Wartungsintervalle mit mehr als 100 Ersatzteilen die Bearbeitungsdauer im manuellen Ist-Prozess nur selten < 1 h betragen, verdeutlicht das Produktivitätssteigerungspotenzial der vorgestellten Lösung. Zudem leistet die Anwendung des Demonstrators einen signifikanten Beitrag zur Entkopplung der Ersatzteilidentifikation von spezifischem Expertenwissen und ermöglicht den Einsatz einer erweiterten Personengruppe. Umfang und Inhalte der Service-Kits sind vollumfänglich und standardisiert.

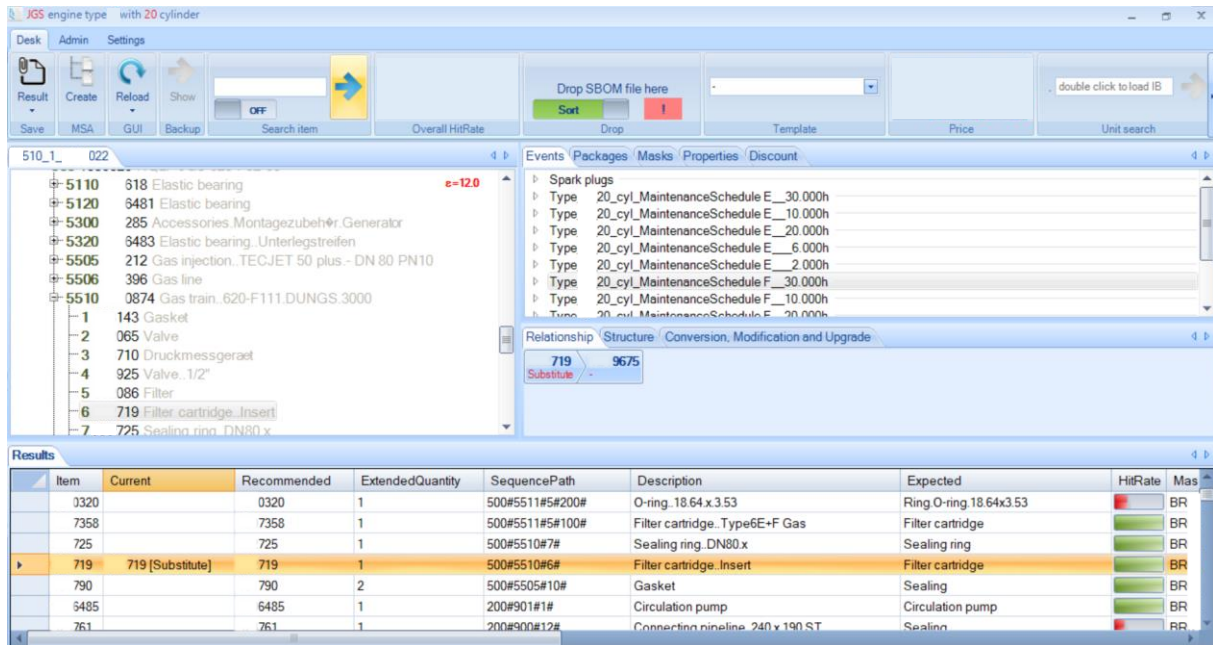


Abbildung 70: Benutzeroberfläche des entwickelten Proof-of-concept Demonstrators (eigene Darstellung)

## 6.5 Zusammenfassung des Kapitels

In Kapitel 6 wurde das zuvor entwickelte Vorgehensmodell erfolgreich auf zwei Bauweisen eines international agierenden Gasmotorenherstellers angewendet. Anhand der Bestandteile einer 30.000 Betriebsstundenwartung wurde ein CBR-System entwickelt, die zugehörige Case-Base mit initialen Fallbeispielen versehen und dessen Anwendung demonstriert. Die Validierung der Funktionsweise erfolgte anhand eines beispielhaften Motors des Motortyps B20. Die dargestellte Nutzung eines entwickelten Proof-of-concept Demonstrators ermöglichte die Verkürzung der Ersatzteilidentifikationszeiten um bis zu 80 %.

## 7 Resümee und Ausblick

In der vorliegenden Dissertation wurde ein Case-based Reasoning Ansatz zur wissensbasierten Konfiguration von Service-Kits im Maschinen- und Anlagenbau am Beispiel eines Gasmotorenherstellers entwickelt. Der Ansatz wurde prototypenhaft in einem Software-Demonstrator umgesetzt und ermöglicht, trotz eingeschränkter Anwenderexpertise sowie fehlenden expliziten Verknüpfungen zwischen Service- und Teiledokumentationen, eine schnelle und vollumfängliche Ersatzteilidentifikation für Wartungsarbeiten. Ersatzteilanbieter und -bezieher profitieren beide gleichermaßen durch eine signifikante Steigerung der Produktivität und Ergebnisqualität im Rahmen der Ersatzteilidentifikation. Nachfolgend werden die eingangs gestellten Forschungsfragen aufgegriffen, die Erfüllung der Vorgehensmodellanforderungen diskutiert, der Nutzen aus einer Managementperspektive erläutert sowie weiterer Forschungsbedarf definiert.

### 7.1 Diskussion der Forschungsfragen

Die in Kapitel 1.3 angeführten Forschungsfragen werden nachstehend, basierend auf den erarbeiteten Ergebnissen, beantwortet.

*Forschungsfrage 1: Wie kann das vorhandene implizite Expertenwissen für die Generierung von Service-Kits explizit beschrieben werden?*

Aufbauend auf der Ist-Prozessanalyse der Ersatzteilidentifikation wurde die Zusammensetzung des Gesamtfalls, die Fallstruktur der Sub-Fälle sowie relevante Attribut-Wert Paare für die Beschreibung des Expertenwissens identifiziert. Die Komplexität sowie die verfügbare Datenstruktur des Ausgangsproblems zeigt, dass eine Gliederung des Gesamtabfrageproblems, sprich die benötigten Ersatzteile für ein Wartungsintervall, in mehrere Sub-Fälle, d. h. in Ersatzteilbedarfe für einzelne Wartungspositionen, notwendig ist. Die abgeleiteten Einzellösungen werden im Rahmen des CBR-Ansatzes wieder zu einer Gesamtlösung aggregiert.

Die Ist-Prozessanalyse zeigt, dass das Expertenwissen im Wesentlichen aus der Kenntnis des benötigten Teileumfangs für eine Wartungsposition besteht, da die benötigten Teilenummern und -bezeichnungen in den Service-Dokumentationen nicht oder nur teilweise angeführt sind. Des Weiteren besteht deren Wissen in der Identifikation der benötigten Teilepositionen in einer Service-Stückliste sowie der Validierung von Teilebezeichnungen. Von den identifizierten Teilepositionen werden die zugehörigen Teilenummern und Mengen abgeleitet. Das Expertenwissen hinsichtlich der benötigten Teile und deren Verortung in der Service-Stückliste wurden durch geeignete

Attribut-Wert Paare formal beschrieben und in sechs Deskriptorengruppen gegliedert. Die Problemdarstellung umfasst drei und die Lösungsdarstellung zwei Deskriptorengruppen. Eine weitere Deskriptorengruppe wird für die Formalbeschreibung von Rahmeninformationen verwendet. Die Einzelattribute können den Kapiteln 5.2.4 bis 2.5.6 entnommen werden. Die Attributanzahl in den Deskriptorengruppen zwei bis fünf ist variabel in Abhängigkeit des Teileumfangs eines Falls. Die abgeleiteten Attribut-Wert Paare formalisieren und externalisieren bis dato ausschließlich implizit vorhandenes Expertenwissen und ermöglichen dessen Verwendung durch eine erweiterte Nutzerbasis.

*Forschungsfrage 2: Wie muss ein CBR-System für die Generierung von Service-Kits methodisch ausgestaltet werden, um das gespeicherte explizite Wissen anwenden zu können?*

Der gesamte CBR-Ansatz ist in drei Phasen mit insgesamt 15 Einzelschritten aufgebaut. Phase 1 beinhaltet ein Pre-Processing der in der Praxis verfügbaren Eingangsinformationen und reichert diese regelbasiert mit weiterem Wissen aus verfügbaren Datenbanken an. Hierfür wurden die Formeln 1-8 definiert. Phase 2 bildet das Kernelement des CBR-Ansatzes und inkludiert den CBR-Mechanismus. Dieser orientiert sich an dem CBR-Cycle nach AAMODT et al. (vgl. Aamodt und Plaza 1994). Für den Teilprozess „Retrieve“, in dem die Ähnlichkeitsprüfung mit den vorhandenen Fällen erfolgt, wurden die Formeln 9-16 vorgestellt. In diesen werden das Skalarprodukt sowie die Editierdistanz für die Ähnlichkeitsbestimmung von Positionsnummern und Teilebezeichnungen verwendet. Diese fließen in die Berechnung der entwickelten Ähnlichkeitsmaßstäbe ein. Die Ähnlichkeitsmaße der Einzelschritte werden zu einem Gesamtähnlichkeitsmaß aggregiert. Phase 3 beinhaltet ein regelbasiertes Post-Processing, der aus dem CBR-Prozess resultierenden Ergebnisse, um diese in der Praxis anwenden zu können. Dies erfolgt unter Anwendung von Formel 15. Die entwickelte und dem CBR-Ansatz zugrundeliegende Wissensbasis setzt sich neben der Fallbasis auch aus dem PDM-System sowie dem IPS-System eines Unternehmens zusammen.

Ergänzend zu den Forschungsfragen wird nachfolgend auf die formulierte Hypothese eingegangen.

*Hypothese: Die Nutzung eines wissensbasierten Systems, basierend auf einem Case-based Reasoning Ansatz, unterstützt in der unternehmerischen Praxis die Verkürzung der Ersatzteilidentifikationszeiten sowie die Entlastung von Kernkompetenzträgern.*

Das Fallbeispiel sowie die Beantwortung der Forschungsfrage 2 zeigen, dass die methodische Ausgestaltung des CBR-Ansatzes den Aufwand für die Ersatzteilidentifikation minimiert. Ein Großteil der einzelnen Ersatzteile kann automatisiert detektiert und verifiziert werden. Abweichungen aufgrund des Fallbasisumfangs sowie von einzelnen Fallinhalten führen lediglich bei Teilergebnissen zu manuellen Nacharbeiten. In Summe wird die Bearbeitungszeit für die Teileidentifikation reduziert und eine Kernkompetenzträgerentlastung erzielt. Eine erste demonstratorhafte Umsetzung des Ansatzes zeigt ein signifikantes Produktivitätssteigerungspotenzial für einen erweiterten operativen Einsatz. Ferner ermöglicht der entwickelte Ansatz den Einbezug von Nicht-Experten in den Teileidentifikationsprozess. Einfache Korrekturen, z. B. aufgrund von falschen aber dennoch sinngemäß gleichen Schreibweisen der Teilebezeichnungen, können ohne Expertenwissen vorgenommen werden. Lediglich komplexere Abweichungen, z. B. bei fehlenden Positionsnummern oder generell nicht vorhandenen Referenzfällen, erfordern entsprechende Expertise. Dies ermöglicht eine weitere Reduktion der Arbeitslastkonzentration bei Fachexperten. Basierend hierauf wird die unter Punkt 1.3 formulierte Hypothese verifiziert.

## 7.2 Abgleich mit den Vorgehensmodellanforderungen

Für die Verifizierung der Praxistauglichkeit des entwickelten Ansatzes erfolgt nachstehend eine Überprüfung der in Kapitel 4 formulierten Vorgehensmodellanforderungen.

*Anf. 1 – Eignung für Gasmotorenhersteller: Das Vorgehensmodell ist für Gasmotorenproduzenten aus der Herstellerperspektive anwendbar.*

Das behandelte Fallbeispiel zeigt, dass sich das entwickelte Vorgehensmodell für die Produkte und Produktvarianten von Gasmotorenherstellern anwenden lässt. Der generische Charakter des Ansatzes lässt zudem vermuten, dass dieser ebenso auf andere Arten von Maschinen und Anlagen übertragbar ist.

*Anf. 2 – Beschreibung des Expertenwissens: Das Vorgehensmodell muss eine reproduzierbare Beschreibung des Expertenwissens für die Inferenzprozesse 1-3 (vgl. Abbildung 7) ermöglichen.*

Die Beantwortung der Forschungsfrage 1 stellt dar wie implizites Expertenwissen durch die Anwendung entsprechender Attribute formalisiert und externalisiert werden kann. In Kombination mit dem in der Beantwortung von Forschungsfrage 2 beschriebenen CBR-Mechanismus ermöglicht dies die Abbildung der Inferenzprozesse 1-3 sowie die Überbrückung der im Ist-Prozess beschriebenen Informations- und Medienbrüche.

*Anf. 3 – Nutzung von Case-based Reasoning: Das Vorgehensmodell nutzt Case-based Reasoning als Methode für die Erfassung und Bereitstellung von Expertenwissen.*

Die Phase 2 des entwickelten Vorgehensmodells integriert den entwickelten CBR-Mechanismus, welcher die Allokation von gespeichertem Wissen in der Fallbasis zu einer bestehenden Problemstellung vornimmt. In die Fallbasis werden kontinuierlich neue Fälle integriert. Das bis dato an Einzelpersonen gekoppelte Fachwissen wird somit externalisiert und gespeichert. Die Methode des CBR wird hierdurch erfolgreich auf das neue Anwendungsgebiet der Service-Kit Generierung übertragen.

*Anf. 4 – Vollumfängliche Service-Kits für Wartungsfälle: Das Ergebnis der Vorgehensmodell-anwendung muss eine vollumfängliche Ersatzteilaufstellung (Service-Kit) für definierte Wartungsfälle gemäß DIN 31051 darstellen.*

Ein Gesamtfall ist regelbasiert in mehrere Sub-Fälle gegliedert. Dem Gesamtfall ist ein Wartungsintervall und einem Sub-Fall jeweils einer Wartungsanweisung zugeordnet. Die Teileumfänge der Sub-Fälle orientieren sich an den Inhalten der zugehörigen Wartungsanweisung sowie dem zusätzlich formalisierten Expertenwissen, welches über die Wartungsanweisungen hinausgeht. Dies stellt sicher, dass das resultierende Service-Kit vollumfänglich ist. Umgesetzt wird dies durch die Möglichkeit der Definition einer variablen Attributanzahl bei der Erstellung eines neuen Falls in Schritt 13.

*Anf. 5 – Reduktion des Ersatzteilidentifikationsaufwands: Das Vorgehensmodell soll den Aufwand der Ersatzteilidentifikation auf Seiten der Gasmotorenhersteller reduzieren.*

Die Automatisierung der Ersatzteilidentifikation in Phase 2 sowie die automatische Evaluierung der ermittelten Ergebnisse mittels der abgeleiteten Ähnlichkeitsmaße wirkt sich positiv auf die Bearbeitungszeit für die Ersatzteilidentifikation je Service-Auftrag aus. Die resultierende Standardteilleiste integriert das Wissen mehrerer Experten. Eine gleichbleibend hohe Ergebnisqualität ist somit sichergestellt. Die Notwendigkeit der Ergebniskorrektur besteht lediglich für einzelne Teile mit nicht zufriedenstellenden Ähnlichkeitsmaßen. Die Gesamtbearbeitungszeit der Teileprüfung wird hierdurch reduziert. Ergänzend wird dies durch die beschriebene demonstratorhafte Umsetzung und Anwendung des Vorgehensmodells mittels eines Software-Prototypen validiert.

Abschließend wird festgestellt, dass alle initial definierten Anforderungen durch den entwickelten Ansatz abgedeckt werden. Ergänzend zeigt Abbildung 71 eine Gegenüberstellung des entwickelten Ansatzes mit den unter Punkt 3 analysierten Service-Kit



und CBR-Ansätzen. Das entwickelte Vorgehensmodell konzentriert sich auf den Maschinen- und Anlagenbau unter Einnahme der Herstellerperspektive. Die Service-Kit Bestandteile sind anlagenspezifisch mit Fokus auf Wartungsarbeiten. Es wird zudem der Wissensmanagement-Ansatz des CBR verwendet und dessen Anwendungsfokus auf den Teilprozess der Ersatzteilidentifikation gelegt.

| Grad der Erfüllung       | Symbol                                 | Service-Kit Ansätze |                    |                     | CBR-Ansätze  |             |                        |                       |                       |                  |   | Angrenzende Themenbereiche | Entwickeltes Vorgehensmodell zur Service-Kit Konfiguration |
|--------------------------|--|---------------------|--------------------|---------------------|--|-------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|---|----------------------------|--|
|                          |  | RKP-Ansätze         | Kitting-Ansätze    |                     | Instandhaltung (IH) und Ersatzteilmanagement (ETM) |             |                        |                       |                       |                  |   |                            |  |
| Erfüllt                  | ●                                      |                     | GÜLLÜ und KÖKSALAN | MOHARANA und SARMAH | CHOUIGULE et al.                                   | VONG et al. | KAMSU-FOGUEM und NOYES | POTES RUIZ et al. (1) | POTES RUIZ et al. (2) | MOURTIZIS et al. |   |                            |  |
| Teilweise erfüllt        | ◐                                      |                     |                    |                     |  |             |                        |                       |                       |                  |   |                            |  |
| Nicht erfüllt            | ○                                      |                     |                    |                     |  |             |                        |                       |                       |                  |   |                            |  |
| Branche                  | Maschinen- und Anlagenbau              | ○                   | ○                  | ●                   | ○  | ○           | ●                      | ●                     | ●                     | ●                | ○ | ●                          |  |
|                          | Andere                                 | ●                   | ●                  | ○                   | ●  | ●           | ○                      | ○                     | ○                     | ○                | ● | ○                          |  |
| Betrachtungsperspektive  | Herstellereperspektive                 | ●                   | ○                  | ○                   | ●  | ●           | ●                      | ●                     | ●                     | ●                | ◐ | ●                          |  |
|                          | Kundenperspektive                      | ○                   | ●                  | ●                   | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○                | ◐ | ○                          |  |
| Service-Kit Bestandteile | Verwendungs-/ Anlagenspezifisch        | ○                   | ◐                  | ●                   | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○                | ○ | ●                          |  |
|                          | Verwendungs-/ Anlagenneutral           | ●                   | ○                  | ○                   | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○                | ○ | ○                          |  |
| Instandhaltungsmaßnahmen | Wartung                                | ●                   | ○                  | ●                   | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○                | ○ | ●                          |  |
|                          | Inspektion                             | ○                   | ○                  | ○                   | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○                | ○ | ○                          |  |
|                          | Instandsetzung                         | ●                   | ●                  | ●                   | ●  | ●           | ●                      | ●                     | ●                     | ●                | ○ | ○                          |  |
|                          | Verbesserung                           | ○                   | ○                  | ○                   | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○                | ○ | ○                          |  |
| Prozesseingrenzung       | Teilprozess »Ersatzteilidentifikation« | ○                   | ○                  | ◐                   | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○                | ○ | ●                          |  |
|                          | Andere Prozesse                        | ●                   | ●                  | ●                   | ●  | ●           | ●                      | ●                     | ●                     | ●                | ● | ○                          |  |
| Wissensmanagement-Ansatz | Case-based Reasoning                   | ○                   | ○                  | ○                   | ●  | ●           | ●                      | ●                     | ●                     | ●                | ● | ●                          |  |
|                          | Andere Ansätze                         | ●                   | ●                  | ●                   | ○  | ○           | ○                      | ○                     | ○                     | ○                | ○ | ○                          |  |

**Abbildung 71: Vergleich bestehender Service-Kit und CBR-Ansätze mit dem entwickelten CBR-Ansatz zur Service-Kit Konfiguration (eigene Darstellung)**

### 7.3 Nutzen aus Managementsicht

Ergänzend zum wissenschaftlichen Resümee erfolgt nachstehend eine Ergebniseinordnung aus der Managementperspektive. Hierbei wird Bezug auf die eingangs erläuterten Unternehmensherausforderungen und Trends genommen.

Einen wesentlichen operativen Nutzen bietet der entwickelte CBR-Ansatz hinsichtlich der Komplexitätsbeherrschung durch die zunehmende Teile- und Variantenvielfalt. Die Medien- und Informationsbrüche im operativen Ersatzteilidentifikationsprozess werden überbrückt und die Fachexperten entlastet. Das jährliche Potenzial der Aufwandsreduktion für die Konfiguration von Service-Paketen bei einer Installed Base von mehreren 10.000 Maschinen- und Anlagen kann, in Abhängigkeit der Maschinen- und Anlagenkomplexität, mehrere FTE betragen. Abgeleitet hiervon, leistet der beschriebene Ansatz einen Beitrag zur Minderung des Fachkräftemangels in Unternehmen. Zudem



kann durch das beschriebene Vorgehensmodell das in Unternehmen vorhandene Fachwissen erfasst und nachhaltig gesichert werden. Darüber hinaus leistet die Anwendung des Vorgehensmodells einen Beitrag zur kontinuierlichen Stammdatenpflege. Abweichungen und Varianten von z. B. Teilebezeichnungen oder -nummern werden durch den permanenten Fallabgleich aufgezeigt. Des Weiteren wirkt sich die Reduktion des Ersatzteilidentifikationsaufwands positiv auf die Kostenkurve des in Kapitel 1 vorgestellten After-Sales Produktlebenszyklus aus. Hierdurch wird eine zusätzliche Profitabilität generiert. Ferner wird durch die Verkürzung der Reaktionszeiten sowie die gleichbleibende Ergebnisqualität die Kundenzufriedenheit und in Konsequenz die Marktposition positiv beeinflusst.

Abschließend wird festgestellt, dass die im Punkt 2.1 aufgezeigte Relevanz von KI für den Service-Bereich gegeben ist und KI einen Beitrag zur operativen Effizienzsteigerung sowie in weiterer Folge zur nachhaltigen Veränderung der Wertschöpfungsarchitektur leisten kann.

#### **7.4 Weiterer Forschungsbedarf**

Basierend auf den untersuchten Forschungsfragen sowie den erarbeiteten Ergebnissen kann weiterer Forschungsbedarf abgeleitet werden. Dieser umfasst sowohl die Erweiterung des Anwendungsspektrums als auch die methodische Ausgestaltung des entwickelten Ansatzes. Darüber hinaus wird die Prüfung eines Transfers des prinzipiellen CBR-Ansatzes in andere Unternehmens- und Logistikbereiche als relevant für weitere Untersuchungen betrachtet. Erste Impulse können den nachfolgenden Ausführungen entnommen werden.

##### **7.4.1 Erweiterung des Anwendungsspektrums des entwickelten CBR-Ansatzes**

Die im Rahmen dieser Arbeit geführten Expertengespräche und durchgeführten Analysetätigkeiten lassen die Schlussfolgerung zu, dass der entwickelte Ansatz mit entsprechenden Adaptionen ebenso für andere Instandhaltungsmaßnahmen nach DIN 31051 angewendet werden kann. So ist beispielsweise die formale Darstellung von Expertenwissen für die Durchführung von „Instandsetzungen“ durch die Abbildung von Schadensbildern denkbar. Ebenso scheint eine Adaption des Ansatzes für die Durchführung von „Verbesserungen“ als möglich. Auch die Berücksichtigung von benötigtem Werkzeug für die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen ist eine zu prüfende Erweiterungsmöglichkeit. Ferner könnte die Möglichkeit für eine Einbindung von Durchführungszeiten, als Basis für die Kostenkalkulation von Service-Verträgen sowie die Kapazitätsplanung der Techniker, evaluiert werden.

#### 7.4.2 Methodische Erweiterung des entwickelten CBR-Ansatzes

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich prioritär mit der methodischen Gestaltung des CBR-Hauptprozesses „Retrieve“. Der Hauptprozess „Revise“ hingegen sieht derzeit eine manuelle Fallkorrektur durch den Fachexperten vor. Um eine zusätzliche Entlastung der Fachexperten sowie eine erweiterte Einbindung von Nicht-Experten zu ermöglichen, gilt es zu prüfen, ob durch die Anwendung weiterer Methoden und Ansätze der KI eine teil- oder vollautomatisierte Fallkorrektur möglich wird.

#### 7.4.3 Transfer in andere Unternehmens- und Logistikbereiche

Der entwickelte CBR-Ansatz bietet Potenzial für die systematische Ergebnisverwertung in anderen Unternehmensbereichen. So lassen beispielsweise Abweichungen der Teilebezeichnungen und Positionsnummernvergaben Rückschlüsse auf Stammdatenfehler in den Systemen sowie Prozessvarianten im Konstruktionsprozess zu. Ob der entwickelte CBR-Ansatz systematisch für Optimierungen eingebunden werden kann, gilt es zu prüfen. Darüber hinaus birgt der Ansatz des CBR im Allgemeinen Potenzial für eine erweiterte Anwendung im Logistikbereich. V. a. bei Tätigkeiten, die eine Abhängigkeit von spezifischem Expertenwissen aufweisen.

## 8 Literaturverzeichnis

- Aamodt, A. und Plaza, E. (1994): Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches Volume 7 (No. 1): S. 39–59.
- Abramovici, M. (2018): Engineering smarter Produkte und Services: Plattform Industrie 4.0 Studie. acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN. München. <https://www.acatech.de/publikation/engineering-smarter-produkte-und-services/>. Zugegriffen: 10. Mai 2020.
- Ansari, F. (2019): Knowledge Management 4.0: Theoretical and Practical Considerations in Cyber Physical Production Systems. IFAC-PapersOnLine Volume 52 (No. 13): S. 1597–1602. doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.428.
- Arnold, D., H. Isermann, A. Kuhn, H. Tempelmeier und K. Furmans (Hrsg.) (2008): Handbuch Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Baader, A., Montanus S. und Sfat, R. (2006): After Sales Services - mit produktbegleitenden Dienstleistungen profitabel wachsen. In Erfolgreich mit After Sales Services: Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillogistik, Hrsg. K. Barkawi, A. Baader und S. Montanus. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Balzert, H. (2009): Lehrbuch der Softwaretechnik: Basiskonzepte und Requirements-Engineering, 3. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.
- Baumbach, M. und Stampfl, A. T. (2002): After Sales Management: Marketing - Logistik - Organisation. München: Hanser.
- Begum, S., Barua, S., Filla, R. und Ahmed, M. U. (2014): Classification of physiological signals for wheel loader operators using Multi-scale Entropy analysis and case-based reasoning. Expert Systems with Applications Volume 41 (No. 2): S. 295–305. doi: 10.1016/j.eswa.2013.05.068.
- Beierle, C. und Kern-Isberner, G. (2014): Methoden wissensbasierter Systeme. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bijvank, M., Koole, G. und Vis. I. (2010): Optimising a general repair kit problem with a service constraint. European Journal of Operational Research Volume 204 (No. 1): S. 76–85. doi: 10.1016/j.ejor.2009.10.004.

- Blackler, F. (2016): Knowledge, Knowledge Work and Organizations: An Overview and Interpretation. *Organization Studies Volume 16 (No. 6)*: S. 1021–1046. doi: 10.1177/017084069501600605.
- Blinn, N., Nüttgens, M., Schlicker, M., Thomas, O. und Walter, P. (2010): Lebenszyklusmodelle hybrider Wertschöpfung: Modellimplikationen und Fallstudie. In *Hybride Wertschöpfung: Mobile Anwendungssysteme für effiziente Dienstleistungsprozesse im technischen Kundendienst*, Hrsg. Thomas, O., Loos, P. und Nüttgens, M., S. 130–143. Berlin: Springer.
- Boehm, B. W. (1988): A Spiral Model of Software Development and Enhancement. *IEEE Computer Volume 21 (No. 2)*: S. 61–72.
- Brendle, S., Stamm, S., Sibold, J. und Vogel, U. (2016): Lean Service im Maschinen- und Anlagenbau: LEAN SERVICE 2016 - Herausforderungen und Handlungsbedarfe - Eine Studie der Staufen AG. [https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-studie-lean-service-im-maschinen-und-anlagenbau-2016-de\\_DE.pdf](https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-studie-lean-service-im-maschinen-und-anlagenbau-2016-de_DE.pdf). Zugegriffen: 16. März 2020.
- Bringsjord, S. und Govindarajulu, N. S. (2018): Artificial Intelligence. <https://plato.stanford.edu/entries/artificial-intelligence/#InteAgenCont>. Zugegriffen: 10. Januar 2019.
- Brodthmann, T., Ackermann, U., Trischler, J., Wiechers, R., Malorny, C., Wittmann, R., Herring, D. und Schleyer, T. (2014): Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau: Erfolgreich in einem dynamischen Umfeld agieren. VDMA e. V.; McKinsey & Company. <http://www.vdma.org/zukunftsperspektive>. Zugegriffen: 5. Januar 2018.
- Brunelle, S. und Granot, D. (1993): The repair kit problem revisited. *Operations Research Sep-Oct 1993 Volume 41 (No. 5)*: S. 994–1006.
- Chang, P.-C., Lin, J.-J. und Dzan, W.-Y. (2012): Forecasting of manufacturing cost in mobile phone products by case-based reasoning and artificial neural network models. *Journal of Intelligent Manufacturing Volume 23 (No. 3)*: S. 517–531. doi: 10.1007/s10845-010-0390-7.
- Chougule, R., Rajpathak, D. und Bandyopadhyay, P. (2011): An integrated framework for effective service and repair in the automotive domain: An application of association mining and case-based-reasoning. *Computers in Industry Volume 62 (No. 7)*: S. 742–754. doi: 10.1016/j.compind.2011.05.007.

- Discher, A. und Bosch, M. (2017): GEXSO Service Management im globalen Wandel: Potenziale des globalen After Sales Service Management von Industrieunternehmen. BearingPoint GmbH. <http://gexso.com/de/gexso-studie-service-management-im-globalen-wandel/>. Zugegriffen: 15. März 2020.
- Dispan, J. (2017): Entwicklungstrends im Werkzeugmaschinenbau 2017: Kurzstudie zu Branchentrends auf Basis einer Literaturrecherche. Hans-Böckler-Stiftung. [https://www.boeckler.de/pdf/p\\_fofoe\\_WP\\_029\\_2017.pdf](https://www.boeckler.de/pdf/p_fofoe_WP_029_2017.pdf). Zugegriffen: 15. März 2020.
- DIN 199-1:2002-03 (2002): Technische Produktdokumentation - CAD-Modelle, Zeichnungen, Stücklisten - Teil 1: Begriffe. Stand 2002-03. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Zugegriffen: 12. August 2018.
- DIN 31051:2012-09 (2012): Grundlagen der Instandhaltung. Stand 2016-11. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Zugegriffen: 15. August 2012.
- DIN EN 13306:2018-02 (2018): Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung. Stand 2018-02. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Zugegriffen: 29. Juni 2020.
- DIN EN 13460:2009-08 (2009): Instandhaltung – Dokumente für die Instandhaltung; Deutsche Fassung EN 13460:2009. Stand 2016-11. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Zugegriffen: 21. März 2020.
- Döbler, T. M., Bendig, O. B. und Janik, J. (2020): Monitor Deloitte - Der zweite Frühling für den Maschinenbau: Servicedigitalisierung als Wachstumstreiber. Deloitte Consulting GmbH. <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/energy-and-resources/articles/digitale-services-maschinenbau.html>. Zugegriffen: 16. März 2020.
- Dong, Y. und Kitaoka, M. (1994): Implementation of a case-based production scheduling system in C language. Computers & Industrial Engineering Volume 27 (Nos 1-4): S. 265–268. doi: 10.1016/0360-8352(94)90286-0.
- Drozak, J. (2016): Logistik Spezial: Ersatzteile. [https://www.drozak.com/sites/default/files/magazin/trend\\_2016\\_4\\_Ersatzteile.pdf](https://www.drozak.com/sites/default/files/magazin/trend_2016_4_Ersatzteile.pdf). Zugegriffen: 8. März 2020.
- Duden (2019): Duden Online - Wörterbuch. <https://www.duden.de/suchen/dudenonline/inferenz>. Zugegriffen: 21. April 2019.

- Eigner, M. (2014a): Product Lifecycle Management (PLM). In Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung, Hrsg. M. Eigner, D. Roubanov und R. Zafirov, S. 267–300. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Eigner, M. (2014b): Technische Organisation des Produktentwicklungsprozesses. In Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung, Hrsg. M. Eigner, D. Roubanov und R. Zafirov, S. 227–266. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Eisner, M. J. und Severance, D. G. (1976): Mathematical Techniques for Efficient Record Segmentation in Large Shared Databases. *Journal of the Association for Computing Machinery* Volume 23 (No. 4): S. 619–635.
- Ferber, R. (2003): Information Retrieval: Suchmodelle und Data-Mining-Verfahren für Textsammlungen und das Web. Heidelberg: dpunkt-Verl.
- Freitag, M., Korb, T. und Sommer, P. (2019): Smart Services im Maschinen- und Anlagenbau: Eine Kurzstudie. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation -IAO-, Stuttgart; Univ. Stuttgart, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen -ISW-. <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-549214.html>. Zugegriffen: 15. März 2020.
- Fu, J. und Fu, Y. (2012): Case-Based Reasoning and Multi-Agents for Cost Collaborative Management in Supply Chain. *Procedia Engineering* Volume 29: S. 1088–1098. doi: 10.1016/j.proeng.2012.01.094.
- Gadatsch, A. (2010): Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: eine Einführung für Studenten und Praktiker, 6. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Giannakis, M. und Louis, M. (2011): A multi-agent based framework for supply chain risk management. *Journal of Purchasing and Supply Management* Volume 17 (No. 1): S. 23–31. doi: 10.1016/j.pursup.2010.05.001.
- Graßy, O. (1993): Industrielle Dienstleistungen: Diversifikationspotentiale für Industrieunternehmen. München: FGM-Verlag.
- Graves, S. C. (1982): A multiple item inventory model with a job completion criterion. *Management Science* Volume 28 (No. 11): S. 1334–1337.
- Gushurst, K.-P. und Wolf, T. (2019): PwC Maschinenbaubarometer Q2/2019: Schwerpunkt: Digitalisierung und neue Technologien. PricewaterhouseCoopers



GmbH. <https://www.pwc.de/de/industrielle-produktion/pwc-maschinenbau-barometer-q2-2019.pdf>. Zugegriffen: 15. März 2020.

Güllü, R. und Köksalan, M. (2013): A model for performance evaluation and stock optimization in a kit management problem. *International Journal of Production Economics* Volume 143 (No. 2): S. 527–535. doi: 10.1016/j.ijpe.2012.01.028.

Guo, Y., Hu, J. und Peng, Y. (2012): A CBR system for injection mould design based on ontology: A case study. *Computer-Aided Design* Volume 44 (No. 6): S. 496–508. doi: 10.1016/j.cad.2011.12.007.

Hausman, W. (1982): On optimal repair kits under a job completion criterion. *Management Science* Volume 28 (No. 11): S. 1350-1351.

Haenelt, K. (2012): Ähnlichkeitsmaße für Vektoren – Vortrag vom 25. Oktober 2012. [http://kontext.fraunhofer.de/haenelt/kurs/fohlen/Haenelt\\_VektorAehnlichkeit.pdf](http://kontext.fraunhofer.de/haenelt/kurs/fohlen/Haenelt_VektorAehnlichkeit.pdf). Zugegriffen: 7. August 2019.

Heeremans, D. und Gelders, L.F. (1995): Multiple period repair kit problem with a job completion criterion: A case study. *European Journal of Operational Research* Volume 81 (No. 2): S. 239–248. doi: 10.1016/0377-2217(94)00177-E.

Heinrich, G. (2007): *Allgemeine Systemanalyse*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. doi: 10.1524/9783486844344

Hevner, A. und Chatterjee, S. (2010): Design Science Research in Information Systems. In *Design Research in Information Systems*, Hrsg. Hevner, A. und Chatterjee, S., S. 9–22. Boston, MA: Springer US.

Hevner, A. R., Salvatore, S. T., March, T. Park, J. und S. Ram (2004): Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly* Volume 28 (No. 1): S. 75–105.

Ho, W., Xu, W. und Dey, P. K. (2010): Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research* Volume 202 (No. 1): S. 16–24. doi: 10.1016/j.ejor.2009.05.009.

Homburg, C. und Garbe, B. (1996): Industrielle Dienstleistungen: lukrativ, aber schwer zu meistern. *Harvard Business Manager* Volume 18 (No. 1): S. 68–75.



- INNIO Jenbacher GmbH & Co OG (2015): Installed Base Report. Unternehmensinterne Dokumentation. Zugegriffen: 24. Januar 2020.
- INNIO Jenbacher GmbH & Co OG (2016): Wartungsplan. Unternehmensinterne Dokumentation. Zugegriffen: 24. Januar 2020.
- INNIO Jenbacher GmbH & Co OG (2019): Jenbacher Gasmotoren. <https://www.innio.com/de/produkte/jenbacher>. Zugegriffen: 26. Dezember 2019.
- INNIO Jenbacher GmbH & Co OG (2020): Serviceangebot für Jenbacher Gasmotoren. <https://www.innio.com/de/service/jenbacher>. Zugegriffen: 28. Juni 2020.
- Jashapara, A. (2011): Knowledge management: An integrated approach, 2. Auflage, Harlow: Financial Times/Prentice Hall.
- Jetter, A., Kraaijenbrink, J., Schröder, H.-H. und Wijnhoven, F. (Hrsg.) (2006): Knowledge Integration: The Practice of Knowledge Management in Small and Medium Enterprises. Heidelberg: Physica-Verlag Heidelberg.
- Kamsu-Foguem, B. und Noyes, D. (2013): Graph-based reasoning in collaborative knowledge management for industrial maintenance. *Computers in Industry* Volume 64 (No. 8): S. 998–1013. doi: 10.1016/j.compind.2013.06.013.
- Kolodner, J. (1993): Case-Based Reasoning. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- Kolodner, J. L. (1992): An introduction to case-based reasoning. *Artificial Intelligence Review* Volume 6 (No. 1): S. 3–34. doi: 10.1007/BF00155578.
- Kuo, T. C. (2010): Combination of case-based reasoning and analytical hierarchy process for providing intelligent decision support for product recycling strategies. *Expert Systems with Applications* Volume 37 (No. 8): S. 5558–5563. doi: 10.1016/j.eswa.2010.02.057.
- Laudon, K. C. und Laudon, J. P. (2012): Management information systems: Managing the digital firm, 12. Auflage, Boston: Prentice Hall.
- Laurischkat, K. (2014): Wachstumstreiber im Service des Maschinen- und Anlagenbaus. <https://www.service-excellence.de/service-studie/>. Zugegriffen: 8. März 2019.

- Lindemann, Udo, Reichwald, R. und Zäh, M. F. (2006): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Luczak, H. (1999): Servicemanagement mit System. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Lv, Z., Liu, Y., Zhao, J. und Wang, W. (2015): Soft computing for overflow particle size in grinding process based on hybrid case based reasoning. *Applied Soft Computing* Volume 27: S. 533–542. doi: 10.1016/j.asoc.2014.09.035.
- Mahnel, M. und Seebauer, P. (2008): Global Spare Parts Management 2010: Bringen Sie Ihre Ersatzteilversorgung weltweit auf Erfolgskurs. München: IMPULS Management Consulting.
- Maier, R. (2007): Knowledge Management Systems. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Maimon, O. und Rokach, L. (2010): Data Mining and Knowledge Discovery Handbook. Boston, MA: Springer US.
- Mamer, J. W. und Smith, S. A. (1982): Optimizing field repair kits based on job completion rate. *Management Science* Volume 28 (No. 11): S. 1328–1333.
- March, S. T. und Scudder, G. D. (1984): On „Optimizing field repair kits based on job completion rate“. *Management Science* Volume 30 (No. 8): S. 1025–1028.
- Matyas, K. (2019): Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern, 7. Auflage, München: Hanser.
- Meier, H. und Schramm, J. (Hrsg.) (2004): Dienstleistungsorientierte Geschäftsmodelle im Maschinen- und Anlagenbau: Vom Basisangebot bis zum Betreibermodell. Berlin: Springer.
- Moharana, U. C. und Sarmah, S. P. (2015): Determination of optimal kit for spare parts using association rule mining. *International Journal of System Assurance Engineering and Management* Volume 6 (No. 3): S. 238–247. doi: 10.1007/s13198-014-0273-y.

- Mourtzis, D., Boli, N. und Fotia, S. (2017): Knowledge-based Estimation of Maintenance Time for Complex Engineered-to-Order Products Based on KPIs Monitoring: A PSS Approach. *Procedia CIRP Volume 63*: S. 236–241. doi: 10.1016/j.procir.2017.03.317.
- Nasiri, S., Khosravani, M. R. und Weinberg, K. (2017): Fracture mechanics and mechanical fault detection by artificial intelligence methods: A review. *Engineering Failure Analysis Volume 81*: S. 270–293. doi: 10.1016/j.engfailanal.2017.07.011.
- Österle, H. und Senger, E. (2006): Innovative Geschäftskonzepte im After Sales Service. In *Erfolgreich mit After Sales Services: Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillogistik*, Hrsg. Barkawi, K., Baader, A. und Montanus, S.. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Partsch, H. (2010): Requirements-Engineering systematisch: Modellbildung für softwaregestützte Systeme. Berlin: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-05358-0.
- Peppers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A. und Chatterjee, S. (2014): A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems Volume 24 (No. 3)*: S. 45–77. doi: 10.2753/MIS0742-1222240302.
- Pohl, K., und Rupp, C. (2015): Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering: foundation level nach IREB-Standard, 4. Aufl. Heidelberg: dpunkt.
- Poon, T. C., Choy, K. L., Chow, H. K. H., Lau, H. C. W., Chan, F. T. S. und Ho, K. C. (2009): A RFID case-based logistics resource management system for managing order-picking operations in warehouses. *Expert Systems with Applications Volume 36 (No. 4)*: S. 8277–8301. doi: 10.1016/j.eswa.2008.10.011.
- Potes Ruiz, P., Kamsu Foguem, B. und Grabot, B. (2014): Generating knowledge in maintenance from Experience Feedback. *Knowledge-Based Systems Volume 68*: S. 4–20. doi: 10.1016/j.knosys.2014.02.002.
- Potes Ruiz, P., Kamsu-Foguem, B. und Noyes, D. (2013): Knowledge reuse integrating the collaboration from experts in industrial maintenance management. *Knowledge-Based Systems Volume 50*: S. 171–186. doi: 10.1016/j.knosys.2013.06.005.

- Prak, D., Sacconi, N., Syntetos, A., Teunter, R. und Visintin, F. (2017): The Repair Kit Problem with positive replenishment lead times and fixed ordering costs. *European Journal of Operational Research* Volume 261 (No. 3): S. 893–902. doi: 10.1016/j.ejor.2017.02.019.
- Rahmann, S. (2017): Algorithmen auf Sequenzen: Fehlertolerante Mustersuche: Distanz- und Ähnlichkeitsmaße. <http://ls11-www.cs.tu-dortmund.de/people/rahmann/algoseq/2016/04-1-fehlertolerant-masse.pdf>. Zugegriffen: 17. August 2019.
- Rekik, I., Elkosantini, S. und Chabchoub, H. (2017): A case based reasoning based multi-agent system for the reactive container stacking in seaport terminals. *Procedia Computer Science* Volume 108: S. 927–936. doi: 10.1016/j.procs.2017.05.078.
- Richter, M. und Aamodt, A. (2005): Case-based reasoning foundations. *The Knowledge Engineering Review* Volume 20 (No. 3): S. 203–207. doi: 10.1017/S0269888906000695.
- Richter, M. und Weber, R. (2013): *Case-Based Reasoning*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Riesbeck, C. K. und Schank, R. C. (1989): *Inside case-based reasoning*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, ISBN 0-89859-767-6.
- Riester, M. und Ott, K. (2018): ETT-Report 2018: Eine Umfrage im Rahmen der Ersatzteiltagung (ETT) 2018 zu ausgewählten Themen im Bereich „Ersatzteillogistik und After-Sales-Services“. <https://www.fraunhofer.at/de/publikationen/studien.html>. Zugegriffen: 8. März 2020.
- Riester, M., Ott, K. und Schmidhofer, R. (2017): ETT-Report 2017: Eine Umfrage im Rahmen der Ersatzteiltagung (ETT) 2017 zu ausgewählten Themen im Bereich „Ersatzteillogistik und After-Sales-Services“. <https://www.fraunhofer.at/de/forschung/publikationen/studien.html>. Zugegriffen: 25. März 2018.
- Riester, M., Ansari, F., Foerster, M. und Matyas, K. (2020): A Procedural Model for Utilizing Case-Based Reasoning in After-Sales Management. 18<sup>th</sup> International Scientific Conference on Industrial Systems – Industrial Innovation in Digital Age. S. 1–8. Eingereicht: 26. Juli 2020. Akzeptiert: 28. September 2020 (in Veröffentlichung).

- Russell, S. J. und Norvig, P. (2016): Artificial intelligence: A modern approach. Boston, Columbus, Indianapolis: Pearson.
- Saccani, N., Visintin, F., Mansini, R. und Colombi, M. (2017): Improving spare parts management for field services: A model and a case study for the repair kit problem. *IMA Journal of Management Mathematics* Volume 28: S. 185–204. doi: 10.1093/imaman/dpw023.
- Schatten, A., Biffli, S., Demolsky, M., Gostischa-Franta, E., Östreicher, T. und Winkler, D. (2010): Best Practice Software-Engineering: Eine praxiserprobte Zusammenstellung von komponentenorientierten Konzepten, Methoden und Werkzeugen. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Schenk, M. (2010): Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schmiedeberg, A., Strähle, O. und Bendig, O. (2010): Wachstumsmotor Service. Bain & Company. <https://files.vogel.de/vogelonline/vogelonline/files/2925.pdf>. Zugegriffen: 8. März 2020.
- Sihn, W., Sunk, A., Nemeth, T., Kuhlant, P. und Matyas, K. (2016): Produktion und Qualität. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M. und Wahlster, W. (2017): Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten (acatech STUDIE). München: Herbert Utz Verlag. <https://www.acatech.de/publikation/industrie-4-0-maturity-index-die-digitale-transformation-von-unternehmen-gestalten/>. Zugegriffen: 10. Mai 2020.
- Smith, S. A., Chambers, J. C., Shlifer, E. (1980): Optimal inventories based on job completion rate for repairs requiring multiple items. *Management Science* Volume 26 (No. 8): S. 849–852.
- Straehle, O., Roth, P. und Herr, C. (2015): Winning in industrial service: The hallmarks of a service champion. <http://www.bain.de/en/publikationen/articles/service-benchmarking.aspx>. Zugegriffen: 5. Januar 2018.
- ten Hompel, M., und Heidenblut, V. (2011): Taschenlexikon Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Teunter, R. H. (2006): The multiple-job repair kit problem. *European Journal of Operational Research* Volume 175 (No. 2): S. 1103–1116. doi: 10.1016/j.ejor.2005.05.023.
- Tönnies, W. (2018): Applying data of historical defects to increase efficiency of rework in assembly. *Procedia CIRP* Volume 72: S. 255–260. doi: 10.1016/j.procir.2018.03.086.
- VDI 2219:2006-09 (2006): Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Einführung und Betrieb von PDM-Systemen. Stand 2016-11. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Zugegriffen: 10. August 2018.
- VDI 2888:1999-12 (1999): Zustandsorientierte Instandhaltung. Stand 2016-11. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Zugegriffen: 29. Juni 2020.
- VDI 2890:2017-03 (2017): Planmäßige Instandhaltung - Anleitung zur Erstellung von Arbeits-, Wartungs- und Inspektionsplänen. Stand: 2016-11. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Zugegriffen: 9. August 2018.
- VDI 2892:2006-06 (2006): Ersatzteilwesen der Instandhaltung. Stand 2020-06. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Zugegriffen: 29. Juni 2020.
- VDI 4500-2:2006-11 (2006): Technische Dokumentation - Organisieren und Verwalten. Stand 2016-11. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Zugegriffen: 10. August 2018.
- VDI 4506-3:2013-04 (2013): Strategischer Vertrieb - Dienstleistungen und Leistungssysteme gestalten mit dem Business-Coach. Stand 2016-11. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Zugegriffen: 6. August 2018.
- Vong, C., Wong, P. und Ip, W. (2011): Case-based expert system using wavelet packet transform and kernel-based feature manipulation for engine ignition system diagnosis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* Volume 24 (No. 7): S. 1281–1294. doi: 10.1016/j.engappai.2011.07.002.
- Weilkiens, T. (2007): *Systems engineering with SysML/UML: Modeling, analysis, design*. Amsterdam, Boston: Morgan Kaufmann OMG Press/Elsevier.
- Winter, J. (2018): *Smart Service Welt 2018: Wo stehen wir? Wohin gehen wir?*. acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN. München. [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/06/SSW\\_2018.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/06/SSW_2018.pdf). Zugegriffen: 15. März 2020.

- Winzer, P. (2013): *Generic Systems Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-30365-4.
- Witte, F. (2016): *Testmanagement und Softwaretest*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. doi: 10.1007/978-3-658-09964-0.
- Witten, I. H., Pal, C. J., Frank, E. und Hall, M. A. (2017): *Data mining: Practical machine learning tools and techniques*. Cambridge, MA: Morgan Kaufmann.
- Zelewski, S. (2007): Kann Wissenschaftstheorie behilflich für die Publikationspraxis sein?: Eine kritische Auseinandersetzung mit den „Guidelines“ von Hevner et al. In *Wissenschaftstheoretische Fundierung und wissenschaftliche Orientierung der Wirtschaftsinformatik*, Hrsg. Lehner, F. und Zelewski, S.. Berlin: GITO-Verlag.



# 9 Anhang

## A.1 DSRM Process Model

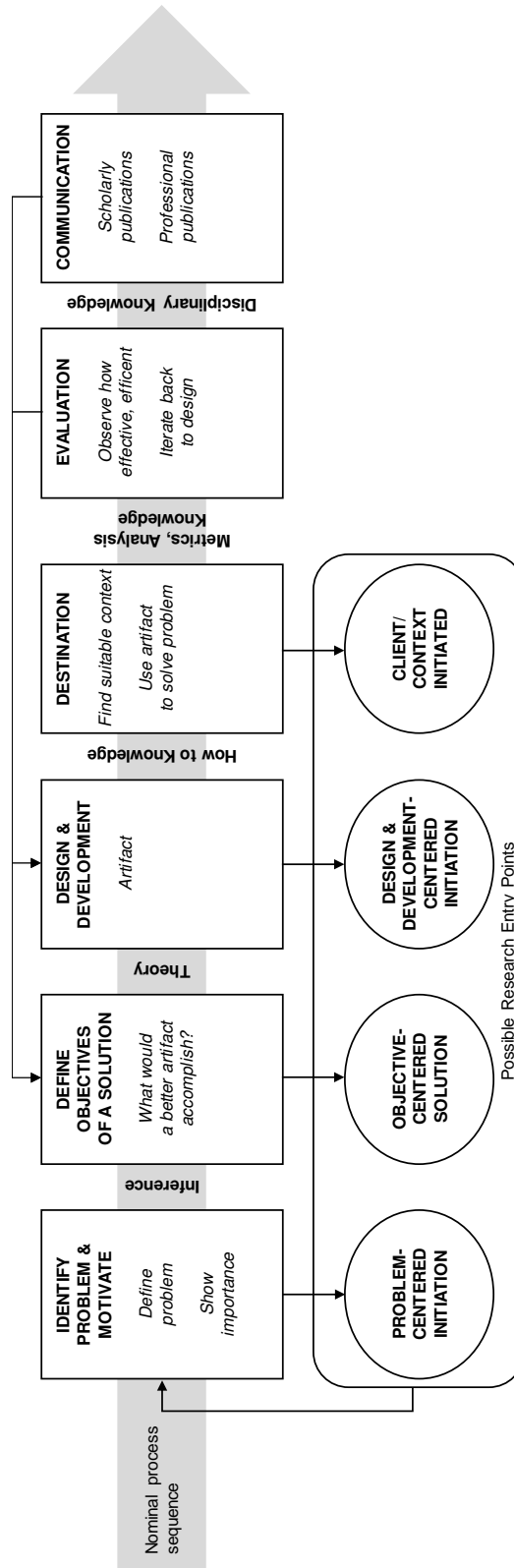


Abbildung 72: DSRM Process Model in Anlehnung an (Peffers et al. 2014)

## A.2 Generischer Ersatzteilidentifikationsprozess

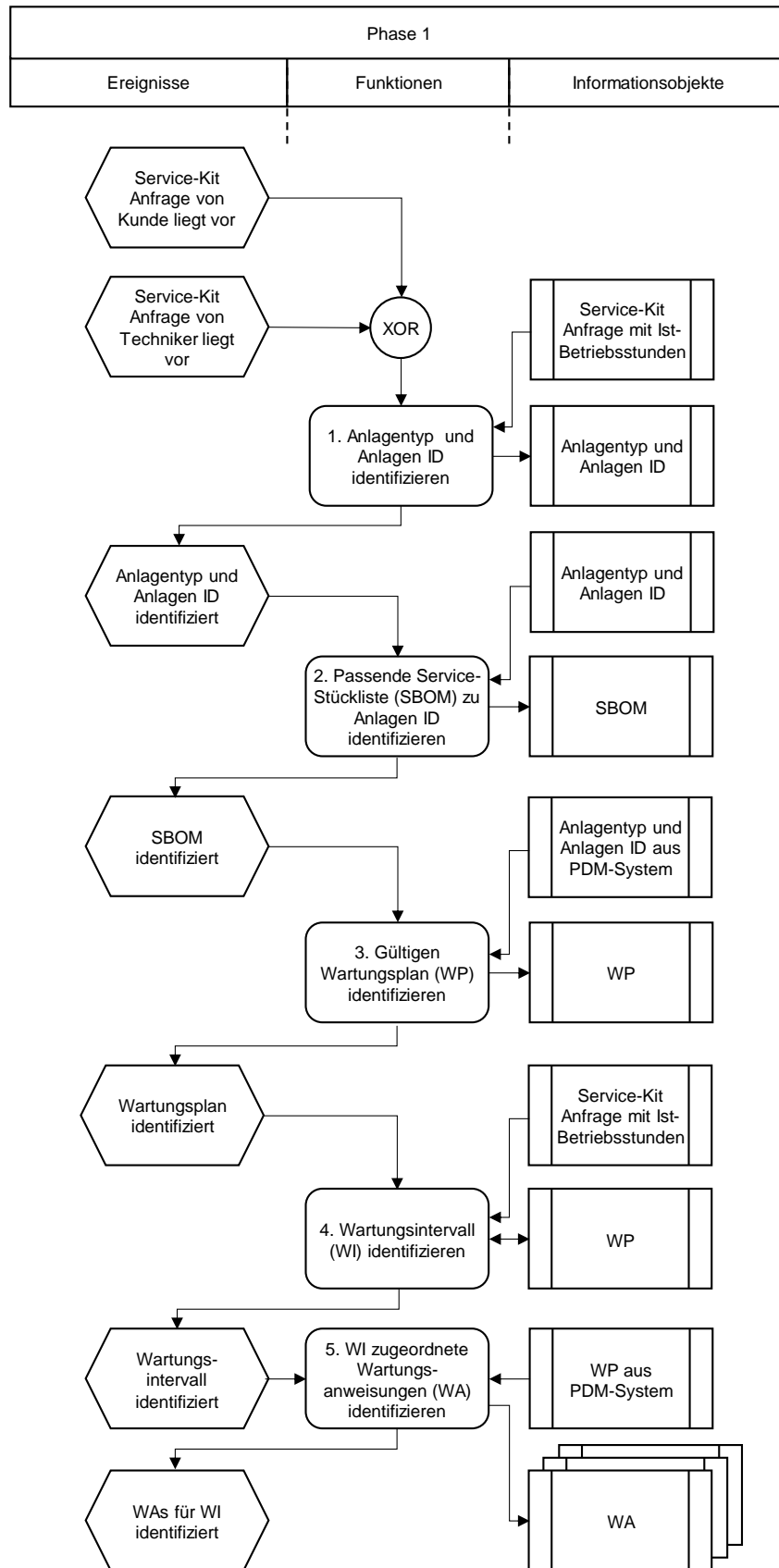


Abbildung 73: Generischer Ersatzteilidentifikationsprozess (eigene Darstellung – 1/3)

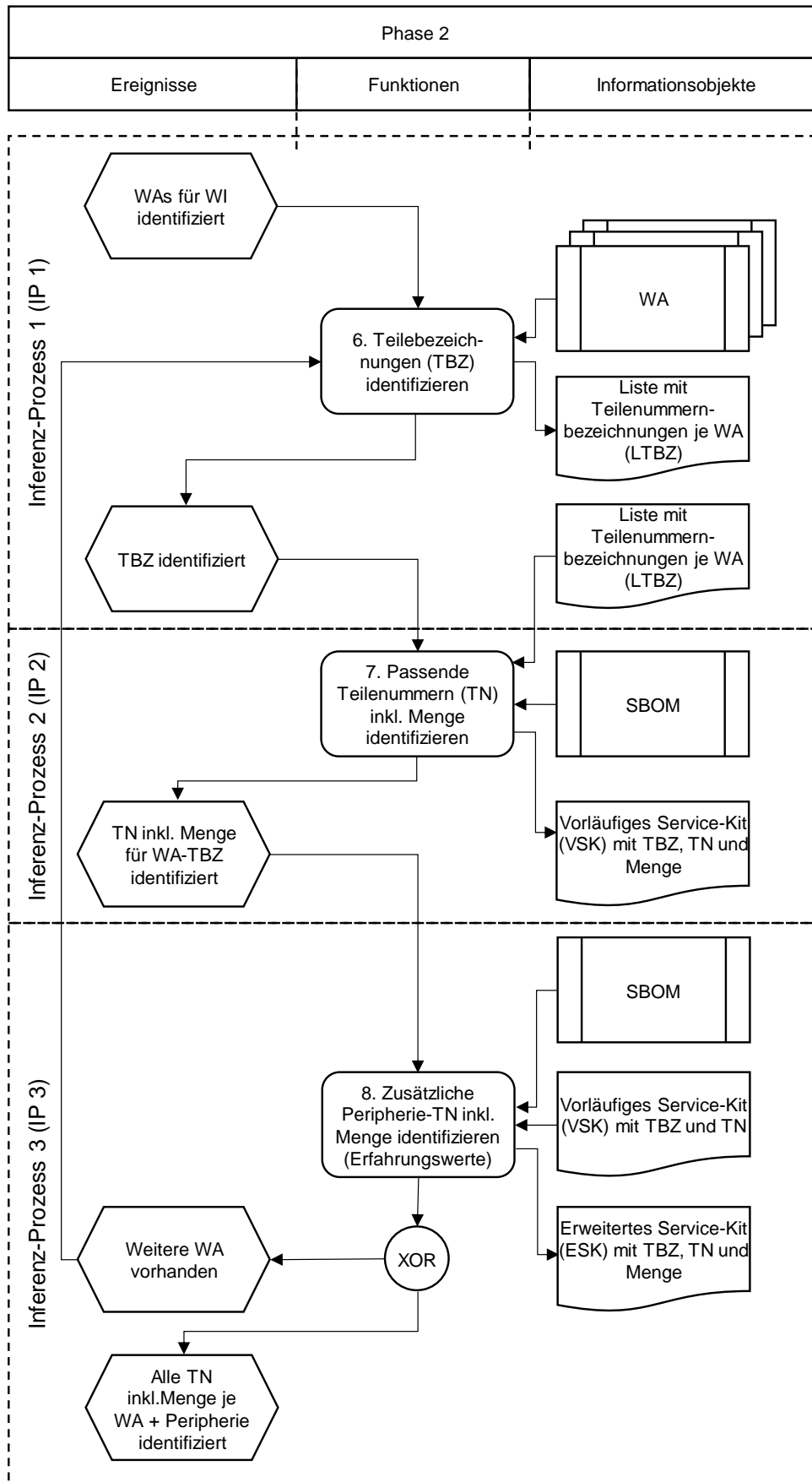


Abbildung 74: Generischer Ersatzteilidentifikationsprozess (eigene Darstellung – 2/3)

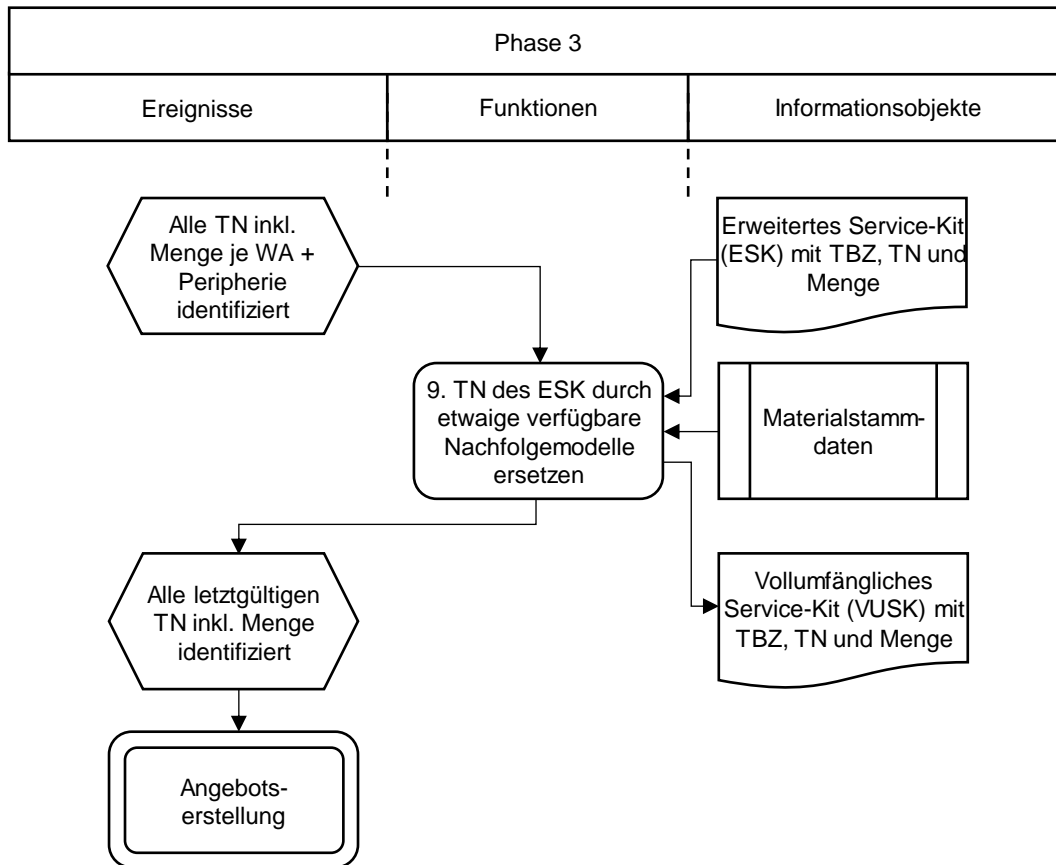


Abbildung 75: Generischer Ersatzteilidentifikationsprozess (eigene Darstellung – 3/3)

### A.3 Beispiele für Fallbestandteile und Fallattribute

| Attributbezeichnung        | Variable    |
|----------------------------|-------------|
| <i>Wartungsposition ID</i> | <i>WAID</i> |

Beispiel: Im angeführten Fall (vgl. Abbildung 39) ist für das Attribut *WAID* die Bezeichnung *WAID 2* angeführt. Dies bedeutet, dass der vorliegende Fall und die darin enthaltene Lösung für alle Service-Anfragen, welche die Durchführung dieser Wartungsposition ID bedingen, herangezogen werden kann.

*Anlagentyp ID**ATID*

Beispiel: Eine Wartungsposition ID wie z. B. *WAID 2* „Motorölpumpe tauschen“ (vgl. Abbildung 39) kann aufgrund ihres generischen Charakters auch serienübergreifend gültig sein. Anlagen der Serie A sind jedoch grundsätzlich anders aufgebaut als Anlagen der Serie C. Ihre Baugruppenanzahl und -struktur unterscheidet sich. Beide enthalten jedoch eine Baugruppe mit der Teilebezeichnung „Motorölpumpe“. Die Motorölpumpe ist bei Anlagen mit *ATID = Serie A* in der Baugruppe mit der Positionsnummer  $i = 10 - 30 - xx$  verortet. Bei Anlagen der *ATID = Serie C* ist dieselbe Baugruppe auf der Positionsnummer  $i = 10 - 40 - xx$  verortet. Gespeicherte Lösungen der Serie C sind für die Serie A daher nicht passend. Folglich führt die Berücksichtigung des Attributs Anlagentyp ID dazu, dass ausschließlich potenziell passende Lösungen für die vorliegende Serie A durch das CBR-System geprüft werden. Die Anzahl der zu prüfenden Fälle wird durch das Exkludieren aller gespeicherten Lösungen für die Serie C reduziert und die Teileidentifikationszeit in Folge minimiert.

*Typ<sub>Anlagentyp ID</sub>**Typ<sub>ATID</sub>*

Beispiel: Eine Anlage weist das Attribut-Wert-Paar *ATID = Serie A* auf. Hieraus resultiert das Attribut-Wert-Paar  $Typ_{Serie A} = 1$ .

*Positionsnummer**i**Position**P<sub>i</sub>*

Beispiel: Die gezeigte Stückliste in Abbildung 40 besitzt vier Stufen (1-4). Die Positionsnummer *i* der *Teilenummer = 1011* bei der dargestellten Anlage A1990 lautet  $i = 10 - 30 - 20$ . Die Position wird als  $P_{10-30-20} = 1$  bezeichnet.

*Teilebezeichnung der Positionsnummer i**TBZ<sub>i</sub>*

Beispiel: In Abbildung 40 ist der Position  $P_{10-30-20}$  der Anlage A1990 die Teilebezeichnung „Motorölpumpe“ zugeordnet, d. h.  $TBZ_{10-30-20} = Motorölpumpe$ . Für die Identifikation von benötigten Ersatzteilen bei ähnlichen Anlagen sollte auf dieser Position ebenfalls die Teilebezeichnung „Motorölpumpe“ zu finden sein.

*Teilenummer der Teilebezeichnung TBZ<sub>i</sub>**f<sub>TBZ<sub>i</sub></sub>**Teilenummer der Positionsnummer i**TN<sub>i</sub>*

Beispiel: In Abbildung 39 ist dem Attribut  $f_{TBZ_{10-30-20}}$ , sprich der Motorölpumpe, die Wert-Variable  $TN_{10-30-20}$  zugeordnet. Wird diese als Lösung auf die Stückliste der Anlage B1953 in Abbildung 40 angewendet, ist die *Teilenummer*  $TN_{10-30-20} = 2311$  abzulesen. Hieraus folgt:

$$f_{TBZ_i} = TN_i$$

$$i \in I$$

$$f_{TBZ_{10-30-20}} = TN_{10-30-20}$$

$$f_{Motorölpumpe} = 2311$$

|   |             |
|---|-------------|
| <i>Stückzahl der Teilebezeichnung TBZ<sub>i</sub></i> | $m_{TBZ_i}$ |
| <i>Stückzahl der Positionsnummer i</i>                | $STK_i$     |

Beispiel: In Abbildung 39 ist dem Attribut  $m_{TBZ_{10-30-20}}$ , sprich der Motorölpumpe, die Wert-Variable  $STK_{10-30-20}$  mit insgesamt drei Stufen ( $n = 3$ ) zugeordnet. Wird diese als Lösung auf die Stückliste der Anlage B1953 in Abbildung 41 angewendet, ist die *Stückzahl*  $STK_{10-30-20} = 1$  abzulesen. Hieraus folgt:

$$m_{TBZ_i} = STK_i = \prod_{k \in K_i} STK_k$$

$$i \in I$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern

$K_i$  ... Menge aller Subpositionsnummern der Positionsnummer  $i \in I$

$STK_k$  ... Stueckzahl der Subpositionsnummer  $k$

$$m_{TBZ_{10-30-20}} = STK_{10-30-20}$$

$$STK_i = STK_{10-30-20} = \prod_{k \in K_i} STK_k = STK_{10} \times STK_{10-30} \times STK_{10-30-20} = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$m_{Motorölpumpe} = 1$$

#### A.4 Beispiele für Einzelschritte des CBR-Systems

Schritt 1 | CP-Problem formulieren

---

Kein Zusatzbeispiel. Siehe Fallbeispiel in Punkt 6.3.2.

Schritt 2 | Wartungsplan identifizieren

---

Beispiel: Abbildung 42 zeigt eine Service-Anfrage mit der  $AID = A1990$ . Basierend hierauf wird mit Hilfe der Wartungsplanmatrix die korrekte zugehörige  $WPID = WP 1$  identifiziert.

Schritt 3 | Wartungsintervall identifizieren

---

Beispiel: Abbildung 42 zeigt eine Service-Anfrage mit  $Ist - Bh = 9.780$ . In dem zuvor ermittelten Wartungsplan mit der  $WPID = WP 1$  wird das nächsthöhere Wartungsintervall identifiziert. Dies liegt bei  $Soll - Bh = 10.000$  und trägt die  $WAID = WI 3$ .

---

 Schritt 4 | Relevante Wartungspositionen identifizieren
 

---

Beispiel: Der  $WAID = WI 3$  in Abbildung 42 sind die  $WAIDs = WAID 2$  und  $WAID = WAID 4$  zugeordnet.

---

 Schritt 5 | CBR-Problem formulieren und Attribute isolieren
 

---

Beispiel Deskriptorengruppe 1: Aus dem Beispiel in Abbildung 45 resultieren die Attribute  $WAID = WAID 2, WAID = WAID 4$  sowie die  $ATID = Serie A$  und  $Typ_{Serie A} = 1$ . Basierend hierauf werden in der Fallbasis die Sub-Datenspeicher  $WAID 2$  und  $WAID 4$  angesteuert. Innerhalb dieser Sub-Datenspeicher werden ausschließlich Fälle mit dem Attribut-Wert-Paar  $Typ_{Serie A} = 1$  den nachfolgenden Ähnlichkeitsprüfungen unterzogen.

Beispiel Deskriptorengruppe 2: Mittels der  $ATID = A1990$  wurde die zugehörige SBOM in Abbildung 40 aus dem PDM-System abgerufen. Aus dem SBOM-Beispiel in Abbildung 40 werden die Positionsnummern von  $i = 10$  bis  $i = 10 - 40 - 40$  sowie die Positionen von  $P_{10}$  bis  $P_{10-40-40}$  für die Formulierung des Abfrageproblems in Abbildung 45 abgeleitet.

Beispiel Deskriptorengruppe 3: Basierend auf den abgeleiteten Positionsnummern und Positionen werden in Abbildung 45 die zugehörigen Teilebezeichnung  $TBZ_i$  (z. B.  $TBZ_{10-30-20} = Motorölpumpe$ ) abgeleitet.

---

 Schritt 6 | Sub-Fallbasis zuweisen
 

---

Beispiel: Für die Service-Anfrage der Anlage in Abbildung 42 sind die Wartungspositionen  $WAID 2$  und  $WAID 4$  relevant. Folglich werden für die zwei resultierenden Abfrageprobleme je  $WAID$  die Datenspeicher  $WAID 2$  und  $WAID 4$  der Fallbasis zugewiesen. Für das Abfrageproblem 1 wird in weiterer Folge nach ähnlichen Fällen im Datenspeicher  $WAID 2$  gesucht. Analog wird für das Abfrageproblem 2 der Datenspeicher  $WAID 4$  hinsichtlich geeigneter Fälle geprüft.

---

 Schritt 7 | Ähnlichkeit der Anlagentyp ID bestimmen
 

---

Beispiel 1: Das Attribut  $Typ_{ATID}$  für das Abfrageproblem in Abbildung 46 lautet  $Typ_{Serie A}$ . Für den selektierten Fall lautet es ebenfalls  $Typ_{Serie A}$ . Hieraus ergeben sich die Abfrage- und Fallvektoren wie nachfolgend dargestellt. Der selektierte Fall ist daher prinzipiell für das vorliegende Abfrageproblem geeignet. Das abgeleitete Skalarprodukt besitzt daher den Wert = 1 (volle Übereinstimmung):

$$sim_{ATID} = \sum_{j \in J} (p_j) (q_j)$$

$p \dots Typ_{ATID}$  – Vektor des Abfrageproblems

$q \dots Typ_{ATID}$  – Vektor des selektierten Falls

$J \dots$  Menge aller  $Typ_{ATID}$

$$J = \{Typ_{Serie A}\}$$



$$p = (Typ_{Serie A}) = (1),$$

$$q = (Typ_{Serie A}) = (1)$$

$$sim ATID = (1) \cdot (1) = 1$$

Beispiel 2: Das Attribut  $Typ_{ATID}$  für das Abfrageproblem in Abbildung 46 lautet  $Typ_{Serie B}$ . Für den selektierten Fall lautet es  $Typ_{Serie A}$ . Hieraus ergeben sich die Abfrage- und Fallvektoren wie unten angeführt. Folglich ist der selektierte Fall für das bestehende Abfrageproblem auf Basis der vorherigen Ausführungen nicht geeignet. Das abgeleitete Skalarprodukt, sprich die Ähnlichkeit der beiden Vektoren, besitzt somit den Wert = 0 (keine Übereinstimmung):

$$sim ATID = \sum_{j \in J} (p_j) (q_j)$$

$p$  ...  $Typ_{ATID}$  – Vektor des Abfrageproblems

$q$  ...  $Typ_{ATID}$  – Vektor des selektierten Falls

$J$  ... Menge aller  $Typ_{ATID}$

$$J = \{Typ_{Serie A}; Typ_{Serie B}\}$$

$$p = \begin{pmatrix} Typ_{Serie A} \\ Typ_{Serie B} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$q = \begin{pmatrix} Typ_{Serie A} \\ Typ_{Serie B} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$sim ATID = (1) \cdot (0) + (0) \cdot (1) = 0$$

---

### Schritt 8 | Ähnlichkeit der Positionen bestimmen

---

Beispiel 1: Abbildung 48 zeigt die Ableitung des Vektors  $p$  von dem indexierten Abfrageproblem. Die Anzahl der Positionsattribute des Vektors entspricht der Anzahl Positionsattribute des Abfrageproblems, da die Positionsattribute des selektierten Falls bereits enthalten und keine zusätzlichen Attribute darstellen. Analog hierzu wird für die Ableitung des Vektors  $q$  des selektierten Falls vorgegangen. Anschließend wird das Skalarprodukt beider Vektoren gebildet. Hierfür werden die einzelnen Positionsattribute miteinander multipliziert, woraus sich die Ähnlichkeiten je Positionsattribut ( $\text{sim } P_i$ ) ableiten. Diese können die Werte  $= 0$  oder  $\text{Werte} = 1$  annehmen. Im vorliegenden Beispiel sind nur zwei Positionen übereinstimmend ( $P_{10-30-20}$  und  $P_{10-30-30}$ ). Daher erhalten die Ähnlichkeiten  $\text{sim } P_{10-30-20}$  und  $\text{sim } P_{10-30-30}$  die Werte  $= 1$ . Alle anderen die Werte  $= 0$ . Im vorliegenden Beispiel ergibt sich in weiterer Folge durch die Addition der einzelnen Ähnlichkeiten je Position das Skalarprodukt bzw. die Ähnlichkeit des Abfrageproblems und des selektierten Vektors mit  $\text{sim } P_{ges} = 2$ . Dieser Wert sagt aus, dass zwei Positionen des Abfrageproblems und des selektierten Falls übereinstimmen.

Beispiel 2: Die Vorgehensweise in Beispiel 2 in Abbildung 48 ist analog zu der Vorgehensweise des Beispiels 1. Ein Unterschied besteht jedoch in der Anzahl Positionsattribute beider Vektoren  $p$  und  $q$ . Wie bereits erwähnt, setzt sich die Attributsanzahl der Vektoren aus der Anzahl Positionsattribute des Abfrageproblems sowie des selektierten Falls zusammen. Da die Positionen des selektierten Falls nicht im Abfrageproblem enthalten sind, werden diese Positionen bei der Vektorbildung ergänzt und jeweils der Wert  $= 0$  zugewiesen. Beim Abgleich der Positionsähnlichkeiten ergibt sich für alle  $\text{sim } P_i$  der Wert  $= 0$ . In weiterer Folge resultiert auch für das Skalarprodukt der Wert  $= 0$ . Die abgeleitete Aussage gibt an, dass das Abfrageproblem sowie der selektierte Fall keine übereinstimmenden Positionsattribute aufweisen.

## Schritt 9 | Ähnlichkeit der Teilebezeichnungen bestimmen

Beispiel Editierdistanz: Abbildung 49 und Abbildung 50 zeigen ein Beispiel für die Strings  $TBZ_i$  (selektierter Fall) = *Motorölpumpe* und  $TBZ_i$  (selektierter Fall) = *Mtorölpmppe*. Letzterer enthält offensichtliche Tippfehler. Für die Ermittlung der Editierdistanz wird aus beiden Strings eine Matrix erstellt. Diese wird entsprechend der angeführten Logik (vgl. Formel 11) befüllt. Bei Gegenüberstellung von zwei unterschiedlichen Buchstaben (siehe Buchstaben mit Umrandung) werden die umliegenden drei Matrixfelder jeweils um +1 erhöht. Das Minimum der resultierenden Zahlen wird in das Zielfeld (grau hinterlegt) übernommen. Bei Gegenüberstellung von zwei gleichen Buchstaben (schraffiert hinterlegt) werden die horizontal und vertikal benachbarten Felder um +1 erhöht, das diagonal benachbarte Feld behält seinen Wert ( $\pm 0$ ). Anschließend wird ebenfalls das Minimum der resultierenden Zahlen in das Zielfeld (doppelte Umrandung) übernommen. Die resultierende Editierdistanz der beiden Strings kann dem grün hinterlegten Feld entnommen werden. Im vorliegenden Beispiel müssen zwei Zeichenänderungen vorgenommen werden, um den String  $t$  in den String  $s$  (und vice versa) zu überführen. Der Abbildung 49 können die Editierdistanzen für weitere Beispiele entnommen werden. Die Berechnung erfolgt analog den vorangegangenen Erläuterungen.

Beispiel Ähnlichkeit der Teilebezeichnungen: Im dargestellten Beispiel 2 in Abbildung 51 beträgt die Ähnlichkeit  $sim TBZ_{10-30-20} = 0,91$ . Diese berechnet sich wie folgt:

$$sim TBZ_i = 1 - \frac{Lev TBZ_i}{|TBZ_i (Abfrageproblem)| + |TBZ_i (selektierter Fall)|}$$

es gilt:

$$sim TBZ_i = 0, \text{ wenn } sim P_i = 0$$

$$i \in I,$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern  $i$

$$TBZ_{10-30-20} (Abfrageproblem) = Mtorölpmp$$

$$|TBZ_{10-30-20} (Abfrageproblem)| = \text{Anzahl Zeichen} = 10$$

$$TBZ_{10-30-20} (selektierter Fall) = Motorölpumpe$$

$$|TBZ_{10-30-20} (selektierter Fall)| = \text{Anzahl Zeichen} = 12$$

$$Lev TBZ_{10-30-20} = 2$$

$$sim TBZ_{10-30-20} = 1 - \frac{2}{|10| + |12|} = 0,91$$

### Schritt 10 | Gesamtähnlichkeit je Fall bestimmen

Beispiel: Vorausgesetzt die angeführten Beispiele in Abbildung 49 weisen dieselbe  $ATID = \text{Serie A}$  auf, woraus eine  $\text{sim } ATID = 1$  folgt, resultieren nachfolgende  $\text{sim } FID$ . Für das Beispiel 1 wird die  $FID = c1$  und für das Beispiel 2 die  $FID = c2$  definiert.

$$\text{sim } FID = \text{sim } ATID \cdot \sum_{i \in I} (\text{sim } P_i + \text{sim } TBZ_i)$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern

$$\text{sim } c1 = \text{sim } \text{Serie A} \cdot ((\text{sim } P_{10-30-20} + \text{sim } TBZ_{10-30-20}) + (\text{sim } P_{10-30-30} + \text{sim } TBZ_{10-30-30}))$$

$$\text{sim } c1 = 1 \cdot ((1 + 1) + (1 + 1)) = 4$$

$$\text{sim } c2 = \text{sim } \text{Serie A} \cdot ((\text{sim } P_{10-30-20} + \text{sim } TBZ_{10-30-20}) + (\text{sim } P_{10-30-30} + \text{sim } TBZ_{10-30-30}))$$

$$\text{sim } c2 = 1 \cdot ((1 + 0,91) + (1 + 0,3)) = 3,21$$

Aufgrund des höheren Skalars von  $FID = c1$  würde dieser Case als bestpassender Fall für die  $WAID = WAID 2$  selektiert werden.

### Schritt 11 | Gütegrad des Gesamtfalls bestimmen

Beispiel: Für das Abfrageproblem in Abbildung 45 werden die  $WAID 2$  und  $WAID 4$  benötigt. Die  $\text{sim } FID_t$  sei  $\text{sim } c4 = 4,75$ . Die  $\text{sim } P_{ges_t}$  sei  $\text{sim } P_{ges_{c4}} = 3$ . Für die  $WAID 2$  gilt der Wert des Beispiels 1 in Abbildung 48  $\text{sim } P_{ges_{c1}} = 2$  sowie  $\text{sim } c1 = 4$ . Hieraus resultieren folgende Werte:

$$\text{sim } Case = \frac{1}{n} \sum_{t \in T} \frac{\text{sim } Case ID_t}{2 \cdot \text{sim } P_{ges_t}}$$

$n$  ... Anzahl WAIDs

$T$  ... Menge der besten FIDs je Sub – Fallbasis

$$n = 2$$

$$T = \{c1; c4\}$$

$$\text{sim } Case = \frac{1}{2} \cdot \left( \left( \frac{\text{sim } c1}{2 \cdot \text{sim } P_{ges_{c1}}} \right) + \left( \frac{\text{sim } c4}{2 \cdot \text{sim } P_{ges_{c4}}} \right) \right)$$

$$\text{sim } Case = \frac{1}{2} \cdot \left( \left( \frac{4}{2 \cdot 2} \right) + \left( \frac{4,75}{2 \cdot 3} \right) \right) = 0,90$$

## Schritt 12 | Lösung anwenden

Beispiel: Die Abbildung 39 zeigt einen Beispielfall mit zwei Attribut-Wert-Paaren für die DG 4. Hierfür gilt:

$$f_{TBZ_i} = TN_i$$

$$i \in I$$

$I$  ... Menge aller Positionsnummern  $i$

$$f_{TBZ_{10-30-20}} = TN_{10-30-20}$$

$$f_{TBZ_{10-30-30}} = TN_{10-30-30}$$

Werden diese auf die Beispielstückliste in Abbildung 41 angewendet ergibt sich:

$$f_{Motorölpumpe} = 2311$$

$$f_{O-Ring} = 2312$$

Die DG 5 in Abbildung 39 zeigt analog zur DG 4 einen Beispielfall mit zwei Attribut-Wert-Paaren. Hierfür gilt:

$$m_{TBZ_i} = STK_i$$

$$m_{TBZ_{10-30-20}} = STK_{10-30-20}$$

$$m_{TBZ_{10-30-30}} = STK_{10-30-30}$$

Werden diese ebenfalls auf die Beispielstückliste in Abbildung 41 angewendet, ergibt sich:

$$m_{Motorölpumpe} = 1 \text{ Stk.}$$

$$m_{O-Ring} = 1 \text{ Stk.}$$

## Schritt 13 | Resultat prüfen und reparieren

Beispiel: Wird der Beispielfall aus Abbildung 39 auf die Stückliste in Abbildung 54 angewendet, würde sich aus Schritt 12 die Teileliste in Tabelle 11 ergeben.

Die Indizes des Falls beinhalten für die Teilebezeichnungen eine (a) *Motorölpumpe* und einen (b) *O-Ring* sowie die entsprechenden Positionen  $P_{10-30-20}$  und  $P_{10-30-30}$ . Der Abgleich dieser Indizes ergibt die in Tabelle 11 dargestellten Werte für die Ähnlichkeitsmaße. Es zeigt sich eine kleinere Abweichung (0,91 von 1) auf der Position der Motorölpumpe anhand des Ähnlichkeitsmaßes  $sim_{TBZ_i}$ . Diese ist auf die falsche Schreibweise der Teilebezeichnung in der SBOM des Abfrageproblems zurückzuführen. Eine größere Abweichung (0,3 von 1) zeigt sich auf der erwarteten Position des O-Rings. An dieser Stelle befindet sich in dem Abfrageproblem offensichtlich eine Sechskantschraube. Diese ist z. B. auf einen unterschiedlichen Aufbau der Baugruppe oder eine Baugruppenvariante zurückzuführen.

Das Ähnlichkeitsmaß  $sim TBZ_i$  ist hier Indikator für den Ersatzteilexperten für durchzuführende Änderungen. Die Abweichung des Ähnlichkeitsmaßes  $sim TBZ_{10-30-20}$  kann ignoriert werden, da erwartete und detektierte Teilebezeichnung offensichtlich übereinstimmen und lediglich ein Datenfehler vorliegt. An dieser Stelle könnte ein Parallelprozess für die Stammdatenkorrektur angestoßen werden. Für die Abweichung der  $sim TBZ_{10-30-30}$  initiiert der Ersatzteilexperte den Inferenzprozess 2 und sucht innerhalb der Baugruppe „Ölpumpe“ aufgrund seines Erfahrungswissens nach der korrekten Teilebezeichnung. Er findet dies auf der Position  $P_{10-30-10}$ . Die Korrektur führt zur Ergebnisliste in Tabelle 12. Die Teilenummer und -bezeichnung der Sechskantschraube wurde durch diese des O-Rings ersetzt.

#### Schritt 14 | Adaptierten Fall speichern

Beispiel: Aufbauend auf dem Beispiel des vorherigen Schritts wird nachfolgend der abgeleitete formalisierte Fall der korrigierten Ergebnisliste beschrieben und mit dem ursprünglichen Fall (vgl. Abbildung 39) gegenübergestellt.

Die Teilenummer und Stückzahl der Motorölpumpe befinden sich unverändert auf derselben Position  $P_{10-30-20}$ . Aufgrund derselben Positionsnummer bleibt auch das Attribut  $TBZ_i$  für die Motorölpumpe unverändert. Für den Wert wird die korrekte Schreibweise von "Motorölpumpe" angegeben. Es wird nicht davon ausgegangen, dass die Teilebezeichnung in anderen Stücklisten zukünftiger Abfrageprobleme eine falsche Schreibweise aufweisen. Daher soll bei zukünftigen Abfrageproblemen nach der korrekten Schreibweise gesucht werden.

Die Teilenummer und Stückzahl des O-Rings befinden sich im neuen Fall auf der Position  $P_{10-30-10}$ . Folglich wurden für  $f_{TBZ_i}$  und  $m_{TBZ_i}$  entsprechende Anpassungen durchgeführt. In der Deskriptorengruppe 2 wird das Attribut *Position* des O-Rings angepasst. In der Deskriptorengruppe 3 wird das Attribut  $TBZ_i$  mit der neuen Positionsnummer versehen. Der Wert = *O – Ring* bleibt unverändert.

Da es sich um eine Fallkorrektur handelt, werden die Attribut-Wert-Paare für die Deskriptorengruppe 1 unverändert übernommen. Die Werte der Deskriptorengruppe 6 wurden mit (fiktiven) Werten für die vorliegende Anlage mit der *AT ID = A1946* ergänzt. Der resultierende Fall ist somit vollständig beschrieben (vgl. Abbildung 55) und kann in die Sub-Fallbasis *WA ID 2* integriert werden.

#### Schritt 15 | Teilennachfolger prüfen

Beispiel: Die korrigierte Ergebnisliste in Schritt 13 (vgl. Tabelle 12) enthält für die *Motorölpumpe* die *Teilenummer = 2311*. Die Nachfolgerteiledokumentation in Tabelle 13 zeigt die *Nachfolgerteilenummer = 2354*. Unter Anwendung der in Schritt 15 angeführten Regel wird die *Teilenummer = 2311* durch die *Teilenummer = 2354* ersetzt. Das resultierende Ergebnis ist die finale Ergebnisliste in Tabelle 13.

## A.5 Teileumfänge WAIDs

**Tabelle 28: Teileumfang WAID = W 0680 „Kolben/Kolbenkühlung“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung)**

Baureihe: A  
 Motortyp: A20  
 WAID: W 0680  
 WA Bezeichnung: Kolben/Kolbenkühlung  
 Intervall: 30.000 Bh  
 Legende: 1 = Teilenummer auf dieser Position wird benötigt

| Lfd. Nr. | Positionsnummer | Teilebezeichnung     | Anlagen ID |  |
|----------|-----------------|----------------------|------------|--|
|          |                 |                      | X26808_1   |  |
| 1        | 200#120#100#1#  | Piston               | 1          |  |
| 2        | 200#120#100#5#  | Piston pin           | 1          |  |
| 3        | 200#120#100#7#  | Snap ring            | 1          |  |
| 4        | 200#120#8000#5# | Ring.O-ring.36.2x3.0 | 1          |  |
| Summe:   |                 |                      | 4          |  |

**Tabelle 29: Teileumfang WAID = W 0680 „Kolben/Kolbenkühlung“ für den Motortyp B20 (eigene Darstellung)**

Baureihe: B  
 Motortyp: B20  
 WAID: W 0680  
 WA Bezeichnung: Kolben/Kolbenkühlung  
 Intervall: 30.000 Bh  
 Legende: 1 = Teilenummer auf dieser Position wird benötigt

| Lfd. Nr. | Positionsnummer   | Teilebezeichnung            | Anlagen ID |          |
|----------|-------------------|-----------------------------|------------|----------|
|          |                   |                             | X26036_1   | X23477_1 |
| 1        | 200#120#100#1#    | Piston                      | 1          | -        |
| 2        | 200#120#100#5#    | Piston pin                  | 1          | -        |
| 3        | 200#120#100#7#    | Snap ring                   | 1          | -        |
| 4        | 200#120#8000#1#9# | Injector                    | 1          | -        |
| 5        | 200#120#8000#3#   | Ring.O-ring.rubber 28.0x3.5 | 1          | 1        |
| 6        | 200#120#8000#7#   | Hexagonal head screw        | 1          | 1        |
| 7        | 200#120#100#3#    | Piston pin                  | -          | 1        |
| 8        | 200#120#100#      | Piston                      | -          | 1        |
| 9        | 200#120#100#5#    | Snap ring                   | -          | 1        |
| 10       | 200#120#8000#1#   | Injector                    | -          | 1        |
| Summe:   |                   |                             | 6          | 6        |



**Tabelle 30: Teileumfang WAID = W 2891 „Ansaugluftmotor“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung)**

Baureihe: A  
 Motortyp: A20  
 WAID: W 2891  
 WA Bezeichnung: Ansaugluftmotor  
 Intervall: 30.000 Bh  
 Legende: 1 = Teilenummer auf dieser Position wird benötigt

| Lfd. Nr. | Positionsnummer   | Teilebezeichnung | Anlagen ID |          |          |
|----------|-------------------|------------------|------------|----------|----------|
|          |                   |                  | X26808_1   | X17983_1 | X20642_1 |
| 1        | 200#1801#1#5#     | Bag filter       | 1          | -        | -        |
| 2        | 200#1801#1#6#     | Bag filter       | 1          | -        | -        |
| 3        | 200#120#1801#1#5# | Bag filter       | -          | 1        | -        |
| 4        | 200#120#1801#1#6# | Bag filter       | -          | 1        | -        |
| 5        | 200#810#1#6#      | Bag filter       | -          | -        | 1        |
| 6        | 200#810#1#5#      | Bag filter       | -          | -        | 1        |
| Summe:   |                   |                  | 2          | 2        | 2        |

**Tabelle 31: Teileumfang WAID = W 1227 „Zylinderkopftausch“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung)**

Baureihe: A  
 Motortyp: A20  
 WAID: W 1227  
 WA Bezeichnung: Zylinderkopftausch  
 Intervall: 30.000 Bh  
 Legende: 1 = Teilenummer auf dieser Position wird benötigt

| Lfd. Nr. | Positionsnummer  | Teilebezeichnung                      | Anlagen ID |          |          |          |
|----------|------------------|---------------------------------------|------------|----------|----------|----------|
|          |                  |                                       | X26808_1   | X17983_1 | X21297_1 | X25789_1 |
| 1        | 200#2106#21#     | Sealing                               | 1          | -        | -        | 1        |
| 2        | 200#2106#10#     | Hexagonal head screw                  | 1          | -        | -        | -        |
| 3        | 200#2106#9#      | Gasket                                | 1          | -        | -        | -        |
| 4        | 200#2106#7#      | Gasket.Intercooler gasket.Type3       | 1          | -        | -        | -        |
| 5        | 200#2106#6#      | Gasket.Intercooler lid gasket.Type2+3 | 1          | -        | -        | -        |
| 6        | 200#120#604#     | Cylinder head                         | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 7        | 200#120#604#20#  | Protective cover                      | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 8        | 200#120#500#78#  | Cylinder pin                          | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 9        | 200#120#500#86#  | Gasket.Sealing..                      | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 10       | 200#120#500#91#  | Gasket.Cylinder liner gasket.Type3    | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 11       | 200#120#2100#3#  | Gasket.Exhaust gasket.Type3           | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 12       | 200#120#2200#8#  | Ring.O-ring.rubber 104.4x3.5          | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 13       | 200#120#2200#9#  | Sealing                               | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 14       | 200#120#4104#14# | Gasket.Sealing..                      | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 15       | 200#120#4104#25# | Hexagonal head screw..SST M12x40      | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 16       | 200#120#4104#26# | Nut.Hexagonal nut.SST M12             | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 17       | 200#120#5100#29# | Sealing                               | 1          | 1        | 1        | 1        |
| 18       | 200#120#5100#58# | Gasket                                | 1          | 1        | -        | 1        |
| 19       | 200#120#2106#21# | Sealing                               | -          | 1        | 1        | -        |
| 20       | 200#120#2106#10# | Hexagonal head screw                  | -          | 1        | 1        | -        |
| 21       | 200#120#2106#9#  | Gasket                                | -          | 1        | 1        | -        |
| 22       | 200#120#2106#7#  | Gasket.Intercooler gasket.Type3       | -          | 1        | 1        | -        |
| 23       | 200#120#2106#6#  | Gasket.Intercooler lid gasket.Type2+3 | -          | 1        | 1        | -        |
| 24       | 200#2106#13#     | Gasket.Intercooler gasket.Type3       | -          | -        | -        | 1        |
| 25       | 200#2106#21#     | Sealing                               | 1          | -        | -        | 1        |
| 26       | 200#900#32#      | Gasket                                | -          | -        | 1        | -        |
| Summe:   |                  |                                       | 19         | 18       | 18       | 16       |

**Tabelle 32: Teileumfang WAID = W 2681 „Motorkühlwasserpumpe“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung)**

Baureihe: A  
 Motortyp: A20  
 WAID: W 2681  
 WA Bezeichnung: Motorkühlwasserpumpe  
 Intervall: 30.000 Bh  
 Legende: 1 = Teilenummer auf dieser Position wird benötigt

| Lfd. Nr. | Positionsnummer  | Teilebezeichnung     | Anlagen ID |           |          |          |          |          |
|----------|------------------|----------------------|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
|          |                  |                      | X26808_1   | X266526_1 | X26938_1 | X27003_1 | X27057_1 | X28425_5 |
| 1        | 200#120#900#     | Water pump           | 1          | 1         | -        | -        | -        | -        |
| 2        | 200#120#5100#3#  | Sealing              | 1          | 1         | -        | -        | -        | -        |
| 3        | 200#120#5100#75# | Gasket.Gasket.DN65   | 1          | -         | -        | -        | -        | -        |
| 4        | 200#120#5101#3#  | Sealing              | 1          | 1         | -        | -        | -        | -        |
| 5        | 200#120#900#50#  | Ring.O-ring.91.6x3.5 | 1          | 1         | -        | -        | -        | -        |
| 6        | 200#900#31#      | Gasket.Gasket.DN65   | -          | 1         | -        | -        | -        | -        |
| Summe:   |                  |                      | 5          | 5         | -        | -        | -        | -        |

**Tabelle 33: Teileumfang WAID = W 2049 „Kurbelgehäuseentlüftung“ für den Motortyp B20 (eigene Darstellung)**

Baureihe: B  
 Motortyp: B20  
 WAID: W 2049  
 WA Bezeichnung: Kurbelgehäuseentlüftung  
 Intervall: 30.000 Bh  
 Legende: 1 = Teilenummer auf dieser Position wird benötigt

| Lfd. Nr. | Positionsnummer     | Teilebezeichnung   | Anlagen ID |          |          |          |
|----------|---------------------|--------------------|------------|----------|----------|----------|
|          |                     |                    | X26036_1   | X18376_1 | X23477_1 | X29668_1 |
| 1        | 200#120#4200#29#    | Oil mist separator | 1          | -        | -        | -        |
| 2        | 200#120#4200#33#    | Oil mist separator | 1          | -        | -        | -        |
| 3        | 200#120#4200#11#    | Oil separator      | -          | 1        | -        | -        |
| 4        | 200#120#4200#1#     | Oil mist separator | -          | -        | 1        | -        |
| 5        | 200#120#4200#39#    | Oil mist separator | -          | -        | 1        | -        |
| 6        | 200#120#4200#39#2#  | Filter             | -          | -        | -        | 1        |
| 7        | 200#120#4200#39#9#  | O-ring             | -          | -        | -        | 1        |
| 8        | 200#120#4200#39#11# | Sealing ring       | -          | -        | -        | 1        |
| Summe:   |                     |                    | 2          | 1        | 2        | 3        |

**Tabelle 34: Teileumfang WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung)**

Baureihe: A  
 Motortyp: A20  
 WAID: W 0147  
 WA Bezeichnung: Gasdruckregelstrecke  
 Intervall: 30.000 Bh  
 Legende: 1 = Teilenummer auf dieser Position wird benötigt

| Lfd. Nr. | Positionsnummer | Teilebezeichnung | Anlagen ID |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|----------|-----------------|------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
|          |                 |                  | X26808_1   | X19655_1 | X20696_1 | X23345_1 | X24226_1 | X25691_1 | X26526_1 | X26938_1 | X27003_1 | X27057_1 | X28425_5 |   |
| 1        | 500#5510#4#     | Filter cartridge | 1          | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| 2        | 500#5510#5#     | Sealing ring     | 1          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| 3        | 200#5510#7#     | Sealing kit      | -          | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| 4        | 200#5510#6#     | Filter cartridge | -          | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| 5        | 200#5510#3#     | Filter cartridge | -          | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| 6        | 200#5510#4#     | Sealing kit      | -          | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| 7        | 500#5510#14#    | Filter cartridge | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1 |
| 8        | 500#5510#15#    | Sealing kit      | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1 |
| 9        | 500#5510#5#     | Sealing kit      | -          | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| 10       | 200#5510#4#     | Filter cartridge | -          | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| 11       | 200#5510#5#     | Sealing ring     | -          | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| 12       | 200#5510#5#10#  | Filter cartridge | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | - |
| 13       | 200#5510#5#20#  | Sealing kit      | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | - |
| 19       | 500#5510#5#10#  | Filter cartridge | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | - |
| 20       | 500#5510#5#20#  | Sealing kit      | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | - |
| 21       | 200#5510#2#     | Filter cartridge | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | - |
| 22       | 200#5510#3#     | Sealing ring     | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | - |
| 23       | 500#5510#6#     | Filter cartridge | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | - |
| 24       | 500#5510#7#     | Sealing kit      | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | - |
| 25       | 200#5510#10#4#  | Filter cartridge | -          | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| 26       | 200#5510#10#5#  | Sealing kit      | -          | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | - |
| Summe:   |                 |                  | 2          | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2 |

**Tabelle 35: Teileumfang WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ für den Motortyp B20 (eigene Darstellung)**

Baureihe: B  
 Motortyp: B20  
 WAID: W 0147  
 WA Bezeichnung: Gasdruckregelstrecke  
 Intervall: 30.000 Bh  
 Legende: 1 = Teilenummer auf dieser Position wird benötigt

| Lfd. Nr. | Positionsnummer    | Teilebezeichnung       | Anlagen ID |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|--------------------|------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          |                    |                        | X26036_1   | X17443_1 | X18172_1 | X18376_1 | X19205_1 | X19211_1 | X21739_1 | X21833_1 | X25591_1 | X23269_1 | X23477_1 | X25843_1 |
| 1        | 500#5510#5510#7#   | Sealing ring           | -          | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 2        | 500#5510#5510#6#   | Filter cartridge       | -          | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 3        | 500#5510#5511#1#1# | Sealing                | -          | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 4        | 500#5510#5511#1#3# | Filter                 | -          | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 5        | 500#5510#5511#1#4# | Filter cartridge       | -          | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 6        | 500#5510#5511#1#5# | Sealing kit            | -          | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 7        | 500#5511#5#5#      | Sealing kit            | -          | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        |
| 8        | 500#5511#5#4#      | Filter cartridge       | -          | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        |
| 9        | 500#5511#5#1#      | Sealing                | -          | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        |
| 10       | 500#5510#10#7#     | Sealing kit            | -          | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        | -        |
| 11       | 500#5510#10#6#     | Filter cartridge       | -          | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        | -        |
| 12       | 500#5510#5#4#      | Filter cartridge       | -          | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 13       | 500#5510#5#5#      | Sealing ring           | -          | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 14       | 500#5510#6#        | Filter cartridge       | 1          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        | -        |
| 15       | 500#5510#7#        | Sealing ring           | 1          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        | -        |
| 16       | 500#5510#10#4#     | Sealing ring           | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 17       | 500#5510#10#3#     | Filter cartridge       | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 18       | 500#5511#5#5#500#  | Sealing ring           | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        | 1        | -        |
| 19       | 500#5511#5#5#400#  | Sealing ring           | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        | 1        | -        |
| 20       | 500#5511#5#5#300#  | Ring,O-ring..          | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        | 1        | -        |
| 21       | 500#5511#5#5#200#  | Ring,O-ring.18.64x3.53 | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        | 1        | -        |
| 22       | 500#5511#5#5#100#  | Filter cartridge       | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        | 1        | -        |
| 23       | 500#5510#1#6#      | Filter cartridge       | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 24       | 500#5510#1#7#      | Sealing ring           | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 25       | 500#5510#10#5#     | Sealing kit            | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 26       | 500#5510#10#4#     | Filter cartridge       | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 27       | 500#5511#5#100#    | Filter cartridge       | 1          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        |
| 28       | 500#5511#5#200#    | Ring,O-ring.18.64x3.53 | 1          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        |
| 29       | 500#5511#5#300#    | Ring,O-ring..          | 1          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        |
| 30       | 500#5511#5#400#    | Sealing ring           | 1          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        |
| 31       | 500#5511#5#500#    | Sealing ring           | 1          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        |
| 32       | 500#5510#3#        | Filter cartridge       | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        |
| 33       | 500#5510#4#        | Sealing kit            | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        |
| Summe:   |                    |                        | 7          | -        | -        | 6        | 5        | 5        | 7        | 5        | 7        | 7        | 7        | 7        |

**Tabelle 36: Teileumfang WAID = W 0986 „Elastomerteile“ für den Motortyp B20 (eigene Darstellung)**

Baureihe: B  
 Motortyp: B20  
 WAID: W 0986  
 WA Bezeichnung: Elastomerteile  
 Intervall: 30.000 Bh  
 Legende: 1 = Teilenummer auf dieser Position wird benötigt

| Lfd. Nr. | Positionsnummer | Teilebezeichnung     | Anlagen ID |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|-----------------|----------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          |                 |                      | X26036_1   | X17443_1 | X18172_1 | X18376_1 | X21739_1 | X25843_1 | X29389_1 | X29771_1 |
| 1        | 200#160#2#      | Rubber rail          | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 2        | 200#160#3#      | Elastic bearing      | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 3        | 200#160#4#      | Rubber rail          | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 4        | 200#160#7#      | Screw                | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 5        | 200#160#9#      | Hexagonal head screw | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 6        | 200#170#4#      | Rubber rail          | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | -        | -        |
| 7        | 200#170#5#      | Rubber rail          | 1          | 1        | -        | 1        | -        | 1        | 1        | -        |
| 8        | 200#170#10#     | Stud bolt            | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | -        | -        |
| 9        | 200#170#15#     | Hexagonal head screw | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | -        | -        |
| 10       | 200#950#5#12#   | Sealing              | 1          | -        | -        | -        | -        | 1        | 1        | 1        |
| 11       | 200#1330#5#2#   | Sealing              | 1          | 1        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        |
| 12       | 200#1330#5#3#   | Sealing              | 1          | 1        | -        | -        | 1        | -        | -        | 1        |
| 13       | 200#1330#5#101# | Sealing              | -          | -        | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        |
| 14       | 200#1330#5#100# | Sealing              | -          | -        | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        |
| 15       | 200#170#11#     | Screw                | -          | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        |
| 16       | 200#1330#5#13#  | Sealing              | -          | -        | 1        | 1        | -        | -        | -        | -        |
| 17       | 200#1330#5#12#  | Sealing              | -          | -        | 1        | 1        | -        | -        | -        | -        |
| 18       | 200#1330#12#    | Sealing              | -          | -        | 1        | 1        | -        | -        | -        | -        |
| 19       | 200#170#20#     | Stud bolt            | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        |
| 20       | 200#170#30#     | Screw                | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        |
| 21       | 200#170#10#     | Rubber rail          | -          | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        |
| 22       | 200#950#5#100#  | Sealing              | -          | 1        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        |
| Summe:   |                 |                      | 12         | 12       | 11       | 12       | 11       | 12       | 10       | 11       |

A.6 Falldarstellung

| Fall 11                                     |        | Fall 12                                     |          | Fall 13                                     |        | Fall 14                                     |          | Fall 15                                     |        | Fall 16                                     |          | Fall 17                                     |        | Fall 18                                     |          | Fall 19                                     |        | Fall 20                                     |          | Fall 21                                     |        |                     |          |
|---|--------|---|----------|---|--------|---|----------|---|--------|---|----------|---|--------|---|----------|---|--------|---|----------|---|--------|---------------------|----------|
| Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes« |        | Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation« |          | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes« |        | Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation« |          | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes« |        | Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation« |          | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes« |        | Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation« |          | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes« |        | Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmeninformation« |          | Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes« |        |                     |          |
| Attribut                                    | Wert   | Attribut                                    | Wert     | Attribut                                    | Wert   | Attribut                                    | Wert     | Attribut                                    | Wert   | Attribut                                    | Wert     | Attribut                                    | Wert   | Attribut                                    | Wert     | Attribut                                    | Wert   | Attribut                                    | Wert     | Attribut                                    | Wert   |                     |          |
| WAID  | W/0147 | Is-Bh                                       | X26533   | WAID  | W/0147 | Is-Bh                                       | X29607   | WAID  | W/0147 | Is-Bh                                       | X29703   | WAID  | W/0147 | Is-Bh                                       | X29729   | WAID  | W/0147 | Is-Bh                                       | X29822   | WAID  | W/0147 | Is-Bh               | X29835   |
| ATID  | A20    | AID   | X26806_1 | ATID  | A20    | AID   | X20986_1 | ATID  | A20    | AID   | X24226_1 | ATID  | A20    | AID   | X26938_1 | ATID  | A20    | AID   | X27003_1 | ATID  | A20    | AID                 | X28425_5 |
| Typ <sub>zoo</sub>                          | 1      | FID   | F0000011 | Typ <sub>zoo</sub>                          | 1      | FID   | F0000013 | Typ <sub>zoo</sub>                          | 1      | FID   | F0000015 | Typ <sub>zoo</sub>                          | 1      | FID   | F0000018 | Typ <sub>zoo</sub>                          | 1      | FID   | F0000019 | Typ <sub>zoo</sub>                          | 1      | FID                 | F0000021 |
| UID   |        | 1229733_Riesler                             |          | UID   |        | 1229733_Riesler                             |          | UID   |        | 1229733_Riesler                             |          | UID   |        | 1229733_Riesler                             |          | UID   |        | 1229733_Riesler                             |          | UID   |        | 1229733_Riesler     |          |
| Problem                                     |        | Problem                                     |          | Problem                                     |        | Problem                                     |          | Problem                                     |        | Problem                                     |          | Problem                                     |        | Problem                                     |          | Problem                                     |        | Problem                                     |          | Problem                                     |        | Problem             |          |
| Kontext                                     |        | Kontext                                     |          | Kontext                                     |        | Kontext                                     |          | Kontext                                     |        | Kontext                                     |          | Kontext                                     |        | Kontext                                     |          | Kontext                                     |        | Kontext                                     |          | Kontext                                     |        | Kontext             |          |
| Attribut                                    |        | Attribut                                    |          | Attribut                                    |        | Attribut                                    |          | Attribut                                    |        | Attribut                                    |          | Attribut                                    |        | Attribut                                    |          | Attribut                                    |        | Attribut                                    |          | Attribut                                    |        | Attribut            |          |
| »Rahmeninformation«                         |        | »Rahmeninformation«                         |          | »Rahmeninformation«                         |        | »Rahmeninformation«                         |          | »Rahmeninformation«                         |        | »Rahmeninformation«                         |          | »Rahmeninformation«                         |        | »Rahmeninformation«                         |          | »Rahmeninformation«                         |        | »Rahmeninformation«                         |          | »Rahmeninformation«                         |        | »Rahmeninformation« |          |

Abbildung 76: Falldarstellung der Deskriptorengruppe 1 der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ für den Motortyp A20 (eigene Darstellung)



| Motortyp B20   |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>Fall 1</b><br>Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«<br>Attribut Wert<br>WAID W 0147<br>ATID B20<br>Typ <sub>pe20</sub> 1  |  | <b>Fall 1</b><br>Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmendiformation«<br>Attribut Wert<br>Ist-Bh 29.522<br>AID X26036_1<br>AID 03.01.2020<br>FED F0000001<br>UID 1229733_Riester  |  |
| Problem  |  | Kontext  |  |
| <b>Fall 2</b><br>Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«<br>Attribut Wert<br>WAID W 0147<br>ATID B20<br>Typ <sub>pe20</sub> 1  |  | <b>Fall 2</b><br>Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmendiformation«<br>Attribut Wert<br>Ist-Bh 29.804<br>AID X18376_1<br>AID 03.01.2020<br>FED F0000002<br>UID 1229733_Riester  |  |
| Problem  |  | Kontext  |  |
| <b>Fall 3</b><br>Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«<br>Attribut Wert<br>WAID W 0147<br>ATID B20<br>Typ <sub>pe20</sub> 1  |  | <b>Fall 3</b><br>Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmendiformation«<br>Attribut Wert<br>Ist-Bh 29.600<br>AID X19205_1<br>AID 03.01.2020<br>FED F0000003<br>UID 1229733_Riester  |  |
| Problem  |  | Kontext  |  |
| <b>Fall 4</b><br>Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«<br>Attribut Wert<br>WAID W 0147<br>ATID B20<br>Typ <sub>pe20</sub> 1  |  | <b>Fall 4</b><br>Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmendiformation«<br>Attribut Wert<br>Ist-Bh 29.680<br>AID X19211_1<br>AID 03.01.2020<br>FED F0000004<br>UID 1229733_Riester  |  |
| Problem  |  | Kontext  |  |
| <b>Fall 5</b><br>Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«<br>Attribut Wert<br>WAID W 0147<br>ATID B20<br>Typ <sub>pe20</sub> 1  |  | <b>Fall 5</b><br>Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmendiformation«<br>Attribut Wert<br>Ist-Bh 29.700<br>AID X21739_1<br>AID 03.01.2020<br>FED F0000005<br>UID 1229733_Riester  |  |
| Problem  |  | Kontext  |  |
| <b>Fall 6</b><br>Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«<br>Attribut Wert<br>WAID W 0147<br>ATID B20<br>Typ <sub>pe20</sub> 1  |  | <b>Fall 6</b><br>Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmendiformation«<br>Attribut Wert<br>Ist-Bh 29.710<br>AID X21833_1<br>AID 03.01.2020<br>FED F0000006<br>UID 1229733_Riester  |  |
| Problem  |  | Kontext  |  |
| <b>Fall 7</b><br>Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«<br>Attribut Wert<br>WAID W 0147<br>ATID B20<br>Typ <sub>pe20</sub> 1  |  | <b>Fall 7</b><br>Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmendiformation«<br>Attribut Wert<br>Ist-Bh 29.715<br>AID X23019_1<br>AID 03.01.2020<br>FED F0000007<br>UID 1229733_Riester  |  |
| Problem  |  | Kontext  |  |
| <b>Fall 8</b><br>Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«<br>Attribut Wert<br>WAID W 0147<br>ATID B20<br>Typ <sub>pe20</sub> 1  |  | <b>Fall 8</b><br>Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmendiformation«<br>Attribut Wert<br>Ist-Bh 29.725<br>AID X23269_1<br>AID 03.01.2020<br>FED F0000008<br>UID 1229733_Riester  |  |
| Problem  |  | Kontext  |  |
| <b>Fall 9</b><br>Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«<br>Attribut Wert<br>WAID W 0147<br>ATID B20<br>Typ <sub>pe20</sub> 1  |  | <b>Fall 9</b><br>Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmendiformation«<br>Attribut Wert<br>Ist-Bh 29.815<br>AID X23477_1<br>AID 03.01.2020<br>FED F0000009<br>UID 1229733_Riester  |  |
| Problem  |  | Kontext  |  |
| <b>Fall 10</b><br>Deskriptorengruppe 1<br>»Fallbasis-Indizes«<br>Attribut Wert<br>WAID W 0147<br>ATID B20<br>Typ <sub>pe20</sub> 1 |  | <b>Fall 10</b><br>Deskriptorengruppe 6<br>»Rahmendiformation«<br>Attribut Wert<br>Ist-Bh 29.830<br>AID X23843_1<br>AID 03.01.2020<br>FED F0000010<br>UID 1229733_Riester |  |
| Problem  |  | Kontext  |  |

Abbildung 77: Falldarstellung der Deskriptorengruppe 1 der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ für den Motortyp B20 (eigene Darstellung)

**A.7 Detailergebnisse sim ATID und sim P<sub>ges</sub>**

**Tabelle 37: Detailergebnisse für die sim P<sub>ges</sub> > 0 der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ (eigene Darstellung)**

Sub-Fallbasis: W 0147 "Gasdruckregelstrecke"

| ATID   |                       | B20      |                     |                       |                       |                   |                         |                       |                       |   |  |
|--|-----------------------|----------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|---|--|
| FID  | F0000001              | F0000006 |                     | F0000007              |                       | F0000009          |                         | F0000010              |                       |   |  |
| AID  | X26036_1              | X21833_1 |                     | X25591_1              |                       | X23477_1          |                         | X25843_1              |                       |   |  |
| sim ATID                                       | 1                     | 1        |                     | 1                     |                       | 1                 |                         | 1                     |                       |   |  |
| Anzahl enthaltene Positionen (P <sub>i</sub> ) | 7                     | 5        |                     | 7                     |                       | 7                 |                         | 7                     |                       |   |  |
| sim P <sub>ges</sub>                           | 7                     | 2        |                     | 5                     |                       | 2                 |                         | 7                     |                       |   |  |
| sim P <sub>i</sub>                             | sim P 500#5510#6#     | 1        | sim P 500#5511#5#5# | 0                     | sim P 500#5510#10#7#  | 0                 | sim P 500#5511#5#5#500# | 0                     | sim P 500#5510#3#     | 1 |  |
|  | sim P 500#5510#7#     | 1        | sim P 500#5511#5#4# | 0                     | sim P 500#5510#10#6#  | 0                 | sim P 500#5511#5#5#400# | 0                     | sim P 500#5510#4#     | 1 |  |
|  | sim P 500#5511#5#100# | 1        | sim P 500#5511#5#1# | 0                     | sim P 500#5511#5#100# | 1                 | sim P 500#5511#5#5#300# | 0                     | sim P 500#5511#5#100# | 1 |  |
|  | sim P 500#5511#5#200# | 1        | sim P 500#5510#6#   | 1                     | sim P 500#5511#5#200# | 1                 | sim P 500#5511#5#5#200# | 0                     | sim P 500#5511#5#200# | 1 |  |
|  | sim P 500#5511#5#300# | 1        | sim P 500#5510#7#   | 1                     | sim P 500#5511#5#300# | 1                 | sim P 500#5511#5#5#100# | 0                     | sim P 500#5511#5#300# | 1 |  |
|  | sim P 500#5511#5#400# | 1        |                     |                       | sim P 500#5511#5#400# | 1                 | sim P 500#5510#6#       | 1                     | sim P 500#5511#5#400# | 1 |  |
| sim P 500#5511#5#500#                          | 1                     |          |                     | sim P 500#5511#5#500# | 1                     | sim P 500#5510#7# | 1                       | sim P 500#5511#5#500# | 1                     |   |  |

**Tabelle 38: Sim ATID und sim P<sub>ges</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0680 „Kolben/Kolbenkühlung“ (eigene Darstellung)**

Sub-Fallbasis: W 0680 "Kolben/Kolbenkühlung"

| ATID  |                         | B20      |                       |          |  | A20      |
|---|-------------------------|----------|-----------------------|----------|--|----------|
| FID   | F0000022                | F0000023 |                       | F0000024 |  | F0000024 |
| AID   | X26036_1                | X23477_1 |                       | X26808_1 |  | X26808_1 |
| sim ATID                                    | 1                       | 1        |                       | 0        |  | 0        |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 9                       | 8        |                       |          |  |          |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 9                       | 7        |                       |          |  |          |
| sim P <sub>i</sub>                          | sim P 200#120#100#1#    | 1        | sim P 200#120#100#3#  | 0        |  |          |
|   | sim P 200#120#100#5#    | 1        | sim P 200#120#100#    | 1        |  |          |
|   | sim P 200#120#100#7#    | 1        | sim P 200#120#100#5#  | 1        |  |          |
|   | sim P 200#120#100#1#    | 1        | sim P 200#120#100#    | 1        |  |          |
|   | sim P 200#120#100#5#    | 1        | sim P 200#120#100#5#  | 1        |  |          |
|   | sim P 200#120#100#7#    | 1        | sim P 200#120#8000#1# | 1        |  |          |
|   | sim P 200#120#8000#1#9# | 1        | sim P 200#120#8000#3# | 1        |  |          |
|   | sim P 200#120#8000#3#   | 1        | sim P 200#120#8000#7# | 1        |  |          |
|   | sim P 200#120#8000#7#   | 1        |                       |          |  |          |





### A.8 Editierdistanzberechnung

Tabelle 41: Editierdistanzmatrix für TBZ<sub>500#5510#7#</sub> der FID = F000001 (eigene Darstellung)

**TBZ selektierter Fall**

|                     |    | ε S e a l i n g r i n g |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------|----|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                     |    | ε                       | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| TBZ, Abfrageproblem | ε  | 0                       | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|                     | S  | 1                       | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
|                     | e  | 2                       | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|                     | a  | 3                       | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|                     | l  | 4                       | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
|                     | i  | 5                       | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
|                     | n  | 6                       | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
|                     | g  | 7                       | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
|                     | r  | 8                       | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  |
|                     | i  | 9                       | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  |
|                     | n  | 10                      | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  |
|                     | g  | 11                      | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  |
|                     | .  | 12                      | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  |
|                     | .  | 13                      | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  |
|                     | .  | 14                      | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  |
|                     | D  | 15                      | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  |
|                     | N  | 16                      | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  |
|                     | 8  | 17                      | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  |
|                     | 0  | 18                      | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  |
|                     | .  | 19                      | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  |
| x                   | 20 | 19                      | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  |    |

Tabelle 42: Editierdistanzmatrix für TBZ<sub>500#5511#5#100#</sub> der FID = F000001 (eigene Darstellung)

**TBZ selektierter Fall**

|                     |    | ε F i l t e r c a r t r i d g e |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------|----|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                     |    | ε                               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| TBZ, Abfrageproblem | ε  | 0                               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|                     | F  | 1                               | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|                     | i  | 2                               | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|                     | l  | 3                               | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
|                     | t  | 4                               | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|                     | e  | 5                               | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
|                     | r  | 6                               | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|                     | c  | 7                               | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|                     | a  | 8                               | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
|                     | r  | 9                               | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
|                     | t  | 10                              | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
|                     | i  | 11                              | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
|                     | d  | 12                              | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  |
|                     | g  | 13                              | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  |
|                     | e  | 14                              | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  |
|                     | .  | 15                              | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  |
|                     | .  | 16                              | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  |
|                     | .  | 17                              | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  |
|                     | T  | 18                              | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  |
|                     | y  | 19                              | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  |
|                     | p  | 20                              | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  |
|                     | e  | 21                              | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  |
|                     | 6  | 22                              | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  |
|                     | F  | 23                              | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  |
|                     | +  | 24                              | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  |
|                     | F  | 25                              | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  |
|                     | G  | 26                              | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 |
|                     | a  | 27                              | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
|                     | s  | 28                              | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
|                     | .  | 29                              | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 |
| .                   | 30 | 29                              | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 |    |

**Tabelle 43: Editierdistanzmatrix für TBZ<sub>500#5511#5#200#</sub> der FID = F000001 (eigene Darstellung)**

**TBZ<sub>500#5511#5#200#</sub> selektierter Fall**

|   |   | ε R i n g . O - r i n g . 1 8 . 6 4 x 3 . 5 3 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| TBZ <sub>500#5511#5#200#</sub> Abfrageproblem | ε | 0   | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
|   | O | 1   | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|   | - | 2   | 2  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|   | r | 3   | 2  | 3  | 3  | 4  | 5  | 6  | 6  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|   | i | 4   | 3  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 6  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|   | n | 5   | 4  | 3  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 6  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|   | g | 6   | 5  | 4  | 3  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 6  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|   | . | 7   | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 6  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|   | . | 8   | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 6  | 6  | 7  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|   | . | 9   | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 4  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|   | x | 10  | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 5  | 5  | 6  | 7  | 8  | 8  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|   | . | 11  | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 6  | 6  | 6  | 7  | 8  | 8  | 8  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|   | . | 12  | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 8  | 9  | 9  | 9  | 8  | 7  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|   | . | 13  | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 9  | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|   | . | 14  | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 8  | 9  | 10 | 9  | 8  | 7  | 7  | 8  | 8  | 9  | 10 | 11 |
|   | x | 15  | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9  | 9  | 10 | 10 | 9  | 8  | 7  | 8  | 9  | 9  | 10 | 11 |
|   | . | 16  | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9  | 8  | 8  | 8  | 9  | 10 | 11 |
|   | . | 17  | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 10 | 9  | 8  | 9  | 9  | 10 | 11 |
|   | . | 18  | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 9  | 10 | 11 |
|   | 5 | 19  | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 9  | 10 |
|   | 3 | 20  | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 9  |

**Tabelle 44: Editierdistanzmatrix für TBZ<sub>500#5511#5#300#</sub> der FID = F000001 (eigene Darstellung)**

**TBZ<sub>500#5511#5#300#</sub> selektierter Fall**

|   |   | ε R i n g . O - r i n g . . |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
|---|---|-----------------------------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| TBZ <sub>500#5511#5#300#</sub> Abfrageproblem | ε | 0                           | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|   | O | 1                           | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  | 10 | 11 | 12 |
|   | - | 2                           | 2  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  | 10 | 11 |
|   | r | 3                           | 2  | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 5 | 6 | 7  | 8  | 9  | 10 |
|   | i | 4                           | 3  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 6 | 5 | 6  | 7  | 8  | 9  |
|   | n | 5                           | 4  | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 6 | 5  | 6  | 7  | 8  |
|   | g | 6                           | 5  | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 6  | 5  | 6  | 7  |
|   | . | 7                           | 6  | 5 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7  | 6  | 5  | 6  |
|   | . | 8                           | 7  | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7  | 7  | 6  | 5  |
|   | . | 9                           | 8  | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7  | 8  | 7  | 6  |
|   | x | 10                          | 9  | 8 | 7 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8  | 8  | 7  | 6  |
|   | . | 11                          | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8  | 8  | 8  | 8  |

**Tabelle 45: Editierdistanzmatrix für TBZ<sub>500#5511#5#400#</sub> der FID = F000001 (eigene Darstellung)**

**TBZ<sub>500#5511#5#400#</sub> selektierter Fall**

|   |   | ε S e a l i n g r i n g |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---|---|-------------------------|----|----|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| TBZ <sub>500#5511#5#400#</sub> Abfrageproblem | ε | 0                       | 1  | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|   | S | 1                       | 0  | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  | 10 | 11 |
|   | e | 2                       | 1  | 0  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  | 10 |
|   | a | 3                       | 2  | 1  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7  | 8  | 9  |
|   | l | 4                       | 3  | 2  | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6  | 7  | 8  |
|   | i | 5                       | 4  | 3  | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5  | 6  | 7  |
|   | n | 6                       | 5  | 4  | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4  | 5  | 6  |
|   | g | 7                       | 6  | 5  | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  |
|   | . | 8                       | 7  | 6  | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2  | 3  | 4  |
|   | r | 9                       | 8  | 7  | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1  | 2  | 3  |
|   | i | 10                      | 9  | 8  | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0  | 1  | 2  |
|   | n | 11                      | 10 | 9  | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1  | 0  | 1  |
|   | g | 12                      | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2  | 1  | 0  |

**Tabelle 46: Editierdistanzmatrix für TBZ<sub>500#5511#5#500#</sub> der FID = F000001 (eigene Darstellung)**

**TBZ<sub>500#5511#5#500#</sub> selektierter Fall**

|   |    | ε S e a l i n g r i n g |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |  |
|---|----|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|--|
| TBZ <sub>500#5511#5#500#</sub> Abfrageproblem | ε  | 0                       | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |  |
|   | S  | 1                       | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7 | 8 | 9  | 10 | 11 |  |
|   | e  | 2                       | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 | 7 | 8  | 9  | 10 |  |
|   | a  | 3                       | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 | 6 | 7  | 8  | 9  |  |
|   | l  | 4                       | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4 | 5 | 6  | 7  | 8  |  |
|   | i  | 5                       | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2  | 3 | 4 | 5  | 6  | 7  |  |
|   | n  | 6                       | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 2 | 3 | 4  | 5  | 6  |  |
|   | g  | 7                       | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  |  |
|   | r  | 8                       | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0 | 1 | 2  | 3  | 4  |  |
|   | i  | 9                       | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1 | 0 | 1  | 2  | 3  |  |
|   | n  | 10                      | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2 | 1 | 0  | 1  | 2  |  |
|   | g  | 11                      | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3 | 2 | 1  | 0  | 1  |  |
|   | .  | 12                      | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4 | 3 | 2  | 1  | 0  |  |
|   | .  | 13                      | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5 | 4 | 3  | 2  | 1  |  |
|   | 2  | 14                      | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6 | 5 | 4  | 3  | 2  |  |
|   | 2  | 15                      | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7 | 6 | 5  | 4  | 3  |  |
|   | .  | 16                      | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8 | 7 | 6  | 5  | 4  |  |
|   | x  | 17                      | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7  | 6  | 5  |  |
|   | 18 | 17                      | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7  | 6  |    |  |



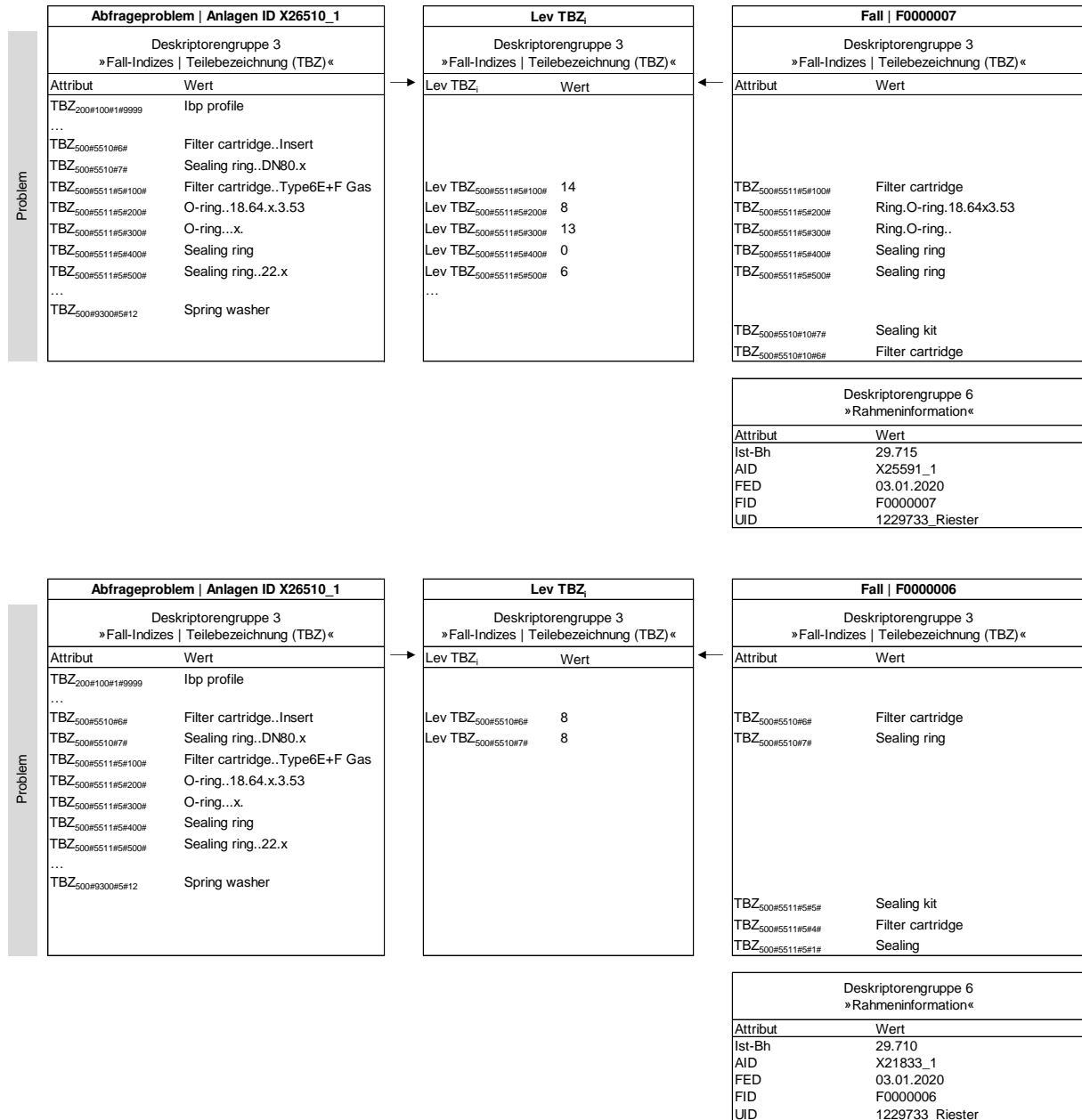


Abbildung 78: Editierdistanzberechnung für die FIDs der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ mit  $sim P_{ges} > 0$  (eigene Darstellung – 1/2)

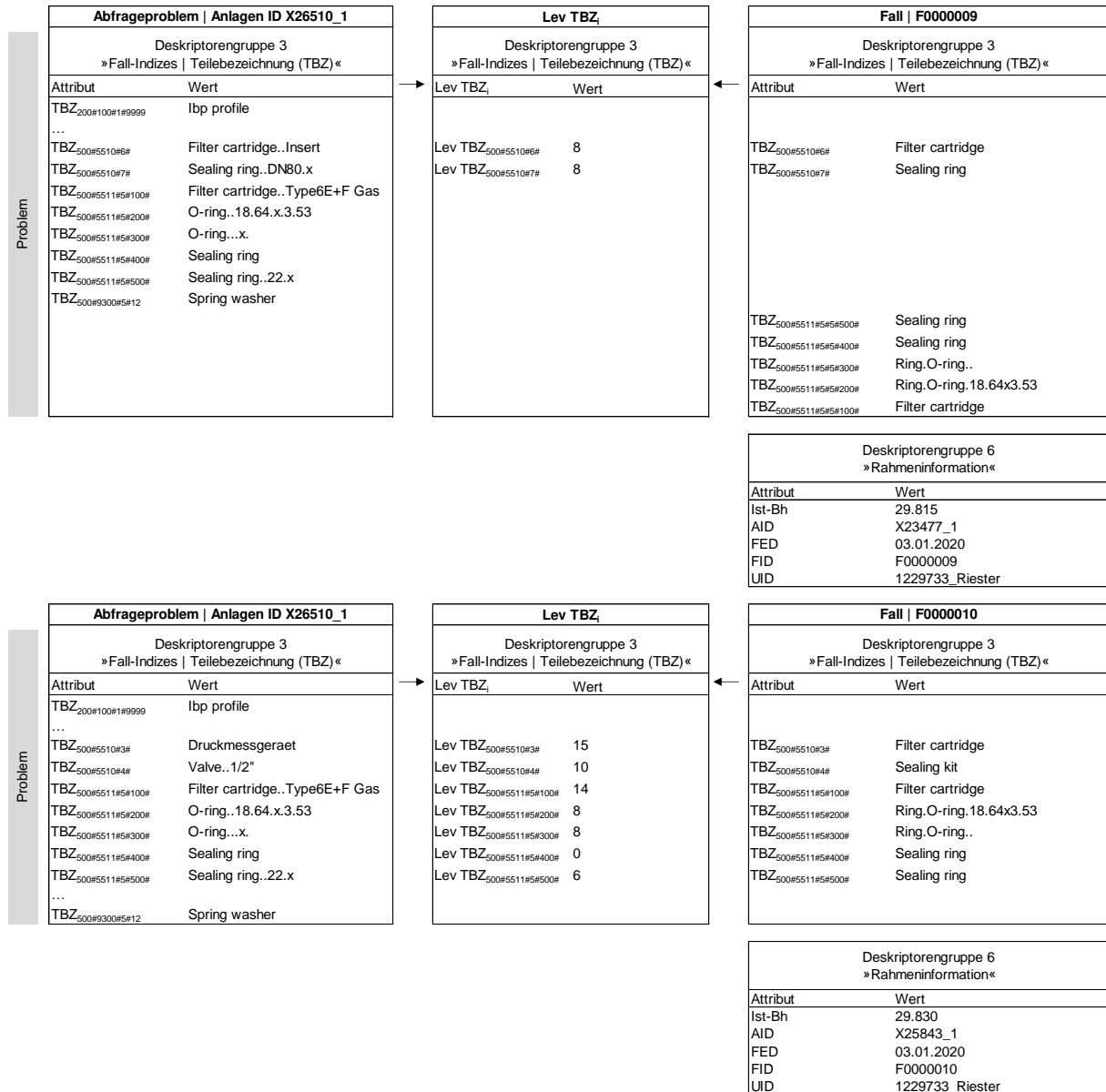
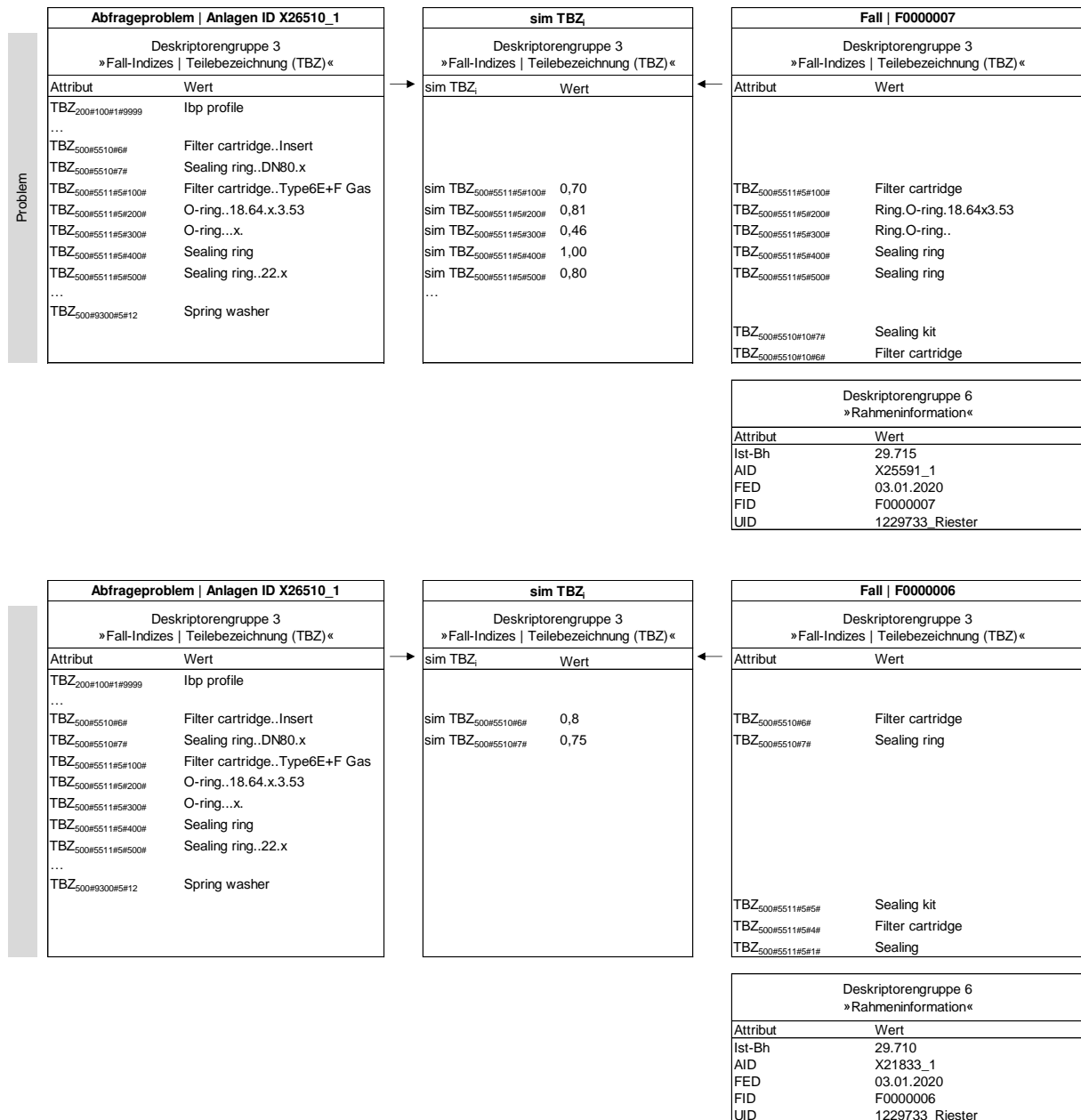
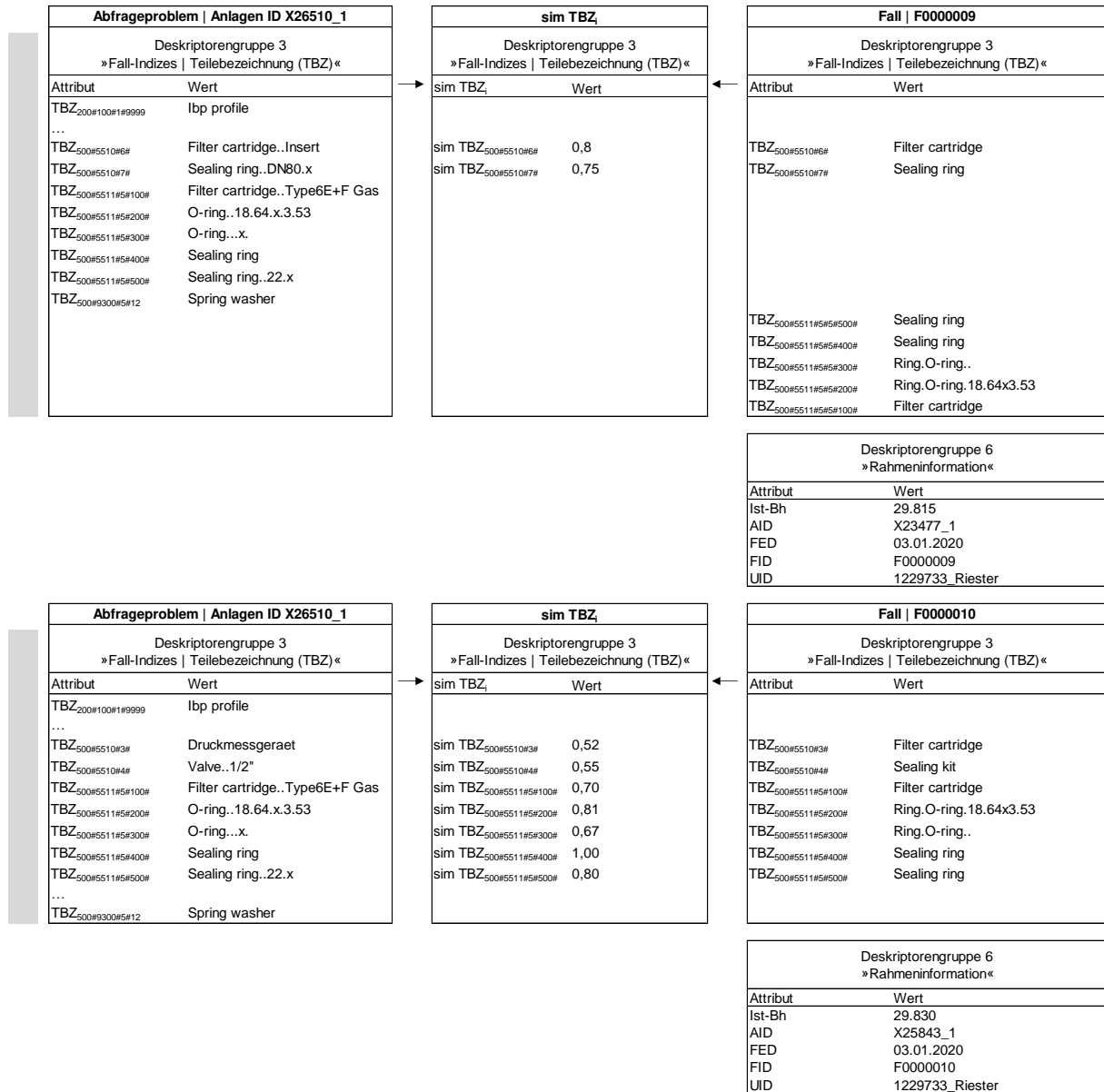


Abbildung 79: Editierdistanzberechnung für die FIDs der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ mit  $\text{sim } P_{\text{ges}} > 0$  (eigene Darstellung – 2/2)

### A.9 Detailergebnisse sim TBZ<sub>i</sub>



**Abbildung 80: Berechnung der sim TBZ<sub>i</sub> für die FIDs der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ mit sim P<sub>ges</sub> > 0 (eigene Darstellung – 1/2)**



**Abbildung 81: Berechnung der sim TBZ<sub>i</sub> für die FIDs der WAID = W 0147 „Gasdruckregelstrecke“ mit sim P<sub>ges</sub> > 0 (eigene Darstellung – 2/2)**

**Tabelle 47: sim TBZ<sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0680 „Kolben/Kolbenkühlung“ (eigene Darstellung)**

Sub-Fallbasis: W 0680 "Kolben/Kolbenkühlung"

|   |                      |                   |                             |    |    |      |
|---|----------------------|-------------------|-----------------------------|----|----|------|
| ATID  | B20                  |                   |                             |    |    |      |
| FID   | F0000022             |                   |                             |    |    |      |
| AID   | X26036_1             |                   |                             |    |    |      |
| sim ATID                                    | 1                    |                   |                             |    |    |      |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 9                    |                   |                             |    |    |      |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 9                    |                   |                             |    |    |      |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        | sim TBZ <sub>1</sub> | 200#120#100#1#    | Piston                      | 6  | 0  | 1,00 |
|   | sim TBZ <sub>2</sub> | 200#120#100#5#    | Piston pin                  | 10 | 19 | 0,51 |
|   | sim TBZ <sub>3</sub> | 200#120#100#7#    | Snap ring                   | 9  | 18 | 0,44 |
|   | sim TBZ <sub>4</sub> | 200#120#100#1#    | Piston                      | 6  | 0  | 1,00 |
|   | sim TBZ <sub>5</sub> | 200#120#100#5#    | Piston pin                  | 10 | 19 | 0,51 |
|   | sim TBZ <sub>6</sub> | 200#120#100#7#    | Snap ring                   | 9  | 18 | 0,44 |
|   | sim TBZ <sub>7</sub> | 200#120#8000#1#9# | Injector                    | 8  | 0  | 1,00 |
|   | sim TBZ <sub>8</sub> | 200#120#8000#3#   | Ring,O-ring,rubber 28.0x3.5 | 27 | 20 | 0,60 |
|   | sim TBZ <sub>9</sub> | 200#120#8000#7#   | Hexagonal head screw        | 20 | 0  | 1,00 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Abfrageproblem                |     |
| TBZ                           | TBZ |
| Piston                        | 6   |
| Piston pin..Type6.85.x.120.ST | 29  |
| Locking ring..80.x.3.ST       | 23  |
| Piston                        | 6   |
| Piston pin..Type6.85.x.120.ST | 29  |
| Locking ring..80.x.3.ST       | 23  |
| Injector                      | 8   |
| O-ring..28.x.3.5.rubber       | 23  |
| Hexagonal head screw          | 20  |

|   |                      |                 |                             |    |                |      |
|---|----------------------|-----------------|-----------------------------|----|----------------|------|
| ATID  | B20                  |                 |                             |    |                |      |
| FID   | F0000023             |                 |                             |    |                |      |
| AID   | X23477_1             |                 |                             |    |                |      |
| sim ATID                                    | 1                    |                 |                             |    |                |      |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 8                    |                 |                             |    |                |      |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 7                    |                 |                             |    |                |      |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        | sim TBZ <sub>1</sub> | 200#120#100#3#  | Piston pin                  | 10 | keine Rechnung | 0,00 |
|   | sim TBZ <sub>2</sub> | 200#120#100#    | Piston                      | 6  | 8              | 0,60 |
|   | sim TBZ <sub>3</sub> | 200#120#100#5#  | Snap ring                   | 9  | 25             | 0,34 |
|   | sim TBZ <sub>4</sub> | 200#120#100#    | Piston                      | 6  | 8              | 0,60 |
|   | sim TBZ <sub>5</sub> | 200#120#100#5#  | Snap ring                   | 9  | 25             | 0,34 |
|   | sim TBZ <sub>6</sub> | 200#120#8000#1# | Injector                    | 8  | 0              | 1,00 |
|   | sim TBZ <sub>7</sub> | 200#120#8000#3# | Ring,O-ring,rubber 28.0x3.5 | 27 | 20             | 0,60 |
|   | sim TBZ <sub>8</sub> | 200#120#8000#7# | Hexagonal head screw        | 20 | 0              | 1,00 |

|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| Abfrageproblem                |                |
| TBZ                           | TBZ            |
| Position nicht vorhanden      | keine Rechnung |
| Piston..E12.ST                | 14             |
| Piston pin..Type6.85.x.120.ST | 29             |
| Piston..E12.ST                | 14             |
| Piston pin..Type6.85.x.120.ST | 29             |
| Injector                      | 8              |
| O-ring..28.x.3.5.rubber       | 23             |
| Hexagonal head screw          | 20             |

**Tabelle 48: sim TBZ<sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0986 „Elastomerteile“ (eigene Darstellung – 1/3)**

Sub-Fallbasis: W 0986 "Elastomerteile"

|   |                                    |                      |                  |                      |                      |
|---|------------------------------------|----------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| ATID  | B20                                |                      |                  |                      |                      |
| FID   | F0000025                           |                      |                  |                      |                      |
| AID   | X26036_1                           |                      |                  |                      |                      |
| sim ATID                                    | 1                                  |                      |                  |                      |                      |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 12                                 |                      |                  |                      |                      |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 8                                  |                      |                  |                      |                      |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        |                                    | TBZ <sub>i</sub>     | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#2#    | Sealing              | 7                | keine Rechnung       | 0,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#3#    | Sealing              | 7                | keine Rechnung       | 0,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#4#    | Sealing              | 7                | keine Rechnung       | 0,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#7#    | Rubber rail          | 7                | keine Rechnung       | 0,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#9#    | Rubber rail          | 11               | 15                   | 0,59                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#4#    | Elastic bearing      | 15               | 17                   | 0,50                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#5#    | Rubber rail          | 11               | 16                   | 0,58                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#10#   | Screw                | 5                | 9                    | 0,53                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#15#   | Hexagonal head screw | 20               | 0                    | 1,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#950#5#12# | Rubber rail          | 11               | 16                   | 0,58                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#1330#5#2# | Stud bolt            | 9                | 13                   | 0,58                 |
| sim TBZ <sub>i</sub> 200#1330#5#3#          | Hexagonal head screw               | 20                   | 0                | 1,00                 |                      |

|                             |                  |
|-----------------------------|------------------|
| Abfrageproblem              |                  |
| TBZ <sub>i</sub>            | TBZ <sub>i</sub> |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung   |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung   |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung   |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung   |
| Rubber rail..900.x.80.x.80  | 26               |
| Rubber rail...x..x.         | 19               |
| Rubber rail..1650.x.80.x.80 | 27               |
| Cylinder screw              | 14               |
| Hexagonal head screw        | 20               |
| Rubber rail..1050.x.80.x.80 | 27               |
| Stud bolt..M12.x.40.ST      | 22               |
| Hexagonal head screw        | 20               |

|   |                                     |                      |                  |                      |                      |
|---|-------------------------------------|----------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| ATID  | B20                                 |                      |                  |                      |                      |
| FID   | F0000026                            |                      |                  |                      |                      |
| AID   | X17443_1                            |                      |                  |                      |                      |
| sim ATID                                    | 1                                   |                      |                  |                      |                      |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 12                                  |                      |                  |                      |                      |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 8                                   |                      |                  |                      |                      |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        |                                     | TBZ <sub>i</sub>     | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#950#5#100# | Sealing              | 7                | keine Rechnung       | 0,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#2#     | Sealing              | 7                | keine Rechnung       | 0,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#3#     | Sealing              | 7                | keine Rechnung       | 0,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#4#     | Rubber rail          | 11               | keine Rechnung       | 0,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#7#     | Rubber rail          | 11               | 15                   | 0,59                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#9#     | Elastic bearing      | 15               | 17                   | 0,50                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#4#     | Rubber rail          | 11               | 16                   | 0,58                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#5#     | Screw                | 5                | 9                    | 0,53                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#10#    | Hexagonal head screw | 20               | 0                    | 1,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#15#    | Rubber rail          | 11               | 16                   | 0,58                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#1330#5#2#  | Stud bolt            | 9                | 13                   | 0,58                 |
| sim TBZ <sub>i</sub> 200#1330#5#3#          | Hexagonal head screw                | 20                   | 0                | 1,00                 |                      |

|                             |                  |
|-----------------------------|------------------|
| Abfrageproblem              |                  |
| TBZ <sub>i</sub>            | TBZ <sub>i</sub> |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung   |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung   |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung   |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung   |
| Rubber rail..900.x.80.x.80  | 26               |
| Rubber rail...x..x.         | 19               |
| Rubber rail..1650.x.80.x.80 | 27               |
| Cylinder screw              | 14               |
| Hexagonal head screw        | 20               |
| Rubber rail..1050.x.80.x.80 | 27               |
| Stud bolt..M12.x.40.ST      | 22               |
| Hexagonal head screw        | 20               |

|   |                                     |                      |                  |                      |                      |
|---|-------------------------------------|----------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| ATID  | B20                                 |                      |                  |                      |                      |
| FID   | F0000027                            |                      |                  |                      |                      |
| AID   | X18172_1                            |                      |                  |                      |                      |
| sim ATID                                    | 1                                   |                      |                  |                      |                      |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 11                                  |                      |                  |                      |                      |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 11                                  |                      |                  |                      |                      |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        |                                     | TBZ <sub>i</sub>     | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#2#     | Rubber rail          | 11               | 15                   | 0,59                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#3#     | Elastic bearing      | 15               | 17                   | 0,50                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#4#     | Rubber rail          | 11               | 16                   | 0,58                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#7#     | Screw                | 5                | 9                    | 0,53                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#160#9#     | Hexagonal head screw | 20               | 0                    | 1,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#4#     | Rubber rail          | 11               | 16                   | 0,58                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#10#    | Stud bolt            | 9                | 13                   | 0,58                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#170#15#    | Hexagonal head screw | 20               | 0                    | 1,00                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#1330#5#12# | Sealing              | 7                | 6                    | 0,54                 |
|   | sim TBZ <sub>i</sub> 200#1330#5#13# | Sealing              | 7                | 6                    | 0,54                 |
| sim TBZ <sub>i</sub> 200#1330#12#           | Sealing                             | 7                    | 6                | 0,54                 |                      |

|                             |                  |
|-----------------------------|------------------|
| Abfrageproblem              |                  |
| TBZ <sub>i</sub>            | TBZ <sub>i</sub> |
| Rubber rail..900.x.80.x.80  | 26               |
| Rubber rail...x..x.         | 19               |
| Rubber rail..1650.x.80.x.80 | 27               |
| Cylinder screw              | 14               |
| Hexagonal head screw        | 20               |
| Rubber rail..1050.x.80.x.80 | 27               |
| Stud bolt..M12.x.40.ST      | 22               |
| Hexagonal head screw        | 20               |
| Gasket                      | 6                |
| Gasket                      | 6                |
| Gasket                      | 6                |

**Tabelle 49: sim TBZ<sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0986 „Elastomerteile“ (eigene Darstellung – 2/3)**

|   |                        |                      |     |                |         |
|---|------------------------|----------------------|-----|----------------|---------|
| ATID  | B20                    |                      |     |                |         |
| FID   | F0000028               |                      |     |                |         |
| AID   | X18376_1               |                      |     |                |         |
| sim ATID                                    | 1                      |                      |     |                |         |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 12                     |                      |     |                |         |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 11                     |                      |     |                |         |
| sim TBZ                                     | i                      | TBZ                  | TBZ | Lev TBZ        | sim TBZ |
|   | sim TBZ 200#1330#5#13# | Rubber rail          | 11  | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#1330#5#12# | Rubber rail          | 11  | 15             | 0,59    |
|   | sim TBZ 200#1330#12#   | Elastic bearing      | 15  | 17             | 0,50    |
|   | sim TBZ 200#160#2#     | Rubber rail          | 11  | 16             | 0,58    |
|   | sim TBZ 200#160#3#     | Screw                | 5   | 9              | 0,53    |
|   | sim TBZ 200#160#4#     | Hexagonal head screw | 20  | 0              | 1,00    |
|   | sim TBZ 200#160#7#     | Rubber rail          | 11  | 16             | 0,58    |
|   | sim TBZ 200#160#9#     | Stud bolt            | 9   | 13             | 0,58    |
|   | sim TBZ 200#170#4#     | Hexagonal head screw | 20  | 0              | 1,00    |
|   | sim TBZ 200#170#5#     | Sealing              | 7   | 6              | 0,54    |
|   | sim TBZ 200#170#10#    | Sealing              | 7   | 6              | 0,54    |
| sim TBZ 200#170#15#                         | Sealing                | 7                    | 6   | 0,54           |         |

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Abfrageproblem              |                |
| TBZ                         | TBZ            |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Rubber rail..900.x.80.x.80  | 26             |
| Rubber rail...x..x.         | 19             |
| Rubber rail..1650.x.80.x.80 | 27             |
| Cylinder screw              | 14             |
| Hexagonal head screw        | 20             |
| Rubber rail..1050.x.80.x.80 | 27             |
| Stud bolt..M12.x.40.ST      | 22             |
| Hexagonal head screw        | 20             |
| Gasket                      | 6              |
| Gasket                      | 6              |
| Gasket                      | 6              |

|   |                        |                      |     |                |         |
|---|------------------------|----------------------|-----|----------------|---------|
| ATID  | B20                    |                      |     |                |         |
| FID   | F0000029               |                      |     |                |         |
| AID   | X21739_1               |                      |     |                |         |
| sim ATID                                    | 1                      |                      |     |                |         |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 11                     |                      |     |                |         |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 8                      |                      |     |                |         |
| sim TBZ                                     | i                      | TBZ                  | TBZ | Lev TBZ        | sim TBZ |
|   | sim TBZ 200#950#5#100# | Sealing              | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#2#     | Sealing              | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#3#     | Sealing              | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#4#     | Rubber rail          | 11  | 15             | 0,59    |
|   | sim TBZ 200#160#7#     | Elastic bearing      | 15  | 17             | 0,50    |
|   | sim TBZ 200#160#9#     | Rubber rail          | 11  | 16             | 0,58    |
|   | sim TBZ 200#170#4#     | Screw                | 5   | 9              | 0,53    |
|   | sim TBZ 200#170#10#    | Hexagonal head screw | 20  | 0              | 1,00    |
|   | sim TBZ 200#170#15#    | Rubber rail          | 11  | 16             | 0,58    |
|   | sim TBZ 200#1330#5#2#  | Stud bolt            | 9   | 13             | 0,58    |
| sim TBZ 200#1330#5#3#                       | Hexagonal head screw   | 20                   | 0   | 1,00           |         |

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Abfrageproblem              |                |
| TBZ                         | TBZ            |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Rubber rail..900.x.80.x.80  | 26             |
| Rubber rail...x..x.         | 19             |
| Rubber rail..1650.x.80.x.80 | 27             |
| Cylinder screw              | 14             |
| Hexagonal head screw        | 20             |
| Rubber rail..1050.x.80.x.80 | 27             |
| Stud bolt..M12.x.40.ST      | 22             |
| Hexagonal head screw        | 20             |

|   |                         |                      |     |                |         |
|---|-------------------------|----------------------|-----|----------------|---------|
| ATID  | B20                     |                      |     |                |         |
| FID   | F0000030                |                      |     |                |         |
| AID   | X25843_1                |                      |     |                |         |
| sim ATID                                    | 1                       |                      |     |                |         |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 12                      |                      |     |                |         |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 8                       |                      |     |                |         |
| sim TBZ                                     | i                       | TBZ                  | TBZ | Lev TBZ        | sim TBZ |
|   | sim TBZ 200#1330#5#101# | Sealing              | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#1330#5#100# | Sealing              | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#2#      | Sealing              | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#3#      | Rubber rail          | 11  | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#4#      | Rubber rail          | 11  | 15             | 0,59    |
|   | sim TBZ 200#160#7#      | Elastic bearing      | 15  | 17             | 0,50    |
|   | sim TBZ 200#160#9#      | Rubber rail          | 11  | 16             | 0,58    |
|   | sim TBZ 200#170#4#      | Screw                | 5   | 9              | 0,53    |
|   | sim TBZ 200#170#5#      | Hexagonal head screw | 20  | 0              | 1,00    |
|   | sim TBZ 200#170#10#     | Rubber rail          | 11  | 16             | 0,58    |
|   | sim TBZ 200#170#15#     | Stud bolt            | 9   | 13             | 0,58    |
| sim TBZ 200#950#5#12#                       | Hexagonal head screw    | 20                   | 0   | 1,00           |         |

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Abfrageproblem              |                |
| TBZ                         | TBZ            |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Rubber rail..900.x.80.x.80  | 26             |
| Rubber rail...x..x.         | 19             |
| Rubber rail..1650.x.80.x.80 | 27             |
| Cylinder screw              | 14             |
| Hexagonal head screw        | 20             |
| Rubber rail..1050.x.80.x.80 | 27             |
| Stud bolt..M12.x.40.ST      | 22             |
| Hexagonal head screw        | 20             |

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



**Tabelle 50: sim TBZ<sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0986 „Elastomerteile“ (eigene Darstellung – 3/3)**

|   |                         |                 |     |                |         |
|---|-------------------------|-----------------|-----|----------------|---------|
| ATID  | B20                     |                 |     |                |         |
| FID   | F0000031                |                 |     |                |         |
| AID   | X29389_1                |                 |     |                |         |
| sim ATID                                    | 1                       |                 |     |                |         |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 10                      |                 |     |                |         |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 5                       |                 |     |                |         |
| sim TBZ                                     | i                       | TBZ             | TBZ | Lev TBZ        | sim TBZ |
|   | sim TBZ 200#1330#5#101# | Sealing         | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#1330#5#100# | Sealing         | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#170#11#     | Sealing         | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#2#      | Screw           | 5   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#3#      | Rubber rail     | 11  | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#4#      | Rubber rail     | 11  | 15             | 0,59    |
|   | sim TBZ 200#160#7#      | Elastic bearing | 15  | 17             | 0,50    |
|   | sim TBZ 200#160#9#      | Rubber rail     | 11  | 16             | 0,58    |
|   | sim TBZ 200#170#5#      | Screw           | 5   | 9              | 0,53    |
| sim TBZ 200#950#5#12#                       | Hexagonal head screw    | 20              | 0   | 1,00           |         |

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Abfrageproblem              |                |
| TBZ                         | TBZ            |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Rubber rail..900.x.80.x.80  | 26             |
| Rubber rail...x..x.         | 19             |
| Rubber rail..1650.x.80.x.80 | 27             |
| Cylinder screw              | 14             |
| Hexagonal head screw        | 20             |

|   |                       |                      |     |                |         |
|---|-----------------------|----------------------|-----|----------------|---------|
| ATID  | B20                   |                      |     |                |         |
| FID   | F0000032              |                      |     |                |         |
| AID   | X29771_1              |                      |     |                |         |
| sim ATID                                    | 1                     |                      |     |                |         |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 11                    |                      |     |                |         |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 6                     |                      |     |                |         |
| sim TBZ                                     | i                     | TBZ                  | TBZ | Lev TBZ        | sim TBZ |
|   | sim TBZ 200#170#20#   | Sealing              | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#170#30#   | Sealing              | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#2#    | Sealing              | 7   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#3#    | Stud bolt            | 9   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#4#    | Screw                | 5   | keine Rechnung | 0,00    |
|   | sim TBZ 200#160#7#    | Rubber rail          | 11  | 15             | 0,59    |
|   | sim TBZ 200#160#9#    | Elastic bearing      | 15  | 17             | 0,50    |
|   | sim TBZ 200#170#10#   | Rubber rail          | 11  | 16             | 0,58    |
|   | sim TBZ 200#950#5#12# | Screw                | 5   | 9              | 0,53    |
|   | sim TBZ 200#1330#5#2# | Hexagonal head screw | 20  | 0              | 1,00    |
| sim TBZ 200#1330#5#3#                       | Rubber rail           | 11                   | 20  | 0,39           |         |

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Abfrageproblem              |                |
| TBZ                         | TBZ            |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Position nicht vorhanden    | keine Rechnung |
| Rubber rail..900.x.80.x.80  | 26             |
| Rubber rail...x..x.         | 19             |
| Rubber rail..1650.x.80.x.80 | 27             |
| Cylinder screw              | 14             |
| Hexagonal head screw        | 20             |
| Stud bolt..M12.x.40.ST      | 22             |

**Tabelle 51: sim TBZ<sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 2049 „Kurbelgehäuseentlüftung“ (eigene Darstellung)**

Sub-Fallbasis: W 2049 "Kurbelgehäuseentlüftung"

|   |                                     |                    |                  |                      |                      |
|---|-------------------------------------|--------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| ATID  | B20                                 |                    |                  |                      |                      |
| FID   | F0000033                            |                    |                  |                      |                      |
| AID   | X26036_1                            |                    |                  |                      |                      |
| sim ATID                                    | 1                                   |                    |                  |                      |                      |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 2                                   |                    |                  |                      |                      |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 2                                   |                    |                  |                      |                      |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        | sim TBZ <sub>200#120#4200#29#</sub> | TBZ <sub>i</sub>   | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   |                                     | Oil mist separator | 18               | 0                    | 1,00                 |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        | sim TBZ <sub>200#120#4200#33#</sub> | TBZ <sub>i</sub>   | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   |                                     | Oil mist separator | 18               | 0                    | 1,00                 |

|                    |                  |
|--------------------|------------------|
| Abfrageproblem     |                  |
| TBZ <sub>i</sub>   | TBZ <sub>i</sub> |
| Oil mist separator | 18               |
| Oil mist separator | 18               |

|   |                                     |                  |                  |                      |                      |
|---|-------------------------------------|------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| ATID  | B20                                 |                  |                  |                      |                      |
| FID   | F0000034                            |                  |                  |                      |                      |
| AID   | X18376_1                            |                  |                  |                      |                      |
| sim ATID                                    | 1                                   |                  |                  |                      |                      |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 1                                   |                  |                  |                      |                      |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 1                                   |                  |                  |                      |                      |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        | sim TBZ <sub>200#120#4200#11#</sub> | TBZ <sub>i</sub> | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   |                                     | Oil separator    | 13               | 23                   | 0,38                 |

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| Abfrageproblem           |                  |
| TBZ <sub>i</sub>         | TBZ <sub>i</sub> |
| Holder..936.5.x.240.x.40 | 24               |

|   |                                     |                    |                  |                      |                      |
|---|-------------------------------------|--------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| ATID  | B20                                 |                    |                  |                      |                      |
| FID   | F0000035                            |                    |                  |                      |                      |
| AID   | X23477_1                            |                    |                  |                      |                      |
| sim ATID                                    | 1                                   |                    |                  |                      |                      |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 2                                   |                    |                  |                      |                      |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 2                                   |                    |                  |                      |                      |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        | sim TBZ <sub>200#120#4200#1#</sub>  | TBZ <sub>i</sub>   | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   |                                     | Oil mist separator | 18               | 24                   | 0,60                 |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        | sim TBZ <sub>200#120#4200#39#</sub> | TBZ <sub>i</sub>   | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   |                                     | Oil mist separator | 18               | 15                   | 0,38                 |

|  |                  |
|--|------------------|
| Abfrageproblem                                 |                  |
| TBZ <sub>i</sub>                               | TBZ <sub>i</sub> |
| Oil mist separator..Type6E+F.462.x.599.5.x.516 | 42               |
| Gasket   | 6                |

|   |  |                  |                  |                      |                      |
|---|--|------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| ATID  | B20                                    |                  |                  |                      |                      |
| FID   | F0000036                               |                  |                  |                      |                      |
| AID   | X29668_1                               |                  |                  |                      |                      |
| sim ATID                                    | 1                                      |                  |                  |                      |                      |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 3                                      |                  |                  |                      |                      |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 0                                      |                  |                  |                      |                      |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        | sim TBZ <sub>200#120#4200#39#2#</sub>  | TBZ <sub>i</sub> | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   |  | Filter           | 6                | keine Rechnung       | 0,00                 |
|   | sim TBZ <sub>200#120#4200#39#9#</sub>  | TBZ <sub>i</sub> | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   | O-ring                                 | 6                | keine Rechnung   | 0,00                 |                      |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        | sim TBZ <sub>200#120#4200#39#11#</sub> | TBZ <sub>i</sub> | TBZ <sub>i</sub> | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ <sub>i</sub> |
|   |  | Sealing ring     | 12               | keine Rechnung       | 0,00                 |

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| Abfrageproblem           |                  |
| TBZ <sub>i</sub>         | TBZ <sub>i</sub> |
| Position nicht vorhanden | keine Rechnung   |
| Position nicht vorhanden | keine Rechnung   |
| Position nicht vorhanden | keine Rechnung   |

**Tabelle 52: sim TBZ<sub>i</sub> der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 1499 „Motorkühlwasserpumpe“ (eigene Darstellung)**

Sub-Fallbasis: W 1499 "Motorkühlwasserpumpe"

|   |                                |                  |     |                      |         |
|---|--------------------------------|------------------|-----|----------------------|---------|
| ATID  | B20                            |                  |     |                      |         |
| FID   | F0000037                       |                  |     |                      |         |
| AID   | X26036_1                       |                  |     |                      |         |
| sim ATID                                    | 1                              |                  |     |                      |         |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 2                              |                  |     |                      |         |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 2                              |                  |     |                      |         |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        |                                | TBZ              | TBZ | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ |
|   | sim TBZ <sub>200#900#12#</sub> | Sealing          | 7   | 29                   | 0,28    |
|   | sim TBZ <sub>200#901#1#</sub>  | Circulation pump | 16  | 0                    | 1,00    |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| Abfrageproblem                    |     |
| TBZ                               | TBZ |
| Connecting pipeline..240.x.190.ST | 33  |
| Circulation pump                  | 16  |

|   |                                  |                  |     |                      |         |
|---|----------------------------------|------------------|-----|----------------------|---------|
| ATID  | B20                              |                  |     |                      |         |
| FID   | F0000038                         |                  |     |                      |         |
| AID   | X17443_1                         |                  |     |                      |         |
| sim ATID                                    | 1                                |                  |     |                      |         |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 2                                |                  |     |                      |         |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 1                                |                  |     |                      |         |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        |                                  | TBZ              | TBZ | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ |
|   | sim TBZ <sub>200#900#11#1#</sub> | Sealing          | 7   | keine Rechnung       | 0,00    |
|   | sim TBZ <sub>200#901#1#</sub>    | Circulation pump | 16  | 0                    | 1,00    |

|                          |                |
|--------------------------|----------------|
| Abfrageproblem           |                |
| TBZ                      | TBZ            |
| Position nicht vorhanden | keine Rechnung |
| Circulation pump         | 16             |

|   |                                |         |     |                      |         |
|---|--------------------------------|---------|-----|----------------------|---------|
| ATID  | B20                            |         |     |                      |         |
| FID   | F0000039                       |         |     |                      |         |
| AID   | X18376_1                       |         |     |                      |         |
| sim ATID                                    | 1                              |         |     |                      |         |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 2                              |         |     |                      |         |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 2                              |         |     |                      |         |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        |                                | TBZ     | TBZ | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ |
|   | sim TBZ <sub>200#900#62#</sub> | Sealing | 7   | 6                    | 0,54    |
|   | sim TBZ <sub>200#901#1#</sub>  | Pump    | 4   | 12                   | 0,40    |

|                  |     |
|------------------|-----|
| Abfrageproblem   |     |
| TBZ              | TBZ |
| Gasket           | 6   |
| Circulation pump | 16  |

|   |                                |                  |     |                      |         |
|---|--------------------------------|------------------|-----|----------------------|---------|
| ATID  | B20                            |                  |     |                      |         |
| FID   | F0000040                       |                  |     |                      |         |
| AID   | X19211_1                       |                  |     |                      |         |
| sim ATID                                    | 1                              |                  |     |                      |         |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 2                              |                  |     |                      |         |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 2                              |                  |     |                      |         |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        |                                | TBZ              | TBZ | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ |
|   | sim TBZ <sub>200#900#62#</sub> | Sealing          | 7   | 6                    | 0,54    |
|   | sim TBZ <sub>200#901#1#</sub>  | Circulation pump | 16  | 0                    | 1,00    |

|                  |     |
|------------------|-----|
| Abfrageproblem   |     |
| TBZ              | TBZ |
| Gasket           | 6   |
| Circulation pump | 16  |

|   |                                |                  |     |                      |         |
|---|--------------------------------|------------------|-----|----------------------|---------|
| ATID  | B20                            |                  |     |                      |         |
| FID   | F0000041                       |                  |     |                      |         |
| AID   | X23477_1                       |                  |     |                      |         |
| sim ATID                                    | 1                              |                  |     |                      |         |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 2                              |                  |     |                      |         |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 1                              |                  |     |                      |         |
| sim TBZ <sub>i</sub>                        |                                | TBZ              | TBZ | Lev TBZ <sub>i</sub> | sim TBZ |
|   | sim TBZ <sub>200#900#59#</sub> | Sealing          | 7   | keine Rechnung       | 0,00    |
|   | sim TBZ <sub>200#901#1#</sub>  | Circulation pump | 16  | 0                    | 1,00    |

|                          |                |
|--------------------------|----------------|
| Abfrageproblem           |                |
| TBZ                      | TBZ            |
| Position nicht vorhanden | keine Rechnung |
| Circulation pump         | 16             |

## A.10 Detailergebnisse sim FID

**Tabelle 53: sim FID der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0680 „Kolben/Kolbenkühlung“ (eigene Darstellung)**

Sub-Fallbasis: W 0680 "Kolben/Kolbenkühlung"

| ATID                               | B20          |                   |          |         | A20      |                 |      |
|------------------------------------|--------------|-------------------|----------|---------|----------|-----------------|------|
| FID                                | F0000022     |                   | F0000023 |         | F0000024 |                 |      |
| AID                                | X26036_1     |                   | X23477_1 |         | X26808_1 |                 |      |
| sim ATID                           | 1            |                   | 1        |         | 0        |                 |      |
| Anzahl enthaltene Positionen $P_i$ | 9            |                   | 8        |         |          |                 |      |
| sim $P_{ges}$                      | 9            |                   | 7        |         |          |                 |      |
| sim $P_i$                          | sim P        | 200#120#100#1#    | 1        | sim P   |          | 200#120#100#3#  | 0    |
|                                    | sim P        | 200#120#100#5#    | 1        | sim P   |          | 200#120#100#    | 1    |
|                                    | sim P        | 200#120#100#7#    | 1        | sim P   |          | 200#120#100#5#  | 1    |
|                                    | sim P        | 200#120#100#1#    | 1        | sim P   |          | 200#120#100#    | 1    |
|                                    | sim P        | 200#120#100#5#    | 1        | sim P   |          | 200#120#100#5#  | 1    |
|                                    | sim P        | 200#120#100#7#    | 1        | sim P   |          | 200#120#8000#1# | 1    |
|                                    | sim P        | 200#120#8000#1#9# | 1        | sim P   |          | 200#120#8000#3# | 1    |
|                                    | sim P        | 200#120#8000#3#   | 1        | sim P   |          | 200#120#8000#7# | 1    |
|                                    | sim P        | 200#120#8000#7#   | 1        |         |          |                 |      |
| sim $TBZ_i$                        | sim TBZ      | 200#120#100#1#    | 1,00     | sim TBZ |          | 200#120#100#3#  | 0,00 |
|                                    | sim TBZ      | 200#120#100#5#    | 0,51     | sim TBZ |          | 200#120#100#    | 0,60 |
|                                    | sim TBZ      | 200#120#100#7#    | 0,44     | sim TBZ |          | 200#120#100#5#  | 0,34 |
|                                    | sim TBZ      | 200#120#100#1#    | 1,00     | sim TBZ |          | 200#120#100#    | 0,60 |
|                                    | sim TBZ      | 200#120#100#5#    | 0,51     | sim TBZ |          | 200#120#100#5#  | 0,34 |
|                                    | sim TBZ      | 200#120#100#7#    | 0,44     | sim TBZ |          | 200#120#8000#1# | 1,00 |
|                                    | sim TBZ      | 200#120#8000#1#9# | 1,00     | sim TBZ |          | 200#120#8000#3# | 0,60 |
|                                    | sim TBZ      | 200#120#8000#3#   | 0,60     | sim TBZ |          | 200#120#8000#7# | 1,00 |
|                                    | sim TBZ      | 200#120#8000#7#   | 1,00     |         |          |                 |      |
| sim FID                            | <b>15,50</b> |                   | 11,48    |         | 0        |                 |      |

**Tabelle 54: sim FID der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 0986 „Elastomerteile“ (eigene Darstellung)**

| Sub-Fallbasis: W 0986 „Elastomerteile“      |   | B20   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |
|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|--|
| ATID  | F0000025  | F0000026  | F0000027   | F0000028  | F0000029  | F0000030  | F0000031  | F0000032  |   |   |  |
| AD  | X26036_1  | X17443_1  | X18172_1   | X18376_1  | X21739_1  | X25843_1  | X29389_1  | X29771_1  |   |   |  |
| sim ATID                                    | 1   | 12  | 11   | 12  | 11  | 12  | 1   | 1   |   |   |  |
| sim P <sub>ges</sub>                        | 8   | 8   | 11   | 11  | 8   | 8   | 5   | 6   |   |   |  |
| Anzahl enthaltene Positionen P <sub>i</sub> | 12  | 8   | 11   | 11  | 8   | 8   | 5   | 6   |   |   |  |
| sim P <sub>i</sub>                          | sim P <sub>200#160#2#</sub><br>sim P <sub>200#160#3#</sub><br>sim P <sub>200#160#4#</sub><br>sim P <sub>200#160#7#</sub><br>sim P <sub>200#160#9#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#2#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#3#</sub> | sim P <sub>200#50#5#100#</sub><br>sim P <sub>200#160#2#</sub><br>sim P <sub>200#160#3#</sub><br>sim P <sub>200#160#4#</sub><br>sim P <sub>200#160#7#</sub><br>sim P <sub>200#160#9#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#2#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#3#</sub> | sim P <sub>200#1330#5#13#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#12#</sub><br>sim P <sub>200#1330#12#</sub><br>sim P <sub>200#160#2#</sub><br>sim P <sub>200#160#3#</sub><br>sim P <sub>200#160#4#</sub><br>sim P <sub>200#160#7#</sub><br>sim P <sub>200#160#9#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#2#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub> | sim P <sub>200#1330#5#10#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#12#</sub><br>sim P <sub>200#160#2#</sub><br>sim P <sub>200#160#3#</sub><br>sim P <sub>200#160#4#</sub><br>sim P <sub>200#160#7#</sub><br>sim P <sub>200#160#9#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#2#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub> | sim P <sub>200#50#5#100#</sub><br>sim P <sub>200#160#2#</sub><br>sim P <sub>200#160#3#</sub><br>sim P <sub>200#160#4#</sub><br>sim P <sub>200#160#7#</sub><br>sim P <sub>200#160#9#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#2#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub> | sim P <sub>200#1330#5#10#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#12#</sub><br>sim P <sub>200#160#2#</sub><br>sim P <sub>200#160#3#</sub><br>sim P <sub>200#160#4#</sub><br>sim P <sub>200#160#7#</sub><br>sim P <sub>200#160#9#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#2#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub> | sim P <sub>200#1330#5#10#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#12#</sub><br>sim P <sub>200#160#2#</sub><br>sim P <sub>200#160#3#</sub><br>sim P <sub>200#160#4#</sub><br>sim P <sub>200#160#7#</sub><br>sim P <sub>200#160#9#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#2#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub> | sim P <sub>200#1330#5#10#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#12#</sub><br>sim P <sub>200#160#2#</sub><br>sim P <sub>200#160#3#</sub><br>sim P <sub>200#160#4#</sub><br>sim P <sub>200#160#7#</sub><br>sim P <sub>200#160#9#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#2#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub> | sim P <sub>200#1330#5#10#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#12#</sub><br>sim P <sub>200#160#2#</sub><br>sim P <sub>200#160#3#</sub><br>sim P <sub>200#160#4#</sub><br>sim P <sub>200#160#7#</sub><br>sim P <sub>200#160#9#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#2#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub> | sim P <sub>200#1330#5#10#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#12#</sub><br>sim P <sub>200#160#2#</sub><br>sim P <sub>200#160#3#</sub><br>sim P <sub>200#160#4#</sub><br>sim P <sub>200#160#7#</sub><br>sim P <sub>200#160#9#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub><br>sim P <sub>200#1330#5#2#</sub><br>sim P <sub>200#170#1#</sub><br>sim P <sub>200#170#5#</sub> |  |
| sim TBZ                                     | 0,00  | 0,00  | 0,59   | 0,59  | 0,59  | 0,59  | 0,00  | 0,00  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 0,00  | 0,00  | 0,58   | 0,58  | 0,58  | 0,58  | 0,59  | 0,59  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 0,00  | 0,00  | 0,53   | 0,53  | 0,53  | 0,53  | 0,59  | 0,59  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 0,59  | 0,59  | 1,00   | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 0,59  | 0,59  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 0,50  | 0,50  | 0,58   | 0,58  | 0,58  | 0,58  | 0,50  | 0,50  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 0,58  | 0,58  | 0,53   | 0,53  | 0,53  | 0,53  | 0,59  | 0,59  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 1,00  | 1,00  | 0,54   | 0,54  | 0,54  | 0,54  | 1,00  | 1,00  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 1,00  | 1,00  | 0,58   | 0,58  | 0,58  | 0,58  | 0,59  | 0,59  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 0,58  | 0,58  | 0,54   | 0,54  | 0,54  | 0,54  | 0,59  | 0,59  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 0,58  | 0,58  | 0,54   | 0,54  | 0,54  | 0,54  | 0,59  | 0,59  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 1,00  | 1,00  | 0,54   | 0,54  | 0,54  | 0,54  | 1,00  | 1,00  |   |   |  |
| sim TBZ                                     | 1,00  | 1,00  | 0,54   | 0,54  | 0,54  | 0,54  | 1,00  | 1,00  |   |   |  |
| sim FID                                     | 13,36   | 13,36   | 17,97  | 17,97   | 13,36   | 13,36   | 8,20  | 9,59  |   |   |  |

**Tabelle 55: sim FID der Einzelfälle der Sub-Fallbasis W 2049 „Kurbelgehäuseentlüftung“ und W 1499 „Motorkühlwasserpumpe“ (eigene Darstellung)**

| Sub-Fallbasis: W 2049 "Kurbelgehäuseentlüftung" |             | B20      |          |             |
|---|-------------|----------|----------|-------------|
| ATID  | F0000033    | F0000034 | F0000035 | F0000036    |
| FID   | X26036_1    | X18376_1 | X23477_1 | X29668_1    |
| sim ATID  | 1           | 1        | 1        | 1           |
| sim ATID  | 2           | 1        | 2        | 3           |
| sim ATID  | 2           | 1        | 2        | 0           |
| sim P <sub>ges</sub>                            | 1           | 1        | 1        | 0           |
| sim P <sub>i</sub>                              | 1           | 1        | 1        | 0           |
| sim TBZ <sub>i</sub>                            | 1,00        | 0,38     | 0,60     | 0,00        |
| sim TBZ   | 1,00        | 0,38     | 0,38     | 0,00        |
| sim FID   | <b>4,00</b> | 1,38     | 2,98     | 0,00        |
| Sub-Fallbasis: W 1499 "Motorkühlwasserpumpe"    |             | B20      |          |             |
| ATID  | F0000037    | F0000038 | F0000039 | F0000040    |
| FID   | X26036_1    | X17443_1 | X18376_1 | X19211_1    |
| sim ATID  | 1           | 1        | 1        | 1           |
| sim ATID  | 2           | 2        | 2        | 2           |
| sim ATID  | 2           | 1        | 2        | 2           |
| sim P <sub>ges</sub>                            | 1           | 1        | 1        | 1           |
| sim P <sub>i</sub>                              | 1           | 1        | 1        | 1           |
| sim TBZ <sub>i</sub>                            | 0,28        | 0,00     | 0,54     | 0,54        |
| sim TBZ   | 1,00        | 1,00     | 0,40     | 1,00        |
| sim FID   | 3,28        | 2,00     | 2,94     | <b>3,54</b> |
|   |             |          |          | 2,00        |

## Verzeichnis betreuter Studienarbeiten

Die nachfolgend angeführten Diplomarbeiten wurden im Rahmen der vorliegenden Dissertation am Institut für Managementwissenschaften (IMW) der TU Wien verfasst. Die Bearbeitung erfolgte unter signifikanter wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Betreuung und Anleitung des Autors der vorliegenden Dissertation. Die angeführten Arbeiten untersuchen unterschiedliche Einzelfragestellungen im Kontext des Ersatzteilmanagements. Die Arbeitsergebnisse sind punktuell in die Abgrenzung des Untersuchungsraums sowie die Entwicklung des Proof-of-Concept Demonstrators eingeflossen. Der Autor dankt allen Diplomanden für Ihr Engagement und Unterstützung.

**Tabelle 56: Verzeichnis betreuter Diplomarbeiten im Bereich Ersatzteilmanagement (eigene Darstellung)**

|                 |   |
|-----------------|---|
| Gaal, A.        | Konzipierung von Leistungs- und Effizienzsteigerungspaketen für Gasmotoren – Softwaregestützte Generierung von Bauteilpaketen für After Sales Produkte eines Investitionsgüterherstellers                           |
| Gumpinger, S.   | Konzipierung von Ersatzteilpaketen im Bereich des Anlagen- und Maschinenbaus  |
| Hofbauer, L.    | Entwicklung von Prognoseverfahren für Ersatzteilbedarfe von Gasmotoren: Analyse von gängigen Prognoseverfahren sowie Prüfung von neuartigen Prognoseverfahren für ausgewählte Ersatzteile hinsichtlich des Bedarfes |
| Prack, J.       | Komplexitätsmanagement von Ersatzteilen   |
| Schmidhofer, R. | Entwicklung von Ersatzteilpackages für Gasmotoren – Konzeption von Ersatzteilpaketen für planmäßige Wartungen ausgesuchter Baureihen eines Maschinen- und Anlagenherstellers  |
| Schröder, C.    | Entwicklung von Ersatzteil-Packages für Gasmotoren – Umsetzung in der Auftragsabwicklung  |
| Stipsicz, F.    | Operatives Variantenmanagement am Beispiel eines Herstellers von Gasmotoren   |



## Curriculum Vitae

### Persönliche Daten

---

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Name, Vorname (akadem. Grad) | RIESTER, Martin (MBE)                     |
| Staatsangehörigkeit          | Deutsch                                   |
| Geburtsdatum und -ort        | 27. November 1985, Hechingen, Deutschland |

### Beruflicher Werdegang

---

|                   |   |
|-------------------|---|
| 07/2020 – dato    | Geschäftsbereichsleiter Logistik und Supply Chain Management, Fraunhofer Austria Research GmbH, Wien, Österreich                                      |
| 01/2017 – 06/2020 | Gruppenleiter Logistiksysteme und Transport, Fraunhofer Austria Research GmbH, Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement, Wien, Österreich |
| 06/2014 – 12/2016 | Gruppenleiter Logistikmanagement, Fraunhofer Austria Research GmbH, Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement, Wien, Österreich            |
| 01/2014 – 05/2014 | Projektleiter Logistikmanagement, Fraunhofer Austria Research GmbH, Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement, Wien, Österreich            |
| 08/2011 – 09/2016 | Projektassistent, Technische Universität Wien, Institut für Managementwissenschaften, Betriebstechnik und Systemplanung, Wien, Österreich             |
| 04/2011 – 12/2013 | Wissenschaftlicher Mitarbeiter Logistikmanagement, Fraunhofer Austria Research GmbH, Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement, Wien       |
| 09/2009 – 03/2011 | Trainee International Logistics, Red Bull GmbH, Fuschl am See, Österreich   |

### Akademische Laufbahn

---

|                   |  |
|-------------------|--|
| 09/2013 – 11/2020 | Doktoratsstudium der technischen Wissenschaften, Wirtschaftsingenieurwesen – Maschinenbau, Technische Universität Wien, Österreich |
| 09/2009 – 03/2011 | Master of Business and Engineering, General Management, Steinbeis Hochschule Berlin, Deutschland                                   |
| 04/2006 – 07/2009 | Bachelor of Engineering, Wirtschaftsingenieurwesen – Maschinenbau, Hochschule Esslingen, Deutschland                               |