

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Lehrstuhl für Produktentwicklung

# **Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen**

**Wolfgang M. Lauer**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität  
München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor-Ingenieurs**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. phil. Klaus Bengler  
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann  
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack,  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Die Dissertation wurde am 20.01.2010 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen  
am 10.05.2010 angenommen.



# VORWORT DES HERAUSGEBERS

## **Problemstellung**

Die zunehmende Komplexität der Produkte und auch die erweiterten Dokumentationsmöglichkeiten führen vor dem Hintergrund steigender Anforderungen aus rechtlicher Sicht zu vielfältigen und auch unterschiedlichen Dokumenten. Hier sind besonders Mitarbeiter in der Produktentwicklung gefordert, da hier ein großer Teil dieser Dokumente erstellt wird. Allerdings sind nicht alle Informationen für sie und ihre Aufgaben relevant. Dadurch entsteht neben der verbesserten Informationsgrundlage gleichzeitig auch ein Informationsüberfluss, der die Auswahl und Nutzung relevanter Informationen behindert. Entwicklungsprozesse werden so verzögert und die Qualität der Ergebnisse durch ungeeignete Auswahl der Informationen gefährdet. Unternehmen müssen sich deshalb der Herausforderung stellen, wie sie am Entwicklungsprozess beteiligten Personen die richtigen Produktinformationen zur richtigen Zeit effizient zur Verfügung stellen. Dabei müssen dem Nutzer relevante Produktinformationen so bereitgestellt werden, dass er keine zusätzliche Zeit für die Suche aufwenden muss. Zwar existieren unterstützende IT-Werkzeuge wie Produktdatenmanagement- und Produktlebenszyklusmanagementsysteme (PDM/PLM-Systeme) oder Prozessmanagement- und Workflowmanagementsysteme (WFM-Systeme). Aber PDM/PLM-Systeme fokussieren auf die durchgängige Datenverwaltung, während letztere dies mit der Planung von Workflows kombinieren. WFM-Systeme beherrschen dabei nur administrative Prozesse und können nur Daten bzw. Dokumente, wie z. B. Meilensteindokumente, bereitstellen, welche vor der Ausführung des Prozesses definiert werden können. Andere Dokumente mit Produktinformationen (z. B. Konzeptbeschreibungen, CAD-Dateien, Simulationsergebnisse), die als wichtige Informationsspeicher und -quellen bei der Entwicklungstätigkeit dienen, können jedoch nur selten vor dem Start einer Produktentwicklung in einem System abgebildet werden. Sie werden im Laufe der Produktentwicklung ständig weiterentwickelt und verändert. Die Bereitstellung von sich ändernden Dokumenten wird zusätzlich durch nicht vorhersehbare Prozessabläufe erschwert. Bestehende Systeme zur Informationsbereitstellung stoßen daher bei dynamischen Produktentwicklungsprozessen an ihre Grenzen.

## **Zielsetzung**

In dieser Arbeit soll eine Beschreibungsmethode von Dokumenten und Entwicklungsprozessen entwickelt werden, welche die gezielte Bereitstellung von relevanten Produktinformationen in dynamischen Produktentwicklungsprozessen unterstützt. Dadurch soll eine dynamische Anpassung der Verknüpfungen von entwicklungsrelevanten Dokumenten mit einem Entwicklungsprozess ermöglicht werden. Als Lösungsansatz wird eine gemeinsame parametrische Beschreibungsmethode verfolgt, welche Dokumente und Prozessschritte in einen gemeinsamen Entwicklungsraum einordnet und so miteinander in Beziehung setzt. Für einen sinnvollen Einsatz in der Praxis ist eine IT-Unterstützung der Methode prototypisch umzusetzen, die es dem Entwickler während des Entwicklungsprozesses ermöglicht, die Beschreibung von Dokumenten anzupassen und mit dem Prozess halbautomatisch zu verknüpfen.

## **Ergebnisse**

Das Konzept eines Entwicklungsraumes wurde mittels der Definition der parameterbasierten Beschreibungsmethode von Dokumenten umgesetzt. Durch Analysen bestehender Informationslandschaften in Unternehmen konnten die 5 wesentlichen Beschreibungsparameter Inhalt, Verwendungszweck, Konkretisierungsgrad, restlicher Entwicklungsaufwand und Vernetzungsgrad definiert werden. Ebenso eignen sich diese Parameter auch zur Einordnung der Prozessschritte in den Entwicklungsraum. Die entwickelte Beschreibungsmethode ermöglicht es somit, Dokumente und Prozessschritte zueinander in Beziehung zu setzen. Die durch die Dynamik der Prozesse und Dokumente begründete Änderung der gegenseitigen Relevanz kann dadurch semiautomatisch berechnet werden. Es können also bestehende oder neue Prozessschritte sowie bestehende als auch veränderte Dokumente im laufenden Prozess miteinander verknüpft werden. Mit einem prototypisch erstellten Softwarewerkzeug konnte die Nutzung der Methode und ihrer Vorteile für die Praxis gezeigt werden. Die Evaluation der Methode in einem praktischen Anwendungsbeispiel zeigt ihre Effektivität und Anwendbarkeit in der Produktentwicklung.

## **Folgerungen für die industrielle Praxis**

Die existierenden starren WFM-Systeme bieten kaum Unterstützung bei kreativen, iterativen und flexiblen Prozessen, da solche Prozesse nicht standardisiert im Prozessmodell abgebildet werden können. Bei einer Ergänzung solcher Systeme mit der hier entwickelten Methode können diese Entwicklungsprozesse durch eine gezielte Informationsversorgung der Entwickler unterstützt werden. Dies kann sowohl die Qualität der Ergebnisse (Steigerung der Effektivität) verbessern als auch den Aufwand für die Informationsbeschaffung reduzieren (Steigerung der Effizienz).

## **Folgerungen für Forschung und Entwicklung**

Im Zuge dieser Arbeit kann festgestellt werden, dass bisher noch keine prozessorientierte Strukturierung von Dokumenten existierte. Das Problem der Verknüpfung zwischen dynamischen Entwicklungsprozessen mit dafür relevanten Informationen war noch nicht gelöst. Ein Schritt zur Lösung dieser Problematik bietet der hier entwickelte Lösungsansatz, der eine dynamische Assoziation von Produktinformationen und Prozessen unterstützt. Dieser Beitrag zur verbesserten Informationsbereitstellung kann auch als Ausgangspunkt für eine Erweiterung dieser Assoziation auf andere Informationstypen (z. B. organisatorische Informationen) über Produktinformationen hinaus genutzt werden.

Garching, im September 2010

Prof. Dr. -Ing. Udo Lindemann  
Lehrstuhl für Produktentwicklung  
Technische Universität München

## DANKSAGUNG

Zu meiner Dissertation leisteten viele Menschen Ihren Beitrag – bewusst oder unbewusst. An dieser Stelle möchte ich allen von ganzem Herzen danken. Ohne Ihre/eure Unterstützung wäre Vieles für mich nicht möglich gewesen.

Besonders danke ich...

...Prof. Lindemann für die Betreuung meiner Arbeit, für die vielseitigen Möglichkeiten am Lehrstuhl und das entgegengebrachte Vertrauen. Es war eine sehr lehrreiche und wichtige Zeit für mich am Lehrstuhl, die mich sehr gut auf meine jetzige Tätigkeit vorbereitet hat.

...Prof. Wartzack für die hilfreichen Anmerkungen und das 2.-Gutachten.

...Prof. Bengler für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Außerdem haben mich viele meiner Ex-Kollegen, Studenten und Partner in der Industrie tatkräftig unterstützt. Insbesondere bedanke ich mich bei...

...Herrn Andreas Weber für die fruchtbaren Gespräche und Ideen.

...Julia Roelofsen für die gute Zusammenarbeit im Forschungsprojekt FORFLOW, am Lehrstuhl und das Korrekturlesen meiner Arbeit.

...allen Beteiligten Kollegen und Studenten des eKart-Projekts für die erfolgreiche Zusammenarbeit und v. a. Prof. Lindemann, der uns dieses Projekt ermöglichte.

...Stefan Langer für die Entlastung bei der Projektleitung während meiner Elternzeit und der heißen Phase vor dem Einreichen meiner Arbeit.

...allen Kollegen für die gute Atmosphäre am Lehrstuhl und die facettenreichen Gespräche, Feedback und Impulse. Ich habe gerne mit euch diskutiert und auch gelacht!

Abschließend möchte ich meiner ganzen Familie, v. a. aber meiner Frau Steffi danken. Du standest mir von Anfang an bei meinem Vorhaben entlastend und verständnisvoll zur Seite, hast mir den Rücken frei gehalten und auf viele Unternehmungen verzichtet. Um unsere Amelie hast du dich sehr liebevoll gekümmert und alles trotz meiner Dissertation hervorragend gemeistert. Ich freue mich darauf, dir und Amelie jetzt einiges zurückgeben zu können.

Meinen Eltern danke ich dafür, dass Sie mich durch meine jungen Jahre geboxt und dabei immer auf meine Fähigkeiten vertraut haben. Dadurch konnte ich immer unabhängig und selbständig meine Ziele verfolgen. Ebenso danke ich meinen Schwiegereltern für ihre Unterstützung in allen Bereichen, v. a. aber für ihre Grill- und Kochkünste, welche mich stets bei Kräften gehalten haben. Zu guter Letzt danke ich meinem Bruder Christian, der zusammen mit meinen Eltern meine Arbeit Korrektur gelesen und wertvolle wissenschaftliche Anmerkungen gemacht hatte.

Herzlichen Dank

Wolfgang Lauer, Bamberg 2010



*für*  
*Amelie und Stefanie*





## VORVERÖFFENTLICHUNGEN

Lauer, W; Lindemann, U (2009)

Dynamic Linking And Retrieval Of Product Models To Product Development Processes. In: 17th International Conference on Engineering Design, Stanford University, California, USA, Design Society.

Lauer, W; Lindemann, U (2008)

Initial Steps of Developing a Process Integrative Structuring of Documents Containing Product Information. In: DESIGN 2008, Dubrovnik, The Design Society.

Lauer, W; Faerber, M; Roelofsen, J; Jochaud, F; Jablonski, S; Lindemann, U (2008)

Process Management System for the Integration of Situation Dependent Process Planning. In: 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Singapur.

Lauer, W; Ponn, J; Lindemann, U (2007)

Purposeful Integration of Product Models into the Product Development Process. In: 16th International Conference on Engineering Design ICED 2007 (ICED'07), Paris, Frankreich.

Lauer, W; Lindemann, U; (2007)

Prozessorientierte Strukturierung von Produktmodellen in Produktentwicklungsprozessen. Berliner Kreis Newsletter, 9.



# INHALTSVERZEICHNIS

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Ausgangssituation und Problemstellung                                 | 1         |
| 1.2      | Zielsetzung und Abgrenzung des Themengebietes                         | 5         |
| 1.3      | Nutzen für Wissenschaft und industrielle Praxis                       | 8         |
| 1.4      | Struktur der Arbeit   | 9         |
| <b>2</b> | <b>Informationsbereitstellung in der Produktentwicklung</b>           | <b>11</b> |
| 2.1      | Grundlegende Begriffe   | 11        |
| 2.2      | Informationslandschaft und Dokumente                                  | 17        |
| 2.3      | Dynamische Entwicklungsprozesse                                       | 21        |
| 2.4      | Informationsbereitstellung in der industriellen Praxis                | 23        |
| 2.4.1    | Informationssysteme und Metainformationen                             | 25        |
| 2.4.2    | Anwendungsbeispiel: PDM-System  | 31        |
| 2.4.3    | Anwendungsbeispiel: TUfast  | 33        |
| 2.4.4    | Fazit   | 35        |
| 2.5      | Stand der Forschung   | 36        |
| 2.5.1    | Strukturierung von Informationen                                      | 36        |
| 2.5.2    | Integration von Produkt- und Prozessmodell                            | 40        |
| 2.5.3    | Prozessorientierte Informationssysteme                                | 43        |
| 2.5.4    | Semantisches Netz und Ontologie                                       | 49        |
| 2.5.5    | Ähnlichkeit und Indexierung   | 51        |
| 2.5.6    | Fazit   | 56        |
| 2.6      | Identifizierte Verbesserungspotentiale und Forschungsbedarf           | 58        |
| <b>3</b> | <b>Lösungsansatz: Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung</b> | <b>61</b> |
| 3.1      | Beschreibungsbasierte Methode   | 61        |
| 3.2      | Parameterbasierter Ansatz   | 62        |
| 3.3      | Entwicklungsraum  | 64        |
| 3.4      | Ähnlichkeitsmaß und Relevanzbestimmung                                | 66        |
| 3.5      | Hypothesen  | 67        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>4</b> | <b>Entwicklung einer integrativen Dokumenten- und Prozessbeschreibung</b> | <b>69</b>  |
| 4.1      | Überblick des Vorgehens   | 69         |
| 4.2      | Anforderungen an eine Beschreibungsmethode                                | 70         |
| 4.3      | Dokumentenlandschaft  | 72         |
| 4.3.1    | Literaturrecherche  | 73         |
| 4.3.2    | Industriell eingesetztes PDM-System                                       | 74         |
| 4.3.3    | Entwicklungsprojekt   | 75         |
| 4.3.4    | Identifizierte Dokumentenlandschaft                                       | 77         |
| 4.4      | Eigenschaftsbeschreibungen der Dokumente                                  | 78         |
| 4.5      | Strukturmerkmale und Ausprägungen   | 80         |
| 4.6      | Charakterisierungsmöglichkeiten von Prozessschritten                      | 85         |
| 4.7      | Beschreibungsparameter und Parameterwerte                                 | 87         |
| 4.7.1    | Definition prozessorientierter Beschreibungsparameter                     | 87         |
| 4.7.2    | Definition und Codierung der Parameterwerte                               | 91         |
| 4.8      | Kalibrierung der Beschreibungsmethode                                     | 97         |
| 4.8.1    | Anordnung der Parameterwerte  | 98         |
| 4.8.2    | Korrelationsanalyse und Gewichtung der Parameter                          | 101        |
| 4.8.3    | Abgleich mit Referenzsystem: Präzision und Vollständigkeit                | 104        |
| 4.8.4    | Definition der Relevanzgrenzen  | 110        |
| 4.8.5    | Überprüfung der Parameteranzahl   | 111        |
| 4.9      | Zusammenfassung der entwickelten Beschreibungsmethode                     | 115        |
| <b>5</b> | <b>Entwicklung eines Rechnerwerkzeugs zur Methodenunterstützung</b>       | <b>119</b> |
| 5.1      | Anforderungen   | 119        |
| 5.2      | Konzeptentwicklung  | 122        |
| 5.2.1    | 3-Schichten-Architektur   | 123        |
| 5.2.2    | Home-Modul  | 124        |
| 5.2.3    | Web-Modul   | 125        |
| 5.3      | Umsetzung   | 125        |
| 5.3.1    | Datenbank und -managementsystem   | 125        |
| 5.3.2    | Webserver   | 126        |
| 5.3.3    | Graphische Benutzerschnittstelle (GUI)                                    | 126        |
| 5.4      | Zusammenfassung   | 131        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>6</b>  | <b>Evaluation der Beschreibungsmethode</b>                            | <b>133</b> |
| 6.1       | Vorbereitung der Evaluation   | 133        |
| 6.1.1     | Evaluationsgegenstand und -ziel                                       | 133        |
| 6.1.2     | Evaluationsphasen   | 134        |
| 6.1.3     | Funktionen der Evaluation   | 135        |
| 6.2       | Anwendungsbeispiel „Elektrofahrzeugentwicklung“                       | 136        |
| 6.2.1     | Vorgehen  | 136        |
| 6.2.2     | Evaluationskonzept  | 137        |
| 6.2.3     | Evaluationsrahmen: Elektrofahrzeugentwicklung                         | 138        |
| 6.2.4     | Bewertungskriterien   | 140        |
| 6.2.5     | Erhebungsmethode  | 141        |
| 6.2.6     | Durchführung  | 142        |
| 6.2.7     | Auswertung  | 143        |
| 6.3       | Diskussion und Fazit der Evaluation                                   | 146        |
| <b>7</b>  | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                   | <b>149</b> |
| <b>8</b>  | <b>Literaturverzeichnis</b>   | <b>153</b> |
| <b>9</b>  | <b>Anhang A</b>   | <b>173</b> |
| 9.1       | Dokumentenbeschreibungen  | 173        |
| 9.2       | Textanalyse der ausgewählten 10 Dokumente                             | 186        |
| 9.3       | Strukturmerkmale und Ausprägungen                                     | 198        |
| 9.4       | Interviewleitfaden für die Erfassung von Dokumenteneigenschaften      | 201        |
| 9.5       | Interviewleitfaden für die Anordnung der Parameterwerte               | 202        |
| 9.6       | Beschreibungstabelle der Dokumente                                    | 209        |
| 9.7       | Referenzsystem  | 210        |
| 9.8       | Ermittlung der Kennzahlen für die Methodenkalisierung                 | 213        |
| <b>10</b> | <b>Anhang B: Evaluation</b>   | <b>217</b> |
| <b>11</b> | <b>Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung</b> | <b>221</b> |



## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

|         |   |
|---------|---|
| AG      | Aktiengesellschaft  |
| BPM     | Business Process Management   |
| CAD     | Computer Aided Design   |
| CAE     | Computer Aided Engineering  |
| CFD     | Computational Fluid Dynamics  |
| CGI     | Common Gateway Interface  |
| CMS     | Content Management System   |
| DBMS    | Datenbankmanagementsystem   |
| DMS     | Dokumentenmanagementsystem  |
| EAI     | Enterprise Application Integration  |
| EDM     | Engineering Data Management   |
| (e)EPK  | (erweiterte) ereignisgesteuerte Prozessketten                               |
| FBS     | Function-Behavior-Structure/State-Modell                                    |
| FEM     | Finite Element Methode  |
| FMEA    | Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse                                     |
| GUI     | Graphical User Interface (graphische Benutzerschnittstelle)                 |
| HTML    | HyperText Markup Language   |
| HTTP    | Hypertext Transfer Protokoll  |
| IDEF    | Integrated Definition Methods   |
| IEEE    | Institute of Electrical and Electronics Engineers                           |
| IT      | Informationstechnologie   |
| JSP     | Java Server Pages   |
| KVS     | Konstruktionszeichnungsverwaltungssystem                                    |
| mfk     | Maschinenelemente und fertigungsgerechtes Konstruieren                      |
| MS IIS  | Microsoft Internet Information Service                                      |
| OMEGA   | Objektorientierte Methode für die Geschäftsprozessmodellierung und -analyse |
| PEP     | Produktentstehungsprozess   |
| PEP-PDM | Produktdatenmanagementsystem der BMW AG zur Unterstützung des PEP           |

## *II Abkürzungsverzeichnis*

---

|      |  |
|------|--|
| PDM  | Produktdatenmanagement   |
| PHP  | <b>H</b> ypertext <b>P</b> reprocessor                         |
| PLM  | Produktlebenszyklusmanagement                                  |
| PPS  | Produktionsplanung und -steuerung                              |
| SAE  | Society of Automotive Engineers                                |
| SADT | Structured Analysis and Design Technique                       |
| SCM  | Supply Chain Management  |
| SQL  | Structured Query Language                                      |
| SVN  | Subversion   |
| VDI  | Verein Deutscher Ingenieure                                    |
| VDE  | Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. |
| WFM  | Workflowmanagement   |
| UML  | Unified Modeling Language                                      |
| YAWL | Yet Another Workflow Language                                  |



# 1 Einleitung

*Die Produktentwicklung ist heutzutage durch den massiven Einsatz unterstützender Informationstechnologien geprägt. Diese leisten einen entscheidenden Beitrag, die wachsende Produktkomplexität und die für deren Entwicklung benötigten Prozesse zu beherrschen. Es werden zentrale Datenverwaltungssysteme eingesetzt, um die Durchgängigkeit von Produktdaten und -informationen während des gesamten Entwicklungsprozesses gewährleisten zu können. Außerdem werden Workflow- oder Prozessmanagementsysteme eingesetzt, um Informationen während der Ausführung des Prozesses bereitstellen zu können. Allerdings müssen sich diese Systeme auf die Unterstützung wiederholungsintensiver Prozesse beschränken, da sie nur standardisierbare Prozesse abbilden und diese mit entsprechenden Informationen verknüpfen können. Die Produktkomplexität steigt durch dynamische Rahmenbedingungen aus dem Markt oder Politik, aber auch durch das Unternehmen selbst (ULRICH & EPPINGER 2008, S. 13). Eine steigende Produktkomplexität verursacht jedoch Unsicherheiten während der Produktentwicklung, die in Iterationen und situationsabhängigen Entscheidungen resultieren (CROSSLAND et al. 2003, S. 173), (CHALUPNIK et al. 2009, S. 459), (SCHÖTTNER 1999, S. 3), (WYNN et al. 2007, S. 1), (GREBICI et al. 2008, S. 1), (GRUNWALD 2002, S. 14), (ULLMAN 2003, S. 52). Aufgrund dieser Unsicherheiten sind Produktentwicklungsprozesse nicht standardisierbar und bis ins letzte Detail planbar (GRUNWALD 2002, S. 18), (ECKERT & CLARKSON 2003, S. 5). Die vollständige standardisierte Abbildung von dynamischen Produktentwicklungsprozessen in Workflowmanagementsystemen ist daher nicht möglich. Zwar werden Produktentwicklungsprozesse durch administrative Prozesse und zugehörige Informationen unterstützt, wie bei Änderungs- und Freigabeprozessen, aber der Kernprozess und die hierfür benötigten Produktinformationen können nicht direkt unterstützt werden. Um diesen Mangel auszugleichen, wird in Ergänzung zu Workflow- und Produktdatenmanagementsystemen eine Vielzahl an Softwarewerkzeugen für die Suche bestimmter Informationen eingesetzt. Allerdings nimmt die Suche nach Informationen wertvolle Zeit in Anspruch, die durch eine gezielte Bereitstellung von Dokumenten bzw. Informationen reduziert werden kann. Entscheidend für die gezielte Bereitstellung der Dokumente ist die Berücksichtigung von unvorhergesehenen Prozessverläufen. Aus diesem Grund beschäftigt sich diese Arbeit mit der Erforschung einer dynamischen Verknüpfung von Dokumenten und Produktentwicklungsprozessen, welche auch bei iterativen, schwer planbaren Entwicklungsprozessen eine durchgängige Informationsversorgung ermöglicht.*

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Unternehmen optimieren die Abläufe ihrer Produktentwicklung fortwährend, um ihre Produkte möglichst vor dem Wettbewerber und bei verbesserter Kosteneffizienz am Markt zu platzieren. Mit steigendem Wettbewerbsdruck sowie steigender Nachfrage nach individuellen Sonderlösungen ist ein permanenter Innovationsbedarf und -druck der eigenen Produkte verbunden (WHITNEY et al. 1999, S. 2), (SCHÄFER 2006, S. 6). Zum einen werden die Produkte

zunehmend komplexer und zum anderen müssen Entwicklungsprozesse an diese steigende Komplexität angepasst werden. Zudem wird der Kosten- und Innovationsdruck z. B. in der Automobilindustrie in Zukunft zunehmen. Daher ist für die Sicherung des Unternehmenserfolgs eine Steigerung der Effizienz und Effektivität der Geschäftsprozesse erforderlich (RADTKE et al. 2004, S. 17 ff.). Besonders die Effizienz und Effektivität von Entwicklungsprozessen spielen dabei eine entscheidende Rolle für die schnelle Markteinführung von Produkten. Deswegen muss sich gerade das Prozessmanagement zur Optimierung der Abläufe mit der Erhebung, Modellierung und Analyse von Prozessen beschäftigen. Vor allem bei der Prozesserschaffung müssen vielfältige Aspekte, wie z. B. die Aufgaben-, Organisations-, Arbeitsmittel- und Datensicht sowie deren Integration und die involvierten Mitarbeiter, berücksichtigt werden (HOFFMANN 1998, S. 58). Gruppen- und Einzelinterviews, Prozessworkshops, schriftliche Befragungen, Dokumentenanalysen und Beobachtungen müssen mit großem Aufwand durchgeführt werden (HOFFMANN 1998, S. 58), (VICON GMBH 2003, S. 10). Zusätzlich sieht sich das Prozessmanagement mit wachsenden Anforderungen konfrontiert, weil sich Anforderungen nicht auf die Prozessabläufe alleine beschränken. Auch die für die Durchführung der Prozesse benötigten Informationen sind aufgrund von verteilten Arbeits- und Entscheidungsprozessen, steigendem Kommunikationsaufwand und der Komplexität der Entwicklungsaufgaben immer vielfältiger und umfangreicher (SCHMITT 2000, S. 47), (CHIRRA et al. 2006, S. 738). Gerade im Umfeld komplexer Produktentwicklungsprozesse spielen technische Produktinformationen eine große Rolle, denn sie spiegeln den aktuellen Stand der Produkte oder ihrer Einzelteile wider. Sie werden in allen Phasen der Produktentwicklung in Form von Dokumenten (Anforderungslisten, Patente, Lösungsskizzen, usw.) gespeichert und auch verändert. Außerdem werden sie für die Ausführung von Prozessschritten zur Verfügung gestellt (siehe Bild 1-1). Gleichzeitig findet auch zwischen den Dokumenten ein Informationsfluss statt, der z. B. durch Veränderungen eines Dokuments und Übertragung auf andere Dokumente entsteht (Konsistenz) (siehe Bild 1-1).

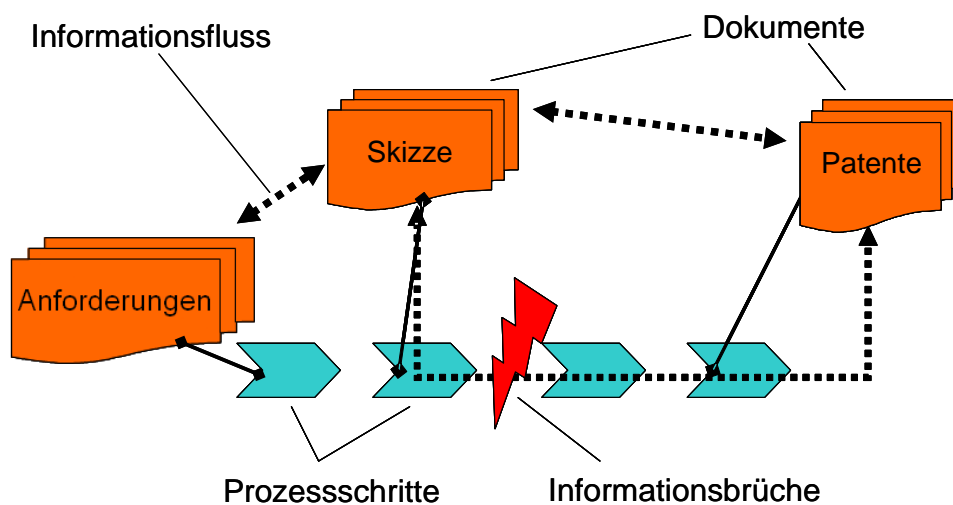


Bild 1-1: Dokumente, Informationsfluss und Informationsbrüche im Kontext der technischen Produktentwicklung

Der Kommunikationsaufwand für die Koordination in Prozessen nimmt vor allem bei der verteilten Produktentwicklung zu (CHIRA et al. 2006, S. 738). Er steigt durch die Vielzahl an unterschiedlichsten Kommunikationskanälen (ECKERT et al. 2001, S. 6) und die Datenverwaltung, welche Inkonsistenzen und damit Informationsbrüche entstehen lassen (siehe Bild 1-1) (SCHÄPPI et al. 2005, S. 422), (SCHÄFER 2006, S. 35). Ein Informationsbruch beschreibt dabei den Umstand, dass eine Information nicht mehr durchgängig im Prozess verfügbar ist, weil die Informationsmenge nicht mehr beherrschbar ist. Einen typischen Informationsbruch stellt deshalb z. B. das Vernachlässigen einer Anforderung dar, die in der Gestaltungsphase für eine zielgerichtete Konstruktion aber notwendig gewesen wäre. Verursacht werden solche Informationsbrüche durch Medienbrüche in Form von unterschiedlichen Datenformaten, unklaren Verantwortlichkeiten oder auch mangelnder Synchronisation der Abläufe (KALUZA & BLECKER 2000, S. 348). Informationsbrüche führen zu Fehlern und verlangsamten Prozessen, da der Aufwand für die nachträgliche Informationsbeschaffung und die Fehlerkorrektur steigt. Der Informationsfluss zwischen Dokumenten selbst und über Prozessschritte hinweg wird daher durch Informationsbrüche empfindlich gestört.

Erschwert wird die Informationsbeschaffung durch fehlende semantische Strukturen von Dokumenten (DEL-REY-CHAMARRO 2003, S. 2). Vor allem die Art der Dokumentenstrukturierung beeinflusst die Durchführung von Entwicklungsprozessen, denn sie legt die Möglichkeiten für die gezielte Informationsbereitstellung fest. Bestehende IT-Systeme zur Datenverwaltung, wie z. B. Produktdaten- und Engineering Data Management Systeme (PDM/EDM), unterstützen zwar die Beherrschung der Datenvielfalt, basieren aber auf hierarchischen Produktstrukturen (siehe Bild 1-2), die nicht für eine prozessorientierte Informationsbereitstellung geeignet sind. Durch die strikte Orientierung an der Produktstruktur lässt sich kein Bezug zu einzelnen Prozessschritten herstellen, was aber für die Bereitstellung der richtigen Information zum richtigen Zeitpunkt für die richtige Person entscheidend ist (WEBER et al. 2002, S. 101).

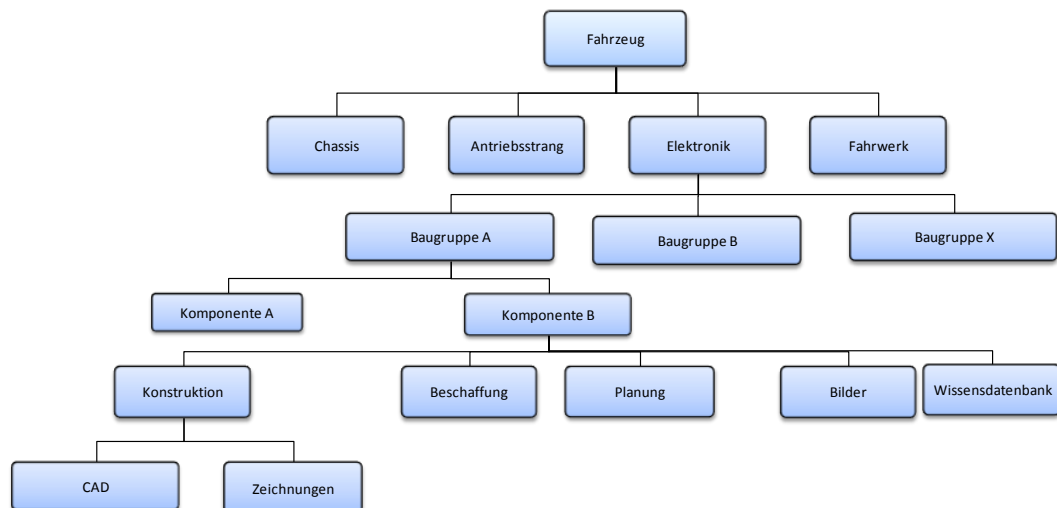


Bild 1-2: Exemplarische hierarchische Produktstruktur eines Fahrzeugs

Zur Prozessunterstützung in Unternehmen wurden außerdem Prozess- und Workflowmanagementsysteme entwickelt. Diesen Systemen liegen vordefinierte unternehmensspezifische Prozesse und alle für deren Durchführung benötigten Ressourcen, Werkzeuge und Informationen zugrunde. Durch diese direkte Verknüpfung können Informationen prozessspezifisch zur Verfügung gestellt werden (prozessorientierte Systeme). Allerdings müssen die hinterlegten Prozesse und Informationen aufwendig im Vorfeld modelliert und standardisiert werden, was nur für wiederholungsintensive Prozesse, wie z. B. administrative Prozesse oder Fertigungsprozesse, möglich ist. Sollen aber Produktentwicklungsprozesse modelliert werden, gelingt dies nur bedingt (GOESMANN 2002, S. 4), weil Produktentwicklungsprozesse typischerweise häufigen, unvorhersehbaren Änderungen im Ablauf unterworfen sind. Vor allem bei der Entwicklung innovativer Produkte entstehen erst während der Entwicklung neue Erkenntnisse bzw. Informationen, die den Ablauf beeinflussen (BROWNING & LÉVÁRDY 2009, S. 2). Zusätzlich müssen neue Informationen, wie z. B. geänderte Anforderungen aus den zunehmend dynamischen Märkten, berücksichtigt werden (GRUNWALD 2002, S. 16). Produktentwicklungsprozesse sind daher nicht vollständig reproduzierbar und müssen als dynamisch betrachtet werden (SCHÄPPI et al. 2005, S. 429).

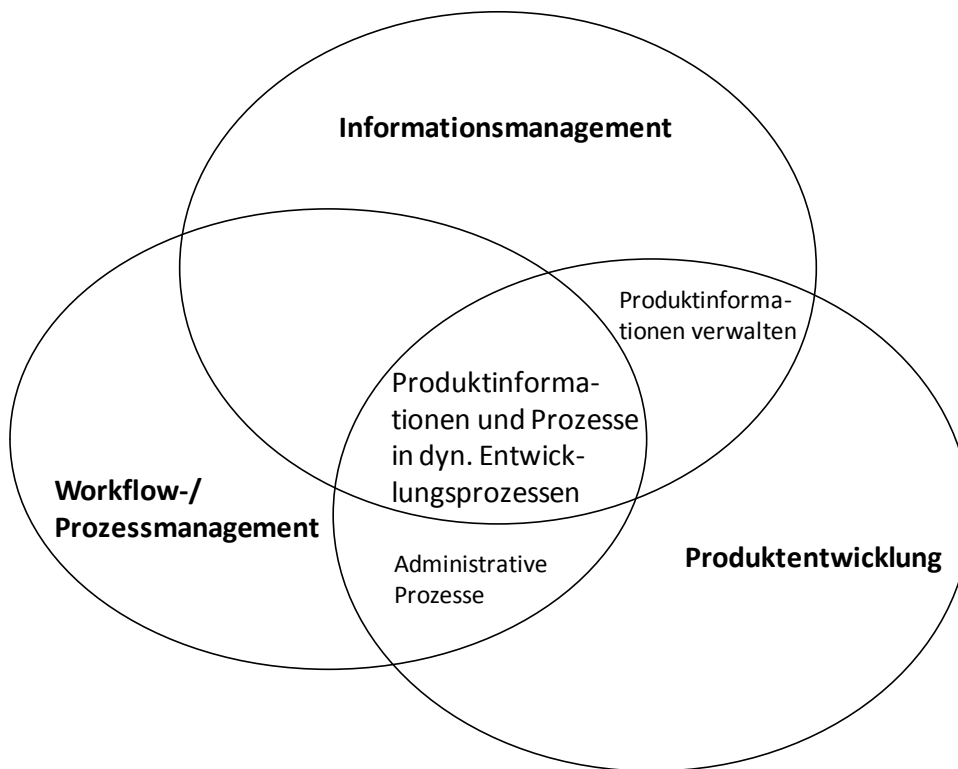
Veränderungen der Abläufe begründen sich meistens auf einer veränderten Erkenntnislage. So können sich Informationen als falsch herausstellen oder neue Informationen werden per Zufall gefunden, die ursprünglich aber berücksichtigt werden hätten müssen (BROWNING & LÉVÁRDY 2009, S. 4). Dies bedingt Korrekturen, welche Sprünge zu Prozessen erfordern, deren aktuell zugrunde liegende Informationen sich aber von den im System eingeplanten (modellierten) Informationen unterscheiden. Außerdem werden in der Praxis auch Prozessschritte ausgeführt, die vorher nicht modelliert wurden, weshalb diese dann auch nicht mit prozessspezifischen Informationen verknüpft sind. Die Flexibilität von Workflowmanagementsystemen ist dabei eine Grundvoraussetzung für die Akzeptanz eines Systems bei Ingenieuren (REICHERT 2000, S. 24). JOERIS et al. (2000a, S. 52) identifizieren die Flexibilität von Workflowmanagementsystemen zur Laufzeit auch als zentrale Anforderung für die Entwicklung zukunftsfähiger Systeme. Wird diese Flexibilität nicht gewährleistet entstehen Informationslücken, die typischerweise durch die Suche nach Informationen geschlossen werden. Dazu muss in den bestehenden Informationsquellen manuell gesucht werden, z. B. in Ordnerstrukturen oder mittels Suchmechanismen. Auch wenn Suchalgorithmen die Informationssuche unterstützen, erzeugen sie dennoch eine Vielzahl an ungenauen Suchantworten (BLOCKS 2004, S. 3), die zu einem Informationsüberfluss führen (KRCMAR 2005, S. 52), (PETERS 1996, S. 33). Der Ingenieur muss dann wiederum aus der Vielzahl der gefundenen Informationen auswählen und kann nicht jedes einzelne Suchergebnis detailliert bewerten, um die relevanten Informationen zu erhalten. Eine erweiterte Suche nach wichtigen Informationen erhöht den Zeitaufwand für die Informationsbeschaffung zusätzlich und bremst den Ingenieur. Ca. 40 – 66 % ihrer Zeit verbringen Ingenieure mit der Suche und Auswahl von Informationen (LI 2004, S. 2). In solchen Situationen wird der Ingenieur also dazu neigen, das Suchergebnis auszuwählen, welches am schnellsten und einfachsten zu finden ist, in der Regel das erstbeste Suchergebnis (FIDEL & GREEN 2004, S. 575). In diesem Zusammenhang stellt sich die Informationssuche besonders für neu eingestellte Ingenieure als schwierig dar, weil ihnen die vorhandene Informationslandschaft noch fremd ist.

Außerdem können sie meist nicht genau spezifizieren, welche Informationen ihnen fehlen (AHMED et al. 2004, S. 162). Sie erhalten aufgrund ihrer unzureichend formulierten Suchanfragen meist nur schlechte Suchantworten. Eine Untersuchung von AHMED zeigt, dass lediglich 35 % der in ihrer Studie befragten Ingenieure wissen, wonach sie suchen müssen (AHMED et al. 2004, S. 155). Auch die für die Informationsbeschaffung wichtigen persönlichen Kontakte im Unternehmen bestehen beim Neueinstieg in ein Unternehmen nicht und müssen erst noch geknüpft werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Informationen oft nicht ausreichend und zielgerichtet bereitgestellt werden. Richtige Informationen zur richtigen Zeit für die richtigen Personen stehen nur bedingt zur Verfügung, da die dynamische Anpassung der Informationsbereitstellung an flexible Prozesse nicht unterstützt wird. Grund hierfür ist die feste Modellierung von Prozessen und zugehörigen Dokumenten, die auf die Dynamik der Entwicklungsprozesse, vor allem in den Gestaltungsphasen, nicht reagieren kann.

## 1.2 Zielsetzung und Abgrenzung des Themengebietes

Diese Arbeit befasst sich mit der beschriebenen Problematik der Bereitstellung von Produktinformationen während der Entwicklung technischer Produkte. Ziel ist eine **effizientere Bereitstellung von Produktinformationen**. Dazu soll eine Beschreibungsmethode entwickelt werden, welche eine prozessorientierte Bereitstellung von Produktinformationen in Form von Dokumenten ermöglicht. Dabei soll vor allem die Dynamik von Produktentwicklungsprozessen berücksichtigt werden. Neben dem Themenfeld Produktentwicklung werden in dieser Arbeit daher auch die Bereiche des Workflow- und Prozessmanagements sowie Informationsmanagements behandelt (siehe Bild 1-3). Workflowmanagementsysteme werden in der Produktentwicklung für die Verwaltung administrativer Prozesse eingesetzt (Prozesssicht), während das Informationsmanagement für die Verwaltung von Produktdaten bzw. Produktinformationen verwendet wird (Daten- bzw. Informationssicht). Zwar verschmelzen beide Bereiche zunehmend, mittels der Darstellung in Bild 1-3 soll aber der Fokus der jeweiligen Bereiche hervorgehoben werden. Da in dieser Arbeit dynamische Prozesse Betrachtungsgegenstand sind, lässt sich die Schnittmenge aller drei Themenbereiche als die Verwaltung von Produktinformationen und Prozessen in dynamischen Produktentwicklungsprozessen definieren.



*Bild 1-3: Themenabgrenzung: Produktinformationen in dynamischen Prozessen*

In dem Umfeld der prozessorientierten Informationsbereitstellung bedeutet insbesondere die Effizienz der Produktentwicklung einen entscheidenden Kosten- und Wettbewerbsvorteil. Aber gerade die Informationsbereitstellung bzw. -beschaffung wird aufgrund immer komplexerer Produkte und Prozesse erschwert und nimmt daher einen Großteil der täglichen Aktivitäten eines Entwicklungsingenieurs in Anspruch. Besonders Produktinformationen spielen bei der reibungslosen Durchführung von Entwicklungsprojekten eine entscheidende Rolle. Wie zuvor beschrieben stehen aber genau diese nicht ausreichend zur Verfügung. Um Ingenieure bestmöglich zu unterstützen, wird im Rahmen dieser Arbeit eine gezielte Bereitstellung relevanter Dokumente angestrebt. Diese gezielte Bereitstellung soll den Suchaufwand und damit die Suchzeiten nach Produktinformationen auf ein Minimum reduzieren. Gleichzeitig dürfen die bereitgestellten Produktinformationen keinen Informationsüberfluss generieren. Das bedeutet, dass nur die für den aktuell auszuführenden Prozessschritt relevanten Produktinformationen vermittelt werden dürfen. Dadurch soll die aufgewendete Zeit für die Auswahl der wichtigen Produktinformationen verringert werden. Voraussetzung hierfür ist eine hohe Qualität der Produktinformationen, um spätere Iterationen aufgrund von Fehlinformationen zu vermeiden.

Die bereits genannte prozessspezifische Bereitstellung von Dokumenten soll vor allen Dingen die Besonderheiten von Produktentwicklungsprozessen berücksichtigen. Bestehende Informations- und Prozessmanagementsysteme (oder Workflowmanagementsysteme) bilden nur Pro-

zesse ab, die durch ihre strikte Wiederholbarkeit sehr gut planbar sind (z. B. administrative Prozesse). Daher benötigen und erlauben sie keine Anpassung der Informationsbereitstellung an dynamische Prozesse (siehe Bild 1-4). Werden beispielsweise unvorhergesehene Prozessschritte ausgeführt, sind diese im System nicht abgebildet. Die Folge ist, dass Dokumentenverknüpfungen für die Informationsbereitstellung in einem solchen Prozess fehlen. Das gleiche gilt für veränderte Dokumente, die nicht mehr der ursprünglichen Modellierung entsprechen. Veränderungen solcher Dokumente kann das System daher nicht mehr berücksichtigen (siehe Bild 1-4).

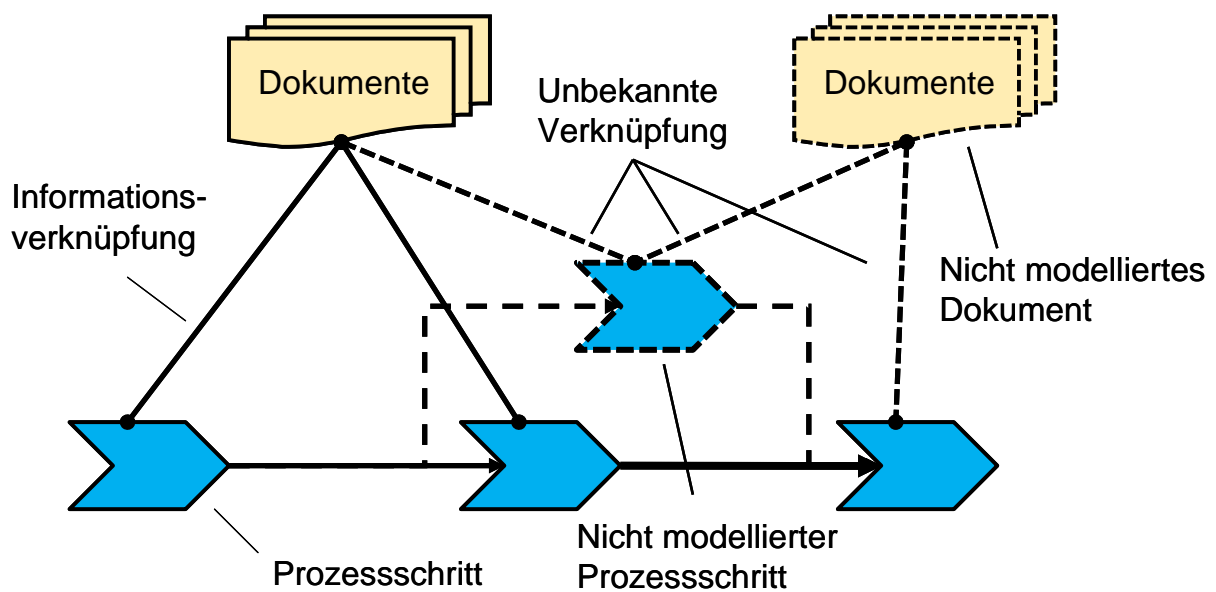


Bild 1-4: Unbekannte Informationsverknüpfung bei dynamischen Prozessen

Um speziell Produktinformationen in flexiblen Prozessen gezielt bereitstellen zu können, soll eine dynamisch anpassbare Informationsverknüpfung zwischen Produktinformationen und flexiblen Prozessen ermöglicht werden. Es sollen hierfür keine fixen Verknüpfungen modelliert werden, wie sie in den genannten Systemen Grundlage sind. Außerdem sind die Prozesse selbst und deren situationsspezifische Planung, Ausführung oder Optimierung nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Bisher wird auf Änderungen der Verknüpfungen zwischen Dokumenten und dem Prozess durch eine manuelle Modellierung der Verknüpfungen reagiert. Da für eine effektive Unterstützung des Entwicklers eine sehr detaillierte Prozessbeschreibung benötigt wird, steigt der Aufwand für die manuelle Modellierung der vielen Beziehungen unverhältnismäßig an (SCHMITT 2000, S. 52). Um trotzdem auf Änderungen von Prozessen zur Laufzeit flexibel reagieren zu können, müssen die Verknüpfungen der bereitgestellten Produktinformationen automatisch aktualisiert werden können. Diese Art der Informationsverknüpfung soll die erwähnten bestehenden statisch verknüpfenden Systeme ergänzen können, indem sie **Verknüpfungen automatisch zur Laufzeit der Prozesse** berechnet und relevante Produktinformatio-

nen zur Verfügung stellen kann. Dadurch soll der Verknüpfungs- bzw. Modellierungsaufwand reduziert werden, welcher sehr zeit- und kostenintensiv ist (MAURER 1996, S. 21). Auf diese Weise können besonders kleine- und mittelständische Unternehmen (KMU) beim Einstieg in die systematische Verbesserung und Durchführung ihrer Prozesse unterstützt werden.

Zusammenfassend werden im Rahmen dieser Arbeit folgende Hauptziele verfolgt:

- Effizienzsteigerung der Informationsbereitstellung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen
- Automatische Verknüpfung zwischen relevanten Dokumenten und Entwicklungsprozessen

### 1.3 Nutzen für Wissenschaft und industrielle Praxis

In dieser Arbeit wird aus Sicht der Wissenschaft die Unterstützung von Produktentwicklungsprozessen beleuchtet, die durch ihre Dynamik und schwierige Planbarkeit gekennzeichnet sind. Bestehende Ansätze zur Informationsbereitstellung fokussieren auf statischen, gut planbaren Prozessen (administrative Prozesse), indem sie die Prozesse vor deren tatsächlichem Ablauf modellieren und damit starr vordefinieren. Bei dynamischen Produktentwicklungsprozessen versagen jedoch solche herkömmliche Methoden aus dem Bereich der Produktentwicklung. Diese Arbeit leistet daher einen Beitrag zur Unterstützung bei der Informationsbereitstellung speziell von dynamischen Entwicklungsprozessen. Dazu werden Analysemethoden außerhalb der Produktentwicklung angewendet, adaptiert und eingesetzt. Die primär aus der Mathematik und Soziologie entlehnten Strukturanalysemethoden werden auf die betrachteten Informationen angewendet und ermöglichen die Definition einer neuen strukturellen Sicht auf Produktinformationen. Dieser Transfer bietet somit neue Möglichkeiten für die Analyse von Produktinformationen während der Produktentwicklung, um neue hilfreiche Strukturen zu identifizieren. Außerdem wird auch das Vektorraumprinzip (SALTON & MCGILL 1983, S. 122) aus dem Bereich des „Information Retrieval“ übertragen, um eine prozessorientierte Informationsbereitstellung zu erzeugen. Da das Vektorraumprinzip seine Wurzeln in der Informatik hat und Disziplin übergreifend kaum verbreitet ist, wird es bisher nur auf die Verknüpfung von Informationen selbst, aber nicht auf die Verknüpfung von Informationen mit (Entwicklungs-)prozessen angewendet. Der Transfer des Vektorraumprinzips auf die Produktentwicklung und die zusätzliche Betrachtung und Integration von Prozessen in den Vektorraum ermöglichen somit eine neuartige Anwendung.

Für die industrielle Praxis bedeutet die prozessorientierte Bereitstellung von Produktinformationen eine Erleichterung des Entwicklungsalltages. Abhängig von der aktuellen Tätigkeit werden den Entwicklern benötigte Produktinformationen gezielt bereitgestellt. Außerdem können Produktinformationen durch eine prozessorientierte Informationsbereitstellung auch in Multiprojektlandschaften projektübergreifend verknüpft werden. Der Arbeitsalltag lässt sich durch die Reduzierung von Suchzeiten nach wichtigen Informationen sowohl effizienter gestalten als auch effektiver, da Entwicklern mehr Zeit für kreative Tätigkeiten bleibt. Durch die verbesserte Informationsbasis werden unnötige Iterationen im Entwicklungsprozess vermieden.



Auch im Bereich der Workflow- und Prozessmanagementsysteme kann die prozessorientierte Bereitstellung von Produktinformationen verbessert werden. Die Grundlage der Systeme sind die Prozess- und Datenmodellierung, welche mittels umfangreicher Interviews und Prozessaufnahmeblättern durchgeführt werden und damit einen enormen Aufwand verursachen (FELDHUSEN & GEBHARDT 2008, S. 127 ff.). Zum einen kann der Aufwand für die Verknüpfung von Dokumenten und dem jeweiligen Entwicklungsprozess mit der hier vorgestellten Methode reduziert werden, indem bereits vor der Laufzeit des Prozesses bei der Planung der Informationsbereitstellung unterstützt wird. Zum anderen können Informationen mit unerwarteten Prozessschritten und -abläufen verknüpft werden, indem die Verknüpfungen zur Laufzeit des Prozesses generiert werden können.

## 1.4 Struktur der Arbeit

Eine Übersicht und Struktur der Arbeit zeigt Bild 1-5. Ausgehend von der in der Einleitung (**Kapitel 1**) dargestellten Problemstellung und daraus abgeleiteten Zielsetzung wird in **Kapitel 2** die Informationsbereitstellung in der Produktentwicklung analysiert. Als Grundlage werden zunächst wichtige Begrifflichkeiten dieser Arbeit (**Kapitel 2.1**) erläutert. Anschließend wird neben der betrachteten Informationslandschaft (**Kapitel 2.2**) auch die Granularität des hier betrachteten Entwicklungsprozesses definiert (**Kapitel 2.3**). Auf Grundlage der definierten Informationslandschaft und des Entwicklungsprozesses wird in **Kapitel 2.4** der Ist-Stand der Informationsbereitstellung im industriellen Umfeld untersucht. Hierzu werden dort gebräuchliche Ansätze wie Produktdaten-, Workflow- und Prozessmanagementsysteme erläutert und durch Beispiele aus der Praxis untermauert. In **Kapitel 2.5** wird der Stand der Forschung dargestellt, der bestehende Ansätze für eine verbesserte Informationsbereitstellung zusammenfasst. Diese werden in die beiden Kategorien prozessorientierter und produktorientierter Ansätze unterteilt, um deren Schwerpunkte strukturell hervorzuheben. Aus der Analyse und Beschreibung der Informationsbereitstellung in Industrie und Wissenschaft werden dann Verbesserungspotentiale und damit Forschungsbedarf abgeleitet (**Kapitel 2.6**).

Als Lösungsansatz wird in **Kapitel 3** eine Methode zur integrativen Beschreibung von Dokumenten und Prozessen vorgestellt. Diese ermöglicht eine prozessorientierte Informationsbereitstellung, indem sie Dokumente und Prozesse miteinander verknüpft.

Die Entwicklung dieser Beschreibungsmethode wird in **Kapitel 4** beschrieben. Dazu werden das Vorgehen (**Kapitel 4.1**) erläutert und anschließend die einzelnen Schritte ausführlich dargestellt. Es werden zunächst Anforderungen (**Kapitel 4.2**) und Dokumente der Informationslandschaft erfasst sowie deren Eigenschaften festgehalten (**Kapitel 4.3 und 4.4**). Aus den Eigenschaften der Dokumente werden Strukturmerkmale und deren Ausprägungen identifiziert (**Kapitel 4.5**). Zusätzlich werden die Eigenschaften von Entwicklungsschritten erhoben und ebenfalls Strukturmerkmale abgeleitet (**Kapitel 4.6**). Die Strukturmerkmale von Dokumenten und Prozessschritten werden dann in **Kapitel 4.7** zu Beschreibungsparametern verdichtet.

Anschließend werden in **Kapitel 4.8** die Parameter der Beschreibungsmethode zueinander angeordnet und einer Korrelationsanalyse unterzogen. Außerdem wird die Methode mittels der Kennzahlen Präzision und Vollständigkeit mit einem Referenzsystem abgeglichen, die

Relevanzgrenzen definiert und die optimale Anzahl der eingesetzten Parameter untersucht. Schließlich wird die entwickelte Beschreibungsmethode zusammenfassend dargestellt (**Kapitel 4.9**).

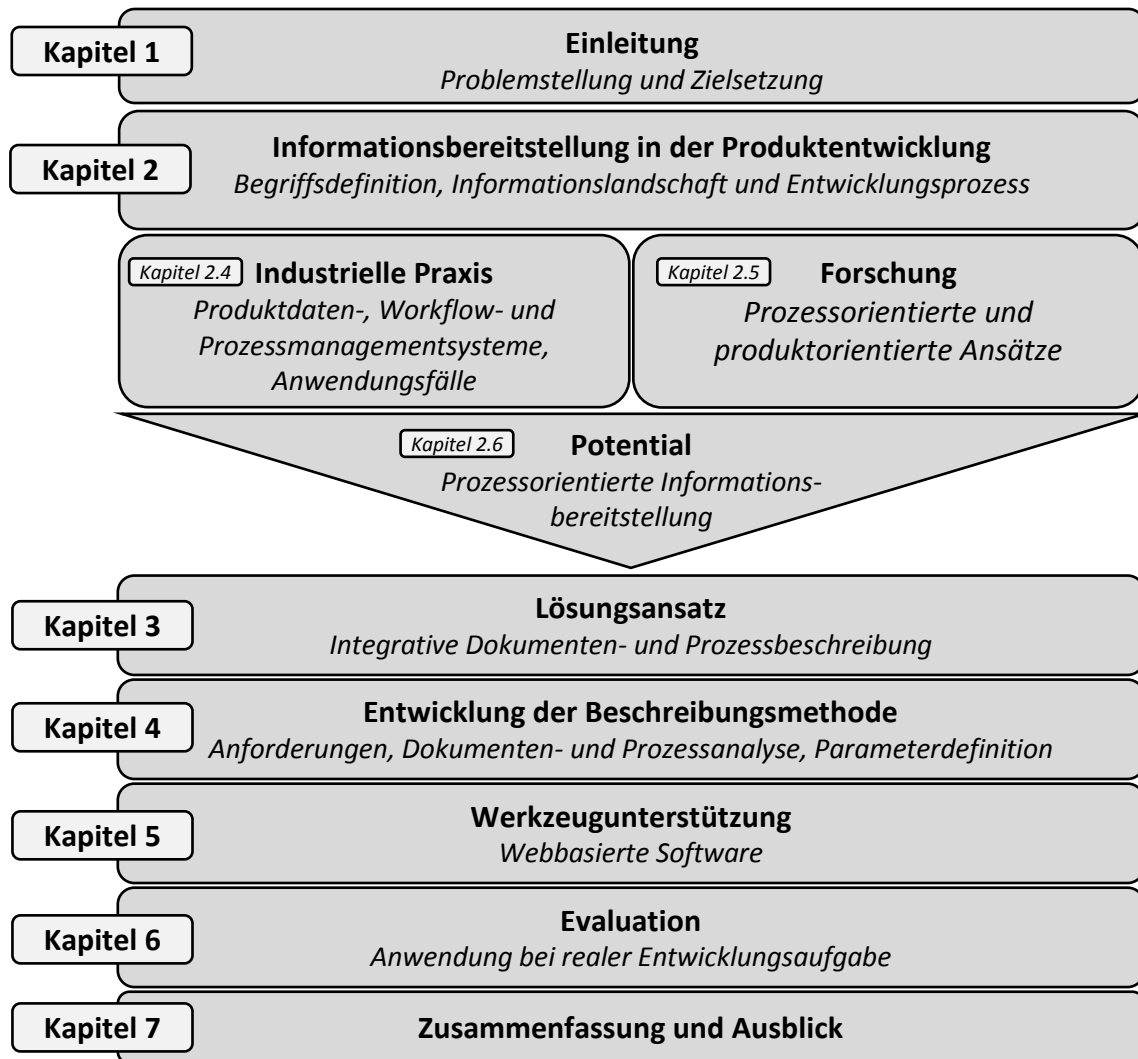


Bild 1-5: Aufbau und Kapitelübersicht der Arbeit

Für die Unterstützung der Methodenanwendung wird in **Kapitel 5** die Entwicklung eines prototypischen Rechnerwerkzeugs erläutert, welches auf einem „Webserver“ basiert und daher keine weiteren Softwareinstallationen als die üblichen Browserapplikationen benötigt. Für die in **Kapitel 6** beschriebene Evaluation stellt dieses Softwarewerkzeug die Voraussetzung für einen reibungslosen und bewertbaren Einsatz der Methode in der Praxis dar. Die Evaluation wird am Beispiel einer realen Entwicklungsaufgabe durchgeführt. Die Arbeit schließt mit der Zusammenfassung einschließlich der Schlussfolgerungen für zukünftige Forschungsarbeiten im Ausblick (**Kapitel 7**).

## 2 Informationsbereitstellung in der Produktentwicklung

*Im Rahmen dieser Arbeit sind die Produktentwicklung und die damit verbundenen Informationen und Prozesse Gegenstand der Untersuchung. Es werden daher zunächst grundlegende Begriffe erläutert, welche im Hinblick auf die Zielsetzung einer prozessorientierten Bereitstellung von Produktinformationen für das Verständnis notwendig sind. Anschließend werden die betrachtete Informationslandschaft mit ihren Dokumenten und die Dynamik von Entwicklungsprozessen dargestellt. Auf Basis dieser Erläuterungen wird anhand von typischen Werkzeugen und Beispielen die Bereitstellung von exemplarischen Produktinformationen in der industriellen Praxis dargestellt. Die Analyse von wissenschaftlichen Ansätzen zur Informationsbereitstellung beleuchtet bestehende Konzepte, um wichtige Aspekte für eine Verbesserung der Bereitstellung identifizieren zu können. Aus der Untersuchung der industriellen Praxis und bestehender Ansätze aus der Wissenschaft werden abschließend das Verbesserungspotential und der darauf begründete Forschungsbedarf abgeleitet.*

### 2.1 Grundlegende Begriffe

Die bei der Informationsbereitstellung in der Produktentwicklung auftretenden Begriffe reichen von Daten, Dokumenten und Informationen über Produktmodelle und Produktdatenmodelle bis hin zu Prozess- und Workflowmodellierung. Im Folgenden werden diese und weitere Begriffe erläutert und für die weitere Verwendung in diesem Kontext definiert.

Zunächst wird die Bedeutung der Begriffe Daten, Informationen und Wissen im Rahmen dieser Arbeit erläutert. Nach PEARLSON & SAUNDERS (2004, S. 277) steigt durch die Verarbeitung der Daten durch den Menschen ihr Wert und wird dann als Information und bei weiterer Interpretation als Wissen bezeichnet. Eine klare Abgrenzung der Begriffe wird dabei jedoch nicht vorgenommen, da die Interpretation der Begriffe je nach Anwendungsfall verschieden ausfallen kann (IRLINGER 1998, S. 17 ff.). Unter dem Begriff **Daten** wird eine objektive Beschreibung von bestimmten Teilen eines Ereignisses oder Zustandes verstanden (IRLINGER 1998, S. 22). Daten dienen als Grundlage für **Informationen** und werden zu deren Verarbeitung benötigt (COLLIN 2001, S. 10). Um Informationen generieren zu können, müssen die Daten je nach Anwendungsfall interpretiert werden. Bei technischen Zeichnungen stellen beispielsweise die einzelnen Striche **Daten** dar, die erst im Zusammenhang interpretiert als die Darstellung eines geometrischen Gegenstandes verstanden werden können. Die dadurch übermittelte **Information** entspricht dann der Gestalt des Gegenstandes. Informationen sind dabei kontextbezogen und können erst mit entsprechendem **Wissen** einer Person auf andere Sachverhalte übertragen werden (IRLINGER 1998, S. 20). Wissen wird daher als personenbezogen verstanden. Je nach Wissensstand der jeweiligen Person ergibt sich auch eine andere Interpretation der Daten und Informationen (COLLIN 2001, S. 11). Ist eine Person beispielsweise mit Getrieben vertraut, wird sie eine technische Getriebezeichnung interpretieren können und auch darüber hinaus Wirkzusammenhänge erkennen. Sind einer Person Getriebe

fremd, sieht sie lediglich Zahnräder ohne den Gesamtzusammenhang verstanden zu haben. Hieraus wird ersichtlich, dass die Verteilung bzw. Bereitstellung von Wissen nur schwer gewährleistet werden kann, da erst durch den Empfänger Informationen zu Wissen weiterentwickelt werden (PEARLSON & SAUNDERS 2004, S. 278). Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Arbeit von der **Bereitstellung von Informationen**, aber nicht von Wissen gesprochen.

Für die Optimierung der Informationsbereitstellung wird in dieser Arbeit die Verknüpfung von **Produktinformationen** mit dem Entwicklungsprozess angestrebt. Unter Produktinformationen werden alle Informationen verstanden, welche das Produkt in bestimmten Teilen oder vollständig spezifizieren können, wie z. B. dessen äußere Abmaße oder dessen Gewicht (GRABOWSKI et al. 1993, S. 4). Die einzelnen Produktinformationen werden dabei in Form von **Produktmodellen** abgelegt (PONN & LINDEMANN 2008, S. 18), die aber nicht mit dem **integrierten Produktmodell** nach ANDERL & TRIPPNER (2000, S. 17) oder GRABOWSKI et al. (1993, S. 6 ff.) zu verwechseln sind. PONN & LINDEMANN (2008, S. 18) verfolgen dabei nicht die Integration aller Produktmodelle, sondern heben durch verschiedene Produktmodelle, wie z. B. Anforderungsmodelle oder Funktionsmodelle, bestimmte Sichtweisen auf ein Produkt hervor. Es findet hier immer eine bewusste Modellbildung statt, die unter einer bestimmten Zielsetzung immer nur ein abstrahierendes Abbild der realen Produkteigenschaften erzeugt. Beispielsweise können Produktinformationen für die Darstellung der Geometrie oder der Materialeigenschaften in einem CAD-Modell (Produktmodell) abgebildet werden. Des Weiteren kann auch die Struktur eines Produkts mittels eines Funktionsmodells dargestellt werden und enthält dabei strukturelle Produktinformationen. Weitere Beispiele für Produktmodelle sind Anforderungslisten, Beschreibung von Lösungsprinzipien oder Detailentwürfe.

**Produktmodelle und Produktinformationen** selbst werden größtenteils in **Dokumenten** als Dateien, wie z. B. Abbildungen oder Textdokumenten, festgehalten und so im Entwicklungsprozess verfügbar gemacht. Ein CAD-Modell ist beispielsweise ein Produktmodell, welches als Dokument abgelegt wird (siehe Bild 2-1). Allerdings sind nicht alle Produktmodelle und Informationen zwingend dokumentiert, sondern werden beispielsweise auch als reine gedankliche Modelle entwickelt und die darin abgebildeten Informationen während der Produktentwicklung verwendet. Solche Gedankenmodelle stehen deshalb nicht als Dokumente zur Verfügung (siehe Bild 2-1).

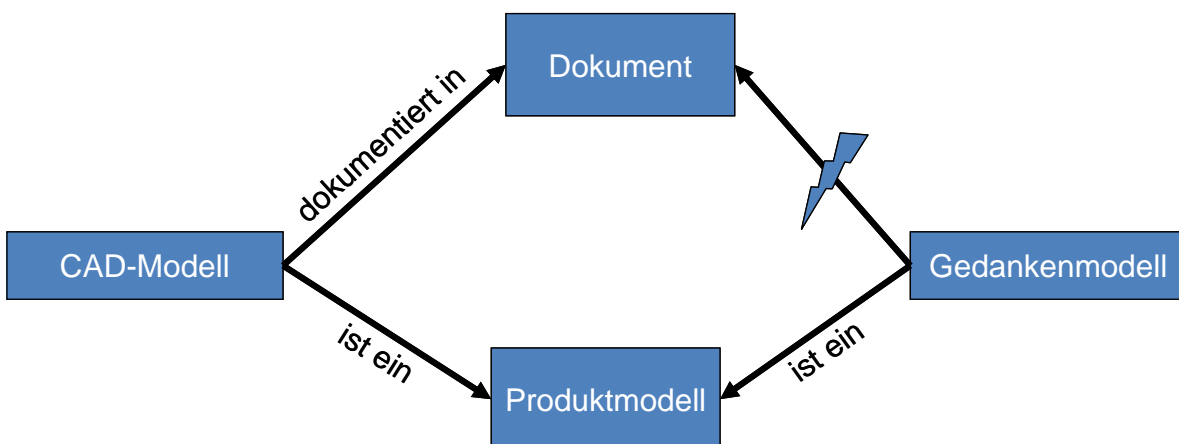


Bild 2-1 Abgrenzung von Produktmodell und Dokument

Im Allgemeinen stellt ein Dokument Informationen nach DIN EN 82045-1 dar (DIN EN 82045-1 2002, S. 15). Dokumente werden deshalb auch als abgeschlossene Einheit in Form einer Zusammenstellung von (Produkt-)Informationen verstanden, die nicht flüchtig auf einem Informationsträger gespeichert sind (EHRENSPIEL 2007, S. 691), (DIN EN 82045-1 2002, S. 10). Das heißt, auch in Bezug auf rechnerbasierte Anwendungen werden Produktmodelle und damit Produktinformationen in Form von Dokumenten gespeichert und verfügbar gemacht. Bezüglich der Speicherung von Produktinformationen können folgende Dokumententypen nach DIN EN 82045-1 genannt werden (DIN 82045-1 2002, S. 11):

- Textdokumente wie z. B. Textbeschreibungen, Nachrichten, usw.
- Graphische Dokumente wie z. B. Zeichnungen, Bilder, usw.
- Listen wie z. B. Teilelisten
- Hypertextdokumente wie z. B. verknüpfte Dokumente, usw.
- CAx-Modelle wie z. B. CAE, CAD, usw.

Diese Dokumente werden als Grundlage für den Austausch von Informationen in der Produktentwicklung betrachtet und ermöglichen die effektive Kommunikation auch bei steigender Arbeitsteilung in der Produktentwicklung (SCHULZ 2002, S. 32).

Der zuvor eingeführte Begriff **Produktmodell** geht, wie beschrieben, jedoch nicht mit dem Begriff des **integrierten Produktmodell(s)** bzw. **-datenmodell(s)** konform (ANDERL & TRIPPER 2000, S. 17), (GRABOWSKI et al. 1993, S. 6 ff.). Das integrierte Produktdatenmodell erhebt den Anspruch, die Produktdaten eines Produkts vollständig strukturiert abzulegen und damit den Datenaustausch über Schnittstellen zu optimieren. WARTZACK beschreibt dazu auch die Grundzüge von Produktmodellen wie z. B. nach der ISO10303 (STEP) oder des Produktmodells *mfk* (WARTZACK 2000, S. 41). Während sich die ISO10303 auf den Datenaustausch der einzelnen Softwaresysteme konzentriert, bildet das Produktmodell *mfk* auch semantische Strukturen ab. Dazu müssen sämtliche Produktdaten erfasst und systematisch abgespeichert werden. Das integrierte Produktdatenmodell bedient sich außerdem verschiedener Sichtweisen auf die Daten, indem beispielsweise nach BREXEL (1997, S. 55) das Modell in die 4 **Partialproduktmodelle** Teilstruktur, Funktionsmodell, Montagemodell und Konfigurationsmodell gegliedert wird. GÜNZLER (2005, S. 42) beschreibt die Notwendigkeit für verschiedene Partialproduktmodelle, welche die Bedürfnisse der einzelnen Domänen wie Elektrotechnik, Maschinenbau oder Informatik und einzelner Personen berücksichtigen. Deshalb werden personen-, produkt-, tool- und zweckspezifische Produktmodelle erstellt. Das integrierte Produktdatenmodell ist also als ganzheitliches Modell aufgebaut, welches alle Daten in einem Modell strukturiert. Der im vorherigen Abschnitt beschriebene Begriff des **Produktmodells** ist jedoch nur als Ausschnitt eines Produktes zu verstehen und entspricht dabei **Partialmodellen** eines integrierten Produktdatenmodells.

Der **Prozess** wird als inhaltlich abgeschlossene, zeitliche und sachlogische Folge von Aktivitäten verstanden, die zur Bearbeitung von (betriebswirtschaftlichen) Objekten notwendig ist (BECKER et al. 2005, S. 6). Ein spezieller Prozess ist der **Produktentwicklungsprozess**. Er wird als ein Geschäftsprozess bezeichnet, welcher zur Erfüllung der Unternehmensziele beiträgt. Der Entwicklungsprozesses dient der Erstellung von Produkten und ist somit für das

Unternehmen wertschöpfend bzw. ein Kernprozess. Ein wichtiges Merkmal von Produktentwicklungsprozessen ist deren Dynamik (BROWN & WIDELL 2006, S. 9), die sich in unscharfen und schwer planbaren Prozessketten äußert (EVERSHEIM & SCHUH 2005, S. 56). Grund für diese Dynamik sind unsichere und unscharfe Informationen, auf deren Grundlage weitere Entscheidungen getroffen werden müssen. Beispielsweise lassen sich Produkteigenschaften in frühen Phasen nur sehr schwer abschätzen (siehe Bild 2-2). Das Problem der schwierigen Eigenschaftsfrüherkennung zeigt sich darin, dass in den frühen Phasen der Produktentwicklung Entscheidungen über Produkteigenschaften zwar stark beeinflusst werden können (Gestaltungsfreiraum), aber die tatsächlichen Folgen der Entscheidungen sich erst in späteren Phasen erkennen lassen (Paradoxon der Konstruktion) (EHRENSPIEL 2007, S. 194). Die Eigenschaftsfrüherkennung kann dabei zwar durch den Informationsrückfluss aus ähnlichen Produktvorläufern verbessert werden (siehe Bild 2-2), kann aber nicht immer direkt übertragen werden. Hinzu kommen Zwischenergebnisse des Prozesses, die nicht exakt vorhergesagt werden können (BICHLMAIER 2000, S. 3). Abhängig von aktuell erzeugten Zwischenergebnissen müssen Entscheidungen getroffen werden, die aufgrund der vorherigen Informationslage nicht getroffen werden konnten (DEMERS 2000, S. 34). Die Planung der nachfolgenden Schritte ist daher nicht vollständig im Voraus möglich. Sie müssen, abhängig von der jeweiligen Informationsbasis und Ergebnislage, zur Laufzeit des Entwicklungsprozesses dynamisch angepasst werden. Erschwerend kommt hinzu, dass die Folgen der Entscheidungen kaum abschätzbar sind und sich die Auswirkungen erst viel später im Entwicklungsprozess zeigen (GRUNWALD 2002, S. 14).

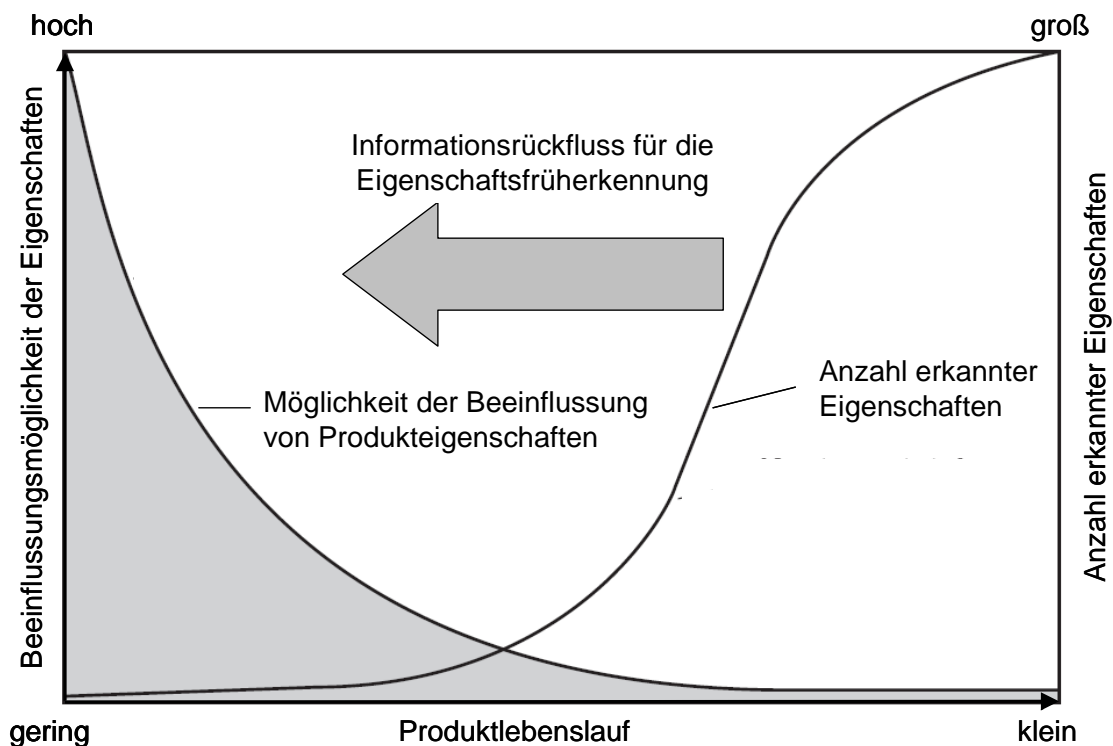


Bild 2-2: Eigenschaftsfrüherkennung als Problem der Prozessplanung  
(in Anlehnung an EHRENSPIEL 2007, S. 194)

Für eine möglichst effiziente Durchführung der Produktentwicklung werden die Prozesse des Unternehmens für das **Prozessmanagement** erfasst, analysiert und optimiert. Das Prozessmanagement übernimmt dabei die Steuerung und Koordination des Entwicklungsprozesses und sorgt für eine Effizienzsteigerung (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 227). Als Grundlage des Prozessmanagements wird ein **Prozessmodell** mittels verschiedener standardisierter Modellierungsmethoden erstellt. Beispiele sind die IDEF-Methoden (**I**ntegrated **D**efinition Methods) (IEEE 1999, S. 1), die VDI/VDE-RICHTLINIE 3682 (2005) für „Formalisierte Prozessbeschreibungen“, **e**reignisgesteuerten **P**rozess**k**etten (EPK) oder deren **E**rweiterung (eEPK) (SCHEER 1998, S. 49). Weitere Methoden zur **Prozessmodellierung** sind z. B. **S**tructured **A**nalysis and **D**esign **T**echnique (SADT) (MARCA & MACGOWAN 1987, S. 13 ff.) oder OMEGA (**O**bjektorientierte **M**ethode für die **G**eschäftsprozessmodellierung und -**a**nalyse (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 230). Diese Methoden geben bestimmte Modellierungsstandards vor, mittels derer die Prozesse einheitlich beschrieben und im Rechner abgebildet und verarbeitet werden können. Unter der Prozessmodellierung wird also die Dokumentation und Optimierung von Prozessen verstanden, die unter anderem als Basis für die Konfiguration des Prozessmanagements benötigt wird (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 228).

Das **Workflowmanagement** wird häufig in einem Atemzug mit dem Prozessmanagement genannt, da der **Workflow** als die Instanziierung eines Prozesses gilt (VOSSEN & BECKER 1997, S. 20). Ein Workflow dient also der automatisierten Ausführung eines Prozesses, indem er diesen in einem System implementiert und detailliert. Folglich basieren Workflows auf Prozessen, weshalb sich die drei Arten von Workflows direkt auf Prozesse übertragen lassen. AURICH (AURICH 2005A, S. 14) unterscheidet **Produktions-, Administrations-,** und **Ad-hoc-Workflows**. Während Produktions-Workflows sehr stark strukturiert bzw. gut planbar sind, sind Ad-hoc-Workflows unstrukturiert, also schwer planbar. Zwischen beiden lassen sich die als schwach strukturierten Administrations-Workflows einordnen (siehe Bild 2-3).

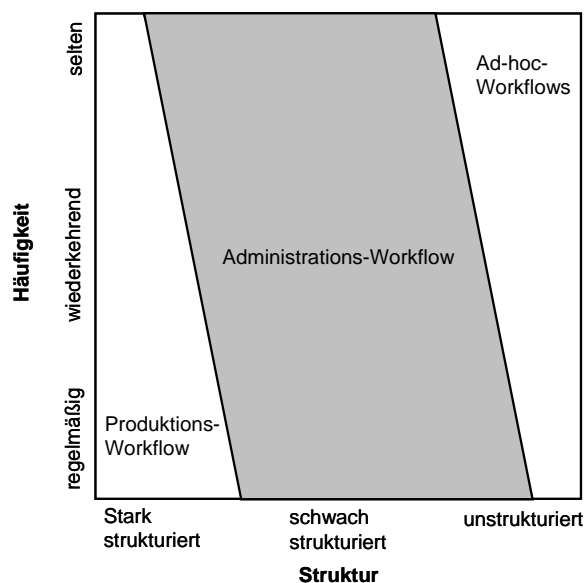


Bild 2-3: Kategorisierung von Workflows anhand ihrer Auftretenshäufigkeit und Strukturiertheit (nach AURICH 2005, S. 14)

Als Ad-hoc-Workflows werden solche bezeichnet, deren Ablauf nicht allgemeingültig beschrieben – also formalisiert – werden kann und deren Wiederholhäufigkeit daher eher gering ist (unstrukturiert). Sie sind außerdem durch eine große Anzahl an Iterationen geprägt, die vor allem durch die vielen Einflüsse der beteiligten Geschäftsprozesse verursacht werden (SCHMITT 2000, S. 47), (BROWN & WIDELL 2006, S. 10). Als ihre Haupteigenschaft wird deren schlechte Planbarkeit durch die nicht allgemeingültigen Abläufe hervorgehoben, da erst während ihrer Ausführung die Reihenfolge der einzelnen Prozessschritte festgelegt werden kann (GEORGAKOPOULUS & HORNICK 1995, S. 125). Diese unstrukturierten Ad-hoc-Workflows wiederholen sich selten (siehe Bild 2-3), kommen aber gerade in Entwicklungsprozessen vor. Durch immer wieder neue Ad-hoc-Workflows wird die Ablaufplanung eines Produktentwicklungsprozesses erschwert. Um Entwicklungsprozesse als wertschöpfende Prozesse bestmöglich zu unterstützen, müssen Ad-hoc-Workflows und deren Dynamik besser beherrscht werden. Produktions-Workflows hingegen wiederholen sich sehr häufig und können daher gut standardisiert und damit teilweise sogar automatisiert werden. Die administrativen Workflows können im Ablauf vorgegeben werden, werden aber vom Menschen ausgeführt, die durch den hinterlegten Workflow bei ihrer Tätigkeit unterstützt werden. Workflowmanagementsysteme können nur wiederhol- und standardisierbare Workflows abbilden und eignen sich folglich nur für die Unterstützung von Produktions- und Administrations-Workflows. Werden sie für Ad-hoc-Workflows verwendet, können sie nur passiv unterstützen. Sie stellen dann lediglich Informationen über den aktuellen Stand des Prozessschrittes und der -historie bereit (VOSSEN & BECKER 1997, S. 286) bzw. leiten die Ergebnisdokumente eines Prozessschrittes an weitere beteiligte Personen und IT-Systeme weiter (SCHEER 1996, S. 21).

In Zusammenhang mit der Dynamik von Produktentwicklungsprozessen wird in Kapitel 3 ein Lösungsansatz zur **integrativen Dokumenten- und Prozessbeschreibung** vorgestellt. Der Begriff „**integrativ**“ wird dabei als Verknüpfung von Dokumenten und Prozessschritten verstanden. Diese Verknüpfung bzw. Integration soll durch eine parameterbasierte Beschreibung erreicht werden. In diesem Zusammenhang bedeutet **parameterbasiert**, dass die Verknüpfung zwischen Prozessen und Informationen über beschreibende Begriffe (**Parameter**) hergestellt wird, die dem Nutzer bekannt sind (siehe auch Kapitel 3.2, Bild 3-1). Das heißt, er kann durch die Angabe von ihm bekannten Begriffen die Verknüpfung indirekt herstellen, ohne die Verknüpfung selbst vorher kennen zu müssen. Unter Parameter wird hier also in Anlehnung an die Mathematik eine (Hilfs-)Variable verstanden, deren Wert bekannt ist. Diese Werte können entweder fest oder systematisch veränderbar sein. Mittels eines Parameters und der Veränderung seines Wertes können bestimmte Zustände des zu beschreibenden Objekts festgehalten bzw. untersucht werden. Z. B. lassen sich durch den Parameteransatz die Beziehungen zwischen Objekten (Distanzen) darstellen. Ohne den Einsatz der Parameter als Hilfsvariable würde die Beziehung zwischen den Objekten nicht bekannt sein (siehe Kapitel 3.2 Parameterbasierter Ansatz).



## 2.2 Informationslandschaft und Dokumente

In einem Unternehmen existieren vielfältige Informationen, wie z. B. zur Organisation oder zu Finanzen. Im Rahmen dieser Arbeit werden Produktinformationen betrachtet, die sich in technische, kommerzielle und Qualitätsinformationen unterteilen lassen (siehe Bild 2-4) (EIGNER & STELZER 2001, S. 54). Technische Produktinformationen beschreiben das Produkt geometrisch, technologisch, systemtechnisch und auch organisatorisch. Aber auch aus dem kommerziellen Bereich und dem Qualitätsmanagement stammen Informationen, die für eine Produktentwicklung notwendig sind (z. B. angestrebte Verkaufszahlen, Anforderungen aus dem Qualitätsmanagement, usw.).

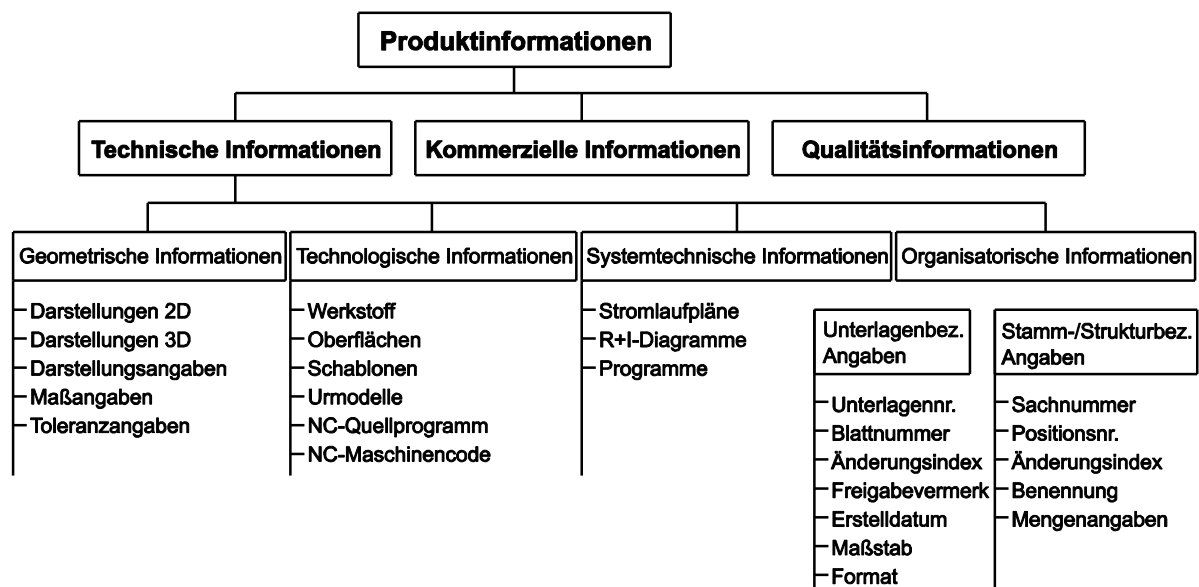


Bild 2-4: Klassifikation von Produktinformationen nach EIGNER & STELZER (2001, S. 54)

Aufgrund der Arbeitsteilung in heutigen Unternehmen wird der Austausch dieser Informationen mithilfe von Dokumenten vorgenommen (EHRENSPIEL 2007, S. 165). Es werden in allen Abteilungen des Unternehmens, wie z. B. im Marketing, in der Finanz- und Personalabteilung, im Einkauf und Vertrieb oder der Entwicklung und Konstruktion, Dokumente erzeugt, die auch zwischen den Abteilungen ausgetauscht werden müssen (PAHL et al. 2007, S. 7). Werden diese lediglich zur Durchführung der Prozessschritte benötigt, werden sie in dieser Arbeit als organisatorische Dokumente verstanden. In Analogie zu Hilfs- oder Unterstützungsprozessen in einem Unternehmen tragen die in organisatorischen Dokumenten enthaltenen Informationen nicht direkt zur Wertschöpfung bei, werden aber benötigt, um wertschöpfende Prozesse durchführen zu können (PORTER 2000, S. 67 ff.). Obwohl organisatorische Dokumente von großer Wichtigkeit für die Unterstützung wertschöpfender Prozesse sind, wird im Rahmen dieser Arbeit das Augenmerk auf produktbezogene Informationen gelegt, da sie in Bezug auf den Kernprozess der Produktentwicklung direkten Einfluss auf das Produkt haben. Produktinformationen sind damit maßgeblich am Unternehmenserfolg beteiligt.

Die sich so ergebende Informationslandschaft aus Bild 2-4 beinhaltet also verschiedene Klassen an Informationen, die das Produkt auf unterschiedliche Art und Weise beschreiben. Wie bereits erwähnt, können technische Produktinformationen dabei auch aus dem Marketing oder Vertrieb stammen und sind nicht auf die Abteilung der Entwicklung und Konstruktion beschränkt. Als produktbeschreibende Information aus dem Vertrieb wird hier z. B. der verhandelte Kostenrahmen verstanden, den es während der Produktentwicklung für die Gestaltung eines marktgerechten Produktes einzuhalten gilt (SCHÄFER 2006, S. 17). Dieses Beispiel verdeutlicht, dass sich die hier zu betrachtende Informationslandschaft über mehrere Bereiche erstreckt, was bei der späteren Erfassung der zu untersuchenden Dokumente berücksichtigt wird (siehe Kapitel 4.3). In diesem Zusammenhang ist der interdisziplinäre Informationsaustausch von Bedeutung, der neben der Prozesssteuerung als ein wichtiges zu unterstützendes Element in der Produktentwicklung zu sehen ist (DETTMERING 2008, S. 79). Durch die Integration der verschiedenen Abteilungen in den Produktentwicklungsprozess können alle wichtigen Informationen, die während aller Phasen der Produktentwicklung erzeugt werden, berücksichtigt werden. In Bild 2-5 sind am Produktentwicklungsprozess beteiligte Abteilungen und Dokumente mit Produktinformationen beispielhaft abgebildet. Bild 2-5 zeigt die Verknüpfung der jeweiligen Beispieldokumente mit allen Entwicklungsprozessphasen, da beispielsweise der vom Marketing erstellte Vertriebsplan wichtige Informationen für die Entwicklungsabteilung oder Fertigungsplanung (Stückzahlen, Taktzeiten, usw.) enthält. Die während des Entwicklungsprozesses in den Abteilungen erzeugten Dokumente müssen dabei vor allem in die Abteilung Entwicklung einfließen, um alle Produktlebensphasen bereits in der Entwicklung berücksichtigen zu können. Während des gesamten Entwicklungsprozesses ist daher eine Verteilung bzw. Bereitstellung von Dokumenten aus den verschiedenen Abteilungen zwingend notwendig.

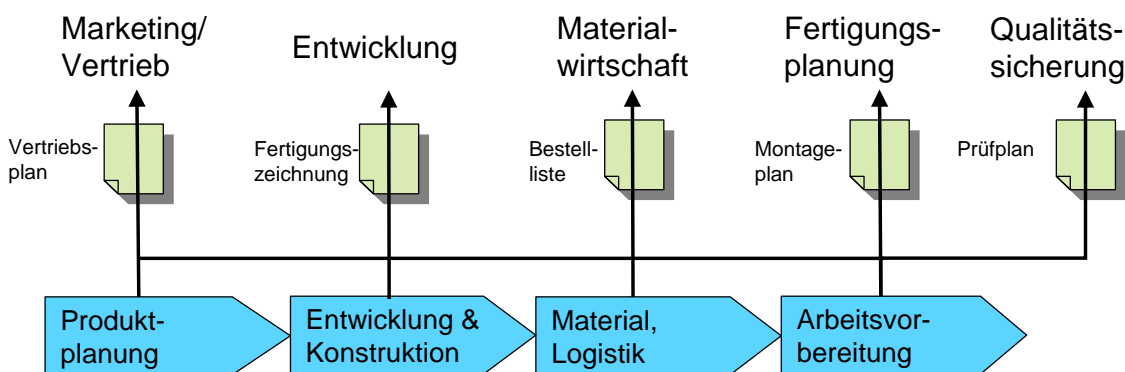


Bild 2-5: Beispiele für Informationen, die von verschiedenen Abteilungen im Entwicklungsprozess generiert werden

Während der Produktentwicklung generieren die erwähnten Abteilungen Produktinformationen, die sowohl in großer Vielfalt als auch Anzahl dokumentiert werden (SCHMITT 2000, S. 47). Daraus ergibt sich eine sehr heterogene Informationslandschaft, die aufgrund ihrer Größe zugleich unübersichtlich wird. Die erzeugten Dokumente unterscheiden sich beispiels-

weise durch unterschiedliche Verwendungszwecke oder Konkretisierungsstufen der enthaltenen Informationen. In Bild 2-6 sind Beispiele für entstehende Dokumente mit Produktinformationen in verschiedenen Konkretisierungsstufen dargestellt.

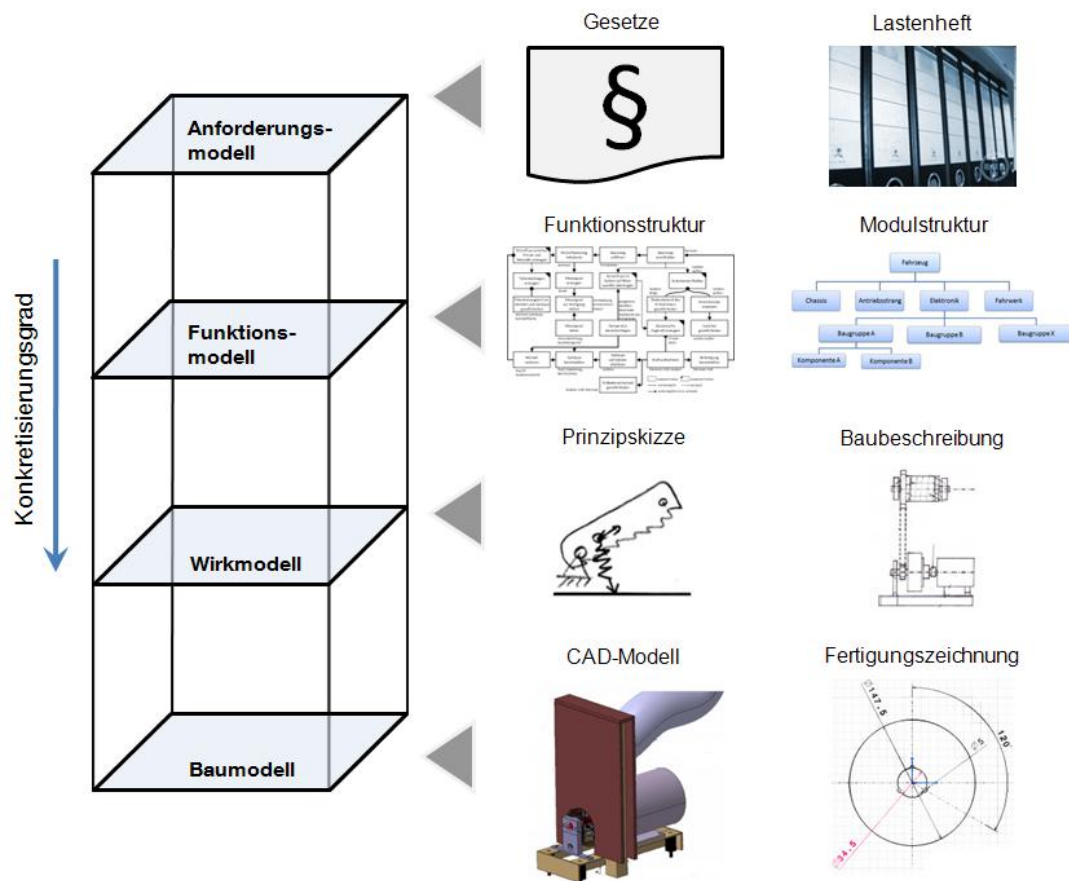


Bild 2-6: Beispiele für Produktinformationen verschiedener Konkretisierungsstufen  
(in Anlehnung an PONN & LINDEMANN 2008)

Bei methodischer Vorgehensweise wie zum Beispiel nach der VDI-RICHTLINIE 2221 (1993) wird auf der obersten Konkretisierungsstufe ein Anforderungsmodell mit sämtlichen Anforderungen für das zu entwickelnde Produkt erstellt und in Form von Dokumenten als Lasten- und Pflichtenheften abgelegt. Als Quelle für vorgeschriebene Anforderungen dienen beispielsweise Gesetzestexte oder Richtlinien. In der nächsten Konkretisierungsstufe wird das Produkt aus Funktionssicht beschrieben. Das Anforderungsmodell gibt dabei die Rahmenbedingungen für die Funktionen des Produkts vor. Aus einer Funktionsstruktur lassen sich dann Module ableiten, die das Produkt in funktional abgeschlossene Bereiche unterteilt. Bei der Definition des Wirkmodells werden Prinzipskizzen und Baubeschreibungen verwendet, um Lösungsideen und deren Wirkungsweise besser vermitteln zu können. Diese Produktmodelle tragen zur Lösungssuche und der daran anschließenden Bewertung bei, in der z. B. eine Einschätzung der Funktionstüchtigkeit des Konzeptes abgegeben werden muss. Aufbauend auf den vorherigen

Produktinformationen wird das Produkt weiter zur Baumodellebene konkretisiert und z. B. in CAD-Modellen virtuell dargestellt sowie Fertigungszeichnungen abgeleitet. Alle Konkretisierungsschritte von der Anforderungsebene bis zur Baumodellebene verringern die Unsicherheiten bei der Entwicklung schrittweise, und dienen so als verbesserte Informationsbasis für den jeweiligen nächsten Schritt bzw. das weitere Vorgehen (ULLMAN 2003, S. 8). Für die Repräsentation der Informationsinhalte des Produktentwicklungsprozesses werden also verschiedene Modelle bzw. Dokumente erstellt, die in verschiedenen Konkretisierungsstufen eingesetzt werden (ZWICKER 1998, S. 10), (ULLMAN 2003, S. 37).

Zusätzlich zu diesen Unterschieden der Konkretisierungsstufen führt die erwähnte große Dokumentenanzahl dazu, dass sich Ingenieure bei der Informationsbeschaffung zu einem großen Teil mit der Suche nach den gewünschten Informationen beschäftigen. Oft ist dabei die Informationslandschaft schlecht strukturiert und erschwert damit vor allem bei verteilten Entwicklungsaufgaben den Informationsbereitstellung (CHIRA et al. 2006, S. 738). Eine zweckmäßige Strukturierung der Dokumente ist daher dringend notwendig (DEL-RAY-CHAMARRO 2003, S. 2). Im Bereich der virtuellen Produktentwicklung werden Produktdatenmanagementsysteme (PDM) zur Verwaltung von z. B. CAD-Dateien eingesetzt, indem sie eine hierarchische Produktstruktur zugrunde legen. PDM-Systeme werden aber auch zur Verwaltung von weiteren Produktinformationen, wie z. B. einer bauteilspezifischen Anforderungsliste, verwendet. PDM-Systeme dienen inzwischen als Datenspeicher für die vielfältigen Anwendungssysteme im Unternehmen wie eben CAD, CAE (Computer Aided Engineering), PPS (Produktionsplanung und -steuerung) oder SCM (Supply Chain Management) (KATZENBACH 2007, S. 21). Beispielsweise hat die Webasto Group das PDM-System „WINDCHILL“ im Unternehmen eingeführt. Die Webasto Group möchte die Möglichkeit für eine Zentralisierung der Informationen nutzen, um dadurch Inkonsistenzen zu vermeiden (SEPP 2007, S. 18). Die in PDM-Systemen gespeicherten Dokumente umfassen sämtliche Produktinformationen und dienen daher als wichtige Quelle für die Erfassung der betrachteten Informationslandschaft.

Aus Sicht des Qualitätsmanagements bezüglich der lückenlosen Dokumentation des Entwicklungsprozesses und der Sicherstellung des Informationsaustausches lassen sich Dokumente auch in sogenannte Kann- und Muss-Dokumente unterscheiden (EHRENSPIEL 2007, S. 166). Muss-Dokumente werden für den Informationsaustausch zwischen den Ingenieuren verpflichtend vorgegeben (formalisiert, standardisiert), was meist in Workflowmanagementsystemen (WFM-Systeme) hinterlegt wird, um bei der Durchführung der Prozesse bestmöglich zu unterstützen. Kann-Dokumente hingegen dienen als Hilfsdokumente bei der Entwicklung, um z. B. Zwischenergebnisse zu dokumentieren und diese später in Muss-Dokumenten zusammenzufassen. Sie werden meist unstrukturiert abgelegt und nicht systematisch verwaltet. Gerade in kreativen Phasen einer Produktentwicklung dienen solche Kann-Dokumente als wichtige Informationsquelle und Gedankenstütze. Die betrachtete Informationslandschaft beinhaltet neben den formalen Muss-Dokumenten also auch unstrukturierte Kann-Dokumente. Bisherigen Systemen fehlen Ansätze zur Beherrschung unstrukturierter und spontan auftretender Informationen, weshalb solche Dokumente bisher vernachlässigt wurden.

## 2.3 Dynamische Entwicklungsprozesse

Die Produktentwicklung lässt sich in einen aufbau- und einen ablauforientierten Bereich einteilen, die beide für die Organisation der Entwicklung des Produkts notwendig sind. In der Aufbauorganisation werden Verantwortlichkeiten zugewiesen, in der Ablauforganisation werden die einzelnen Prozesse verwaltet (LINDEMANN 2009, S. 13 ff.). Wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, liegt die Unterstützung der für eine Produktentwicklung benötigten Kern-Prozesse durch gezielte Informationsbereitstellung im Fokus dieser Arbeit. Unterstützungsprozesse, die für die Durchführung der Produktentwicklung benötigt werden, sind durch ihre gute Standardisierbarkeit anders zu behandeln und werden deshalb hier nicht näher betrachtet.

Die einzelnen Prozesse werden unter den Begriffen Produktentwicklungs- oder Produktentstehungsprozess zusammengefasst. Eine Unterscheidung wird dabei in Industrie und Wissenschaft jedoch nicht einheitlich vorgenommen. Es gibt mehrere Definitionen wie beispielsweise von LINCKE (1995, S. 29), der den Produktentwicklungsprozess als die Summe aller operativen und steuernden Aktivitäten von der Produktidee bis zur Außerbetriebnahme definiert. Neben dem Begriff des Produktentwicklungsprozesses wird jedoch auch der Begriff des Produktentstehungsprozesses verwendet, der im Gegensatz zur Definition von LINCKE aber nur Aktivitäten von der Produktidee bis einschließlich der Herstellung und Auslieferung an den Kunden beinhaltet (EHRENSPIEL 2007, S. 158). GÜNZLER (2005, S. 20) betrachtet ähnliche Aktivitäten wie EHRENSPIEL, bezeichnet diese aber wieder als den Produktentwicklungsprozess. So spricht EHRENSPIEL (2007, S. 158) von den drei Phasen der Produktplanung, Produktdefinition und Produkterstellung (siehe Bild 2-7). GÜNZLER sieht die gleiche Abgrenzung zwischen den drei Phasen, verwendet hierfür aber andere Begriffe und definiert die Produktplanung, -konstruktion und -produktion. Unter dem Produktentwicklungsprozess verstehen SPUR & KRAUSE (1997, S. 10 ff.) wiederum die Produktplanung und die Produktkonstruktion einschließlich der Produktionsvorbereitung, jedoch ohne die tatsächliche Produktion und alle anschließenden Prozesse wie z. B. die Auslieferung an den Kunden (SPUR & KRAUSE 1997, S. 10 ff.).

Diese Arbeit orientiert sich an den Definitionen von SPUR & KRAUSE und EHRENSPIEL. Der **Produktentwicklungsprozess wird also als Teilmenge des Produktentstehungsprozesses** betrachtet (siehe Bild 2-7) und beinhaltet den planerischen, organisatorischen und gestalten Teil des Produktentstehungsprozesses. Der Produktentwicklungsprozess beginnt also mit der Produktidee und endet mit der vollständigen Definition des Produktes und der für seine Erstellung benötigten Prozesse (Produktionsvorbereitung).

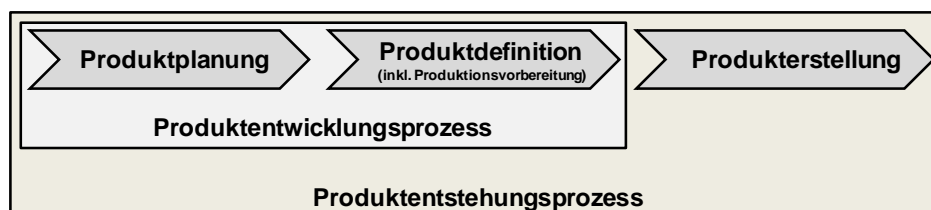
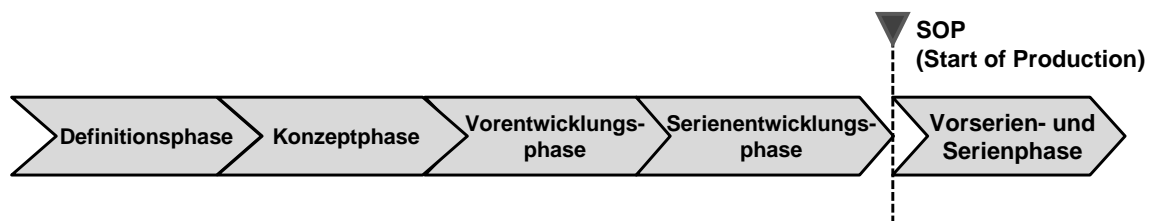


Bild 2-7: Einordnung des Produktentwicklungsprozesses in den Produktentstehungsprozess

Im Arbeitsalltag eines Ingenieurs reicht die abstrakte Definition der drei Phasen wie in Bild 2-7 nicht aus, um Prozesse effektiv zu unterstützen. Die Phasen der Produktentstehung und -entwicklung werden in weitere, detailliertere Phasen bzw. Schritte untergliedert, um die Komplexität der Entwicklungsaufgabe und der damit verbundenen Prozesse besser beherrschen zu können (siehe Bild 2-8). In der Automobilbranche wird z. B., ausgehend von der **Produktplanung bzw. Produktdefinition** und der **Konzeptfindung**, zwischen der **Vor- und Serienentwicklung** unterschieden (siehe Bild 2-8) (EHRENSPIEL 2007, S. 159). An die **Vorserienphase** schließt sich die **Serienphase** an, die mit dem Produktionsstart („Start of Production“: SOP) beginnt. Dabei werden die einzelnen Phasen durch Meilensteine abgeschlossen.



*Bild 2-8: Beispiel für einen typischen Produktentstehungsprozess mit beispielhaften Teilschritten in der PKW-Entwicklung (in Anlehnung an EHRENSPIEL 2007, S. 159)*

Je nach Branche oder auch Unternehmen fällt diese Konkretisierung jedoch unterschiedlich aus. Ein solch detaillierter Produktentstehungsprozess, wie im Beispiel, ist in der Regel nicht direkt auf andere Branchen oder Unternehmen übertragbar. Daher wurde in der VDI-RICHTLINIE 2221 (1993) ein generischer Vorgehensplan definiert, der die Beherrschung komplexer Prozesse unterstützt. Dazu stellt die VDI-RICHTLINIE 2221 ein Rahmenwerk bereit, welches bei der Ausführung der Prozesse als Leitfaden dient und dadurch unnötige Prozessabläufe vermeidet. Der Vorgehensplan nach der VDI-RICHTLINIE 2221 sieht als sukzessive Schritte die Aufgabenklärung, die Konzipierung, den Entwurf und die Ausarbeitung vor (siehe Bild 2-9), (VDI-RICHTLINIE 2221 1993, S. 9). Diese lassen sich dann weiter zu Teilprozessen konkretisieren, die sich auf verschiedene Objekte bzw. Bauteile des Gesamtprodukts anwenden lassen. In diesem Zusammenhang schlagen BROWNING & LÉVÁRDY (2009, S. 2) zur besseren Beherrschung der Abläufe eine Unterteilung der Prozesse in Teilprozesse bzw. Aktivitäten vor. Diese können dann regelbasiert kombiniert werden, um eine flexible, auf sich verändernde Randbedingungen anpassbare Prozessplanung zu ermöglichen (BROWNING & LÉVÁRDY 2009, S. 2). Beispiele für Teilprozesse sind die Ideenfindung, die Eigenschaftsermittlung sowie die Erstellung des Lastenhefts. Insgesamt wird zur Beherrschung der Prozesskomplexität eine Konkretisierung der Prozesse vollzogen, welche von den abstrakten Phasen ausgeht und sich über deren Detaillierung bis hin zu Teilprozessen fortsetzt (siehe Bild 2-9). Beispielsweise werden zur Verbesserung des Vorgehens während der Phase der Produktplanung (Phasenebene) Prozesse wie die Lastenheft-, Konzeptheft- und CAD-Modell-Erstellung definiert (Vorgehensebene). Im Falle der Lastenhefterstellung müssen dann wiederum Teil-

prozesse wie die Erfassung der Kundenanforderungen oder die Definition des Leistungs- und Lieferumfanges ausgeführt werden (Teilprozessebene).

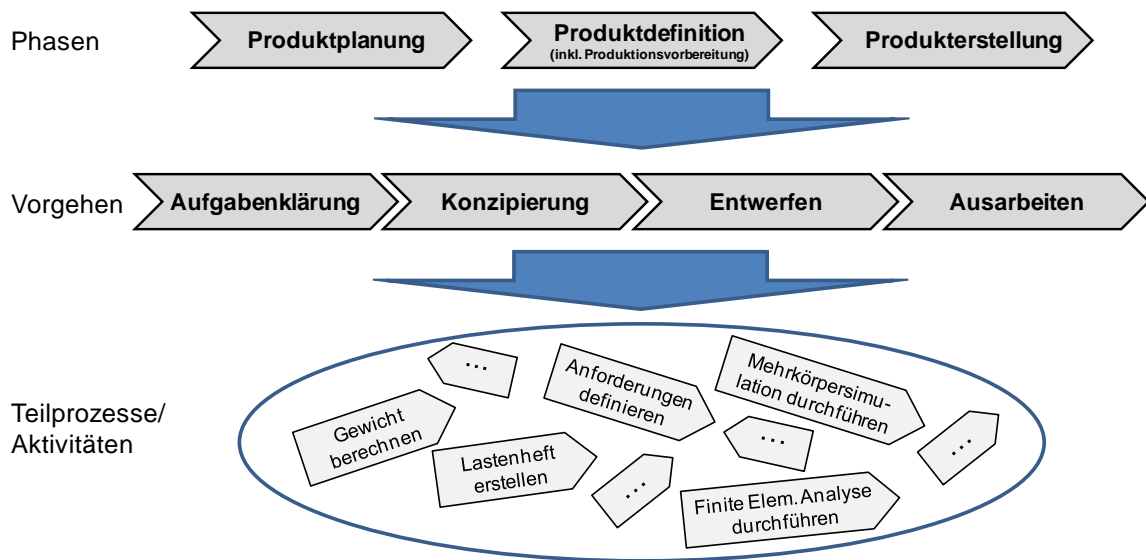


Bild 2-9: Einteilung eines Entwicklungsprozesses in die Abstraktionsebenen Phasen, Vorgehen und Teilprozesse

Werden nun solche Teilprozesse mit den drei Phasen einer Produktentwicklung verglichen, kann - wie in Bild 2-9 angedeutet - festgestellt werden, dass Prozesse mit zunehmender Konkretisierung dynamischer und unstrukturierter werden. Das heißt, je detaillierter ein Prozess definiert wird, desto dynamischer (GÜNZLER 2005, S. 22) wird sein Ablauf sein. Gerade auf der Teilprozessebene der Produktentwicklung gibt es eine Vielzahl an Einflüssen, welche die Unsicherheit der Prozesse und damit deren Ablauf vergrößern. So hängt z. B. die effiziente Ausführung eines Teilprozesses vom ausführenden Menschen und seinen Fähigkeiten ab. Außerdem verursachen unsichere Informationen eine längere Entscheidungsphase bzw. führen zu vorher nicht planbaren sinnvollen Prozessabläufen. Im Fokus der Betrachtungen dieser Arbeit liegen also Prozessschritte der Teilprozessebene (Aktivitäten), die sich durch ihren dynamischen Ablauf auszeichnen und daher nicht standardisierbar sind.

## 2.4 Informationsbereitstellung in der industriellen Praxis

Die steigende Komplexität von technischen Produkten und die verbesserten technischen Möglichkeiten zur Erfassung aller entstehenden Informationen (qualitativ schlechte Informationen eingeschlossen) resultieren in einer Vielzahl an verfügbaren Produktinformationen (Informationsflut) (FELDHUSEN & GEBHARDT 2008, S. 73). Zur Beherrschung dieser Komplexität und der dafür notwendigen Prozesse werden die Arbeitsteilung der Aufgaben und die Parallelisierung der Prozesse vorangetrieben, was sich in erhöhtem Kommunikations- und Dokumentationsaufwand während der Produktentwicklung niederschlägt. Es werden also nicht nur mehr

Produktinformationen generiert, sondern auch dokumentiert, die es an die entsprechenden Personen zu verteilen gilt. Der Gestaltung und Unterstützung dieser Informationsflüsse und damit der Informationsbereitstellung in der Produktentwicklung kommt daher eine große Bedeutung zu (SCHÄPPI et al. 2005, S. 420). Um die Informationsbereitstellung besser unterstützen zu können und eine effizientere Produktentwicklung zu erreichen, werden im Rahmen des sogenannten „Lean Development“ Ursachen bzw. Treiber für Entwicklungsverzögerungen identifiziert. GRAEBSCH et al. (2007, S. 3) geben eine Liste solcher Treiber an, welche die Verfügbarkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit von Informationen beinhaltet. Auch die Lokalisierung bzw. Suche nach Informationen und die Effektivität des Informationsaustausches werden als Treiber für Entwicklungsverzögerungen genannt, was beides durch die wachsende Informationsvielfalt und -menge erschwert wird. Als entscheidenden Treiber für Entwicklungsverzögerungen identifizieren GRAEBSCH et al. die übermäßige Informationsverteilung, sprich den Austausch zu vieler Informationen (GRAEBSCH et al. 2007, S. 7). Dies resultiert in einer Informationsflut, welche es durch eine bessere Auswahl zu verteilernder Informationen zu reduzieren gilt.

Um also mit der entstehenden Informationsflut bei der Produktentwicklung von komplexen Produkten, wie z. B. einem Automobil oder einem Flugzeug, umgehen zu können, müssen sich Unternehmen mit dem Informationsmanagement, insbesondere mit der Informationswirtschaft (Informationsangebot und -nachfrage), beschäftigen. Diese beinhaltet die Verteilung und damit die Bereitstellung der Informationen (Informationslogistik) im Unternehmen. Gerade die Informationslogistik setzt sich zum Ziel, die richtigen Informationen zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Menge am richtigen Ort und in der erforderlichen Qualität bereitzustellen (KRCMAR 2005, S. 54 ff.) Die Informationslogistik hilft das Informationsangebot bzw. die Informationsflut zu strukturieren und zu handhaben. So kann sowohl auf den Informationsbedarf als auch auf die Informationsnachfrage mit der Bereitstellung der Informationen reagiert werden. Der wesentliche Unterschied zwischen dem Informationsbedarf und der -nachfrage ist, dass der Nutzer seinen eigenen Bedarf nicht immer genau kennt und daher auch Informationen nachfragt (Suchanfrage), die er eigentlich nicht für seine Aufgabe benötigt. Eine gezielte Bereitstellung der Produktinformationen soll also den tatsächlichen Bedarf bedienen und damit die ungenaue Nachfrage des Nutzers reduzieren. Dazu muss der Bedarf in aufwendigen Planungs- und Modellierungswshops im Vorfeld der Produktentwicklung ermittelt bzw. standardisiert werden (KRCMAR 2005, S. 106). Da sich aber der Bedarf durch die Unsicherheiten während einer Produktentwicklung verändert, ergibt sich eine Lücke in der Informationsversorgung, die im Rahmen dieser Arbeit geschlossen wird.

In der industriellen Praxis werden aufgrund der großen Informationsmengen Informationssysteme wie z. B. „Engineering Data Management-Systeme“ (EDM) oder Produktdatenmanagementsysteme eingesetzt (PDM). Informationssysteme schaffen die technischen Voraussetzungen (IT-Infrastruktur), um das Informationsmanagement unterstützen zu können. Ein grundlegender Bestandteil des Informationsmanagements ist das Dokumentenmanagement, welches in Dokumenten enthaltene Informationen archiviert, versioniert und verwaltet (SPUR & KRAUSE 1997, S. 256). Für eine effektive Archivierung werden Dokumente mit Metainformationen, wie z. B. zum Autor und Erstellungsdatum, zu Kommentaren oder zu Änderungsvermerken, versehen und dann zentral abgespeichert. Die systematische Archivierung ist wesentlicher Bestandteil des Dokumentenmanagements und verhindert durch die Eindeutigkeit der zentra-



len Speicherung Inkonsistenzen. Werden speziell Produktinformationen beispielsweise in Form von CAD-Modellen dokumentiert, werden Dokumentenmanagementsysteme durch zusätzliche Funktionen erweitert und als Produktdatenmanagementsysteme bezeichnet. Des Weiteren werden zur besseren Unterstützung der Abläufe in der Produktentwicklung Workflow- und Prozessmanagementsysteme eingeführt, die sowohl den Ablauf selbst als auch die für einzelne Prozessschritte benötigten Informationen zur Verfügung stellen. Deren Einsatz in der Industrie beschränkt sich aber auf administrative Prozesse bzw. Workflows und hat sich aufgrund ihrer statischen Modellierung noch nicht bei dynamischen Prozessen wie dem Produktentwicklungsprozess bewähren können. Im Folgenden werden Aspekte solcher Systeme erläutert und deren Einsatz in der industriellen Praxis anhand von Beispielen näher beschrieben.

### 2.4.1 Informationssysteme und Metainformationen

Insbesondere für die Unterstützung der Abläufe im Unternehmen spielt das Informationsmanagement eine entscheidende Rolle. Dieses zu beherrschen ist Voraussetzung für die effektive Unterstützung des Prozessmanagements (JANIA 2005, S. 43), welches die effizientere Entwicklung von Produkten ermöglicht und damit Wettbewerbsvorteile bedeutet. Je nach Unternehmen werden verschiedene Informationssysteme wie Dokumentenmanagement-, Produktdatenmanagement-, Workflow- oder Prozessmanagementsysteme eingesetzt. Oft werden diese Systeme auch in einer Softwarelösung integriert, um das Konzept des Produktlebenszyklusmanagement (PLM) unterstützen zu können. Bild 2-10 gibt einen Überblick des Aufbaus und der Funktionen eines Produktdatenmanagementsystems, welches zur Unterstützung des PLM eingesetzt wird.

Ein wichtiges Funktionsmodul eines solchen Systems ist das Dokumentenmanagementsystem, mit dessen Hilfe die verschiedenen Informationen gespeichert, verwaltet und bereitgestellt werden können. Die Verwaltung der Informationen und Dokumente wird durch sogenannte Metadaten bzw. -informationen ermöglicht, die den Dokumenten hinzugefügt werden, um diese eindeutig identifizieren und genauer beschreiben zu können (DIN EN 82045-1 2002, S. 8). Die Metainformationen und Dokumente werden dabei in separaten Datenbanken gespeichert und referenziert (FELDHUSEN & GEBHARDT 2008, S. 75). Die Metainformationen (Metadaten-Datenbank) ermöglichen sowohl eine Suche nach Dokumenten, als auch deren gezielte Bereitstellung. Es wird z. B. hinterlegt, bei welchem Prozessschritt ein Dokument angezeigt werden soll. Dadurch können Informationen zur automatischen Ausführung von Prozessen bereitgestellt werden. Das Dokumentenmanagement kann also bei der effizienten Suche und Beschaffung bestimmter Dokumente, bei der Automatisierung von Arbeitsabläufen beim Datenaustausch und bei der Nutzung von Erfahrungswissen unterstützen (DIN EN 82045-1 2002, S. 5).

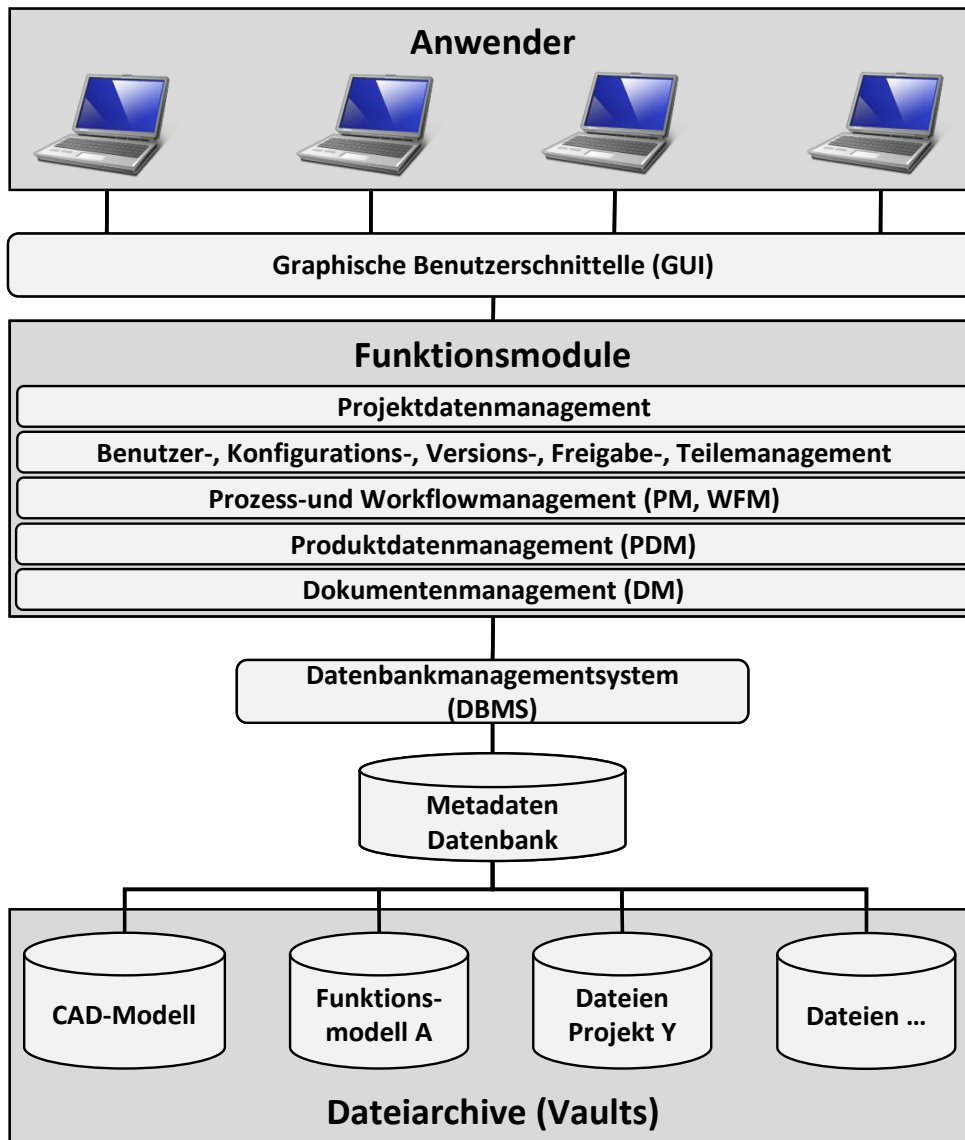


Bild 2-10: Aufbau eines Produktdatenmanagementsystems bzw. „Product Lifecycle Management System“  
(in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2219: VDI 2002, S. 9 ff.)

Für die effiziente Bereitstellung und das effiziente Auffinden von Informationen spielt je nach Anwendungsfall die Auswahl bzw. Erfassung von benötigten Metainformationen eine große Rolle. Beispiele für Metainformationen, die typischerweise in den verschiedenen Systemen (DMS, EDM/PDM, WFM-System, PM) eingesetzt werden, werden bei den folgenden Beschreibungen der Systeme aufgeführt.

## Dokumentenmanagementsysteme

Grundlage eines Informationssystems ist das Daten-/Dokumentenmanagementsystem (SPUR & KRAUSE 1997, S. 256). Dabei macht es keinen Unterschied, ob die Dokumente Papier basiert oder digital verwaltet werden. Die Prinzipien des Dokumentenmanagements sind für alle abgelegten Dokumente gleich. So müssen rechnerbasierte genauso wie Papier basierte Dokumentenmanagementsysteme die Aufgaben des Verwaltens, Recherchierens und Archivierens erfüllen (AURICH 2005B, S. 6). Dokumente werden erst mit beschreibenden Informationen bzw. Metainformationen/-daten, wie z. B. Erstellern, Schlüsselwörtern oder Freigabe-merkern, versehen (attribuiert), dann klassifiziert und anschließend in Ordnern abgelegt. Zusätzlich erlauben diese Metainformationen Beziehungen zwischen den Dokumenten in Form von Querverweisen abzubilden (ARNOLD et al. 2005, S. 88), (DIN EN 82045-2 2005, S. 42), (POLKE 2004, S. 31). Solche Metainformationen werden auch Attribute oder auch Dokumentenstammdatens genannt. Neben den rein identifizierenden Attributen werden auch beschreibende Attribute verwendet, welche den Inhalt des Dokuments genauer beschreiben. Eine typische Zusammenstellung von Attributen ist in Bild 2-11 dargestellt (ARNOLD et al. 2005, S. 88).

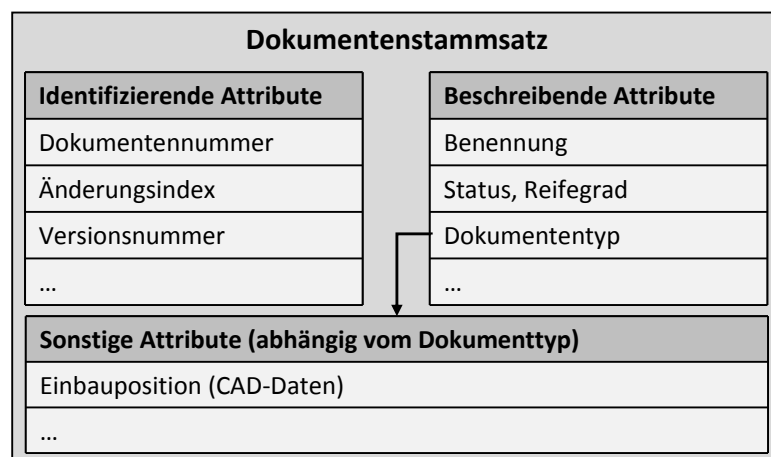


Bild 2-11: Beispiele für Metadaten eines Dokumentenmanagementsystems (ARNOLD et al. 2005, S. 88)

Die Beschreibung und Klassifikation der Dokumente mittels Attributen erleichtert bzw. ermöglicht später sowohl die Recherche als auch das Finden bzw. Bereitstellen abgelegter Informationen. Das Management eines Informationslebenszyklus wird durch Funktionen wie das Reservieren (Check-out) und Freigeben (Check-in) ermöglicht. Auf diese Weise werden dem einzelnen Anwender exklusive Zugriffsrechte für das Dokument übertragen und damit eine überschneidende Bearbeitung von Dokumenten verhindert (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 239). Ein funktionierendes Dokumentenmanagementsystem ist daher die Grundvoraussetzung für die Wiederverwendung, den schnellen Zugriff und den Austausch von Informationen, sei es aus Gründen der Nachweispflicht oder einer Beschleunigung der Produktentwicklung.

## **Engineering Data Management- / Produktdatenmanagementsysteme**

Eine spezielle Form des Dokumentenmanagements bzw. der Dokumentenmanagementsysteme sind Engineering Data Managementsysteme (EDM-Systeme). Diese Systeme sind rechnerunterstützte Datenbank- und Kommunikationssysteme, um produktbeschreibende Daten zu speichern, zu verwalten und bereitzustellen (FELDHUSEN & GEBHARDT 2008, S. 75). Das EDM wurde ursprünglich zur Verwaltung von CAD-Stücklisten entwickelt. Später wurden sie zu Produktdatenmanagementsystemen (PDM-Systeme) weiterentwickelt. PDM-Systeme verwalten zusätzlich auch andere Daten, die als Ergebnis aus der Verwendung von CAD-Systemen (3D-Darstellungen, Zeichnungen etc.) entstehen. Neuere weiterentwickelte PDM-Systeme werden auch für die Verwaltung einer Vielzahl weiterer Daten eingesetzt wie z. B. Daten aus Programmen zur Finite Element Analyse oder aus Textdokumenten. Forschungsprojekte, wie z. B. „SimPDM“ oder das Nachfolgeprojekt „Collaborative CAD/CAE Integration“ beschäftigen sich in diesem Zusammenhang speziell mit der Integration von Simulations- und Berechnungsdaten in PDM-Systeme (PROSTEP IVIP 2008). Neben Stücklisten, Simulations- und CAD-Daten werden Produktdaten der gesamten Produktentwicklungsprozesskette verwaltet (ANDERL & PHILIPP 1999, S. 21). Dies schließt auch den Vermarktungsprozess mit ein, der vor allem kundenbezogene Produktinformationen benötigt. Speziell an der Vermarktung orientierte Produktinformationen werden allerdings auch separat in Produktinformationssystemen verwaltet (SCHÄFER 2006, S. 58), die hier als eigenständige Systeme nicht näher betrachtet werden. Durch ihre erweiterte Funktionalität werden PDM-Systeme auch als Grundlage für die virtuelle Produktentwicklung gesehen (EIGNER & ZAGEL 1999, S. 103), die alle dafür benötigten Produktdaten verwalten können. Neben den Standardfunktionalitäten wie Speicherung, Ordnung, Konsistenzsicherung und Bereitstellung am Arbeitsplatz (vgl. Dokumentenmanagementsystem) können beispielsweise auch Aufgaben des Produktstruktur-, Konfigurations- oder Prozessmanagements wahrgenommen werden (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 238) (siehe Bild 2-10). Dazu werden entsprechende Metainformationen definiert, die in reinen Dokumentenmanagementsystemen nicht verfügbar sind. Da PDM-Systeme Daten des gesamten Produktlebenszyklus verwalten, werden sie auch für die Unterstützung damit verbundener Prozesse genutzt. In diesem Zusammenhang werden sie auch mit dem Begriff des „Product Lifecycle Management“ (PLC-M oder PLM) in Verbindung gebracht (ABRAMOVICI & SIEG 2002, S. 2) bzw. synonym verwendet (SCHÄFER 2006, S. 52). PDM-Systeme werden daher auch als „Product Lifecycle Managementsysteme“ (PLM-Systeme) bezeichnet (siehe Bild 2-10). Beispiele für solche Systeme sind ENOVIA SmartTeam (Dassault Systèmes) oder Teamcenter, ehemals Metaphase (Siemens AG). Da solche Systeme nicht immer den Rahmenbedingungen eines Unternehmens gerecht werden, gibt es auch Eigenentwicklungen bzw. Anpassungen an das jeweilige Unternehmen wie z. B. das KonstruktionszeichnungsVerwaltungsSystem „KVS“ der Volkswagen AG, „PRISMA“ der BMW AG (WIES 2007, S. 4), oder SMARAGD (Daimler AG, auf Basis von Teamcenter).

Durch die Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus werden im Rahmen der integrierten Produktentwicklung bereits in früheren Phasen Informationen aus nachgelagerten Prozessen, wie z. B. dem Recycling, verwendet. Diese ganzheitliche Informationsbereitstellung wird auch als „Frontloading“ bezeichnet (SCHÄPPI et al. 2005, S. 421). Aktuell in der Praxis eingesetzte PDM-Systeme bieten die Funktionalität zur Unterstützung des „Frontloading“, was

auch durch die im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Dokumenten- und Prozessbeschreibung ermöglicht werden muss.

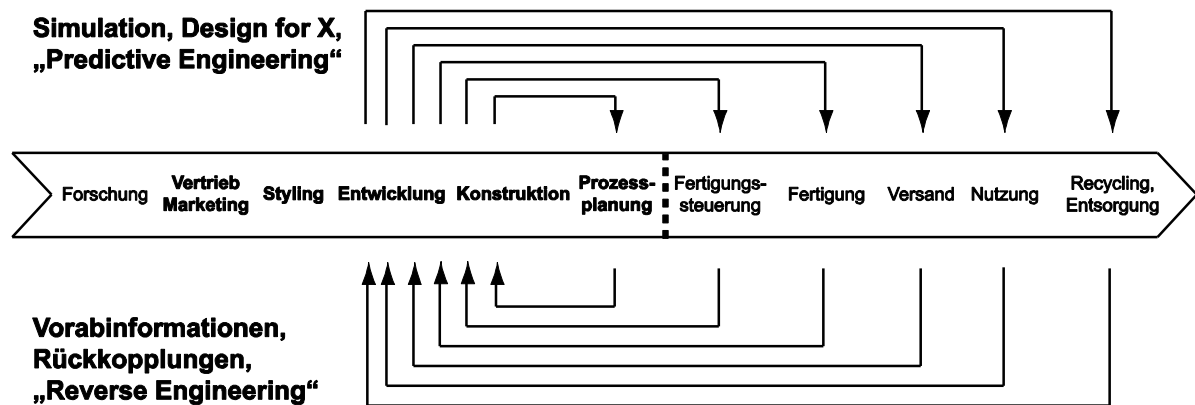


Bild 2-12: Informationsflüsse („Frontloading“) der integrierten Produktentwicklung  
(in Anlehnung an EHRENSPIEL 2007, S. 195 und SCHÄPPI et al. 2005, S. 421)

Das Workflowmodul von PDM/PLM-Systemen beinhaltet vor allem das Prüf- und Freigabewesen in dem der Freigabeprozess standardisiert, modelliert und dadurch im System ausführbar wird. Das PDM-System Enovia SmarTeam ist ein Beispiel für die Ausführungsunterstützung von Prozessen (siehe HECKER 2007, S. 77 ff.). Es wird also wie auch beim Workflowmanagementsystem die Durchführung von Prozessen unterstützt, was sich aber auf Unterstützungsprozesse wie den erwähnten Freigabeprozess beschränkt (FELDHUSEN & GEBHARDT 2008, S. 78). Während PDM-Systeme das Datenmanagement als Hauptaufgabe haben (Archivieren, Verwalten, etc.), greifen WFM-Systeme die Prozessorientierung auf und unterstützen den Ablauf durch die Modellierung der Prozessschritte. Jedoch verschwimmen die Grenzen zwischen den verschiedenen Systemen zunehmend (BECKER et al. 2005, S. 383), da die Funktionsintegration immer weiter voran schreitet und, wie bereits erwähnt, in dem Konzept des Product Lifecycle Managements zusammengefasst wird.

## Workflow- und Prozessmanagementsysteme

Die Effizienzsteigerung von Prozessen in der Produktentwicklung ist zu einem entscheidenden wirtschaftlichen Faktor geworden. Workflow- und Prozessmanagementsysteme werden eingesetzt, um Durchlaufzeiten zu verkürzen, Prozesskosten zu reduzieren und die Bearbeitung von Arbeitsschritten transparenter zu machen (RICKAYZEN 2002, S. 41 ff.). Die Begriffe Workflow und Prozess bzw. Workflow- und Prozessmanagementsystem werden oft synonym verwendet (SCHÖTTNER 1999, S. 211). Mit dem Begriff „Workflow“ werden also auch Begriffe wie Geschäftsprozesse und deren Automatisierung assoziiert (GEORGAKOPOULUS & HORNICK 1995, S. 122), obwohl sich Prozesse und Workflows durch ihren Detaillierungsgrad unterscheiden lassen. Der Workflow besteht aus einzelnen Prozessschritten und deren detaillierter Beschreibung (Arbeitsanweisungen), auf welche Weise, mit welchen Dokumenten und Hilfsmitteln und in welcher Reihenfolge diese auszuführen sind (SCHÖTTNER

1999, S. 211). Das heißt, der Anwender wird in seiner Arbeit direkt durch Informationen zum Ablauf und dafür benötigter Dokumente unterstützt (operativ-informativ) (HASTEDT-MARCKWARDT 1999, S. 100). Unter einem (Geschäfts-)Prozess wird der logische Ablauf von mehreren Tätigkeiten verstanden. Es wird nicht vorgegeben, auf welche Weise der Prozess ausgeführt werden soll (GALLER 1997, S. 8), (GIERHAKE 1998, S. 54). Ein Workflow kann also als einer von einem Informationssystem unterstützter automatisierter Prozess verstanden werden (KÖRNER 1998, S. 4). Für die Implementierung der Prozesse als ausführbarer Workflow werden Workflowmodelle z. B. mittels Petrinetzen, temporaler Logiken, übertragender Logiken (Näheres siehe OREN & HALLER 2005, S. 18) oder YAWL (Yet Another Workflow Language) erstellt (VAN DER AALST & TER HOFSTEDE 2005, S. 245 ff.).

Das Prozessmanagement und damit auch ein Prozessmanagementsystem beschäftigen sich mit der Definition und Einbindung der Prozesse in die Unternehmensstrategie (JANIA 2005, S. 42). Ziel des Prozessmanagements ist die Verbesserung der Prozesstransparenz und die kontinuierliche Optimierung der Abläufe im Unternehmen. Voraussetzung dafür ist die Prozessmodellierung, die eine solche Prozesstransparenz schafft, dadurch Optimierungspotentiale aufzeigt und zudem Prozessverzögerungen durch die Standardisierung von Prozessen reduziert (JANIA 2005, S. 36). Workflowmanagementsysteme unterstützen dagegen auch einzelnen Tätigkeiten der Ingenieure, indem Hilfestellungen für z. B. die Ausführung des Prozessschrittes oder zu erzeugende Dokumente gegeben werden. Die **Workflow Management Coalition (WfMC)** definiert ein Workflowmanagementsystem als ein System, welches die Definition, die Erstellung und die Ausführung von Workflows unterstützt (WORKFLOW MANAGEMENT COALITION 1999). Es überwacht die Ausführungsreihenfolge von Aktivitäten, stellt dafür benötigte Daten bereit und legt die für die Ausführung vorgesehene Person fest. Für diese Überwachung ist ein Workflowmodell notwendig, was somit als Grundlage für die Koordination von Prozessen durch ein WFM-System angesehen werden kann (BECKER et al. 2005, S. 376).

WFM-Systeme basieren meist auf einer 3-Schichten-Architektur (Präsentations-, Verarbeitungs- und Datenzugriffsschicht) (EIGNER & STELZER 2001, S. 224). Während die Präsentationsschicht für die graphische Darstellung der Daten zuständig ist (graphische Benutzerschnittstelle), greifen Programme der Verarbeitungsschicht auf die Daten zu und bereiten sie für die Präsentationsschicht auf. Die Datenzugriffsschicht ist für die Speicherung und Bereitstellung der Daten verantwortlich. JABLONSKI (1997, S. 77) definiert eine Architektur, welche die benannten Schichten enthält, sie jedoch genauer spezifiziert. So beschreibt er eine 4-Schichtenarchitektur, welche aus Hilfsmodulen (Datenschicht), Schale und Kern (Verarbeitungsschichten) und Werkzeugen (Präsentationsschicht) besteht. Unabhängig von der Anzahl der Schichten sind die modellierten Workflows bzw. Prozessschritte in der Datenzugriffsschicht gespeichert.

Wie im Abschnitt zu Produktdatenmanagementsystemen erwähnt werden WFM- und PDM-Systeme heutzutage meist in Verbindung miteinander in einer Softwarelösung eingesetzt. Beispiele für WFM-Systeme sind Business Workflow, d.3flow, BusinessFlow und Workflow-Engine. Diese Lösungen sind aber meist heterogen, da sie unter anderem für die Modellierung des Workflows Software von Fremdanbietern benötigen. Unterschiede gibt es auch bei der Benutzerfreundlichkeit und den Schnittstellen zur Kommunikation mit externen Systemen.

Werden WFM- und PDM-Systeme als integrierte Lösungen bereitgestellt, unterstützt die WFM-Komponente die Kommunikationsprozesse, indem z. B. beteiligte Personen automatisch informiert werden. Es kann daher als aktives System verstanden werden, das die Nutzer bei der tatsächlichen Ausführung der Prozesse unterstützt (VOSSEN & BECKER 1997, S. 21). Workflowmanagementsysteme bauen wie PDM-Systeme auf Dokumentenmanagementsystemen auf und ergänzen diese durch Routing, also die Dokumentation der verschiedenen Bearbeitungszustände der Dokumente entlang eines vordefinierten Prozesses (BECKER et al. 2005, S. 375).

Die Verschmelzung von Produktdaten- und Workflowmanagementsystemen ermöglicht eine ganzheitliche Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses während des gesamten Produktlebenszyklus. Bestehende Systeme tragen mithilfe von Metadaten zu einer verbesserten Informationsbereitstellung bei, sind aber auch in der Kombination von Produktdaten- und Workflowmanagement auf standardisierte Prozesse limitiert. Eine Beschleunigung dynamischer, nicht standardisierbarer Prozesse durch verbesserte Informationsbereitstellung kann mit den bestehenden Informationssystemen nicht gewährleistet werden.

#### 2.4.2 Anwendungsbeispiel: PDM-System

Gerade in der Automobilindustrie sind PDM-Systeme verbreitet. Dabei gibt es jedoch eine Vielzahl an Insellösungen, die auf die einzelnen Bereiche, wie z. B. Berechnung oder Logistik, spezialisiert sind. Diese Insellösungen, die Komplexität der Produkte und deren enorme Variantenvielfalt legen Rahmenbedingungen und Anforderungen fest, auf die PDM-Systeme unternehmensspezifisch angepasst werden müssen. Dies führt unter anderem zu Eigenentwicklungen bzw. zu Erweiterungen der Standard-Systeme wie z. B. dem PEP-PDM der BMW AG (WIES 2007, S. 4). Um eine konsistente Datenhaltung zu gewährleisten, wird im Rahmen des PEP-PDM eine „Enterprise Application Integration“ (EAI) umgesetzt, welche vorhandene einzelne Datenverwaltungssysteme (Insellösungen) miteinander verbindet (WIES 2007, S. 8). Mittels PEP-PDM werden die Daten aller Insellösungen über eine gemeinsame Nutzeroberfläche verfügbar gemacht und so ein durchgängiges Produktdatenmanagement im gesamten Produktentstehungsprozess gewährleistet. Außerdem beinhaltet PEP-PDM ein umfangreiches Varianten- und Änderungsmanagement. Zur Unterstützung des Produktentstehungsprozesses (PEP) sind der generische Entwicklungsprozess hinterlegt und auch administrative Prozesse bzw. Workflows, wie z. B. Konfigurations-, Integrations-, Freigabe-, Kosten- und Gewichtsprozesse abgebildet. Mithilfe der unterstützten Prozesse kann dem Konstrukteur bei der Definition des Bauraumkontextes, in den er sein Bauteil oder Modul integrieren möchte, Hilfestellung gegeben werden (Kommunalitätsmanagement). Er kann dazu die für ihn wesentlichen CAD-Daten auswählen und anzeigen lassen. Während der Prozess der Datenbeschaffung also technisch unterstützt wird, muss der Konstrukteur die Auswahl jedoch selbst treffen. Zusätzlich werden in PEP-PDM die für standardisierte Prozesse wichtigen Daten bereitgestellt. Beispielsweise wird der Prozess zur Bewertung und Verfolgung des Gewichts von Bauteilen oder dem Gesamtfahrzeug durch die Bereitstellung wichtiger Informationen unterstützt. Da für diese Prozesse mehrere Systeme zum Einsatz kommen, fungiert das PEP-PDM als Integrationsplattform bzw. als Datenarchiv, welches die abgesicherten Ergebnisse der einzelnen Prozesse und der daran beteiligten Teilsysteme zusammenführt.

Grundlage für die Beherrschung der Variantenvielfalt und die gezielte Datenbeschaffung ist die im PEP-PDM realisierte generische Produktstruktur eines Fahrzeugs. Sie kann fahrzeugübergreifend angewendet werden und ermöglicht den Nutzern auf die gewünschten Daten immer über die gleiche Struktur zuzugreifen. Ein Beispiel für eine typische generische und hierarchische Produktstruktur eines Fahrzeugs ist in Bild 2-13 dargestellt (WIES 2007, S. 4). Das Subsystem Lenkung beinhaltet neben weiteren Bauteilen das Lenkrad als Komponente. Dieses Lenkrad existiert in verschiedenen Varianten wie z. B. Rechtslenker- oder Linkslenker, Sportlenkrad, Multifunktionslenkrad usw., die jeweils mit spezifischen Sachnummern versehen sind. Diese teilen sich wiederum in weitere Elemente und sind schließlich mit CAD-Daten verknüpft.

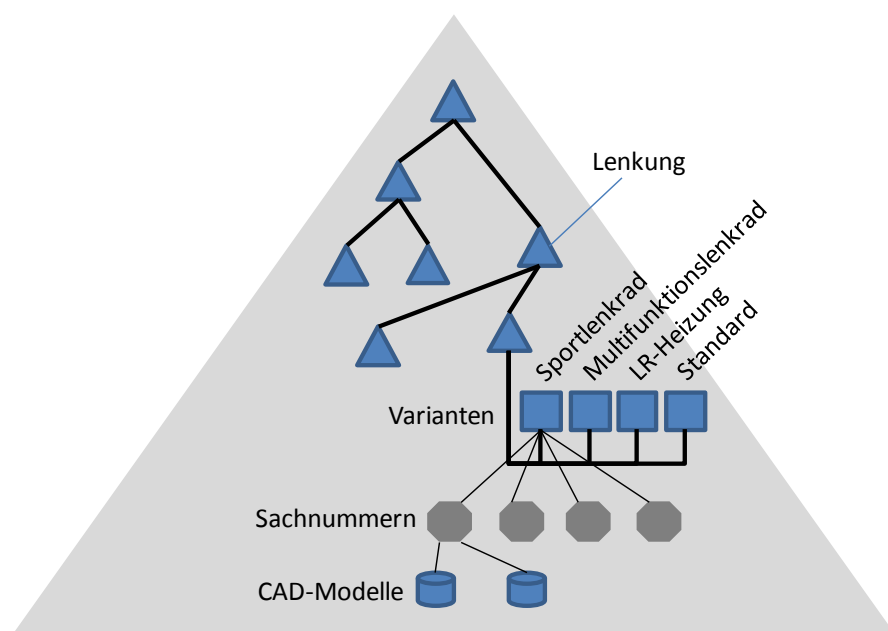


Bild 2-13: Produktstruktur und Anbindung von Varianten (in Anlehnung an WIES 2007, S. 4)

Die Datenobjekte im PEP-PDM sind über Metadaten bzw. Attribute beschrieben, die auch als Beziehungswissen bezeichnet werden. Dieses erlaubt durch Boolesche Operatoren, die Gültigkeit der Datei/des Bauteils für bestimmte Fahrzeugvarianten zu hinterlegen und mittels Filter bestimmte Daten anzeigen zu lassen. Das heißt, jedes Bauteil besitzt beschreibende Attribute, die eindeutig festlegen, in welchen Fahrzeugen dieses verbaut werden muss bzw. darf. Weitere Zuordnungen von Bauteilen zu Fahrzeugkonfigurationen werden auch über die speziellen Gültigkeiten bezüglich bestimmter Phasen definiert. So gibt es Bauteile, die nur für einen Versuchsaufbau von bestimmten Teilsystemen, wie z. B. des Cockpits, und eine eingeschränkte Zeit gültig sind. Die Konfiguration eines Produktes wird dadurch vereinfacht.

PEP-PDM bietet die strukturierte Verwaltung und Bereitstellung von Daten, die für die Ausführung der Prozesse notwendig sind. Vor allem das Varianten- und Änderungsmanagement profitieren von diesem System und verbessern die wichtige konsistente Datenhaltung. Aller-



dings gibt es keine Workflowunterstützung für dynamische Prozesse, um abhängig vom Prozessschritt die entsprechenden Informationen bereitzustellen. Es werden durch das System zwar alle verfügbaren Informationen angezeigt, aber die Auswahl der relevanten Informationen und die Navigation innerhalb der vielen Daten bleiben dem Nutzer überlassen. Eine spezifische Prozessunterstützung durch die gezielte Bereitstellung von Informationen ist nicht möglich.

### 2.4.3 Anwendungsbeispiel: TUfast

Das „TUfast Racing Team“ (TUfast) ist ein studentisches Team der Technischen Universität München, welches sich die Entwicklung eines Rennwagens zum Ziel gesetzt hat. Das Team nimmt an internationalen Konstruktionswettbewerben der „Formula SAE“ bzw. „Formula Student“ teil, die ein bestimmtes, verbindliches Regelwerk vorschreibt und reale Rennbedingungen für die entwickelten Fahrzeuge fordert. Das Regelwerk sieht unter anderem vor, dass jedes Jahr ein neues Fahrzeug entwickelt werden muss, ein Budget von 25.000 \$ Herstellkosten nicht überschritten werden darf und sich das Team selbst durch Sponsorengelder finanzieren muss. Da das TUfast Racing Team und seine Abläufe bzw. Tätigkeiten sehr ähnliche wirtschaftliche Rahmenbedingungen, Aufgaben und Probleme wie ein kleines Unternehmen zu bewältigen hat, muss sich das Team kontinuierlich mit der Optimierung seines Produktentwicklungsprozesses beschäftigen. Das ca. 40-köpfige Team hat daher eine Organisationsstruktur aufgebaut und begonnen, wiederholungsintensive Prozesse zu standardisieren sowie den Informationsaustausch während der Entwicklung zu optimieren. Daher wurde im Rahmen dieser Forschungsarbeit eine Analyse der Prozesse und der Informationsbereitstellung bei TUfast durchgeführt, um Rückschlüsse auf die Problematik der prozessorientierten Bereitstellung entwicklungsrelevanter Informationen ziehen zu können.

Um die verschiedenen Informationen über den gesamten Prozess hinweg zu verwalten, verwendet das TUfast Racing Team eigenständige Lösungen (Insellösungen) für bestimmte Dokumenten-/Datentypen. So werden z. B. technische Produktdaten wie CAD-Daten und Simulationsergebnisse in einem PDM-System verwaltet, dagegen projektbegleitende Dokumente wie Abbildungen, Rechnungen, Briefe usw. auf einem Server bzw. in einem „Content Managementsystem“ (CMS) abgelegt (siehe Bild 2-14).

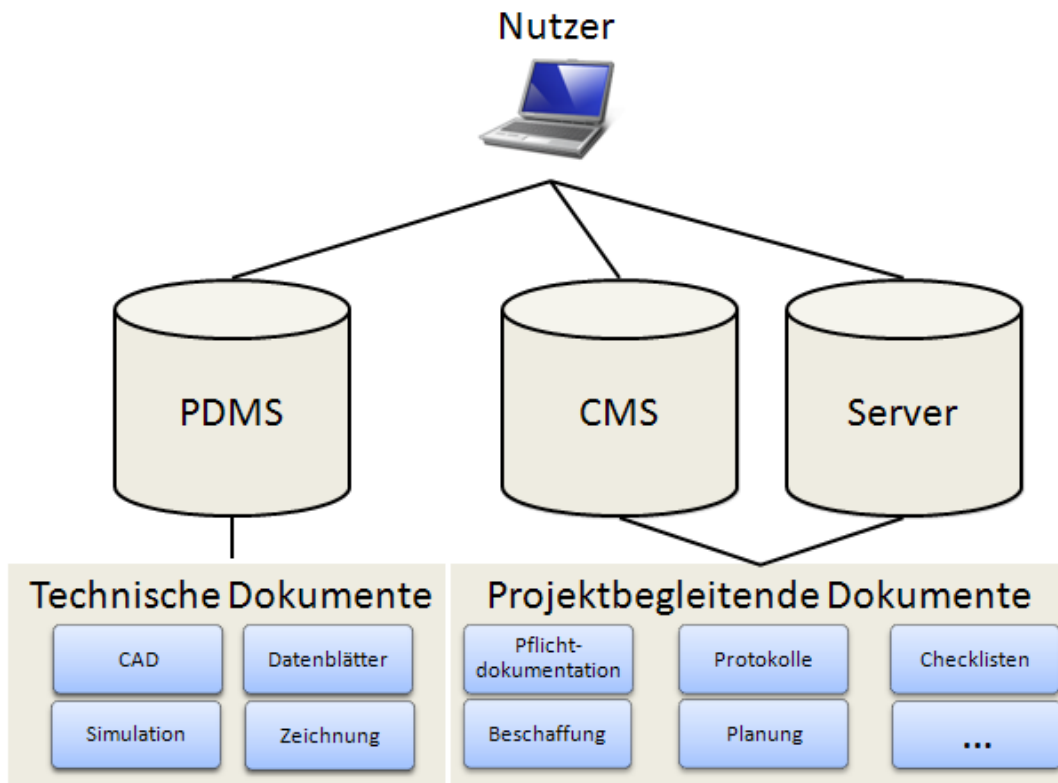


Bild 2-14: Datenverwaltung bei TUfast

Das dort eingesetzte PDM-System Enovia SmarTeam besitzt die üblichen Funktionsmodule eines PDM-Systems einschließlich eines Workflowmoduls, das die Modellierung von Administrationsprozessen, wie z. B. Freigabeprozessen, ermöglicht. Allerdings müssen die Verknüpfungen von Informationen und Prozessschritten im Vorfeld modelliert werden. Bei TUfast gibt es bereits modellierte Prozesse wie den Freigabeprozess von CAD-Modellen, die den Nutzer beim Prozessablauf unterstützen und die zur Ausführung benötigten Dokumente bereitstellen. Sobald aber z. B. eine Freigabe einer Konstruktion nicht genehmigt wird, muss der vormodellierte Freigabeprozess verlassen werden, um die Mängel konstruktiv zu beheben. Hier greift also das zuvor erstellte Prozessmodell mit den zugehörigen Informationen nicht mehr. Ab diesem Zeitpunkt fungieren alle beteiligten Systeme bzw. Server nur noch als Informationsquellen, in denen die richtigen Informationen gesucht werden müssen. Sowohl das „Content Managementsystem“ als auch der Server haben keine Prozessverknüpfung bzw. -modellierung hinterlegt, welche die Änderungstätigkeit unterstützt. Der Nutzer stellt dann ungenaue Suchanfragen nach wichtigen Informationen, die er nach seinem Kenntnisstand für seine Aufgabe benötigt. Wichtige Informationen in diesem Zusammenhang sind z. B. entsprechende Anforderungen, Ressourcenpläne, eingesetzte Fertigungsverfahren oder Qualitätsstandards. Zwar sind diese Informationen in den Datenbanken des TUfast Racing Teams strukturiert und können mittels identifizierender Attribute, wie sie standardmäßig in der Informati-

onstechnik verwendet werden (Autor, Datum, usw.), gefunden werden. Ist aber dem Einzelnen z. B. aufgrund mangelnder Erfahrung nicht bewusst, welche Informationen er benötigt (Informationsbedarf), führt seine unspezifische Suchnachfrage zu einem Zeitverlust bei der Informationsbeschaffung. Eine aufgabenspezifische Suche mittels der eingesetzten Attribute wird bisher nicht unterstützt.

Das TUfast Racing Team hat diese Effizienzverluste erkannt und daher eine qualitative Analyse ihrer Prozesse und Dokumentenlandschaft dazu verwendet, Prozesse zu optimieren und zu modellieren sowie mit aktuellen Informationsverknüpfungen zu hinterlegen. Auch dieses weit verbreitete Verfahren zum Prozessmanagement und der Prozessoptimierung fokussiert nur auf wiederholungsintensive, standardisierbare Prozesse. Bei TUfast können daher keine weiteren Potentiale bei der Informationsbereitstellung in dynamischen Prozessen nutzbar gemacht werden.

#### 2.4.4 Fazit

Das Informationsmanagement gewinnt bei der steigenden Informationsflut an Bedeutung. Gerade die Informationslogistik, welche die richtigen Informationen zum richtigen Zeitpunkt bereitstellen soll, wird seit langem durch die verschiedensten Informationssysteme unterstützt. Dadurch ist es möglich, die vom Nutzer nachgefragten Informationen im Archiv (Informationsangebot) effizient zu finden und bereitzustellen. Typische Informationssysteme in der Produktentwicklung sind sogenannte Produktdatenmanagementsysteme, welche neben der Verwaltung von CAD-Daten auch weitere Funktionsmodule wie das Dokumentenmanagement- oder das Workflowmanagementmodul (WfM-Modul) bieten. Während das Dokumentenmanagement die Archivierung und Verwaltung auch von anderen Dokumenten als Produktdaten unterstützt, erlaubt das WfM-Modul die Ablaufunterstützung von Prozessschritten. Die zwei dargestellten Anwendungsbeispiele von Informationssystemen lassen erkennen, dass die eingesetzte Informationstechnik auf die konsistente Datenhaltung und die Beherrschung der Varianten- und Informationsflut fokussiert. Während in dem ersten Beispiel die Realisierung einer „Enterprise Application Integration“ (EAI) von mehreren Systemen angestrebt wird, gibt es im zweiten Beispiel auch die strikte Trennung zwischen PDM-System, Server und „Content Management System“.

Jedes System verwendet für sein integriertes Dokumentenmanagementsystem abweichende Attribute bzw. Metadaten, welche die Grundlage für die effiziente Strukturierung und die Bereitstellung der Informationen sind. Die verwendete Struktur ist die Produktstruktur, auf die sich die meisten Informationssysteme beschränken. Das bedeutet, ihre verwendeten Attribute erlauben neben den standardmäßig identifizierenden Attributen eine Einordnung in die Produktstruktur und eine Zuordnung zu verschiedenen Varianten. Der Zugriff bzw. die Suche nach Informationen wird durch den klaren Strukturbaum unterstützt. Zusätzlich zur reinen Datenhaltung werden aber auch wiederholungsintensive, standardisierbare Prozesse mit den Workflowmodulen der Systeme modelliert. Dies schließt auch die Verknüpfung der Prozessschritte mit den benötigten Informationen ein. Es werden also in Ergänzung zu den Attributen für das Dokumentenmanagement weitere Metadaten gespeichert, die Informationen mit Prozessen verknüpfen und dadurch den Ablauf solcher Prozesse unterstützen. Die in den Beispielen eingesetzten Informationssysteme verwenden bisher noch keine Metadaten für eine Ver-

knüpfung zwischen Ad-hoc-Workflows bzw. iterativen Prozessen und Dokumenten. Dies liegt an der Dynamik der Prozesse, die dadurch nicht exakt planbar und modellierbar sind. Eine systemgestützte Informationsbereitstellung zur Laufzeit des Prozesses ist daher mit den bestehenden Systemen nicht möglich. Eine Informationsbereitstellung bei dynamischen Prozessen wird in der Praxis bisher nur durch die strukturierte Archivierung von Informationen möglich, die einen möglichst schnellen und konsistenten Zugriff gewährleistet. Voraussetzung aber, um das Potential des strukturierten Zugriffs auszuschöpfen, ist das Wissen eines Ingenieurs über seinen Informationsbedarf, der allerdings sehr stark zwischen Berufseinsteigern und Berufserfahrenen variiert. Deshalb müssen sich Ingenieure meist mit unspezifischen Informationsnachfragen behelfen, die oft unspezifisch sind. Sie bringen eine Vielzahl an Suchergebnissen, die keine Relevanz für den Ingenieur besitzen.

## 2.5 Stand der Forschung

Nicht nur in der industriellen Praxis, sondern auch in der Wissenschaft und Forschung wird die Informationsbereitstellung während eines Produktentwicklungsprozesses untersucht und durch neue oder optimierte Ansätze weiterentwickelt. Aktuelle Forschungen behandeln verschiedenste Ansätze zur Unterstützung der Informationsbereitstellung. Sie beschäftigen sich unter anderem mit der Strukturierung der Daten und Dokumente, um das Wiederauffinden von Dokumenten und darin enthaltener Informationen zu erleichtern. In produktorientierten Ansätzen, wie sie auch in der Industrie verfolgt werden, geschieht dies meist anhand der Produktstruktur. Am Prozess orientierte Ansätze strukturieren Informationen zusätzlich nach dem Prozess, z. B. anhand seiner verschiedenen Konkretisierungsstufen (Ebenenmodelle). Als integriertes Produkt- und Prozessmodell wird daher eine prozessorientierte Verknüpfung der Informationen bezeichnet. In Informationssystemen mit Workflowmodulen werden solche Verknüpfungen im Vorfeld des Prozesses hinterlegt. Dadurch können sie während der Prozessausführung bei der Bereitstellung wichtiger Dokumente unterstützen. Die Modellierung dieser Verknüpfungen besteht unter anderem aus definierten Metainformationen, die nicht nur für feste Verknüpfungen zwischen Prozess und Dokumenten geeignet sind, sondern auch die Grundlage für Suchfunktionalitäten darstellen. Vor allem aus der Informatik stammen Ansätze, welche die Semantik von Objekten erforschen und in modernen Suchalgorithmen genutzt werden. Die verschiedenen Ansätze zur Informationsbereitstellung werden im Folgenden erläutert und kritisch im Hinblick auf eine flexible Prozessverknüpfung betrachtet.

### 2.5.1 Strukturierung von Informationen

Informationen können auf verschiedene Arten strukturiert werden, wie z. B. in Form von Produktstrukturen und -ontologien oder Ebenenmodellen. Auch eine am Nutzer orientierte Strukturierung ist möglich. Dazu werden bestehende Ansätze im Folgenden erläutert.

### **Produktstruktur und -ontologie**

Die in Unternehmen existierenden Informationslandschaften sind durch eine starke Heterogenität geprägt, die beispielsweise durch die verschiedenen Erstellungs- und Arbeitsprozesse oder auch die Organisationsstruktur entsteht (SCHULZ 2002, S. 38). Da produktbeschreibende Informationen das Produkt selbst beschreiben, orientiert sich deren Strukturierung meist an einer hierarchischen Produktstruktur (SCHULZ 2002, S. 78). Die hierarchische Strukturierung ist jedoch nicht die einzig mögliche Art der Strukturierung. Um eine höhere Transparenz der Informationen und der Prozesse zu erreichen, werden sie auch zusätzlich nach bestimmten Kriterien klassifiziert. RICHTER (2005, S. 10) strukturiert Informationen und Dokumente, die als Produktmodelle abgelegt sind, in geometrische, eigenschafts- und strukturorientierte, wissenschaftsbasierte, gekoppelte und integrierte Produktmodelle (RICHTER 2005, S. 10). CONRAD et al. (2007, S. 2) und GRUNWALD (2002, S. 44) nennen ähnlich wie RICHTER als die in PDM-Systemen gängigsten Kriterien die funktionale, die formorientierte bzw. geometrische und die fertigungs- bzw. montageorientierte Klassifikation. CONRAD et al. (2007, S. 3) kritisieren diese Art der Strukturierung als nachteilig für diejenigen Nutzer, die nicht vollständig in hierarchischen Strukturen denken. Die kritisierte Strukturierung ist daher nicht ausreichend nach den Nutzern ausgerichtet (CONRAD et al. 2007, S. 3). Sein Vorschlag zur Verbesserung der Informationsbereitstellung bedient sich eines semantischen Ansatzes, der in Kapitel 2.5.4 genauer aufgegriffen wird. Die Ergebnisse seiner Analyse von Informationsstrukturierungen lassen auch erkennen, dass PDM-Systeme mit aktuellen Strukturierungsansätzen keine Verknüpfung mit der Tätigkeit und damit mit dem Entwicklungsprozess herstellen können. Zwar werden Workflowmodule zur Herstellung dieser Verknüpfung in aktuellen Systemen integriert, wie aber später in Kapitel 2.5.3 beschrieben beschränken sich diese auf standardisierbare Prozesse und können somit keine situationsspezifische Informationsbereitstellung gewährleisten.

Zur Verbesserung des Informationsaustausches werden hierarchische Produktstrukturen auch unternehmensweit vereinheitlicht und generisch gestaltet (siehe PEP-PDM aus Kapitel 2.4.2). Dies ermöglicht den Nutzern sich in jeder Produktstruktur der Produktfamilie schnell zurechtzufinden. Zusätzlich werden aber auch Produktontologien erstellt, die auf Basis von vordefinierten Begriffen ein gemeinsames Verständnis für den Informationsaustausch fördern (GRUBER 1993, S. 218), (JASPER & USCHOLD 1999, S. 1). Während die generische Strukturierung mehr Einheitlichkeit der Strukturierung im Unternehmen gewährleistet, steht speziell bei Produktontologien die Vernetzung der Informationen im Vordergrund, die z. B. die Kommunikation im Bereich des unternehmensübergreifenden Anforderungsmanagements verbessert (KERR et al. 2004, S. 7). Am Beispiel eines Autositzes demonstrieren KERR et al. (2004) die Entwicklung einer Produktontologie einschließlich der Definition der Begriffe. Die dort entwickelte Ontologie beschränkt sich allerdings auf die Vernetzung der Informationen untereinander, aber behandelt nicht die Vernetzung mit Prozessschritten. Ähnlich verhält es sich bei KITAMURA & MIZOGUCHI (2003, S. 153), die sich auf die Strukturierung der Informationen nach Funktionen eines Produktes beziehen. Jedoch ermöglicht diese Klassifikation nur den Zugriff auf Informationen über verschiedene Produktfunktionen, nicht aber über bestimmte Prozessschritte.

Sowohl Produktstrukturen in ihren beschriebenen Ausprägungen als auch Produktontologien unterstützen bei der Navigation in der Informationslandschaft eines Produktes und tragen maßgeblich zur Beschleunigung der Informationsbereitstellung bei. Die beschriebenen Ansätze ermöglichen jedoch keine Vernetzung mit dem Prozess, um weitere Beschleunigungspotentiale der Informationsbereitstellung erschließen zu können. Die beschriebene semantische Vernetzung dient aber als Möglichkeit für eine Verknüpfung von Informationen und Prozess.

### Ebenenmodelle

Andere Forschungsarbeiten strukturieren Informationen nicht nach Produktstrukturen oder domänenspezifischen Produktontologien, sondern nach den Phasen, in denen sie während einer Produktentwicklung benötigt bzw. typischerweise verwendet werden. Zur Darstellung solcher Ansätze werden zumeist Ebenenmodelle eingesetzt, wie z. B. das **M**ünchener **K**onkretisierungs**m**odell (MKM) von PONN & LINDEMANN (2008, S. 24), welches wiederum auf dem Pyramidenmodell der Produktkonkretisierung von EHRENSPIEL (2007, S. 38) basiert. Um Produktmodelle entsprechend ihres Konkretisierungsgrades einzelnen Phasen der Produktentwicklung zuzuordnen, beschreibt EHRENSPIEL (2007) die Bereiche Funktion, Physik, Gestalt und Produktion. Wie EHRENSPIEL (2007) beschreiben PONN & LINDEMANN (2008) mit dem MKM eine Strukturierung der Produktmodelle nach deren Konkretisierungsgrad, indem sie die Konkretisierungsebenen durch das Anforderungs-, Funktions-, Wirk- und Baumodell darstellen (siehe Bild 2-15).

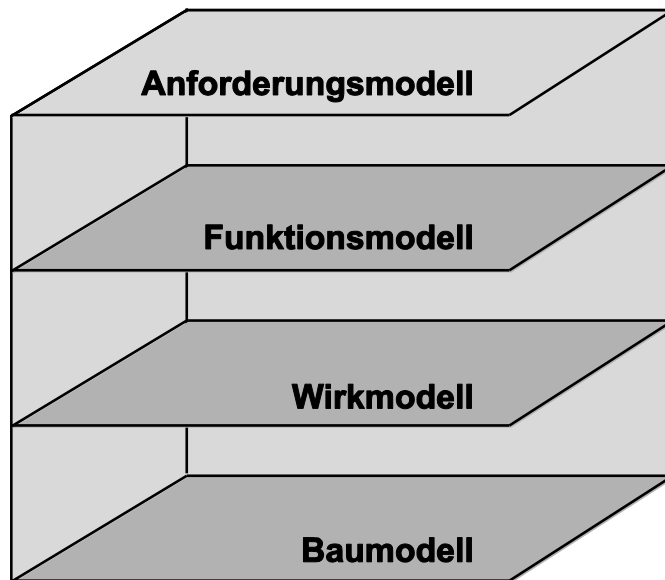


Bild 2-15: Münchener Konkretisierungsmodell nach PONN & LINDEMANN (2008, S. 24)

Ein ähnliches Modell, welches zur Beschreibung der Konkretisierungsschritte eingesetzt werden kann, definiert die drei Ebenen Funktion, Verhalten und Konstruktion („Function-Behavior-Structure/State: FBS) (UMEDA & TOMIYAMA 1995, S. 273). Die Funktions-, Wirk-, und Bauebenen des Münchner Konkretisierungsmodells (siehe Bild 2-15) entsprechen dabei

den Ebenen Funktion, Verhalten und Konstruktion des FBS-Modells. Auch bei dem FBS-Modell werden die einzelnen Funktionen des Produktes modelliert und ihnen anschließend beispielsweise physikalische (Wirk-)Prinzipien zugeordnet, um ein gewünschtes Verhalten für die Funktionserfüllung zu erhalten. Die Erfüllung von Verhalten und Funktionen wird im letzten Schritt durch die Gestaltung der Konstruktion erreicht. Unter Verwendung des FBS-Modells gibt es Ansätze zur rechnergestützten Produktentwicklung, welche bei der Synthese – also der Definition der einzelnen Konkretisierungsebenen – unterstützen. SHEA & STARLING (2003) schlagen dazu parametrische rechnerbasierte Werkzeuge vor, welche bei der Kombination von Konstruktionsbausteinen zu einem Gesamtsystem unterstützen (Synthese). HELMS et al. (2009, S. 1 ff.) setzen beispielsweise Graph-Grammatiken ein, um Konzepte rechnergestützt zu erstellen. Graph-Grammatiken definieren dabei bestimmte Regeln, auf deren Basis graphenbasierte Modelle von Funktionen, Verhalten und Bauteilen zusammengesetzt, verändert und zur jeweiligen nächsten Ebene transformiert werden können.

Die beschriebenen Ebenen des Münchner Konkretisierungs- und des FBS-Modells entsprechen bestimmten Phasen einer Produktentwicklung von der Anforderungsklä rung und Zielstrukturierung (z. B. Funktionsmodelle), Lösungssuche auf physikalischer Ebene bis hin zur vollständigen Gestaltung der Lösungen. Je nachdem auf welcher Konkretisierungsstufe gerade gearbeitet wird, können den Phasen bestimmte Produktmodelle in Form von Dokumenten zugeordnet werden und so den Ingenieur unterstützen. Auch RUDE (1998, S. 45, S. 239) skizziert einen derartigen Modellraum des Konstruierens, verwendet aber drei Dimensionen (Konkretisierungsgrad, Detaillierungsgrad, Variationsgrad). Die Dimensionen dienen der detaillierteren Ordnung von Ergebnissen aus dem Entwicklungsprozess. Innerhalb des Modellraums werden den vier Konkretisierungsstufen Anforderung, Funktion, Prinzip und Gestalt jeweils Partialmodelle eines integrierten Produktmodells zugeordnet. BRIX et al. (2003, S. 1) nutzen drei verschiedene Ebenen der Produktkonkretisierung (Funktion, Prinzip, Gestalt), um Informationen zu strukturieren. Es kann in jeder Ebene die entsprechende Darstellung verwendet und mit den Darstellungen der anderen Stufen ausgetauscht und synchronisiert werden. Durch diese Bereitstellung der Informationen über verschiedene Ebenen hinweg werden die Informationskonsistenz der Daten verbessert und Modelle aus verschiedenen Konkretisierungsstufen berücksichtigt.

Obwohl die Vernetzung von Informationen mit Prozessphasen ermöglicht wird, strebt der Ansatz jedoch keine Vernetzung zwischen einzelnen Prozessschritten an. Die Ebenenmodelle können demnach hauptsächlich zur groben Einordnung in den Produktentwicklungsprozess verwendet werden. Als Verfeinerung des Prozessgedankens der Ebenenmodelle können Prozessschritte den Prozessphasen zugeordnet werden, was die Vernetzung von Informationen mit einzelnen Prozessschritten unterstützen kann.

### **Nutzerorientierte Strukturierung**

JAPISKE (2004, S. 4) greift die Suche nach Informationen auf und argumentiert, dass die Strukturierung von Informationen die Präzision der Suchergebnisse beeinflusst. Um die Effektivität der Suchalgorithmen zu verbessern, versucht er eine Struktur zu identifizieren, die der intuitiven Strukturierung der Informationen durch Ingenieure nahe kommt (JAPISKE 2004, S. 4). In mehreren Studien untersucht er dafür die durch Ingenieure erstellten Strukturen und entwickelt daraus mithilfe multidimensionaler Skalierung eine repräsentative Struk-

tur (JAPISKE et al. 2003, S. 7). Er kommt zu dem Ergebnis, dass die effizientesten hierarchischen Strukturen sehr ähnlich zu seiner verbesserten Struktur sind (JAPISKE 2004, S. 172). Die Suchergebnisse können nach der gefundenen Struktur mittels Metadaten, die den Dokumenten hinzugefügt werden, gefiltert werden. Suchzeiten und die Qualität der Suchergebnisse können dadurch verkürzt bzw. optimiert werden.

JAPISKE hat die Strukturierung allerdings nur in Bezug auf die Informationen entwickelt. Den Entwicklungsprozess als solchen und dessen Einfluss auf die Informationsbereitstellung hat er jedoch nicht behandelt. Die Berücksichtigung des Nutzers bei der Strukturierung der Informationen ist aber essentiell, um die Informationsbereitstellung zu optimieren. Gerade das Vorgehen, viele verschiedene Strukturen zu identifizieren und zu einer repräsentativen Struktur zusammenzufassen, wird im Rahmen dieser Arbeit in Kapitel 4.4 wieder aufgegriffen.

## 2.5.2 Integration von Produkt- und Prozessmodell

Unter einem integrierten Produkt- und Prozessmodell wird die Verknüpfung von bestimmten Produktinformationen mit Prozessinformationen verstanden (COLLIN 2001, S. 88). Bei der Ausführung eines Prozesses können so die jeweils relevanten Informationen über diese Metainformationen angezeigt werden. Andersherum werden aber auch Prozessmodellierungsmethoden, wie z. B. Structured Analysis and Design Technique (SADT), ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) oder OMEGA eingesetzt, die ausgehend vom Prozessmodell einzelne Prozessschritte mit Produktdaten verknüpft. Die Erstellung von integrierten Produkt- und Prozessmodellen wird von JANIA als Voraussetzung der ganzheitlichen Geschäftsprozessoptimierung gesehen (JANIA 2005, S. 44). Integrierte Produkt- und Prozessmodelle gelten als Grundlage für die Behebung von Schnittstellenproblemen und den damit verbundenen Problemen beim Informationsaustausch.

### **Modellierung des Informationsbedarfs**

Die Kenntnis vom Informationsbedarf bei bestimmten Prozessschritten ist Grundlage für ein integriertes Produkt- und Prozessmodell. Deshalb werden Untersuchungen zur Ermittlung des Informationsbedarfs bei der Ausführung bestimmter Aufgaben und Prozessschritte durchgeführt. Hierzu wurden in mehreren Forschungsarbeiten von z. B. KUFFNER & ULLMAN (1991) oder MARSH (1997) typische Fragestellungen eines Entwicklers analysiert. Es wurden 52 Fragestellungen kondensiert, die sich einem Entwickler während seiner Aktivitäten/Prozessschritte stellen (GREBICI et al. 2009, S. 575). Dazu muss eine umfangreiche Taxonomie aufgebaut werden, die durch kontextspezifische Informationen, wie z. B. über den Konkretisierungsgrad, Untersuchungsgegenstand oder das Kommunikationsmittel, ergänzt werden muss. Um in empirischen Studien Fragestellungen bei bestimmten Aktivitäten und die zur Beantwortung benötigten Informationen erfassen zu können, wird eine generische Modellierungsmethode (P3) (WYNN 2007), (WYNN et al. 2009, S. 559), basierend auf gIBIS, verwendet (CONKLIN & BEGEMAN 1988, S. 305), (GREBICI et al. 2009, S. 576). Darin werden die Zusammenhänge zwischen Informationen und Prozessschritten durch ein Verknüpfungs-Meta-Modell mittels Relationen und weiterer Elemente fest modelliert. Zwar zielt diese Forschung auf die Erfassung des Informationsbedarfs, aber die erfassten Fragestellungen können später dennoch als Suchanfragen genutzt werden, die einen engen Prozess- bzw. Aktivitäten-



bezug haben. Das heißt, je nach Prozessschritt, den ein Entwickler gerade ausführt, können typische Fragen hinterlegt sein, die mit fest verknüpften Informationen bedient werden. Die Definition der festen Verknüpfungen setzt jedoch voraus, dass der Informationsbedarf zu bestimmten Aktivitäten standardisiert festgelegt werden kann. Aufgrund der Fülle sich ändernder Kontextinformationen in einem Produktentwicklungsprozess deckt diese statische Modellierung des Informationsbedarfs nur einen Teil der relevanten Informationen ab. Aufgrund der statischen Modellierung des Informationsbedarfs in bestehenden Ansätzen eignen sich diese nicht für dynamische Prozesse.

### **Attributierung von Produkt- und Prozessmodell**

IRLINGER (1998, S. 70) wählt den Ansatz, Prozesse als Attribute von Dokumenten zu betrachten, während BICHLMAIER (2000, S. 81) Dokumente als Attribute von Prozessen (Eingangs-Ausgangs-Daten) sieht. Beide Ansätze erlauben sowohl dokumenten- als auch prozessspezifisch relevante Informationen anzuzeigen. IRLINGER (1998) verwendet dazu ein objektorientiertes Datenmodell mit Attributen, wie z. B. Beschreibung, Lebensphase, Mitarbeiter oder Name, um die Informationsdokumentation während der Produktentwicklung zu unterstützen. BICHLMAIER (2000) fokussiert auf die Prozessplanung mittels vordefinierter Prozessbausteine, denen durch fest zugewiesene Eingangs- und Ausgangsinformationen die für die Ausführung des Prozesses notwendigen Dokumente bereitgestellt werden können.

Beide Ansätze basieren jedoch auf einer statischen Modellierung von Produkt- und Prozess. Sie können zwar die Informationsbereitstellung für standardisierbare Prozesse unterstützen, treten aber Veränderungen auf, greifen die Ansätze nicht mehr.

### **Informationssystem für Produkt- und Prozessmodell**

COLLIN (2001, S. 9) bemängelt die schlechte Zugänglichkeit von Produktinformationen und den schlechten Umgang mit Informationsmangel und -flut. Er argumentiert, dass sich Prozess- und Produktinformationen mittels Informationsmanagement besser handhaben lassen. COLLIN (2001, S. 95) setzt daher auf die Entwicklung eines Intranet Produkt und Prozess Informationssystems (IntraProIS), um die Daten des Produktmodells im Laufe des Prozesses besser dokumentieren und im ganzen Unternehmen als Dokumente zur Verfügung stellen zu können. Wesentlicher Bestandteil seines Ansatzes sind das Prozess- und das Produktmodell. Bei der Erstellung des Prozessmodells werden Dokumente prozessorientiert klassifiziert und dadurch bestimmten Prozessen, wie z. B. einem Prozess zur Auftragsbearbeitung, zugewiesen (COLLIN 2001, S. 88). Abhängig vom Prozess können so die wichtigen Informationen angezeigt werden. Beim Produktmodell werden einzelne Dokumente über die Produktstruktur klassifiziert. Die Klassifizierung von Informationsobjekten, die nicht in Standarddokumenten enthalten sind, wird über mehrere Attribute vorgenommen. Neben den üblichen Attributen wie Datum und Ersteller verwendet COLLIN (2001) die Attribute Klassifikation, Inhalt, Status, Lebensphase und Gültigkeitsbereich. Das Attribut Inhalt erfasst eine Kurzbeschreibung und Verschlagwortung des ausführlichen Textes des Informationsobjekts, während das Attribut Lebensphasen festhält, für welche Lebensphase die Information relevant ist. Des Weiteren verknüpft COLLIN (2001, S. 120) die Dokumente mit dem entsprechenden Prozess über den Namen des Prozesses, wie z. B. mit dem Auftragsprozess.

COLLIN (2001) stellt mit seiner Methode und dem System eine fixe, projektbezogene Verknüpfung zwischen Dokumenten und Prozessen her. Wie auch bei anderen Herangehensweisen, wird die Dynamik von Produktentwicklungsprozessen jedoch nicht adressiert.

**Parameterbasierter Engineering Workflow**

SCHMITT (2000, S. 11) überträgt Ansätze zur Geschäftsprozessmodellierung in die Produktentwicklung und entwickelt das Konzept eines unternehmensübergreifenden „Engineering Workflows“, der die Kommunikation bzw. den Produktdatenaustausch optimieren soll. Er entwickelt eine Methode zum „Management“ technischer Abläufe in der Produktentwicklung, welche Produktdaten und Dokumente über Parameter mit Personen und standardisierten, administrativen Prozessen verknüpft (SCHMITT 2000, S. 11, S. 83). Sein Konzept beschränkt sich auf die Bereitstellung von Produktdaten in Freigabe- und Genehmigungsworkflows (SCHMITT 2000, S. 89). Bild 2-16 stellt das Prinzip der Methode dar. Die Dokumente sind mit der Produktstruktur bzw. den Produktdaten fest verbunden. Wird eine Veränderung am Produkt vorgenommen, werden auch die betroffenen Parameter bzw. deren Werte geändert. Durch die Abarbeitung einer Parametercheckliste wird dieser neue Wert erkannt und es können betroffene Rollenträger bzw. Personen benachrichtigt werden. Da im Workflowmodell die entsprechenden Rollen für die einzelnen Prozessschritte hinterlegt sind, können über ihre parameterbasierte Verknüpfung mit dem Produkt auch die entsprechenden Dokumente bereitgestellt werden.

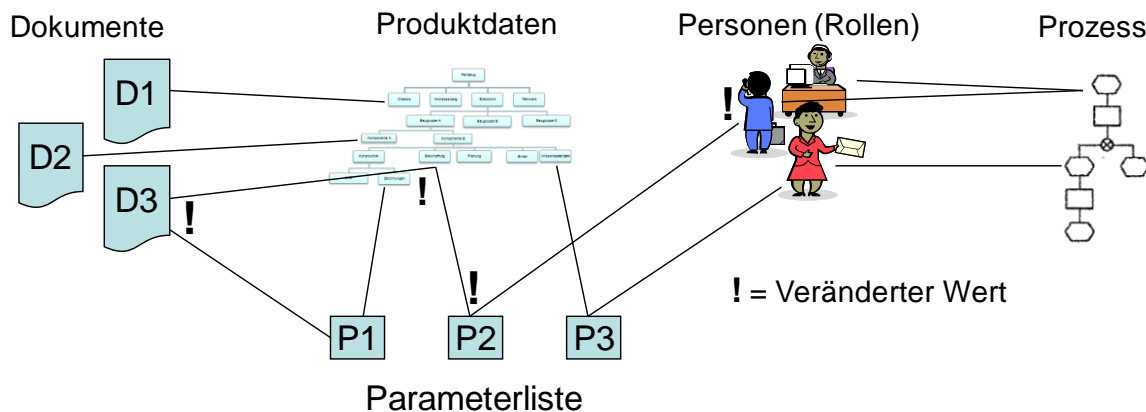


Bild 2-16: Parameterbasierte Verknüpfung von Produktdaten und Dokumenten mit Personen und Freigabe/Genehmigungsprozessen (in Anlehnung an SCHMITT 2000, S. 83)

SCHMITT (2000) versteht unter Parametern Variablen, deren Wert die Gestalt, das Material oder die Funktion eines Objektes beeinflusst. Die Parameter eignen sich daher für eine dynamische Beschreibung des Produkts (SCHMITT 2000, S. 57). Die Statusverfolgung eines Parameters sorgt dafür, dass nur bei einem entsprechenden Parameterstatus der nächste Prozessschritt ausgeführt wird (SCHMITT 2000, S. 66). Diesem liegt ein der Produktentwicklung angepasstes Härtegradkonzept von Zwischenergebnissen zugrunde, welches je nach Härtegrad der Produktdaten und Parameter die Bearbeitung des nächsten Prozessschritts frei gibt. Der

Härtegrad beschreibt dabei das Maß für die Absicherung der weitergegebenen Zwischenergebnisse (SCHMITT 2000, S. 67). Die einzelnen Konstruktionsaktivitäten können nach HARTMANN (1996, S. 74) durch die Dimensionen des Realisierungs-, Abstraktions-, Detaillierungs- und Variationsgrades sowie der Merkmalsart beschrieben werden. SCHMITT (2000) stellt für seine Zielsetzung aber fest, dass lediglich der Detail-, Realisierungs- und Variationsgrad von Bedeutung für seinen parameterbasierten Ansatz zum Datenaustausch sind (SCHMITT 2000, S. 71). Er setzt also Parameter ein, die einzelne Prozessschritte genauer beschreiben.

Der Ansatz berücksichtigt zwar nur wiederholungsintensive Prozesse, wie Freigabeprozesse, hinterlegt aber Parameter zur Beschreibung des Produktstatus, deren Werte sich dynamisch ändern können. In Kapitel 3.2 wird das Prinzip einer parameterbasierten Beschreibung von Produkteigenschaften erneut aufgegriffen, um es im Rahmen dieser Arbeit auf Dokumente und Prozesse zu übertragen. Mittels der Parameter sollen auch dynamische, hochiterative Entwicklungsprozesse beschrieben werden können.

### 2.5.3 Prozessorientierte Informationssysteme

Die Bereitstellung von Informationen während der Produktentwicklung wird durch Informationssysteme technisch unterstützt. Viele dieser Systeme greifen auf die zuvor beschriebenen Ansätze zur Integration von Produkt- und Prozessmodellen zurück. In der Forschung wird daher versucht, unterstützende Systeme zu entwickeln, die bestimmte Prozessschritte bzw. Aktivitäten mit Informationen verknüpfen. Auch bestehende Systeme in der Industrie werden in die Untersuchungen mit eingeschlossen und gegebenenfalls optimiert. DYLA setzt sich beispielsweise zum Ziel, speziell den Getriebeentwicklungsprozess mit einem automatisierten Programmsystem zu unterstützen. Das System gewährleistet dabei, die aktuellsten Daten für einzelne Aktivitäten in Form eines Produktdatenmodells (nach STEP) bereitzustellen (DYLA 2002, S. 48). Der Vorgang der Datenbeschaffung wird hier aber nur im Hinblick auf den Datenaustausch unterstützt und erlaubt keine flexible Verknüpfung zwischen Prozess und Produktdatenmodell. Zwar übernimmt das Modul Prozessmanagementsystem die tatsächliche Beschaffung der Daten (konvertieren, visualisieren), leistet aber nicht die Antizipation des Datenbedarfs für einen bestimmten Prozessschritt.

#### **Vordefinierte Ein- und Ausgangsdokumente**

JOSHI (2004, S. 4) beschreibt die Anpassung traditioneller PDM-Systeme, wie z. B. Teamcenter oder SmarTeam, um das Datenmanagement in der rechnergestützten Produktentwicklung (Computer Aided Design: CAE) besser zu unterstützen. Er bezieht sich dabei auf Analyseprozesse als Teil eines Produktentwicklungsprozesses, deren Durchführung durch ein begleitendes System unterstützt wird (JOSHI 2004, S. 4). Dazu definiert er im Vorfeld des Produktentwicklungsprozesses Objektmodelle zur Modellierung von Prozessschritten mit Eingangs- und Ausgangsdaten sowie Schnittstellen zu anderen Systemen (ähnlich wie bei BICHLMAIER 2000). Basierend auf diesem Modell definiert er eine Benutzerschnittstelle mit einer Projektstruktursicht und einer Prozesssicht (JOSHI 2004, S. 4). Die Prozesssicht hat die Prozessschritte eines Analyse-Prozesses und die dafür benötigten Eingangs- und Ausgangsdaten sowie für den Schritt wichtigen anderen unterstützenden Systeme hinterlegt. Die Bereitstellung der benötigten Daten erfolgt durch das hinterlegte Modell.

Der Ansatz von JOSHI (2004) unterstützt auf diese Weise die gezielte Bereitstellung von Informationen. Trotz der Prozessorientierung, die durch die Definition von Eingangs- und Ausgangsinformationen erreicht wird, werden nur statische Verknüpfen zwischen Daten und Prozessschritten berücksichtigt.

**Flexible Prozessschrittausführung**

Nach REICHERT (2000, S. 42) sind prozessorientierte Workflowmanagementsysteme (WFM-Systeme) zu stark für die in der Produktentwicklung geforderte flexible Prozessausführung von Ad-hoc-Workflows (BROWN & WIDELL 2006, S. 11). Auch dokumentenorientierte WFM-Systeme können ihre Datenflüsse nicht auf veränderte Abläufe anpassen (REICHERT 2000, S. 42). Um auf die Dynamik der Prozesse reagieren zu können, werden bei REICHERT's Ansatz (2000, S. 184) Prozessschritt-Vorlagen generiert. Jedem Prozessschritt werden feste Ein- und Ausgangsparameter (par) zugewiesen, welche wiederum mit Datenelementen ( $d_x$ ) verknüpft sind (siehe Bild 2-17). Durch die Zuweisung dieser Parameter können Datenelemente als Eingangs- und Ausgangsdaten von Prozessschritten bereitgestellt werden (REICHERT 2000, S. 115, S. 184). Parameter können dabei z. B. die Lebensdauer eines Bauteils oder auch die Forderung nach einem bestimmter technischen Zeichnung für den Prozessschritt sein (REICHERT 2000, S. 50). Mittels der Parameter kann der Datenfluss prozessschrittübergreifend modelliert werden (REICHERT 2000, S. 114) und sorgt auch bei Ablaufänderungen für die konsistente Dokumentenbereitstellung. In diesem Zusammenhang beschäftigt sich beispielsweise AMFT (2002, S. 14) speziell mit dem Austausch von geometrischen Parametern (Konstruktionsparametern) wie z. B. Länge oder Durchmesser eines Objektes. Er beschreibt dazu einen prozess- bzw. phasenübergreifenden Datenfluss, welcher für die bidirektionale Abstimmung der Gestaltungs- und Berechnungsprozesse notwendig ist (AMFT 2002, S. 18).

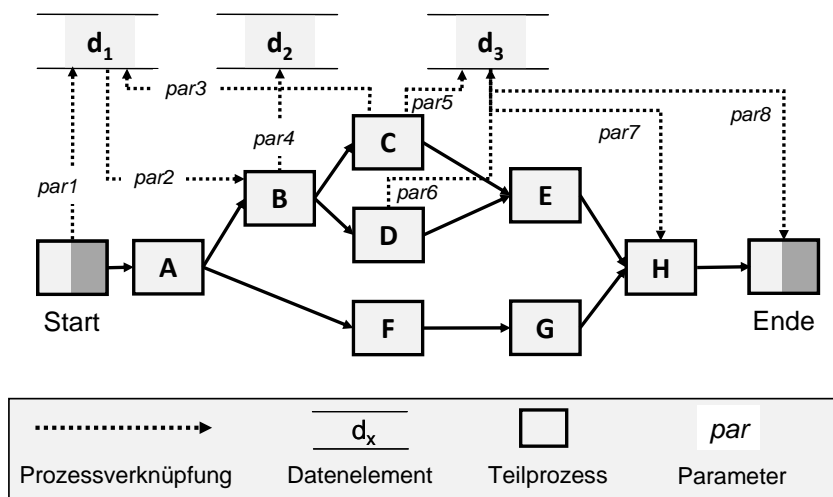


Bild 2-17: Prozessschrittübergreifende Modellierung des Datenflusses (in Anlehnung an REICHERT 2000, S. 116)

Die Forschung von REICHERT hat zur Entwicklung eines marktreifen WFM-Systems namens AristaFlow BPM beigetragen, welches bis zum heutigen Stand das einzige System mit derart

hoher Flexibilität für die Prozessausführung ist (DADAM et al. 2009, S. 15). Zwar unterstützt AristaFlow BPM die Dynamik der Prozessreihenfolge durch die flexible Anpassung der Datenelemente. Aber das System setzt eine starre Eingangs- und Ausgangsdatenmodellierung der dafür benötigten Parameter voraus. Diese kann in Verbindung mit standardisierten Daten erstellt werden, jedoch nicht bei dynamischen Prozessen und Produktinformationen, bei denen die anfängliche Eingangs- und Ausgangsbeziehung nicht bekannt ist.

### **Deklarative und imperative Modellierung**

Auch PESIC & VAN DER AALST (2006, S. 170) erwähnen AristaFlow BPM und kritisieren trotz der flexiblen Ansätze zur Abbildung von Ablaufänderungen den imperativen Charakter solcher Systeme, die feste Vorgaben zur Ausführung diktieren. Sobald Änderungen, die besonders bei dynamischen Prozessen häufiger auftreten, implementiert werden müssen, werden die neuen Prozessschritte in ihrem Ablauf durch die festen Vorgaben eingeschränkt. PESIC & VAN DER AALST (2006, S. 170) schlagen deshalb eine deklarative Modellierungssprache vor, welche zwar vorgibt, was zu tun ist, aber nicht, wie dies zu tun ist. Dazu erweitert er die Relationen zwischen Prozesselementen beispielsweise durch die Angabe, wie häufig ein Prozess ausgeführt werden kann oder eventuell auch nur bei Bedarf. Die Verknüpfungen der Prozesselemente folgen durch den deklarativen Ansatz bestimmten Regeln, die flexibel kombiniert und angewendet werden können. Dadurch kann eine größere Vielseitigkeit und damit Flexibilität in der Ausführung der Prozesse erreicht werden.

Da sich PESIC & VAN DER AALST (2006) bei ihrem Ansatz auf die Flexibilität der Prozessausführung konzentrieren und auf eine Beschreibung der Integration von Informationen und Dokumenten verzichten, bietet ihre Forschung keinen Lösungsansatz für die dynamische Informationsbereitstellung. Allerdings wird durch die flexible, deklarative Prozessmodellierung, wie sie PESIC & VAN DER AALST (2006) beschreiben, klar, dass eine deklarative Dokumentenmodellierung mehr Flexibilität ermöglichen kann. Im Rahmen der Beschreibung des Lösungsansatzes für die verbesserte Informationsbereitstellung in dynamischen Entwicklungsprozessen in Kapitel 3.1 wird der deklarative Ansatz aufgegriffen.

### **Kontextbasierte Informationssysteme**

Wie PESIC & VAN DER AALST (2006) und REICHERT (2000) sieht auch GOESMANN (2002) WFM-Systeme als geeigneten Ansatz für die prozessorientierte Bereitstellung von Informationen. Allerdings kritisiert auch er deren Starrheit zur Laufzeit in Bezug auf die Informationsbereitstellung, die bereits bei der Prozessmodellierung definiert wird (GOESMANN 2002, S. 4.). Außerdem mangelt es WFM-Systemen an den Möglichkeiten, zur Laufzeit entstehende Kontextinformationen zu verwalten, die für das Informationsmanagement notwendig sind (GOESMANN 2002, S. 18 ff.). Er schlägt dazu die Erweiterung von WFM-Systemen um ein „Organisational Memory Information System“ (OMIS) vor, um neben den im Prozessmodell starr hinterlegten Informationen auch zusätzlich Informationen bereitstellen zu können. Im Fokus steht hier die Sammlung der im ganzen Unternehmen verstreuten Informationen und deren bedarfsgerechte Bereitstellung im Rahmen des WFM-Systems (GOESMANN 2002, S. 3). Da der Bedarf für die Ausführung eines Prozessschrittes vom jeweiligen Kontext abhängt, wird ein Konzept des Kontextes innerhalb des OMIS vorgestellt, welches einen sogenannten Bearbeitungskontext beinhaltet (GOESMANN 2002, S. 5). Die den Kontext beschreibenden Aspekte können aus den in WFM-Systemen vorhandenen Kontextinformationen di-

rekt abgeleitet werden (GOESMANN 2002, S. 97). GOESMANN (2002) definiert den Kontext durch Informationen zum Prozess/Aktivität, Ersteller, Dokumententyp/-vorlage, Werkzeug und Geschäftsfall. Neben diesen automatisch aus dem WFM-System auslesbaren Kontextinformationen, können Kontexte zusätzlich auch manuell durch einen „Modellierer“ erstellt oder verändert werden. Dokumente bzw. Informationen, die im Rahmen eines bestimmten Kontextes relevant für die Ausführung einer Aufgabe bzw. eines Prozessschrittes sind, können dadurch kontextspezifisch bereitgestellt werden. Außerdem können auch weitere im Kontext relevante Dokumente manuell ergänzt werden und stehen dann ebenfalls zur Verfügung. Neben dem Nutzer selbst werden zur Definition dieser manuellen Verknüpfungen Verantwortliche wie der Dokumenten-, Prozess- und Kontextverantwortliche definiert (GOESMANN 2002, S. 138 ff.). Die so erstellten Verknüpfungen werden anschließend evaluiert und bei Bedarf überarbeitet. Das Konzept des Kontextes wird in dem Workflowmanagementsystem WoMIS (Workflow Memory Information System) integriert (GOESMANN 2002, S. 165).

Die Definition des Kontextes wird darin zwar nutzbar gemacht, was aber ist mit enormem Aufwand für die Definition der Verantwortlichen verbunden ist, da sie eine manuelle Modellierung und Evaluation durchführen müssen. Eine Automatisierung der Verknüpfungen/Modellierung der Dokumente mit dem Kontext und damit mit dem Prozess wird nicht bereitgestellt.

### **Semantische Integration von Kontextinformationen**

JOERIS et al. (2000A, S. 52) gehen das Problem der Flexibilität von Prozessen und der dafür benötigten Datenbereitstellung mit einer semantischen Integration heterogener Datenquellen an. Im Rahmen ihrer Forschung setzen sie Workflow- und Dokumentenmanagementsysteme für die Unterstützung von verteilten Entwicklungsaufgaben ein. Das dafür benötigte Prozessmanagement soll nicht nur die Modellierung von Prozessen im Vorfeld der Ausführung, sondern auch die flexible Anpassung der Prozesse während der Laufzeit unterstützen (JOERIS 2000A, S. 52). Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des Forschungsprojektes MOKASSIN das System Flow.net entwickelt, welches Prozesse sowohl a priori (vordefiniert) als auch a posteriori (zur Laufzeit) anpassen kann (JOERIS et al. 2000B, S. 7). Die Flexibilität der Prozesse wird hier durch interagierende Aufgabenagenten ermöglicht, die für ihre Aufgabe die jeweiligen Kontextinformationen zu vorausgehenden und nachfolgenden Aufgaben sowie Ein- und Ausgangsdaten inklusive den Erstellern und Empfängern besitzen. Die Agenten erzeugen durch diese Kontextinformationen einen aufgabenspezifischen Arbeitsbereich („task- und workspace“) (JOERIS et al. 2000B, S. 5), der die für die Aufgabe notwendigen Informationen enthält. Die Definition dieses Arbeitsbereiches wird deklarativ a priori vorgenommen. Der von Experten definierte Kontrollfluss zwischen einzelnen Aufgaben/Prozessen sorgt dann bei den Arbeitsbereichen für den Austausch der Informationen und ermöglicht die Aufzeichnung der Datenflüsse (JOERIS et al. 2000B, S. 9). Das System flow.net stellt demnach einen Ansatz zur Unterstützung dynamischer Prozesse dar, setzt aber die Definition der relevanten Informationen für eine Aufgabe a priori voraus. Dabei konzentriert sich Flow.net viel mehr auf die technische Umsetzung der Datenflüsse als auf die Bestimmung der Relevanz von Informationen zur Laufzeit der Prozesse. PETERS nutzt zur Analyse der Informationsflüsse, ähnlich wie der aufgabenspezifische Arbeitsbereich von JOERIS et al. (2000), ein Informationsflussmodell (PETERS 1996). Er bezieht sich dabei auf Informationsflüsse im Bereich des Qualitätsmana-

gements und schlägt eine Qualitätsmanagementsprache als Grundlage für einen aufgabenorientierten Informationszugriff vor. Mittels dieser Sprache werden unter anderem Benutzer-, Sach- und Methodenkontexte zur Zielsetzung/Aufgabe des Nutzers erfasst (Sichten) und im Voraus modelliert (PETERS 1996, S. 157). Wie auch die anderen Ansätze, welche die Definition eines Kontextes beinhalten, wird dadurch ein zielgerichteter Informationszugriff bei bestimmten Aufgaben gefördert und der Informationsfluss verbessert (PETERS 1996, S. 45).

Die Ansätze von JOERIS et al. (2000) und PETERS (1996) nutzen Kontextinformationen für eine bedarfsgerechte Informationsbereitstellung. Bei PETERS wird der Bedarf jedoch bereits im Vorfeld des Prozesses in Form der verschiedenen Kontextinformationen fest modelliert. Es wird daher keine Flexibilität für dynamische Produktentwicklungsprozesse gewährleistet. JOERIS et al. (2000) dagegen erfassen den Kontext zur Laufzeit des Prozesses. Allerdings wird der Kontext durch Kontextinformationen beschrieben, welche im Vorfeld des Prozesses definiert werden müssen. Neue Kontextinformationen, wie sie bei dynamischen Produktentwicklungsprozessen immer wieder entstehen, können deshalb nicht berücksichtigt werden.

### **Prozessorientierte Entwurfsumgebung**

Ein weiterer Ansatz für die Unterstützung von dynamischen Prozessen wird von ENDIG (1999, S. 65) vorgestellt. Für die flexible Ausführung von Prozessen entwickelt er eine prozessorientierte Entwurfsumgebung, die durch eine komponentenbasierte Prozesssteuerung ermöglicht wird. Darin werden unter anderem Komponenten des Prozess- und Datenmanagements als wiederverwendbare Bausteine definiert, die über standardisierte Schnittstellen miteinander kommunizieren können (ENDIG 1999, S. 67). Die Summe aller Komponenten ergibt den Entwurfsraum, der den Ingenieur bei der Entwicklung mit wichtigen Informationen zu Produkt und Werkzeugen versorgen soll. Eine genaue Spezifizierung wird nur für die Prozessmanagementkomponente vorgenommen. Eine Lösung für die ebenfalls benötigte flexible Informationsintegration zur Laufzeit dynamischer Prozesse steht bei ENDIG nicht im Fokus. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Ansatz eines Entwurfsraumes wieder aufgegriffen und um die Informationsintegration erweitert (siehe Kapitel 3.3).

### **Eigenschaftsgetriebene Prozessmodellierung**

Ein weiterer Ansatz für die prozessorientierte Informationsbereitstellung basiert auf einer neuen Interpretation des Entwicklungsprozesses und des Produktmodells. Hier wird anhand der bereits definierten Produktmerkmale und -eigenschaften der Status des Produktes analysiert. Als Quelle für die Merkmale und Eigenschaften dient das Produktmodell, welches alle Informationen zur Produktbeschreibung enthält. Durch die von WEBER (2005, S. 159) entwickelte eigenschaftsbasierte Methode des „Characteristics-Properties Modelling“ (CPM) werden den Elementen des Produktmodells Merkmale zugewiesen und über einen Analyseschritt die Eigenschaften der Elemente erfasst. Diese werden dann als Metainformationen dem Produktmodell hinzugefügt (siehe Bild 2-18) (WEBER 2005, S. 159), (VAJNA et al. 2009, S. 34). Dadurch entsteht ein neuartiges Produktmodell, welches eine Eigenschaftsliste, Lösungsmuster und Merkmale sowie eine Liste offener Probleme enthält (WEBER et al. 2002, S. 107).

Die in diesem Kontext ebenfalls von WEBER (2005, S. 259) entwickelte „Property-Driven Development“ (PDD) macht sich das „Characteristics-Properties Modelling“ (CPM) zunutze. Die PDD basiert nicht nur auf der **Analyse** der bekannten Eigenschaften, sondern berücksich-

tigt auch **Syntheseschritte**. Dadurch findet eine Rückkopplung der während der Entwicklung erzeugten Zwischenergebnisse in das Produktmodell statt (siehe Bild 2-18). Der Prozess wird so durch die Eigenschaften gesteuert (WEBER 2005, S. 159). Für die erleichterte Nutzung wird die Umsetzung des CPM/PDD-Ansatzes in einem PDM-gestützten Workflowmanagementsystem vorgeschlagen (WEBER et al. 2002, S. 110). Durch dieses System können über die zu definierenden Eigenschaften des Produktes Lösungsalternativen und bestehende Lösungen (mit ähnlichem Reifegrad) bereitgestellt werden; ebenso kann der Produktreifegrad durch die aktuell definierten Produkteigenschaften und Produktinformationen bestimmt werden.

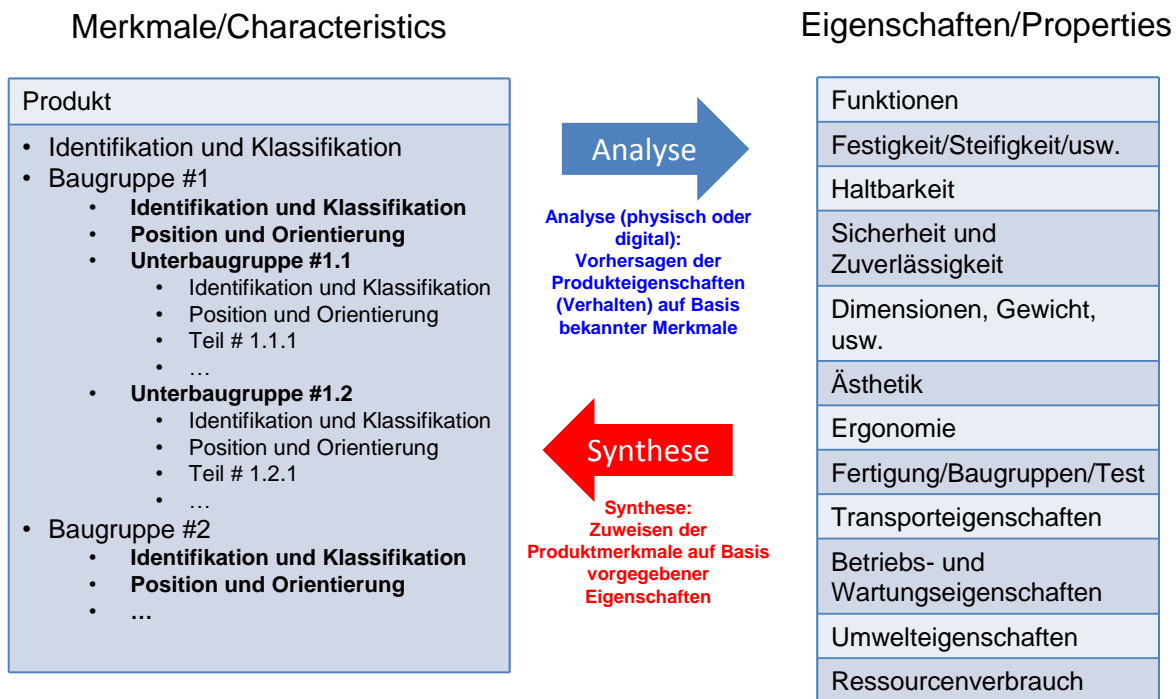


Bild 2-18: "Characteristics-Properties Modelling" (CPM) und die Analyse und Synthese des "Property-Driven Development" (PDD) in Anlehnung an WEBER (2005, S. 165)

Das CPM/PDD fokussiert auf die Definition eines Produktmodells, welches sich aufgrund der Eigenschaftsorientierung für Produktentwicklungsprozesse besonders eignet. Als Prozess wird allerdings die Durchführung von Aktivitäten betrachtet. Prozessabläufe, wie sie für die Ausführung größerer zusammenhängender Aufgaben wichtig sind, werden nicht behandelt. Dennoch liefert dieser Ansatz Anregungen für eine eigenschaftsbasierte Beschreibung von Dokumenten, um diese mit dem Entwicklungsprozess zu verknüpfen (siehe Kapitel 3.2).



## 2.5.4 Semantisches Netz und Ontologie

Die Suche nach Informationen wird üblicherweise mittels Metadaten und Volltextsuche (siehe auch Kapitel 2.5.5) durchgeführt. Kennt ein Nutzer aber seinen eigentlichen Suchbegriff oder -gegenstand nicht bzw. nur ungenau, reichen diese Methoden nicht mehr aus. In diesem in der Produktentwicklung häufigen Fall kann durch ein semantisches Netz Abhilfe geschaffen werden (WEBER et al. 2007, S. 1). Ein semantisches Netz kann Objekte und deren Beziehungen zueinander darstellen. Semantische Netze und deren Modellierung in einer von Rechnern verarbeitbaren Form werden daher auch als Grundvoraussetzung betrachtet, Wissen effektiv und effizient austauschen zu können (CHIRA et al. 2006, S. 748). Begriffe und deren Abhängigkeiten werden daher in Modellen abgebildet. Werden die Objekte bzw. Begriffe hierarchisch strukturiert, handelt es sich um eine Taxonomie. Wird diese durch einen umfassenderen Wortschatz ergänzt, wird von einem Thesaurus gesprochen (GARSHOL 2004, S. 383). BLOCKS et al. (2006) entwickeln z. B. ein Modell, welches auf einem Thesaurus basiert. Dieser wurde aus Literaturrecherchen, diversen empirischen Studien und der Analyse existierender Systeme abgeleitet (BLOCKS et al. 2006, S. 1655). Der Zugriff mittels Suchmechanismen wird durch den Thesaurus verbessert (siehe auch Kapitel 2.5.5). Werden alle möglichen Relationsarten zugelassen, wird von Ontologien gesprochen (WEBER et al. 2007, S. 2), die sowohl zur Abbildung der bestehenden Struktur als auch zur Erzeugung einer neuen Struktur verwendet werden können. Aufgrund der frei wählbaren Relationsarten bei Ontologien eignen sie sich besonders zur Modellierung semantischer Zusammenhänge in Form von Begriffen und deren Abhängigkeiten (MAEDCHE 2002, S. 432).

### **Objektorientierte Vernetzung**

Mittels Modellierungsmethoden werden die Beziehungen zwischen Objekten graphisch dargestellt, um mehr Transparenz und besseres Verständnis schaffen zu können. Vor allem bei großen, viel verzweigten Beziehungen ist dies von Vorteil. Die graphische Darstellung und damit das semantische Netz selbst werden auch als mathematisches Modell verstanden (HELBIG 2006, S. 398), welches durch objektorientierte Programmierung interpretiert werden kann und den Denkprozessen der Nutzer entspricht. An dieser Stelle wird die Vernetzung der Informationen hervorgehoben, mit deren Hilfe ein besserer Zugriff auf Informationen angestrebt wird als es beispielsweise mit vordefinierten Strukturen möglich ist (siehe auch Kapitel 2.5.1). Im Gegensatz zu Ontologien wird der Nutzer gezwungen, Informationen in die bestehende Struktur einzupflegen. Da bestimmte Informationen aber in mehreren Kontexten verwendet werden müssen, führt die feste Struktur zur mehrfachen Speicherung in verschiedenen „Ordern“ (Redundanz).

### **SEMARIL**

Durch einen semantischen Ansatz wird daher von CONRAD et al. (2007) versucht, implizites Wissen (noch nicht abgebildetes Wissen) des Ingenieurs bzw. des Unternehmens mittels Assoziationen abzubilden (CONRAD et al. 2007, S. 5). Für die Realisierung des eigens entwickelten semantischen Netzes dient das Werkzeug SEMARIL, ein auf semantischen Netzen basierendes Wissensmanagementwerkzeug (WEBER et al. 2004, S. 3). Dieses ermöglicht mittels Begriffen und Beziehungen (z. B. „is-a“, „part-of“) Netze zu modellie-

ren (CONRAD et al. 2007, S. 6) und kann somit auch für die Vernetzung von Prozess und Dokumenten eingesetzt werden. SEMARIL ermöglicht durch seine Modellierungsfunktion eine prozessbegleitende semantische Befüllung der Produktstruktur und der zugehörigen Dokumente. Das System kann dann ausgehend von den hinterlegten Beziehungen und Begriffen bereits bestehende, ebenfalls damit vernetzte Begriffe und Dokumente anzeigen (CONRAD et al. 2007, S. 9). Dies schließt auch Dokumente aus anderen vergleichbaren Projekten mit ein, um auch die Wiederverwendung von Informationen aus bereits abgeschlossenen Projekten zu unterstützen. Die Bereitstellung der Informationen erfolgt assoziativ durch das System und unterstützt so beim Auffinden von wichtigen Informationen. Die Modellierung eines semantischen Netzes während des laufenden Prozesses wird durch SEMARIL unterstützt und erlaubt auf diese Weise eine praktische Anwendung des Ansatzes. Allerdings ist die Vernetzung der Begriffe statisch modelliert. Zwar werden neue Begriffe zur Erweiterung des Netzes permanent ergänzt, aber wenn bestehende Begriffe oder Beziehungen angepasst werden sollen, um die Effektivität der angezeigten Dokumente zu verbessern, muss dies manuell durchgeführt werden.

### **Ontologien textbasierter Dokumente**

Ähnlich wie CONRAD et al. (2007) bauen auch OLESHCHUK & PEDERSEN (2003, S. 1) auf die Ontologiebildung zur verbesserten Wissensdarstellung. Dazu entwickeln sie Algorithmen, die textbasierte Dokumente nach vordefinierten Ontologien beschreiben und ermöglichen dadurch textbasierte Dokumente mit ontologiespezifischen Informationen zu versehen. Über diese Art der Beschreibung der Dokumente können OLESHCHUK & PEDERSEN (2003) semantische Ähnlichkeiten erkennen, indem sie mittels einer eigens entwickelten Methode die Ontologien der Texte vergleichen (OLESHCHUK & PEDERSEN 2003, S. 3). Auf diese Weise können sie die verwendeten Ontologien kontextbezogen vernetzen. Zwar kann dieser Ansatz nur für die Analyse textbasierter Dokumente angewendet werden, aber er kann auch zur Identifikation von Strukturen in Dokumenten eingesetzt werden. Basierend auf diesen Strukturen kann auf einem bestimmten Abstraktionsniveau eine einheitliche Beschreibung von Dokumenten entwickelt werden (siehe auch Kapitel 4.5.).

### **Spezielle Ontologien**

Während OLESHCHUK & PEDERSEN (2003) Ontologien von Textdokumenten durch Algorithmen aufbauen, stellen AHMED et al. (AHMED et al. 2007, S. 132) eine generische Methode speziell für Ontologien im Bereich der technischen Produktentwicklung bereit. Die Entwicklung speziell für die Produktentwicklung geeigneter Ontologien unterstützt das Navigieren in der Vielfalt an Informationen und Dokumenten. Eine Ontologie strukturiert die Informationen, die besonders dann hilfreich ist, wenn nicht klar ist, welche Informationen verfügbar sind (AHMED et al. 2007, S. 132). Die Methode von AHMED et al. (2007) beinhaltet Taxonomien, mittels derer die Ontologien definiert werden können. Dabei ergeben sich zwangsläufig Unterschiede bei verschiedenen Sichtweisen bzw. Domänen, die eine einheitliche, für die gesamte Produktentwicklung gültige Ontologie verhindern (AHMED et al. 2007, S. 132). Auch PONN et al. (2006, S. 1206) identifiziert anhand von durchgeführten Interviews mit Ingenieuren den Bedarf nach domänenspezifischen Sichten auf Informationen. So können die unterschiedlichen Begriffswelten der einzelnen Domänen berücksichtigt und unterstützt werden, die eine schnelle Informationsbereitstellung sonst verhindern würden. PONN et al. (2006, S. 1206)

entwickeln eine Ontologie für Produktinformationen, schließen aber die zugehörigen Entwicklungsprozessschritte nicht in die Modellierung mit ein.

### **Kontextmanagement**

Mittels Ontologien beschreiben APITZ et al. (2002) die drei Bereiche des organisatorischen-, Fach- und Prozesswissens, um wie AHMED et al. (2007) Informationen kontextabhängig zu beschreiben und verschiedene Sichtweisen zu ermöglichen. Dazu entwerfen APITZ et al. (2002, S. 33) ein Modell zur ganzheitlichen Unternehmensmodellierung, welches Elemente wie das Produkt, Informationsquellen, Mitarbeiter oder Aufgaben beinhaltet. Zusätzlich erstellen sie ein Informationsmodell, welches zusammen mit dem Unternehmensmodell und zugehörigen Kontextinformationen das Kontextmanagement realisiert. Die Kontextinformationen werden dann mit einem Workflowmanagementsystem verknüpft, welches die Informationen so aufbereitet, dass sie aufgabenspezifisch bereitgestellt werden können. Um das entsprechende Informationsmodell erstellen zu können, werden die zu erfassenden Kontextinformationen mittels Dokumenten- bzw. Textanalyse bestimmt oder von ähnlichen Dokumenten übernommen (APITZ et al. 2002, S. 35). Der große Aufwand für die Erfassung der Kontextinformationen wird zwar von APITZ et al. (2002) bemängelt, eine Alternative wird jedoch nicht beschrieben. Da eine Reduktion des Erfassungsaufwandes aber besonders wichtig für die Akzeptanz einer Lösung beim Nutzer ist, gilt es im Rahmen dieser Arbeit eine aufwandsarme Alternative zu entwickeln.

### 2.5.5 Ähnlichkeit und Indexierung

Neben den zuvor beschriebenen Ansätzen gibt es speziell aus dem Bereich der Informationsbereitstellung (Information Retrieval) verschiedene Verfahren zur Behandlung von Suchanfragen. Spezielle Verfahren stützen sich auf das Prinzip der Ähnlichkeit. Um Ähnlichkeiten zwischen Elementen zu erkennen, werden sie mittels Mustererkennung (textbasierte Dokumente) indexiert und können dadurch beispielsweise in Topic Maps abgebildet werden. Des Weiteren gibt es, basierend auf einem mathematischen Raum, Ansätze zur automatischen Vernetzung von Elementen sowie zur Definition eines Informationsraumes.

#### **Ähnlichkeit**

Nach LEWANDOWSKI (2005, S. 80 ff.) lassen sich Verfahren zur Informationsbereitstellung in boolesche Verfahren, das Vektorraummodell und das Wahrscheinlichkeitsmodell unterteilen. Um bestimmte Informationen aus der Vielzahl an Informationen herausfiltern zu können, wurden unter anderem Suchalgorithmen entwickelt, die auf viele verschiedene Suchanfragen reagieren können. Suchanfragen werden entweder nach der booleschen Algebra oder mittels Ähnlichkeiten ausgewertet (SACKS-DAVIS 1997, S. 3). Während Boolesche-Suchanfragen einen genauen Treffer der gesuchten Anfrage zurückgeben, kann mittels Ähnlichkeiten eine dem ursprünglichen Suchbegriff ähnliche Antwort gegeben und je nach Ähnlichkeit eine Rangfolge erstellt werden. Je ähnlicher die Dokumente sind, desto höher ist die Wertung. Ein Maß für die Ähnlichkeit ist meist die Häufigkeit der Suchbegriffe in den Dokumenten. Die Ähnlichkeit wird mittels verschiedener Distanzmaße, wie z. B. der euklidischen Distanz oder der City-Block-Distanz, berechnet (AHLEMANN et al. 2006, S. 21 f.). Tabelle 2-1 zeigt eine Aufstellung ausgewählter Distanzmaße. Die L1-Norm (Nr. I), berücksichtigt Ähnlichkeiten

einzelner Dokumente, indem der Unterschied der Werte jeder Dimension einzeln berechnet und dann zum Gesamtabstand summiert wird. Es wird also nicht der direkte, kürzeste Abstand als Maß verwendet wie es bei der L2-Norm, der euklidischen Distanz (Nr. II), der Fall ist. Die Distanzmaße I und II sind dabei Spezialfälle der Minkowski-Distanz (III). Mittels der Cosinusdistanz (Nr. IV) wird die Ähnlichkeit über den Winkelunterschied der einzelnen Vektoren zueinander bestimmt (FERBER 2003, S. 72). Das heißt, zeigen Vektoren in die gleiche Richtung, gelten sie als ähnlich, unabhängig von deren Länge bzw. Koordinaten ihres Endpunktes. Die Canberra-Distanz (Nr. V) geht über die euklidische Distanz von Vektoren hinaus und berücksichtigt zusätzlich die Lage der Vektoren zum Ursprungspunkt. Sind Vektorenpaare näher am Ursprung, wird auch die Canberra-Distanz kleiner. Dies bedeutet, dass ein zusätzlicher Referenzpunkt eingeführt wird, der einen Einfluss auf die Ähnlichkeit von Elementen hat. Die Chebychev-Distanz (Nr. VI) beschränkt sich auf den Maximalwert des Abstandes in einer Dimension. Hier zählt also nur der maximale Wert des Abstandes einer Dimension. Alle anderen Werte werden außer Acht gelassen, selbst wenn diese für sich selbst genommen einen exakten Treffer darstellen.

| Nr. | Distanzmaße                   | Formel  |
|-----|-------------------------------|---|
| I   | L1-Norm (City-Block-Distanz)  | $L_1(\vec{x}, \vec{y}) = \sum_{i=1}^N  x_i - y_i $  |
| II  | L2-Norm (Euklidische Distanz) | $L_2(\vec{x}, \vec{y}) =  \vec{x} - \vec{y}  = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}$   |
| III | Minkowski-Distanz             | $D_{Minkowski}(\vec{x}, \vec{y}) = L_r(\vec{x}, \vec{y}) = \left( \sqrt[r]{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^r} \right)^{\frac{1}{r}}$   |
| IV  | Cosinus-Distanz               | $\cos(\vec{x}, \vec{y}) = \frac{\vec{x} \cdot \vec{y}}{ \vec{x}  \cdot  \vec{y} } = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N y_i^2}}$ |
| V   | Canberra-Distanz              | $D_{Canberra}(\vec{x}, \vec{y}) = \sum_{i=1}^N \frac{ x_i - y_i }{ x_i + y_i }$   |
| VI  | Chebychev-Distanz             | $D_{Chebychev}(\vec{x}, \vec{y}) = \max_{i=1}^N  x_i - y_i $  |

N: Anzahl der Dimensionen  
 i: Index einer Dimension  
 $x_i, y_i$ : Koordinate der Dimension i der Objekte X oder Y

Tabelle 2-1: Distanzmaße zur Berechnung von Ähnlichkeiten (nach AHLEMANN 2006, S. 21 f.).

Zu Verbesserung der Effektivität werden Suchbegriffe und deren Pendant im Dokument mit einer Gewichtung versehen, die auf statistischen Werten beruhen (Häufigkeit der Suchbegriffe in der Datenbank und im Dokument) (SACKS-DAVIS 1997, S. 3), (SALTON & BUCKLEY 1988, S. 516). Anhand dieser statistischen Daten kann mithilfe genetischer Algorithmen die Relevanzberechnung der Dokumente optimiert werden. Bereits 1988 hat GORDON dieses Verfahren angewendet, um die Informationsbereitstellung zu verbessern (GORDON 1988, S. 1209). Für die Identifikation der Suchbegriffe in Textdokumenten wird mittels des Aho-Corasick-Algorithmus eine Mustererkennung in einem Text durchgeführt (AHO & CORASICK 1975, S. 333 ff.).

### **Indexierung mittels Mustererkennung**

Um die Grundlage für diese Ähnlichkeitsvergleiche zu schaffen, müssen die Dokumente indexiert werden. Aufgrund der Mächtigkeit der zu indexierenden Texte werden Methoden gesucht, die eine automatisierte Textanalyse ermöglichen. Für die automatische Textanalyse müssen Suchbegriffe in Texten identifiziert werden, was bei heutigen Suchmaschinen mittels Aho-Corasick-Algorithmus zur Mustererkennung durchgeführt wird (AHO & CORASICK 1975, S. 333 ff.). SACKS-DAVIS (1997) schlägt eine Indexierung der Dokumente nach deren Inhalt, Textattributen (z. B. „leichtes“ Bauteil) und der Struktur des beinhalteten Textes (z. B. Textabsätze) vor. Die zu speichernden Indizes (Inhalt, Struktur, Attribute) stellen eine Beschreibungsmöglichkeit der Dokumente auf Metaebene dar, indem sie enthaltene Begriffe extrahieren (Extraktionsindexieren) und zusätzliche Begriffe zuweisen (Zuteilungsindexierung). Auch die zuvor beschriebenen Ansätze einer Taxonomie, eines Thesaurus oder einer Ontologie der untersuchten Dokumente können hierfür eingesetzt werden. Die Auswahl dieser Indizes ist die Grundlage für die Flexibilität eines Suchalgorithmus, um auf Suchanfragen effektiv antworten zu können.

Im Hinblick auf den in dieser Arbeit zu entwickelnden Ansatz zur Informationsbereitstellung muss eine sinnvolle Indexierung zur Beschreibung von Dokumenten vorgenommen werden, um die Effektivität der Informationsbereitstellung bestmöglich gestalten zu können.

### **Topic Maps**

Eine weitere Möglichkeit, Dokumente zu indexieren, ist die Gruppierung von Dokumenten in Ähnlichkeitsclustern (HOTHO et al. 2001). So können z. B. semantische Netze als Topic Maps aufgebaut werden, um verschiedene Dokumente bzw. Informationsobjekte unter Sammelbegriffen zusammenzufassen und zusätzlich alle gruppierten Objekte auch über die Gruppen hinweg verknüpfen zu können (WEBER et al. 2007, S. 3). Topic Maps müssen dazu manuell modelliert werden (RATH 2003, S. 27).

### **Mathematischer Raum**

Ähnlich wie zuvor beschrieben, können Dokumente aber auch mittels statistischer Methoden analysiert und anhand der relativen Häufigkeit der Begriffe geclustert werden. Dabei spannt jeder Begriff eine neue Dimension eines mathematischen Raumes auf. Je nach Häufigkeit der einzelnen Begriffe in einem Dokument ergeben sich dann Koordinaten des Dokuments in dem mathematischen Raum. Da jedes Dokument eigene Koordinaten besitzt, können Dokumente über ihren Abstand zueinander in Beziehung gesetzt werden. Über diese Ähnlichkeitsabstände können Dokumente vernetzt werden (HOTHO et al. 2001, S. 1). Problematisch an dieser Me-

thode ist jedoch die große Anzahl an Dimensionen des mathematischen Raums, da jeder Begriff eines Dokuments eine eigene Dimension aufspannt. Dies führt dazu, dass die Dokumente mit steigender Anzahl im mathematischen Raum immer näher beieinander liegen und über den immer kleiner werdenden Ähnlichkeitsabstand (ähnliche Koordinaten) nicht mehr unterschieden werden können (HOTH0 et al. 2001, S. 1). HOTH0 et al. empfehlen daher, eine Methode zu entwickeln, mit der auch in wenigdimensionalen Räumen Strukturen für die Informationsbereitstellung identifiziert werden können (HOTH0 et al. 2001, S. 7).

### **Automatische Vernetzung**

Neben der automatischen Indexierung von Textdokumenten wird das Prinzip des mathematischen Raumes auch für bereits bestehende, nicht auf Text basierenden Klassifikationen von Dokumenten eingesetzt. Bei TUDHOPE & TAYLOR (1997, S. 1) wird auf Basis der semantischen Ähnlichkeit von einer automatischen Vernetzung der Informationsobjekte gesprochen, die als Basiskomponente festen Bestand in modernen Multimediaanwendungen hat. Diese automatische Erzeugung der Beziehungen zwischen Objekten bringt den Vorteil, dass die Verknüpfungen nicht vorher einmalig durch den Ersteller definiert werden müssen (TUDHOPE & TAYLOR 1997, S. 1). Als Beispielsystem kann hier ein Navigationssystem für ein Museum genannt werden, welches statt bisheriger manueller Indexierung nun die automatische Vernetzung der Informationsobjekte auf Basis von Ähnlichkeiten verwendet. Ähnlichkeiten werden dann z. B. mithilfe des euklidischen Abstandes berechnet. Im vorliegenden Beispiel werden drei Dimensionen (Fachgebiet, Zeit, Ort) aufgespannt (TUDHOPE & TAYLOR 1997, S. 3). Die einzelnen Dimensionen haben ihre eigenen Ausprägungen. Während z. B. die Zeit-Dimension verschiedene Zeitpunkte auf einem Zeitstrahl angibt, kann die Orts-Dimension durch unterschiedliche Straßennamen genauer bestimmt werden. Entscheidend bei der Erstellung der angestrebten Verknüpfungen ist das Ähnlichkeitsmaß, welches die hinterlegten Indizes benutzt. Im Beispiel werden verschiedene Ähnlichkeitsmaße auch in den einzelnen Dimensionen angewendet, um Ähnlichkeiten innerhalb einer Dimension erkennen zu können. Beispielsweise können so räumlich eng beieinander liegende Komponenten eines Fahrzeugs angezeigt werden, obwohl sie historisch gesehen weit auseinander liegen. Wird das Suchverhalten von Nutzern berücksichtigt, zeigt sich, dass ihnen meist nicht bekannt ist, wonach sie suchen (SLEDGE 1995, S. 8). Somit kann auch keine exakte Antwort auf die Suchanfrage gegeben werden. Eine Suchmaschine muss daher in der Lage sein, möglichst passende Vorschläge zu machen (TUDHOPE & TAYLOR 1997, S. 2). Ähnlich verhält es sich auch in der Produktentwicklung, wo der Ingenieur nicht immer genau weiß, was er für seine Aufgabe benötigt. Verstärkt wird dies dann zusätzlich bei kreativen Tätigkeiten, bei denen auch das Ergebnis noch nicht abzuschätzen ist. Vorschläge für hilfreiche Dokumente können dann die Informationsbeschaffung und die Ausführung von Prozessschritten unterstützen. Zu beachten ist hierbei immer die Interaktion zwischen dem bereitstellenden System und dem Nutzer sowie dessen Suchverhalten (BLOCKS 2004, S. 22).

### **Informationsraum**

Ein wichtiger Teil des Suchprozesses mittels Volltextsuche ist die Einschätzung der Relevanz von Resultaten durch den Nutzer (BLOCKS 2004, S. 31). Da der Aufwand für die Einschätzung der Relevanz aufgrund der vielen ungenauen Treffer groß ist, wird eine Volltextsuche von VAN HOOFF et al. (2003, S. 2) als nachteilig gesehen. Decken die Resultate den Informati-

onsbedarf des Nutzers nicht ab, ist eine Ausweitung der Suche notwendig, die mit der Variation von Suchbegriffen und mehr Zeitaufwand verbunden ist. Eine Unterstützung bei der Einschätzung der Relevanz wird daher als wichtiger Stellhebel betrachtet, die Suche nach Informationen zu verkürzen. VAN HOOF et al. (2003) verfolgen deshalb den Ansatz, Informationsräume vorzulagern, die je nach Rolle und Aufgabenbereich eines Nutzers Informationen in gebündelter Form bereitstellen (siehe Bild 2-19: Kontext), (VAN HOOF et al. 2003, S. 2). Der Informationsbedarf soll dadurch bestmöglich abgedeckt sein und eine aufwendigere Suche vermieden werden. Um diese Informationsräume erstellen zu können, müssen Ontologien des Kontextes und der Dokumente definiert werden (siehe Bild 2-19). Dazu werden bestehende Prozessmodelle und Dokumente verwendet bzw. neu modelliert, aus denen dann automatisch die entsprechenden Teilontologien abgeleitet werden können (VAN HOOF et al. 2003, S. 3). Ausgehend vom Informationsbedarf und der damit verbundenen Suchanfragen werden dann die Ontologien abgeglichen. Das Ergebnis wird geprüft, die Auswahl des Nutzers an die Spezifikation der Suchanfrage zurückgemeldet. Das Informationsergebnis wird schließlich beim nächsten Prozessschritt bereitgestellt. Um solche manuellen Modellierungen zu beschleunigen, wird eine objektorientierte Methode verwendet, welche die simultane Modellierung durch mehrere Personen ermöglicht. Die verschiedenen Elemente des Ansatzes sind in Bild 2-19 dargestellt.

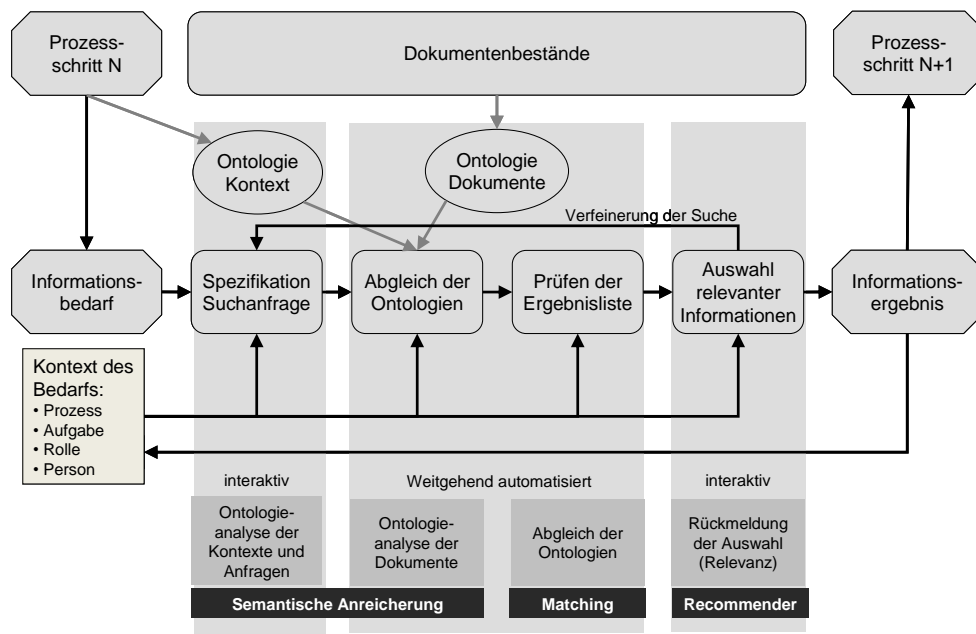


Bild 2-19: Elemente zur Definition eines kontextbasierten Informationsraumes (VAN HOOF et al. 2003, S. 5)

Für die automatische Ableitung der Ontologien aus dem Dokumentenbestand eines Unternehmens werden Methoden zum statistischen Dokumentenclustering und Textmining eingesetzt und Metadaten generiert (Semantische Anreicherung). Die Metadaten beschreiben durch die Definition von „atomaren“ Informationseinheiten den Bezug zwischen einem Dokument und den Ontologien. Allerdings beschränkt sich diese Automatisierungsmöglichkeit auf text-

basierte Dokumente (BÖHM et al. 2005, S. 623) und kann nicht auf andere Dokumententypen wie CAD-Modelle oder Graphiken angewendet werden. Dennoch können diese Verfahren auch auf Suchanfragen angewendet werden, so dass die Ontologie einer Suchanfrage mit den anderen Ontologien und damit verknüpften Dokumenten abgeglichen werden kann (siehe Bild 2-19: „Matching“). Das Ergebnis sind dann mit der Ontologie der Suchanfrage verknüpfte, relevante Informationen (siehe Bild 2-19: „Recommender“) (VAN HOOF et al. 2003, S. 5). Bei allen Elementen des Ansatzes wird stets der Kontext des Informationsbedarfs, bestehend aus Prozess, Aufgabe, Rolle und Person, berücksichtigt.

## 2.5.6 Fazit

Die Informationsbereitstellung in Produktentwicklungsprozessen stellt eine Herausforderung für die Wissenschaft dar. Neben den in der Praxis bereits eingesetzten Lösungen wie PDM- oder WFM-Systemen treten Verbesserungsmöglichkeiten in den Fokus der Betrachtung. In diesem Zusammenhang werden neue Methoden der Informationsstrukturierung wie z. B. generische hierarchische Produktstrukturen entwickelt. Auch Produktontologien, die auf intuitiven Strukturierungen durch die Nutzer selbst beruhen, stellen einen Ansatz dar, um den Zugriff auf Produktinformationen zu beschleunigen (CONRAD et al. 2007), (KERR et al. 2004), (KITAMURA & MIZOGUCHI 2003), (JAPISKE 2004). Die gefundenen Ansätze greifen jedoch zu kurz, weil sie nur die Strukturierung der Informationen berücksichtigen, aber die Aufgaben bzw. Prozessschritte nicht mit einbeziehen.

Eine Möglichkeit der Prozessmodellierung stellen beschreibende Parameter dar. Es können z. B. Parameter wie der Detail-, Realisierungs-, und Variationsgrad verwendet werden (SCHMITT 2000, S. 11), um den Prozessablauf besser planen zu können. Diese Parameter eignen sich allerdings nur bedingt zur Dokumentenbeschreibung und werden deshalb nicht dafür eingesetzt. SCHMITTS (2000) Ansatz kann demnach nur teilweise auf das im Rahmen dieser Arbeit zu lösende Problem der Informationsbereitstellung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen übertragen werden.

Ansätze zur Produkt- und Prozessmodellierung haben dagegen zum Ziel, Informationen auch mit dem Prozess zu verknüpfen. Über Fragestellungen, die bei Entwicklern typischerweise auftreten, kann z. B. der Informationsbedarf festgestellt und modelliert werden (MARSH 1997), (WYNN 2007), (COLLIN 2001, S. 9). Die Informationen werden an standardisierte Prozessbausteine als Eingangs- und Ausgangsgrößen geknüpft und ermöglichen dadurch auch bei Ablaufänderungen die aufgabenspezifische Informationsbereitstellung (BICHLMAIER 2000, S. 81). Eine Verknüpfung der Informationen mit den Prozessen wird aber über eine feste Zuordnung durchgeführt, welche eine Berücksichtigung der Dynamik von Produktentwicklungsprozessen verhindert.

Außerdem gibt es mehrere Beispiele für die Umsetzung einzelner Ansätze zur Strukturierung und der Integration von Produkt- und Prozessmodell (IRLINGER 1998, S. 70), (JOSHI 2004, S. 4). Allerdings weisen diese ebenfalls nur starr hinterlegte Verknüpfungen zwischen Informationen und dem Prozessmodell auf. In Erweiterung der Systeme von JOERIS et al. (2000) und IRLINGER (1998) gibt es weitere Systeme wie z. B. das AristaFlow BPM (REICHERT 2000, S. 42), (DADAM et al. 2009, S. 15). Dieses unterstützt flexible Abläufe systemtechnisch, setzt



aber dennoch eine feste Modellierung von Eingangs- und Ausgangsdaten zu den einzelnen Schritten voraus. Eine verbesserte Unterstützung der flexiblen Abläufe kann durch eine Erweiterung der Relationsarten zwischen Prozessschritten erfolgen (PESIC & VAN DER AALST 2006), welche aber keine Erweiterung auf die Verknüpfung von Informationen mit den Prozessen beinhaltet. Es wird daher auch auf die Definition von Kontexten zurückgegriffen, um die bedarfsgerechte Informationsbereitstellung in Abhängigkeit vom Prozess und der Domäne (Sichtweisen) zu unterstützen. Im WoMIS (GOESMANN 2002, S. 5) wird dazu ein Bearbeitungskontext oder Workspace eingesetzt. Dessen Informationen können zwar zum Teil automatisch aus vorhandenen Metainformationen extrahiert werden, müssen aber auch mit entsprechendem Aufwand manuell definiert werden. Ein ähnliches Problem ergibt sich beim kontextbasierten Ansatz von JOERIS et al. (2000), welcher die Art der zu erfassenden Kontextinformationen bereits im Vorfeld definieren muss und dadurch keine echte Flexibilität des Kontextes gewährleisten kann (JOERIS et al. 2000A, S. 52).

Eine besondere Form der Kontextinformationen wird von WEBER (2005, S. 160) vorgestellt. Er beschreibt ein auf Merkmalen und Eigenschaften basierendes Produktmodell („Characteristics Properties Model“), welches unter anderem eine Eigenschaftsliste, Lösungsmuster und Merkmale sowie eine Liste offener Probleme beinhaltet. Auf Basis dieser Kontextinformationen kann der Entwicklungsprozess eigenschaftgetrieben kontrolliert werden („Property Driven Development“) (WEBER 2005, S. 160). Dies stellt eine nützliche Möglichkeit dar, den aktuellen Prozessfortschritt indirekt über Produkteigenschaften zu bestimmen und wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit bei der Entwicklung des Lösungsansatzes erörtert.

Die Informationsbereitstellung kann auch über Taxonomien, Thesauri oder Ontologien unterstützt werden, die eine Vernetzung von Begrifflichkeiten und damit verbundenen Informationen ermöglichen (semantisches Netz) (MAEDCHE 2002, S. 432), (HELBIG 2006, S. 398), (BLOCKS et al. 2006, S. 1655). Abhängig von bestimmten Kontexten können mehrere Sichtweisen von einer Aufgabe realisiert werden, indem über die Verknüpfungen die jeweiligen Informationen angezeigt werden. Ist der Informationsbedarf des Nutzers nicht klar, sind Ontologien besonders geeignet. SEMARIL ist hier ein Beispiel für ein ontologiebasiertes Werkzeug (CONRAD et al. 2007, S. 9). Da die Erstellung der Ontologien, Taxonomien oder Thesauri mit großem analytischem Aufwand verbunden ist, gibt es auch Algorithmen, welche diese automatisch aus textbasierten Dokumenten auslesen können (OLESHCHUK & PEDERSEN 2003, S. 1). Für andere Dokumente wie CAD-Modelle oder Berechnungsergebnisse können solche Algorithmen jedoch nicht eingesetzt werden und spielen für den zu entwickelnden Lösungsansatz daher keine Rolle. Allerdings wird die in den Ansätzen beschriebene Semantik als Möglichkeit verstanden, Dokumente und Prozesse miteinander zu vernetzen und wird bei der Lösungsentwicklung wieder aufgegriffen.

Dokumente können außerdem indiziert werden, um die Suche nach Informationen zu ermöglichen. Es wird dabei zwischen Extraktionsindexierung (automatisch) und Zuteilungsindexierung (manuell zugewiesen) unterschieden. Indexierung kann beispielsweise durch den Inhalt, die Struktur oder bestimmte Attribute vorgenommen werden. Aufgrund der Indizes können Dokumente miteinander verglichen, Ähnlichkeiten erkannt und daraus Relevanzen für die Suchanfrage abgeleitet werden. Ähnlichkeiten können z. B. durch statistische Auswertungen der Auftretenswahrscheinlichkeit von gleichen Begriffen in unterschiedlichen Dokumenten

bestimmt werden (HOTH0 et al. 2001). Außerdem kann auch die Mustererkennung, wie z. B. durch den Aho-Corasick-Algorithmus („Pattern Matching Machine“), bei der Identifikation von relevanten Informationen helfen (AHO & CORASICK 1975, S. 333 ff.). Da diese Verfahren alle auf vorhandene Daten zugreifen, kann auch eine automatische Verknüpfung von Dokumenten hergestellt werden. Ein mehrdimensionaler Raum ist hierbei vorteilhaft, da er die verschiedenen Indizes als Dimensionen des Raumes aufspannt. So können die Relevanzen der Abstände automatisch berechnet werden (siehe auch Kapitel 3.4) (TUDHOPE & TAYLOR 1997). Ein solcher Ansatz adressiert auch die zuvor beschriebene Semantik und erlaubt einen semantischen Raum aufzuspannen, der durch die Ähnlichkeitsbetrachtungen von Dokumenten und Prozessen ein Höchstmaß an Flexibilität für dynamische Produktentwicklungsprozesse ermöglicht.

## 2.6 Identifizierte Verbesserungspotentiale und Forschungsbedarf

Die Untersuchung der Informationsbereitstellung in dynamischen Entwicklungsprozessen beinhaltet die Beschreibung der betrachteten Informationslandschaft mit ihren Dokumenten und der dazu eingesetzten Methoden und Werkzeuge. Es gibt in der Praxis eingesetzte Methoden und Werkzeuge, die sich bisher durchsetzen konnten, aber in Bezug auf die Anwendung mit dynamischen Prozessen noch nicht ausgereift sind. Ansätze aus der Forschung, die in der Wirtschaft noch nicht etabliert sind, adressieren zwar die Informationsbereitstellung in dynamischen Prozessen, sind aber nur bedingt dafür geeignet. Im Folgenden werden Verbesserungspotentiale identifiziert, die sich aus den beschriebenen Ansätzen der industriellen Praxis und der Forschung ergeben.

### Verbesserungspotentiale

Industrielle Lösungen, die sich meist über Jahre hinweg bei einem Unternehmen durchgesetzt haben, bieten Workflowunterstützung und damit eine prozessorientierte Bereitstellung von Informationen. Allerdings beschränkt sich diese Form der Unterstützung auf administrative Prozesse, die wiederholbar und daher auch standardisierbar sind. Im Bereich der Produktentwicklung kristallisiert sich heraus, dass zwar Workflowmanagementsysteme eingesetzt werden, diese aber nicht geeignet sind, dynamische Prozesse wie den Produktentwicklungsprozess optimal zu unterstützen. In Ergänzung zu den etablierten Lösungen existieren auch wissenschaftliche Ansätze, welche die technischen Voraussetzungen und neue Strategien für die Ausführung von dynamischen Prozessen liefern, z. B. AristaFlow BPM (DADAM et al. 2009). Dadurch wird es möglich, die Abläufe flexibel zu gestalten und auch zur Laufzeit anzupassen. Jedoch wird keine Lösung für die Anpassung der Informationsbereitstellung an den dynamischen Prozess bereitgestellt, sondern lediglich eine statische Anpassung im Zuge der Prozessmodellierung. Dabei werden die relevanten Eingangs- und Ausgangsinformationen an die neuen Abläufe nicht zur Laufzeit, sondern entweder vor dem Prozess oder mit Zeitverzug angepasst. Bestehende Systeme erweisen sich daher als zu starr für dynamische Entwicklungsprozesse. Die bisher nicht vorhandene **Unterstützung der Informationsbereitstellung von dynamischen Prozessen** lässt sich dabei als Verbesserungspotential von bestehenden Lösungen identifizieren.

Zur Bestimmung der Dokumentenrelevanz für den Nutzer gibt es Ansätze zur Definition des tatsächlichen Informationsbedarfs eines Nutzers (KRCMAR 2005, S. 54 ff.), (VAN HOOFF et al. 2003, S. 2). Dabei wird der Bedarf immer in Bezug auf einen bestimmten Prozessschritt bzw. Kontext vor dessen Ausführung festgeschrieben. So können keine Informationen mehr angezeigt werden, wenn ein neuer, noch nicht erfasster Prozessschritt auftritt, da der benötigte Kontext nicht definiert ist. Eine **Antizipation des Bedarfs**, die eine Steigerung der Flexibilität und Anpassbarkeit auf veränderte Abläufe ermöglicht, kann damit also nicht erreicht werden und kann als Verbesserungspotential festgehalten werden.

Zudem verursachen die starren Ansätze zur Definition der verschiedenen Kontexte und Modellierungen von Prozessen und Informationen einen enormen Aufwand (HOFFMANN 1998, S. 58), (VICON GMBH 2003, S. 10), (SCHMITT 2000, S. 52), (MAURER 1996, S. 21), (GOESMANN 2002, S. 165), (APITZ et al. 2002, S. 35). Zusätzlich muss dieser Aufwand bei Anpassungen der Abläufe und Informationsflüsse immer wieder von neuem betrieben werden. Eine **Reduktion des Aufwandes** für die Modellierung von Kontexten, Prozessen und Dokumenten stellt daher ein weiteres Verbesserungspotential für die Informationsbereitstellung dar. Die Definition von Kontexten kann auch als eine besondere Art der Strukturierung der Informationen bezeichnet werden, um die Informationsbereitstellung auch bei dynamischen Produktentwicklungsprozessen zu unterstützen. Ein Beispiel für einen alternativen Ansatz der Strukturierung ist die virtuelle Produktentwicklung, bei der komplette Fahrzeuge als „Digital Mockup“ aufgebaut werden. Auch die damit verbundenen generischen Produktstrukturen, welche bei unterschiedlichen Varianten für eine schnelle Navigation in der Struktur sorgen, beschleunigen den Zugriff. Während generische Produktstrukturen hierarchisch aufgebaut sind, erlauben Ontologien oder semantische Verknüpfungen zwischen einzelnen Elementen des Produktmodells oder auch eines Prozessmodells eine Quervernetzung, die dem assoziativen Denkmuster von Menschen besser angepasst ist (CONRAD et al. 2007, S. 5), (HELBIG 2006, S. 398), (WEBER et al. 2004, S. 3), (OLESHCHUK & PEDERSEN 2003, S. 3), (AHMED et al. 2007, S. 132). Eine direkte Vernetzung der Produktstrukturen mit dem Prozess wird meist nicht ermöglicht. Dennoch kann diese Verknüpfung mithilfe des integrierten Produkt- und Prozessmodells erreicht werden. Das integrierte Produkt- und Prozessmodell ist allerdings nicht mit dem integrierten Produktmodell nach GRABOWSKI et al. (1993, S. 6 ff.) bzw. ANDERL & TRIPPNER (2000, S. 17) zu verwechseln, welches nur die Strukturierung der Produktdaten berücksichtigt. Die Verknüpfung von Produkt und Prozess wird durch Vernetzungsattribute ermöglicht, welche Elemente des Produktmodells mit Elementen des Prozessmodells verknüpfen. Die Vernetzungsattribute müssen ebenfalls manuell erfasst werden und stellen vielmehr einen Ansatz zur technischen Umsetzung der Vernetzung dar als eine aufwandsarme Methode zur Vernetzung dynamischer Prozesse mit produktbeschreibenden Informationen.

Auch die zuvor erwähnten Kontexte können zwar durch Ontologien sehr gut repräsentiert werden, müssen aber wie bei der Prozessmodellierung oder anderen imperativen Ansätzen immer zunächst erstellt werden und sind dadurch fest definiert (PESIC & VAN DER AALST 2006, S. 170). Eine Unterstützung dieser Modellierungen ist durch Methoden aus dem Bereich der Informatik möglich. Textdokumente können über automatische Indexierungen beschrieben werden, was jedoch mit Prozessschritten, die nicht textbasiert sind, nicht funktioniert (HOTHÖ et al. 2001), (BÖHM et al. 2005, S. 623), (SACKS-

DAVIS 1997, S. 3), (RATH 2003, S. 27), (TUDHOPE & TAYLOR 1997, S. 3). Als Verbesserungspotential kann daher die **Entwicklung einer Methode** identifiziert werden, welche die **Modellierung aller Dokumentenarten** (Text, CAD, Berechnungsergebnisse, usw.) der Informationslandschaft unterstützt.

Wesentlicher Faktor bei der Informationsbereitstellung ist auch die Qualität der Informationen, die unter Datenredundanz leidet. In industrieller Praxis und Forschung wird die Qualität der Informationen durch eine zentrale Datenhaltung auf einem Datenserver gewährleistet, wodurch umfangreiche Prüfungen der Richtigkeit der verwendeten Daten vermieden werden. Was jedoch fehlt, ist die Verknüpfung zwischen der Prozesssicht und der Informationssicht. Zwar werden aus Prozesssicht standardisierbare Prozesse beherrscht, dynamische Prozesse jedoch nicht. Ebenso werden aus Informationssicht zwar die Strukturen und der einfache manuelle Zugriff in dynamischen Prozessen ermöglicht, aber eine automatische Anzeige relevanter Informationen (**gezielte Informationsbereitstellung**) in dynamischen Produktentwicklungsprozessen ist nicht möglich.

Es lassen sich folgende Verbesserungspotentiale bei der prozessorientierten Informationsbereitstellung in der Produktentwicklung zusammenfassen:

- Unterstützung der Informationsbereitstellung in dynamischen Prozessen
- Antizipation des Informationsbedarfs
- Reduktion des großen Aufwands für Prozess- und Dokumentenmodellierung
- Vernetzung aller Dokumentenarten mit dynamischen Prozessen

### **Forschungsbedarf**

Aus den Verbesserungspotentialen lässt sich der Forschungsbedarf direkt ableiten, da die Ausschöpfung dieser Verbesserungspotentiale einen wichtigen Beitrag für die Steigerung der Effizienz und der Effektivität von Produktentwicklungsprozessen sowie deren Planung leisten kann. Im Fokus stehen hierbei die Dynamik von Produktentwicklungsprozessen und die dadurch verursachten Probleme bei der gezielten Informationsbereitstellung. Aus den identifizierten Verbesserungspotentialen können im Rahmen dieser Arbeit folgende Forschungsfragen abgeleitet werden:

- Gibt es eine Möglichkeit, die Relevanz von Dokumenten für einen bestimmten Prozessschritt zu ermitteln ohne diese explizit zu kennen? (Zugehörigkeit)
- Wie kann der Aufwand für die Verknüpfung von Dokumenten mit dynamischen Produktentwicklungsprozessen reduziert werden? (Verknüpfung)
- Wie können Verknüpfungen zur Laufzeit des Prozesses an die Dynamik des Prozesses angepasst werden? (Flexibilität)

Diese Forschungsfragen spiegeln den Bedarf nach Verfahren wider, welche gegenseitige Beziehungen von bestimmten Elementen aufwandsarm erfassen, und dabei größtmögliche Flexibilität bewahren. Für die Beantwortung dieser Fragen wird im folgenden Kapitel ein Lösungsansatz vorgeschlagen.

### 3 Lösungsansatz: Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung

*Die Analyse der Bereitstellung von technischen Produktinformationen in der industriellen Praxis und Forschung zeigt, dass es eine Vielzahl an Methoden und Herangehensweisen gibt, die sich mit verschiedenen Aspekten der Informationsbereitstellung im Allgemeinen (z. B. Ähnlichkeitsmaße), aber auch im Besonderen in der Produktentwicklung (z. B. integriertes Produkt- und Prozessmodell) beschäftigen. Eine prozessorientierte Verknüpfung von Informationen mit dem Prozess und die automatische Anpassung dieser Verknüpfungen bei dynamischen Veränderungen der Prozesse und deren Abläufe gibt es jedoch nicht. Um der Dynamik von Produktentwicklungsprozessen und der dafür benötigten Informationsbereitstellung besser gerecht zu werden, wird im Rahmen dieser Arbeit ein Lösungsansatz entwickelt, der die geforderte Flexibilität bei der Informationsbereitstellung gewährleisten soll.*

*Für die Entwicklung eines neuen Lösungsansatzes für dieses Problem werden unter anderem bestehende Methoden und Konzepte genutzt, die in der industriellen Praxis und Forschung verwendet werden (siehe Kapitel 2). Dabei wird eine neue Methode zur Beschreibung von Dokumenten und Prozessen angestrebt, die sowohl Prozessschritte als auch die in Dokumenten enthaltenen technischen Produktinformationen und Produktmodelle in einer vom Rechner verarbeitbaren Form abbilden. Die flexible Bereitstellung von Informationen in dynamischen Produktentwicklungsprozessen soll dadurch ermöglicht werden. Im Folgenden wird daher zunächst der beschreibende Charakter der Methode erläutert. Die Beschreibung der Dokumente und Prozessschritte wird durch Parameter realisiert (parameterbasierte Beschreibungsmethode). Die einzelnen Parameter dienen dabei als Dimensionen eines Entwicklungsraumes, der auf dem Vektorraumprinzip basiert (SALTON & MCGILL 1983, S. 122). Um Dokumente und Prozessschritte im Entwicklungsraum miteinander in Beziehung zu setzen, werden das verwendete Ähnlichkeitsmaß und die Bestimmung der Relevanz dargestellt. Abschließend werden die aufgestellten Hypothesen erläutert.*

#### 3.1 Beschreibungsbasierte Methode

Im Bereich der Informationsbereitstellung (Information Retrieval) wird bei Methoden zur Modellierung von Informationen zwischen **inhaltsbasierten und beschreibungsbasierten Methoden** unterschieden (CHU 2003, S. 149), (LEWANDOWSKI 2005, S. 61).

**Inhaltsbasierte Methoden** sind auf eine automatische Erfassung der Inhalte eines Dokumentes angewiesen wie es meist nur bei Textdokumenten möglich ist. Automatische Indexierungen, statistische Auswertungen bezüglich Begriffshäufigkeiten und die automatische Erstellung von Ontologien (siehe Kapitel 2.5.4 und 2.5.5) unterstützen bei der Vernetzung und damit auch bei der Informationsbereitstellung. Solche Methoden können jedoch nicht auf alle Dokumente der in dieser Arbeit betrachteten heterogenen Informationslandschaft übertragen werden. Diese beinhaltet neben reinen Textdokumenten auch Abbildungen, CAD-Modelle

und Simulationsergebnisse, deren Inhalte nicht automatisch indexiert werden können. Des Weiteren wurden diese Methoden nicht für die Analyse von Prozessschritten entwickelt und eignen sich daher nur bedingt für die automatische Indexierung ihrer Inhalte. Rückschlüsse auf die Vernetzung von Dokumenten und Prozessschritten können damit also nicht gezogen werden. Hingegen nutzen **beschreibungsbasierte Methoden** Attribute bzw. Metainformationen mittels derer auch verschiedene Dokumententypen beschrieben werden können. Dazu werden je nach zu beschreibendem Dokumententyp, wie z. B. einem Textdokument oder einem CAD-Modell, unterschiedliche Attribute definiert. Zwar gibt es im Bereich des „Information Retrieval“ Ansätze für die Vereinheitlichung der Attribute, aber eine Verwendung derselben Attribute für sowohl Dokumente als auch Prozessschritte gibt es nicht.

Da eine inhaltsbasierte Methode für die heterogene Dokumentenlandschaft also nicht geeignet ist, wird im Rahmen dieser Arbeit eine **beschreibungsbasierte Methode** entwickelt. Auf diese Weise können die Voraussetzungen für die Erfassung wichtiger Zusatz- bzw. Metainformationen für die integrative Beschreibung von Dokumenten und Prozessen geschaffen werden.

### 3.2 Parameterbasierter Ansatz

Die beschreibungsbasierte Methode nutzt zur Beschreibung von Dokumenten und Prozessschritten einen bestimmten Satz an Metainformationen. Um dem Nutzer relevante Dokumente zu bestimmten Prozessen bereitstellen zu können, muss durch den zu definierenden Satz an Metainformationen eine Verknüpfung zwischen Dokumenten und Prozessschritten ermöglicht werden. Die gegenseitigen Verknüpfungen bzw. Relevanzen ergeben sich jedoch erst während der Durchführung des Prozesses, da sie im Laufe des Prozesses weiterentwickelt und verändert werden (siehe Kapitel 2). Da in dynamischen Prozessen diese Verknüpfung bzw. Relevanzen also nicht angegeben werden können, werden die **Metainformationen als Parameter** umgesetzt, welche diese Verknüpfung indirekt herstellen können.

Durch den parameterbasierten Ansatz können die in dieser Arbeit beschriebenen Verknüpfungen zwischen Dokumenten und Prozessen als Variable betrachtet werden, deren Wert die tatsächliche Relevanz der Verknüpfung bedeutet. In Bild 3-1 ist die Verknüpfung zwischen Dokumenten und Prozessen als Variable dargestellt, die je nach ihrer gegenseitigen Relevanz bestimmte Werte annimmt. Beispielsweise kann eine Verknüpfung des Dokuments „Anforderungsliste“ zum Prozess „Montage planen“ bestehen, aber keine Relevanz festgelegt worden sein. Da Ingenieure die Relevanz von Dokumenten nur schwer einschätzen können, verbringen sie mehr Zeit mit der Informationsbeschaffung und insbesondere mit der Auswahl von relevanten Informationen. Dieser Zusammenhang ist in Bild 3-1 als Barriere zwischen der Verknüpfung von Dokumenten mit dem Prozess und der tatsächlichen Relevanz der Dokumente dargestellt. Am genannten Beispiel zeigt sich, dass der Ingenieur aufgrund der Barriere den Wert (Relevanz) der Variable (Verknüpfung) nicht angeben kann.

Um diese Barriere zu überwinden bzw. zu umgehen, bedient sich der Lösungsansatz dieser Arbeit Parametern, die dem Nutzer bekannt sind. Beispielsweise ist dem Ingenieur die Relevanz der „Anforderungsliste“ für „Montage planen“ eventuell nicht bekannt, aber der Parameter „Inhalt“ ist ihm für das Dokument und den Prozess bekannt. Der „Wert“ (Relevanz) der

„Variable“ (Verknüpfung) kann also mittels des parameterbasierten Lösungsansatzes durch den Ingenieur indirekt über „Parameter“ (Metainformationen) bestimmt werden (siehe Bild 3-1). Da auf diese Weise die Verknüpfungen durch den Nutzer selbst erstellt werden können, wird die Möglichkeit geschaffen, Dokumente und Prozessschritte zur Laufzeit des Prozesses über die Parameter durch den Nutzer beschreiben und auch verändern zu lassen.

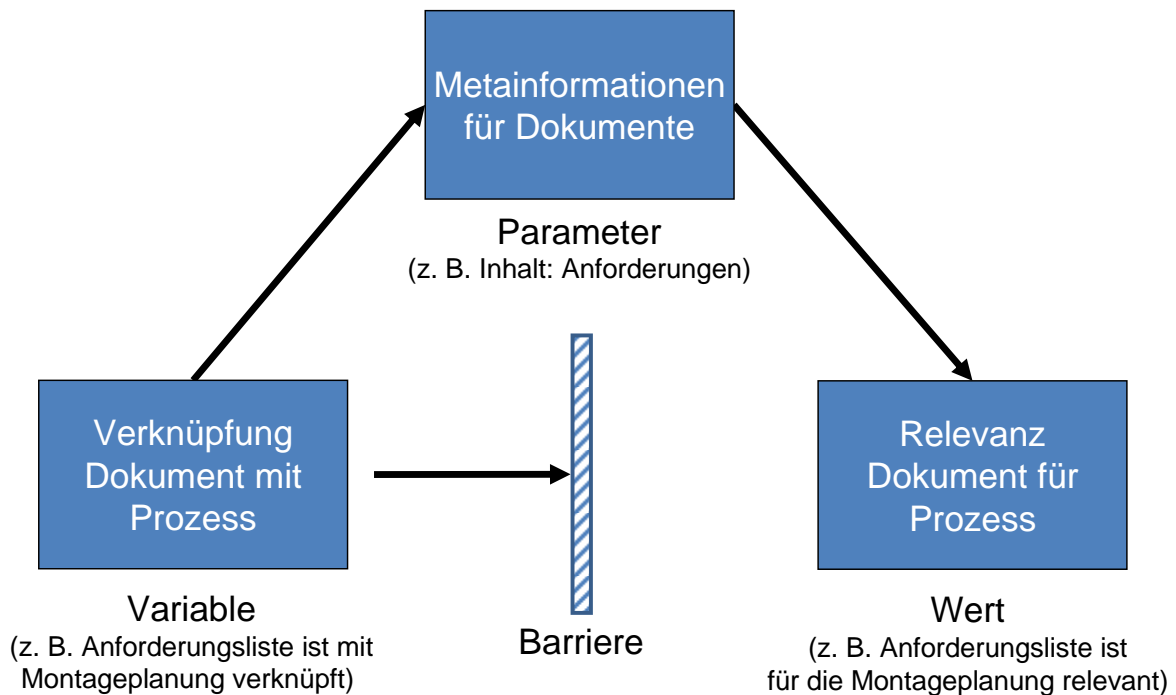


Bild 3-1: Einsatz bekannter Parameter zur Berechnung der Relevanz von Informationen für Prozesse

Der Ingenieur kann die ihm bekannten Parameter in Form von Metainformationen angeben. Metainformationen werden z. B. beim Dokumentenmanagement eingesetzt, um Daten sowohl identifizieren als auch deren Inhalte beschreiben zu können (ARNOLD et al. 2005, S. 88 ff.). Ein Auszug verschiedener Metainformationen und deren Klassifikation wurde in Kapitel 2.4 beschrieben. In Anlehnung an die VDI Richtlinie 2219 (2002, S. 8 f.) gibt es bei Produktdatenmanagementsystemen immer ein Datenbankmanagementsystem (DBMS), um diese Metainformationen zu verwalten (siehe Kapitel 2.4.1, Bild 2-10). Der Lösungsansatz sieht den heute üblichen Weg vor, die beschreibenden Metainformationen in einer eigenen Datenbank und die Dokumente selbst wie in einem Vault abzulegen (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 239). Eine genauere Beschreibung der Verwaltung der Metainformationen wird in Verbindung mit der Entwicklung eines prototypischen Rechnerwerkzeugs gegeben, welches zur besseren Nutzung der Methode entwickelt wird (siehe Kapitel 5).

### 3.3 Entwicklungsraum

Der parameterbasierte Ansatz bildet die Grundlage für eine dynamische Informationsbereitstellung. Dazu spannen die Parameter mehrere Dimensionen eines mathematischen Raumes auf, der im Folgenden als Entwicklungsraum bezeichnet wird. Durch die Beschreibung der Dokumente und Prozesse ergeben sich einzelne Parameterwerte, welche dann Koordinaten im Entwicklungsraum entsprechen. Anhand der Koordinaten können Relevanzen zwischen Prozessschritten und Dokumenten erkannt werden (siehe Kapitel 3.4). Verändern sich der Prozess oder die Dokumente, verändern sich auch die Beschreibungen und damit die Koordinaten. Durch die mathematische Darstellung im Entwicklungsraum können die Relevanzen automatisch an die Veränderungen zur Laufzeit des Prozesses angepasst werden. Eine dynamische Verlinkung von Prozessschritten und Dokumenten wird dadurch möglich.

Der Entwicklungsraum stellt eine Übertragung des generalisierten Vektorraummodells (inhaltsbasiert) auf eine beschreibungsbasierte Methode dar. Die Übertragung des Modells ermöglicht es, die Vorteile der automatischen Vernetzung von Elementen im Vektorraum nicht nur für Textdokumente, sondern auch für andere Dokumente wie z. B. CAD-Modelle oder Berechnungsergebnisse zu nutzen. Das Vektorraummodell wird im Bereich der Informationsbereitstellung („Information Retrieval“) neben booleschen Operatoren und Wahrscheinlichkeitsmodellen bereits eingesetzt, um Informationen und Suchanfragen miteinander zu vernetzen (LEWANDOWSKI 2005, S. 80 ff.). TUDHOPE & TAYLOR (1997, S. 233) setzen das Vektorraummodell beispielsweise zur dynamischen Verlinkung von Dokumenten ein. Das Prinzip des Vektorraummodells wird unter anderem von SALTON & MCGILL (1983, S. 122) und FERBER (2003, S. 64) ausführlich beschrieben. Bild 3-2 zeigt eine schematische Darstellung. Der Vektorraum wird dabei durch die im Dokument enthaltenen Begriffe aufgespannt. Dazu werden die für die Betrachtung wichtigen Begriffe der Dokumente erfasst. Durch die Definition der verschiedenen Begriffe werden die Dimensionen Term 1, Term 2, Term 3, usw. des Vektorraums bestimmt (siehe Bild 3-2). Der jeweilige Inhalt eines Dokuments wird dann über die Dimensionen beschrieben und als Vektor dargestellt (Dok 1, Dok 2, Dok 3, usw.). Der Vektor setzt sich demnach aus den im Dokument enthaltenen Begriffen (Term 1, Term 2, Term 3, usw.) zusammen. In Bild 3-2 ist exemplarisch ein dreidimensionaler Raum schematisch dargestellt. Je nach Häufigkeit der einzelnen Begriffe ergeben sich unterschiedliche Vektoren im Vektorraum. Die Ähnlichkeit von Dokumenten kann dann anhand der Winkel der Vektoren zueinander berechnet und eine Aussage über die gegenseitige Relevanz gemacht werden (siehe auch Kapitel 2.5.5), (FERBER 2003, S. 72).

Die Übertragung des generalisierten Vektorraummodells auf den Entwicklungsraum bedeutet nun, dass die Dimensionen des Vektorraums nicht durch im Dokument vorhandene Begriffe aufgespannt werden, sondern durch Beschreibungsparameter, die als Metainformationen zugewiesen werden. Je nachdem welche Metainformationen durch den Methodenanwender angegeben werden, ergeben sich unterschiedliche Koordinaten eines Dokuments oder Prozessschrittes im Entwicklungsraum.



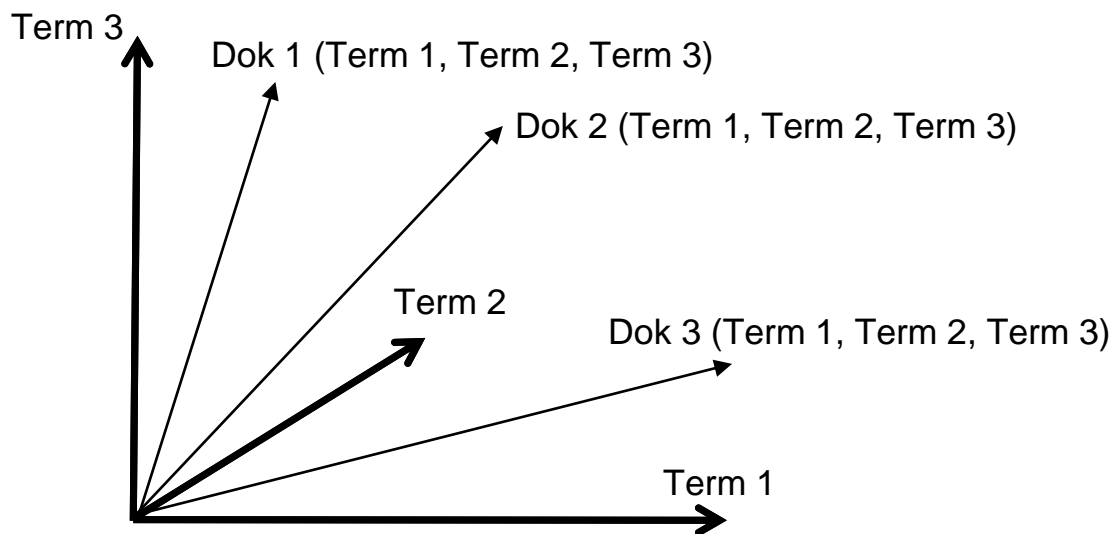


Bild 3-2: Vektorraumpräsentation von Dokumenten mittels Indexbegriffen bzw. Deskriptoren/Termen  
(nach Salton & McGill 1987 S. 129), (Ferber 2003, S. 64)

Die Informationsbereitstellung auf Basis des Vektorraummodells wird dadurch bewerkstelligt, dass Suchanfragen als Vektoren auf das jeweilige Vektorraummodell projiziert werden und die Abstände zwischen Suchanfragen und Dokumenten mittels Distanzmaßen (Cosinus, City-Block, Euklidisch, usw.) ermittelt werden. Solche Anfragen interpretieren die Relevanz eines Dokuments für die jeweilige Anfrage umso höher, desto näher (in Bezug auf das angewendete Distanzmaß) die Koordinaten bzw. Vektoren beieinander liegen (BAEZA-YATES & RIBEIRO-NETO 1999, S. 27 f.). Nach WYNN (2007) suchen Ingenieure aufgabenspezifisch nach zugehörigen Informationen, was durch die Auswahl eines Prozessschrittes als Suchanfrage für relevante Dokumente berücksichtigt wird. Im Entwicklungsraum können nun nicht nur Textdokumente, sondern auch andere Dokumente miteinander sowie mit Prozessschritten beschrieben werden. Durch die Anwendung der beschreibungsbasierten Methode können nun Prozessschritte und Dokumente in den gleichen Entwicklungsraum eingeordnet und nach dem übertragenen Prinzip des Vektorraummodells vernetzt werden. Auf diese Weise können bei dynamischen Prozessen Veränderungen zur Laufzeit berücksichtigt und die jeweils relevanten Dokumente angezeigt werden.

Im Gegensatz zu einer inhaltsbasierten Methode können die einzelnen Dimensionen des Entwicklungsraumes für die betrachtete heterogene Dokumentenlandschaft nicht mit bestehenden Methoden automatisch identifiziert werden. Außerdem müssen die Dimensionen bzw. Parameter auch für die Beschreibung von Prozessschritten anwendbar sein. Die Definition der einzelnen Parameter und ihrer Ausprägungen spielt dabei für die Effektivität der beschreibungsbasierten Methode eine entscheidende Rolle. Im Rahmen der Entwicklung der Beschreibungsmethode wird die Definition der Dimensionen in Kapitel 4 ausführlich behandelt.

### 3.4 Ähnlichkeitsmaß und Relevanzbestimmung

Eine entscheidende Rolle für die Bereitstellung von Informationen während eines Produktentwicklungsprozesses spielt deren Relevanz. Wie zuvor erwähnt wird über die verschiedenen Koordinaten der Elemente „Dokument“ und „Prozessschritt“ im Entwicklungsraum eine Möglichkeit zur Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen Prozessen und Dokumenten geschaffen. Das Verfahren entspricht der multidimensionalen Skalierung (Ähnlichkeitsstrukturanalyse), welche Ähnlichkeiten bzw. Relevanzen zwischen Elementen in berechenbare Abstände zu übertragen versucht (BORG & GROENEN 2005, S. 31). Als relevant und damit für die Bereitstellung akzeptabel werden Dokumente eingestuft, wenn sie sich innerhalb bestimmter Ähnlichkeitsgrenzen zu Prozessschritten befinden. Je geringer der Abstand der Elemente zueinander ist, desto höher ist die Relevanz (siehe Bild 3-3). Um also die Relevanz bestimmen zu können, werden im Folgenden sowohl ein Maß für die Ähnlichkeit als auch dessen Grenze für die Relevanz definiert.

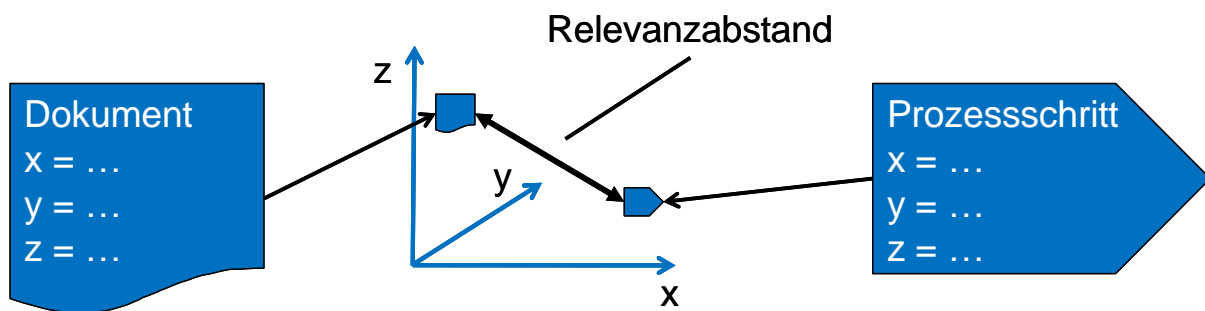


Bild 3-3: Verknüpfung von Dokumenten und Prozessschritten auf Basis des Vektorraumprinzips am Beispiel dreier beliebiger Parameter  $x$ ,  $y$ ,  $z$

Im Bereich der Informationsbereitstellung gibt es mehrere Ähnlichkeitsmaße wie z. B. die Häufigkeit von Begriffen in einem Dokument. Zusätzlich werden für jedes Dokument Gewichtungen je nach Häufigkeit der auftretenden Begriffe eingeführt, um deren Bedeutung innerhalb der gesamten Informationslandschaft Rechnung zu tragen (SACKS-DAVIS 1997, S. 3), (SALTON & BUCKLEY 1988, S. 516), (JAPISKE 2004, S. 39 ff.). Im Rahmen des in dieser Arbeit vorgestellten Lösungsansatzes ist nicht die Häufigkeit der Begriffe maßgebend für die Ähnlichkeit, sondern die Beschreibung eines Dokuments bzw. Prozessschrittes durch ähnliche Begriffe (Parameter). Je ähnlicher sich die Beschreibungen sind, desto näher werden diese über die Parameter im Entwicklungsraum eingeordnet. Die Ähnlichkeit kann auf diese Weise über den Abstand von Dokumenten zu Prozessschritten ausgedrückt werden und als Maß für die Relevanz betrachtet werden (Relevanzabstand). Zur Berechnung des Relevanzabstandes von Dokumenten und Prozessschritten gibt es verschiedene Distanzmaße, wie z. B. die euklidische Distanz, die City-Block-Distanz oder die Chebychev-Distanz (siehe Kapitel 2.5.5), (AHLEMANN 2006, S. 21 f.). Im Rahmen dieser Arbeit wird die **euklidische Distanz** als nützliches Maß betrachtet (siehe Formel 1, und Kapitel 2.5.5), da alle Dimensionen des Entwicklungsraumes gleichermaßen für die Berechnung der Relevanz berücksichtigt wer-

den. Im Vergleich zur Chebychev-Distanz kann die Beeinflussung des Abstandes zum Ursprung vermieden werden. Gegenüber der City-Block-Distanz bietet die euklidische Distanz den Vorteil, dass größere Abstände einzelner Dimensionen durch die Quadrierung stärkeren Einfluss auf den Ähnlichkeitswert besitzen und eine stärkere Differenzierung zwischen Elementen ermöglicht wird.

$$L_2(x_i, y_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}$$

*Formel 1: Euklidisches Distanzmaß nach (AHLEMANN 2006, S. 22)*

Durch die mathematische Beschreibung der Relevanz zwischen Dokumenten und Prozessschritten kann auf Veränderungen im Prozess und den Dokumenten zur Laufzeit des Prozesses reagiert werden. Die Relevanzen können angepasst und dem Nutzer dadurch die relevanten Dokumente gezielt bereitgestellt werden. Die Informationsbereitstellung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen kann dadurch flexibler gestaltet und verbessert werden.

### 3.5 Hypothesen

Im Folgenden werden die in dieser Arbeit aufgestellten Hypothesen dargestellt und anschließend näher erläutert:

1. Wenn es allgemeingültige, intuitiv verständliche Beschreibungsparameter für Prozesse und Dokumente gibt, dann können Rückschlüsse auf die tatsächliche Relevanz von Dokumenten für Prozessschritte automatisch gezogen werden.
2. Wenn die durchgeführte Dokumenten- und Prozessbeschreibung eine automatische Verknüpfung von Dokumenten und Prozessschritten ermöglicht, ergibt sich ein unmittelbar spürbarer Nutzen für den Anwender.

Der beschriebene Lösungsansatz zur Bereitstellung von Produktinformationen in dynamischen Produktentwicklungsprozessen setzt voraus, dass Dokumente und Prozessschritte in einen gemeinsamen Entwicklungsraum integriert werden können. Dafür muss es also Beschreibungsparameter geben, welche für beide Elementtypen Gültigkeit besitzen (allgemeingültig). Außerdem müssen die Beschreibungen der Dokumente und Prozesse durch die Parameter bzw. Dimensionen des Entwicklungsraumes auch durch den Nutzer selbst angegeben werden können (intuitiv verständlich). Ein Teil der ersten Hypothese setzt daher die Existenz allgemeingültiger Beschreibungsparameter voraus, die von jedem typischen Nutzer definiert werden können (Kondition). Des Weiteren muss die Vielfalt der bereitgestellten Dokumente reduziert werden (Konsequenz) (Hypothese 1). Aus diesem Grund wird angenommen, dass aus den Parametern des Entwicklungsraumes auf die tatsächliche Relevanz von Dokumenten

und Prozessschritten geschlossen werden kann. Wenn diese teilautomatisierten Rückschlüsse auf die Relevanz zu einer Reduktion des Zeitaufwands führen (Kondition), dann reduziert sich der Aufwand der Nutzer für die Suche nach relevanten Dokumenten (Konsequenz) (Hypothese 2). Zwar erhöht sich der Aufwand für die individuelle Modellierung, aber es wird erwartet, dass der Mehrwert der schnelleren Bereitstellung der Informationen und der damit verbundenen persönlich optimierten Informationsbereitstellung zu mehr Akzeptanz führt.

## 4 Entwicklung einer integrativen Dokumenten- und Prozessbeschreibung

Der in Kapitel 3 beschriebene Lösungsansatz stellt eine Methode zur integrativen Beschreibung von Dokumenten und Prozessen dar. Die Methode soll sich für Dokumente und Prozesse gleichermaßen eignen. Im Folgenden wird die Methodenentwicklung näher beschrieben. Dazu werden das Vorgehen und die einzelnen Entwicklungsschritte detailliert erläutert. Zum Abschluss dieses Kapitels wird die entwickelte Methode als Ergebnis zusammenfassend beschrieben.

### 4.1 Überblick des Vorgehens

Für die Entwicklung der Methode zur integrativen Dokumenten- und Prozessbeschreibung müssen Informationen zunächst strukturiert werden. Das Vorgehen zur Entwicklung der Methode orientiert sich daher an Forschungsarbeiten im Bereich der Informationsstrukturierung in der Produktentwicklung von AHMED et al. (2005, S. 3). Sie beschreiben ein Vorgehen zur Entwicklung von Taxonomien und geben zu den einzelnen Schritten die angewendeten Forschungsmethoden und die durchgeführte Evaluation an. Dieses Vorgehen wird auf die Entwicklung der Methode übertragen und wird in Bild 4-1 dargestellt.



Bild 4-1: Vorgehen zur Entwicklung der integrativen Dokumenten- und Prozessbeschreibung

Um die Anwendbarkeit zu gewährleisten und dadurch die Effektivität und Effizienz der Methode zu unterstützen, werden Anforderungen für diese Methode aus den vorherigen Kapiteln und dem ermittelten Forschungsbedarf abgeleitet (**Schritt 1: Kapitel 4.2**). Für die Entwicklung der Methode werden außerdem die betrachteten Dokumente der Informationslandschaft (Dokumentenlandschaft) erfasst (**Schritt 2: Kapitel 4.3**). Dazu werden Interviews und Literaturrecherchen durchgeführt sowie Projektdokumentationen analysiert. Da die Beschreibungsmethode sowohl auf Dokumente als auch Prozesse angewendet werden soll, werden die Eigenschaften von Dokumenten und Prozessen erfasst und im Hinblick auf Strukturierungsmerkmale analysiert (**Schritt 3: Kapitel 4.4 - 4.6**). Dabei werden unter anderem Methoden zur Struktur- und Datenanalyse, wie z. B. Ähnlichkeitsstrukturanalyse (multidimensionale Skalierung), angewendet. Es werden Ähnlichkeitsbeziehungen, Distanzmaße und paarweise Vergleiche dazu verwendet, Strukturmerkmale zur Unterscheidung der betrachteten Elemente zu identifizieren und deren jeweilige Ausprägungen zu definieren (BORG & GROENEN 2005, S. 3). Dazu werden die in den Interviews erfassten Dokumentenbeschreibungen beispielsweise mittels Textanalyse in kleinere Segmente unterteilt und nach charakteristischen Merkmalen gesucht (AHMED & WALLACE 2003, S. 5). Auf Basis dieser Merkmale können Beschreibungsparameter definiert werden, die den sogenannten Entwicklungsraum aufspannen (**Schritt 4: Kapitel 4.7**). Die Merkmale werden gruppiert (Clustering) und repräsentative Begriffe definiert, welche den Beschreibungsparametern entsprechen. Durch Interviews mit Entwicklern werden die gewählten Parameter und -werte auf Vollständigkeit und Verständlichkeit überprüft. Um die Effektivität der Methode zu verbessern, wird das Ergebnis einer exemplarischen Anwendung der Methode mit einem Referenzsystem verglichen (Kalibrierung) (**Schritt 5: Kapitel 4.8**). Dazu wird zunächst die Anordnung der Parameterwerte optimiert und codiert, um die Methode in eine vom Rechner verarbeitbare Form zu überführen. Des Weiteren wird mittels einer Korrelationsanalyse die Gewichtung der Parameter und damit deren jeweiliger Einfluss auf die Berechnung der Relevanzen bestimmt. Anschließend wird die eigentliche Kalibrierung durchgeführt. Das dafür benötigte Referenzsystem besteht aus einem konsolidierten Prozessmodell und zugehörigen Dokumenten, so dass die Relevanz von Dokumenten für Prozessschritte als Referenz verwendet werden kann. Zur Bewertung der Effektivität der Methode im Vergleich zum Referenzsystem werden die Kennzahlen Vollständigkeit und Präzision verwendet. Für eine Verbesserung der Effektivität der Methode wird die Grenze des Relevanzabstandes (Relevanzgrenze) variiert, so dass eine möglichst effektive Relevanzgrenze der Methode ermittelt werden kann. Zum Abschluss der Methodenkalisierung wird dann auf Basis der Kennzahlen die optimale Parameteranzahl überprüft und dadurch die Methode definiert.

## 4.2 Anforderungen an eine Beschreibungsmethode

Um die gesetzten Ziele des Lösungsansatzes erreichen zu können, werden vor Beginn der Methodenentwicklung Anforderungen gesammelt und definiert. Die Erfassung und Ableitung von Anforderungen basieren auf Literatur und Workshops mit Industriepartnern. Wesentliche Grundlage sind die in dieser Arbeit beschriebenen Probleme, Verbesserungspotentiale und Hypothesen (siehe Kapitel 2.4.4, 2.5.6, 2.6 und 03.5). Daraus kann abgeleitet werden, dass eine bedarfsgerechte, prozessorientierte Bereitstellung der Dokumente gefordert werden

muss. Die Liste der im Folgenden definierten Anforderungen ist in Tabelle 4-1 dargestellt. Die Anforderung 1 (bedarfsgerecht) ergibt sich aus der Problemstellung, dass das Informationsangebot den Bedarf zumeist übersteigt und zu einer unerwünschten Informationsflut führt. Die zweite Anforderung (prozessorientierte) greift die Zielsetzung nach einer an dynamische Entwicklungsprozesse angepassten Informationsbereitstellung auf. Ohne die Berücksichtigung einer Prozessorientierung könnten die Dokumente nicht mit entsprechenden Prozessschritten verknüpft werden. Die Forderung nach Prozessorientierung wird ergänzt durch die Forderung nach einer phasenübergreifenden Bereitstellung – also der Unterstützung aller Phasen der Produktentwicklung (Anforderung Nr. 3). Dies soll z. B. die Bereitstellung von Dokumenten einer frühen Phase (z. B. Anforderungsliste) auch in späteren Phasen ermöglichen. Zusätzlich können dadurch auch Dokumente aus späteren Lebensphasen (z. B. „Recyclingvorschriften“) in frühen Phasen bereitgestellt werden und somit das „Frontloading“ unterstützen. Da sich Dokumente und deren Inhalte in ihrem Abstraktionsgrad stark unterscheiden, soll eine ebenenübergreifende Bereitstellung ermöglicht werden, welche Dokumente aller Konkretisierungsebenen (Anforderungs-, Funktions-, Wirk- und Baumodellebene) berücksichtigt (Anforderung Nr. 4). Diese erlaubt es, Dokumente unterschiedlicher Konkretisierung anzuzeigen und damit Information aus allen Ebenen nutzbar zu machen (siehe Bild 2-6, S. 19, und ZWICKER 1998, S. 10). Beispielsweise kann durch die Bereitstellung von Dokumenten zur Beschreibung des Lösungsprinzips und der entsprechenden Prinzipskizze sichergestellt werden, dass bei dem durchgeführten Konkretisierungsschritt keine Inkonsistenzen entstehen. Dabei bleibt die Entscheidungsfindung über alle Ebenen hinweg nachvollziehbar.

| <b>Nr.</b> | <b>Anforderung</b>             | <b>Beschreibung</b>  |
|------------|--------------------------------|--|
| 1          | bedarfsgerecht                 | was wird benötigt  |
| 2          | prozessorientiert              | wann wird es benötigt  |
| 3          | phasenübergreifend             | prozessschrittspezifische Bereitstellung   |
| 4          | ebenenübergreifend             | Informationen verschiedener Abstraktionsebene gemeinsam anzeigen                               |
| 5          | mehrere Sichtweisen            | Filterung nach bestimmten Sichtweisen ermöglichen (z. B. Phasenorientierung, Vernetzung, usw.) |
| 6          | einfache Anwendung             | höhere Akzeptanz bei der Nutzung   |
| 7          | Mehrwert unmittelbar erkennbar | höhere Akzeptanz bei der Nutzung   |
| 8          | Suchfunktion unterstützen      | Verwendete Beschreibungsparameter auch für Suchalgorithmen verwendbar                          |

Tabelle 4-1: Liste der Anforderungen an die zu entwickelnde Beschreibungsmethode

Um die Informationsvielfalt strukturiert darstellen zu können, soll die Methode gleichzeitig verschiedene Sichtweisen auf Dokumente, wie z. B. personenbezogene oder Abteilungsbezogene Sicht, darstellen können (Anforderung Nr. 5). Eine personenbezogene Sichtweise kann beispielsweise individuelle Bedürfnisse einer Person berücksichtigen (siehe Kapitel 2.1, S. 13). Dies führt vor allen Dingen zu einer besseren Übersichtlichkeit der Vielfalt für den Einzelnen. Trotz der verschiedenen Sichten muss besonders auf die aufwandsarme, intuitive Anwendbarkeit der Methode geachtet werden (Anforderung Nr. 6) (siehe Kapitel 2.6, S. 60). Einen wichtigen Beitrag dazu leistet die Verwendung von intuitiv verständlichen Begriffen für die Parameter. Dies soll auch die Akzeptanz der Methode gewährleisten. Um eine weitere Steigerung der Akzeptanz zu erreichen, wird eine direkte Vermittlung des Nutzens bei der Anwendung der Methode gefordert. Der Mehrwert der Methode soll für den Nutzer unmittelbar erkennbar sein (Anforderung Nr. 7). Eine weitere Anforderung betrifft die Integration der durch die Methode erfassten Metainformationen (Anforderung Nr. 8). Diese sollen auf eine Verwendung in bekannten Suchalgorithmen ausgerichtet sein. Dadurch sollen die Voraussetzungen für die Unterstützung von Suchfunktionalitäten und die Einbettung in etablierte Informationssysteme erleichtert werden.

Für die einfache Anwendung der Methode wird in Kapitel 5 eine Werkzeugunterstützung beschrieben, die weiteren Anforderungen gerecht werden muss. Da sich diese Anforderungen allerdings nicht auf den Kern der Beschreibungsmethode, sondern auf zusätzliche Aspekte von Informationssystemen beziehen, werden die speziellen Anforderungen bei der Entwicklung der Werkzeugunterstützung in Kapitel 5.1 gesondert aufgeführt.

### 4.3 Dokumentenlandschaft

Die im Rahmen dieser Arbeit betrachtete **Informationslandschaft** wird in Kapitel 2.2 ausführlich erläutert. Sie besteht aus technischen Produktinformationen, die das Produkt systematisch, technologisch und geometrisch beschreiben. Diese Informationen werden durch ihre Dokumentation in Dokumenten gespeichert und ergeben somit eine **Dokumentenlandschaft**. In Bezug auf das Qualitätsmanagement beinhaltet die Dokumentenlandschaft nicht nur Muss-Dokumente, die für entsprechende Nachweise der Qualität erzeugt werden müssen, sondern auch Arbeitsdokumente bzw. Kann-Dokumente. Diese entstehen vor allem in kreativen und dynamischen Prozessen (EHRENSPIEL 2007, S. 166). Zusätzlich werden nicht nur aus der Entwicklungsabteilung sondern auch aus allen anderen Abteilungen (z. B. Marketing, Vertrieb, Logistik, usw.) Dokumente berücksichtigt, die in allen Phasen des Produktentwicklungsprozesses entstehen können. Um entsprechende Dokumente zu erfassen (Dokumentenlandschaft), werden im Folgenden die Ergebnisse einer Literaturrecherche beschrieben. Zusätzlich werden Dokumente bei einem Automobilhersteller und einem studentischen Entwicklungsprojekt systematisch erfasst. Letzteres findet im Rahmen der Formula Student statt, bei der studentische Teams Rennfahrzeuge entwickeln und gegeneinander antreten. Die identifizierten Dokumente werden dann zusammengeführt und konsolidiert, so dass keine Mehrfachnennungen aufgelistet werden. Die so entstehende Dokumentensammlung stellt jedoch keine vollständige Liste aller möglichen Dokumente dar. Die Zusammenstellung ist vielmehr eine Sammlung an typischen Dokumenten (Dokumententypen oder Dokumentenklassen), wie sie



bei Produktentwicklungen erstellt und eingesetzt werden können. Die erfassten Dokumente stellen also Instanzen von Dokumentenklassen dar. Von Fall zu Fall werden einige der hier aufgelisteten Dokumente gar nicht verwendet oder zusätzlich erstellt. Dennoch können solche Dokumente mit der hier zu entwickelnden Methode beschrieben und verarbeitet werden, da die erstellte Dokumentenliste als repräsentativ und deshalb als geeignete Quelle für Strukturierungsmerkmale im Rahmen der Methodenentwicklung anzusehen ist.

### 4.3.1 Literaturrecherche

Die Sammlung von Dokumenten wird mittels der VDI-RICHTLINIE 2221 (1993, S. 9 ff.) gestartet. In dieser weit verbreiteten und als Standard anerkannten Richtlinie werden die Phasen des Produktentwicklungsprozesses und die typischerweise in einzelnen Phasen erzeugten Inhalte bzw. Arbeitsergebnisse beschrieben (siehe Bild 4-2).

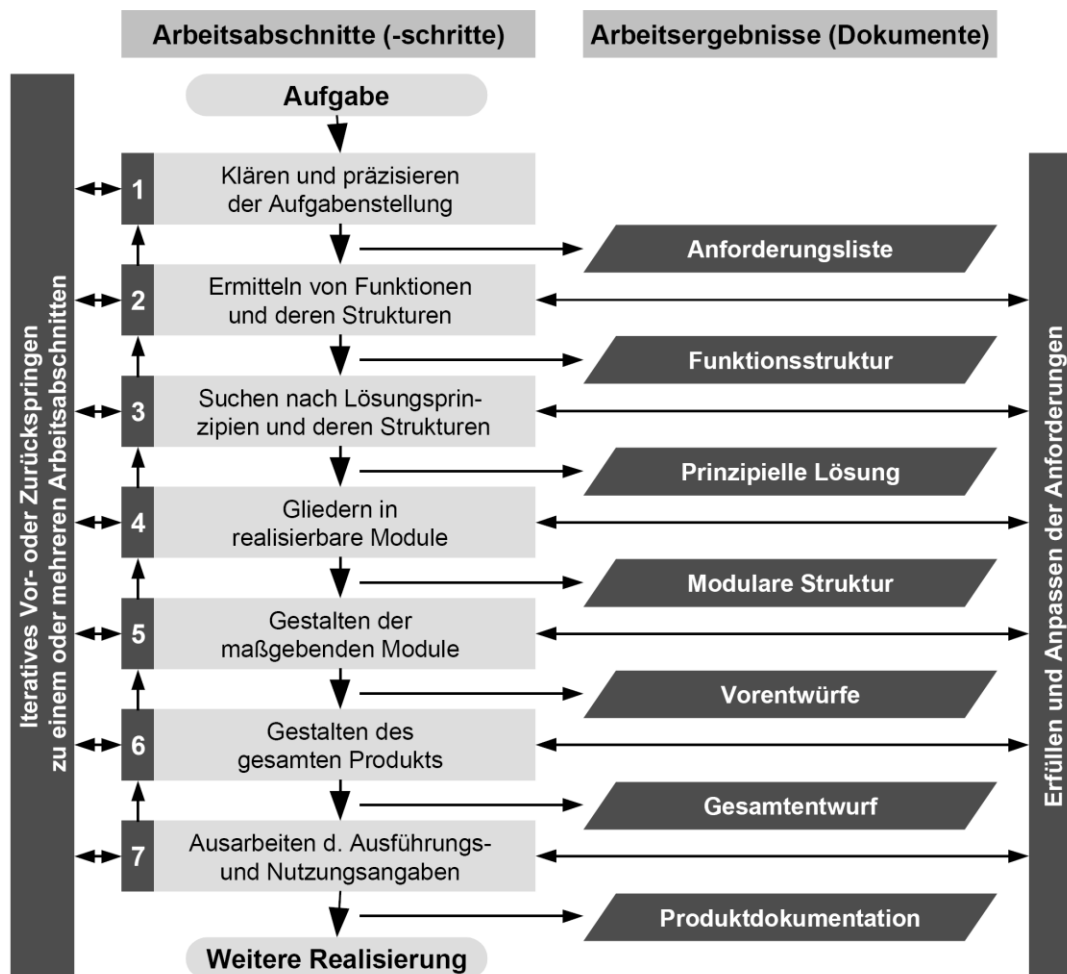


Bild 4-2: Entstehende Arbeitsergebnisse (Dokumententypen) während eines Produktentwicklungsprozesses (VDI-RICHTLINIE 2221 1993, S. 9)

Dadurch wird versucht, eine integrierende Datenverarbeitung über den Entwicklungsprozess methodisch zu unterstützen (VDI-RICHTLINIE 2221 1993, S. 2). Die einzelnen Arbeitsergebnisse stehen in engem Bezug zu den zuvor genannten Konkretisierungsstufen und geben erste Hinweise auf Dokumententypen und deren Konkretisierungsgrad. Die in Bild 4-2 dargestellten Arbeitsergebnisse werden in der Praxis in verschiedensten Dokumenten abgelegt. Beispielsweise wird das Arbeitsergebnis Anforderungsliste in Lasten- und Pflichtenheften festgehalten oder Vorentwürfe in Skizzen oder CAD-Modellen. Da sich anhand der hier beschriebenen Literaturrecherche für die Dokumentenerfassung keine konkreten Instanzen ableiten lassen, werden die Arbeitsergebnisse als Dokumententypen verstanden, deren repräsentative Eigenschaften in Kapitel 4.4 beschrieben werden.

Weitere Quellen für Dokumente kommen aus den Bereichen der integrierten Produktentwicklung (EHRENSPIEL 2007, S. 165), der methodischen Produktentwicklung (PONN & LINDEMANN 2008, S. 18) und des integrierten Produktdatenmodells (ANDERL & TRIPPNER 2000, S. 18). Sie beschäftigen sich zum einen aus Sicht der Produktentwicklung, zum anderen aus Sicht des Datenmanagements mit verschiedensten Dokumenten im Laufe einer Produktentwicklung. Bei EHRENSPIEL (2007, S. 165) werden neben anderen beispielsweise Funktionsstruktur, prinzipielle Lösung, Entwurfszeichnung oder Fertigungsprozessplan als im Produktentwicklungsprozess verwendete Dokumente aufgeführt (EHRENSPIEL 2007, S. 165). In Bezug auf die Konkretisierungsstufen des Münchner Konkretisierungsmodells (MKM) werden unter anderem Produktmodelle wie das Anforderungsmodell oder Entwicklungsmodell genannt (PONN & LINDEMANN 2008, S. 19), die wiederum in mehreren Dokumenten festgehalten werden. Bei ANDERL & TRIPPNER (2000, S. 16) werden im Rahmen der Definition eines durchgängigen Produktdatenmodells unter anderem 3D-Geometriemodelle, FEM-Dokumentation oder technische Zeichnungen zur Darstellung des Produkts verwendet.

### 4.3.2 Industriell eingesetztes PDM-System

Das in Kapitel 2.4.2 beschriebene PDM-System fungiert als Datenarchiv, welches für eine konsistente Datenhaltung möglichst alle Dokumente des Produktentwicklungsprozesses speichert. Aus diesem Grund wurde es als Quelle für Dokumente herangezogen und ein darin enthaltenes Datenmodell des Gewichtsprozesses analysiert. Der Gewichtsprozess dient dazu, sämtliche Massen („Gewichte“) der Einzelkomponenten zusammenzuführen und sicherzustellen, dass alle dafür benötigten Daten vorhanden sind (Datenmodell). Eine umfassende Analyse aller vorhandenen Prozesse und ihrer Datenmodelle wurde im Vorfeld verworfen, da sich das Datenmodell des Gewichtsprozesses zu großen Teilen auch in anderen Prozessen wiederfindet. Das Datenmodell verwendet Metainformationen, um gegenseitige Abhängigkeiten der einzelnen Elemente zu modellieren. Bild 4-3 zeigt das Datenmodell, welches aufgrund seiner Vielzahl an Vernetzungen nur schematisch dargestellt ist.

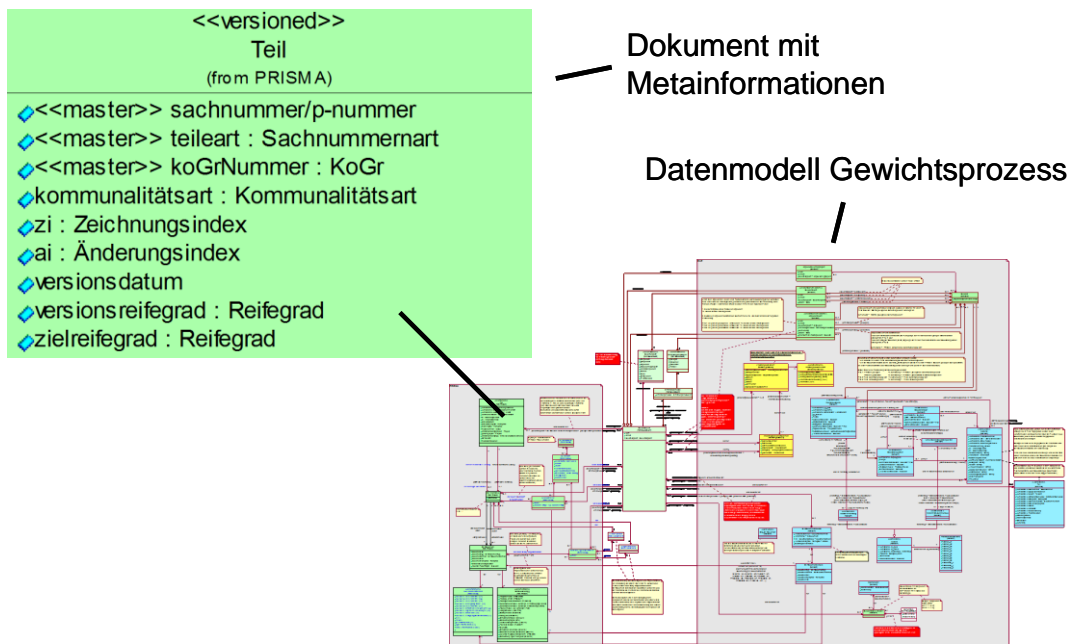


Bild 4-3: Schematisches Beispiel eines Datenmodells des Gewichtsprozesses als Quelle für die Dokumentensammlung

Jedes Datenmodell vernetzt die einzelnen Dokumente und einzelne Informationen miteinander. Dabei werden die Dokumente in Dokumentenklassen eingeordnet wie z. B. CA-Dokumente (CA: „computer aided“), Werkstofflisten oder Änderungsdokumente. Sie repräsentieren eine Möglichkeit, Dokumente eines Produktentwicklungsprozesses zu klassifizieren, sie können aber nicht alle Dokumente nach den definierten Klassen des Gewichtsprozesses klassifizieren. Die im Datenmodell des Gewichtsprozesses definierten Dokumentenklassen und die darin gruppierten Dokumente stellen demnach nicht die vollständige Dokumentenlandschaft dar. Daher wird im Folgenden die Dokumentenlandschaft durch die Dokumente eines eigenständigen Entwicklungsprojektes ergänzt.

### 4.3.3 Entwicklungsprojekt

Neben der Literaturrecherche und der Analyse der Datenbestände des industriellen PDM-Systems PEP-PDM wird außerdem der komplette Datenbestand untersucht, der bei der Entwicklung eines Formula Student Rennfahrzeugs entsteht. Die Rennfahrzeugentwicklung wird nach vorgegebenen Regeln der Formula Student SAE bzw. SAE International durchgeführt (SAE 2009). Am Projekt sind ca. 30 angehende Ingenieure beteiligt, die sich in vollständiger Selbstorganisation um alle Bereiche der Entwicklung kümmern. Sie setzen dazu eine hierarchische Aufbauorganisationsform sowie Projekt- und Terminplanung ein und fertigen ihre Eigenkonstruktionen selbst. Auch Funktionen im Marketing und Sponsoring, welche für die Finanzierung des Projektes Voraussetzung sind, werden selbst wahrgenommen. Wie reale

Unternehmen steht das Entwicklungsteam im ständigen Wettbewerb mit anderen Teams, um bei Kosten- und Qualitätsprüfungen bestehen zu können. Dazu nehmen die einzelnen Teams an der jährlichen Rennserie Formula Student teil. Da es für die Rennserie jedes Kalenderjahr ein neues Regelwerk gibt, müssen die Teams innerhalb von ca. 9 Monaten ihr Fahrzeug entwickeln, um noch Fahrtests durchführen und an der Rennserie teilnehmen zu können. Die Entwicklung des Rennfahrzeugs beinhaltet einen kompletten Entwicklungsprozess wie er auch in der VDI-RICHTLINIE 2221 beschrieben wird. Es werden also alle Phasen, beginnend bei der Aufgabenklärung bis zur Umsetzung und Inbetriebnahme, durchlaufen. Das Team zur Entwicklung des Rennfahrzeugs kann aufgrund seiner Souveränität, Eigenverantwortung und vor allem kompletten Selbstfinanzierung mit einem eigenständigen kleinen Unternehmen verglichen werden und wird daher als Quelle für Dokumente in der Produktentwicklung herangezogen.

Zur Erfassung der Informationslandschaft werden die Daten auf dem „Server“ analysiert und weitere Interviews durchgeführt, um auch noch nicht gespeicherte Dokumente berücksichtigen zu können. Die Analyse der Datenbestände des beschriebenen Entwicklungsprojekts beinhaltet das interne PDM-System und eine manuell verwaltete digitale Ordnerstruktur (File-Server). Während TUfast CAD-Modelle im PDM-System speichert und verwaltet, werden Datenblätter von Zulieferkomponenten auf einem File-Server abgelegt. Datenblätter enthalten Informationen über Einbautoleranzen, Temperaturbelastungen sowie Beständigkeit gegen diverse Flüssigkeiten, welche die Informationen aus den geometrischen CAD-Modellen ergänzen. Des Weiteren finden sich technische Zeichnungen von Komponenten und Ergebnisse von Kinematikanalysen sowie Simulationen wie z. B. der Strukturfestigkeit mit der Finite Element Methode (FEM) oder der Strömungsanalyse mittels Berechnungen der Fluidodynamik (Computational Fluid Dynamics: CFD) (siehe Bild 4-4).

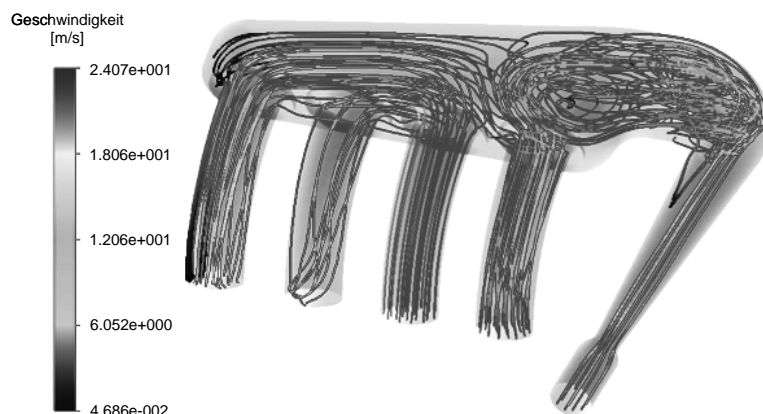


Bild 4-4: Beispiel für eine schematische Ergebnisdarstellung einer CFD-Simulation des Ansaugtrakts

Zusätzlich werden Anforderungslisten archiviert, die von der SAE-Kommission vorgegeben werden. Sitzungsprotokolle, Zeit- und Budgetpläne, die vor allem für die Kosten- und Ter-

minkontrolle nützlich sind, werden ebenfalls gespeichert. Für den Nachweis der Anforderungserfüllung werden außerdem Dokumente mit Berechnungen und Berechnungsergebnissen sowie ein Herstellkosten- und ein Konstruktionsbericht angefertigt. Während der Kostenbericht alle Einzelteilkosten der Bauteile darstellt, gibt der Konstruktionsbericht eine kurze Zusammenfassung über alle im Fahrzeug verbauten Konzepte und die dafür durchlaufene Entscheidungsfindung. Es gibt also eine Reihe an verschiedenen Dokumenten, die während des Produktentwicklungsprozesses erzeugt und benötigt werden. Sie alle fließen in die Dokumentenlandschaft ein.

#### 4.3.4 Identifizierte Dokumentenlandschaft

Aus den zuvor beschriebenen Quellen der Literatur, eines PDM-Systems und eines vollständigen Entwicklungsprojekts konnten insgesamt 57 Dokumententypen abgeleitet werden (siehe Tabelle 4-2). Diese Dokumententypen gruppieren jeweils ähnliche Dokumente, so dass die Dokumentenlandschaft übersichtlich dargestellt werden kann. Um Beschreibungsparameter für die einzelnen Dokumente ableiten zu können, werden deren Eigenschaften im nächsten Kapitel genauer beschrieben.

|                                 |                                  |                                |
|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1. Änderungsdocument            | 20. Kostenabschätzung            | 39. Produktlogik               |
| 2. Anforderungsliste            | 21. Kundenauftrag                | 40. Produktstruktur            |
| 3. Baugruppenbeschreibung       | 22. Lastenheft                   | 41. Projektdokumentation       |
| 4. Bedienungsanleitung          | 23. Lieferantendatenblatt        | 42. Prototyp (Dokumentation)   |
| 5. Berechnungsergebnisse        | 24. Lösung (prinzipiell)         | 43. Prüfanweisung              |
| 6. Betriebsdaten                | 25. Machbarkeitsstudie           | 44. Prüfplan                   |
| 7. Bewertungsergebnis           | 26. Marktanalyse                 | 45. Qualitätsprüfungsdaten     |
| 8. CAD-Modell (speziell 3D)     | 27. Materialliste                | 46. Recyclingplan              |
| 9. Design/Layout                | 28. Meilensteindokumentation     | 47. Richtlinien/Normen/Gesetze |
| 10. Einflussmatrix              | 29. Messergebnisse               | 48. Schaltplan                 |
| 11. Fertigungsprozessplan       | 30. Mindmap                      | 49. Simulationsergebnis        |
| 12. Fertigungszeichnung         | 31. Modulare Struktur            | 50. Skizze/Entwurf             |
| 13. FMEA - Dokument             | 32. Montageplan                  | 51. Stückliste                 |
| 14. Funktionsmodell / -struktur | 33. Morphologischer Kasten       | 52. Tats. Leistungsprofil      |
| 15. Gesamtentwurf               | 34. Nachweis Konzepttauglichkeit | 53. Teilekatalog               |
| 16. Gestaltstudie               | 35. Packaging                    | 54. Vertriebsunterlagen        |
| 17. Ideenformular               | 36. Patent                       | 55. Vorentwurf                 |
| 18. Interner Projektauftrag     | 37. Pflichtenheft                | 56. Wartungsanleitung          |
| 19. Konzeptheft                 | 38. Prinzipzeichnung (Skizze)    | 57. Zusammenstellungszeichnung |

Tabelle 4-2: Identifizierte Dokumententypen der Dokumentenlandschaft

#### 4.4 Eigenschaftsbeschreibungen der Dokumente

Für die Ableitung der Beschreibungsparameter werden die Eigenschaften aller betrachteten Dokumente erhoben. Dazu werden zum einen bereits bei der Erfassung der Dokumente Beschreibungen gesammelt (siehe Kapitel 4.3.1) und durch Beschreibungen aus der Literatur ergänzt; zum anderen werden zur Vervollständigung und Präzisierung der Beschreibungen Entwickler von TUfast (siehe Kapitel 4.3.3) befragt, die jeweils Beschreibungen der Dokumente abgeben müssen. Dabei werden offene Fragestellungen eingesetzt, um den Einfluss der Fragestellungsart auf die Interview-Antworten möglichst gering zu halten. Ein Einfluss auf die Beschreibung und damit auf die erfassten Eigenschaften der Dokumente wird dadurch reduziert. Dieses Vorgehen wird ebenfalls von AHMED et al. (2007, S. 134) angewandt. Da bei AHMED et al. (2007, S. 134) das Ziel der Analyse eine Strukturierung von Wissen ist, müssen die gestellten Fragen an die Erfassung der Dokumente statt an die Erfassung von allgemeinem Wissen angepasst werden. Entsprechend dem beschriebenen Vorgehen und der damit verbundenen Gestaltung des Fragebogens werden zu Beginn eines Interviews allgemeine Angaben, wie z. B. Position, Aufgabe, Bildungsstand und Geschlecht der interviewten Person, erfasst. Diese Angaben ermöglichen bei der späteren Analyse der Interviews eine aussagekräftigere Interpretation der Antworten. Der eingesetzte Fragebogen bzw. Interviewleitfaden ist in Anhang A, S. 201 ff. dargestellt. Durch die Kombination der in der Literatur identifizierten Dokumentenbeschreibungen mit den Interviews konnte die Dokumentenliste erweitert und um Beschreibungen der jeweiligen Dokumente ergänzt werden. Ein Auszug der Dokumentenliste inklusive Beschreibungen ist in Tabelle 4-3 dargestellt. Eine vollständige Darstellung befindet sich in Anhang A (S. 173 ff.) dieser Arbeit.

| Dokument             | Beschreibung   |
|----------------------|--|
| Lösungsbeschreibung  | Nach der VDI 2221 (S. 10) stellen die prinzipiellen Lösungen das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Lösungsprinzipien und deren Strukturen finden“ dar. Sie stellen die Wirkstrukturen zum Erfüllen einzelner Funktionen dar und können zum Beispiel als Prinzipsskizze, Schaltung oder Beschreibung dokumentiert werden. Auf ihrer Basis kann das Produktmodell der modularen Struktur entworfen werden. Nach PAHL/BEITZ (2007, S. 55) muss die Wirkstruktur einer Lösung durch eine überschlägige Berechnung oder eine grobmaßstäbliche Untersuchung der Geometrie quantifiziert und dadurch konkretisiert werden. Erst hierauf kann das Lösungsprinzip festgelegt werden, welches als prinzipielle Lösung für das Problem geeignet ist und anschließend vollständig beschrieben wird.  |
| Gesamtentwurf        | Nach der VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 11) ist der Gesamtentwurf das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Gestalten des gesamten Produkts“. Er enthält alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung. Darstellungsformen können maßstäbliche Zeichnungen, vorläufige Stücklisten, Instrumentenfließbilder und Ähnliches sein. Nach CONRAD (2005, S. 144, S. 225) wird die Entwurfszeichnung nach den Regeln des Technischen Zeichnens angefertigt, so dass einheitliche Darstellungen mit firmenspezifischen Besonderheiten vorliegen. Sie ist das Arbeitsergebnis der Ausarbeitung des Produkts.  |
| Änderungsdokument    | Information über eine Änderung des Produkts und zugehöriger Dokumentation. Was wurde von wem, wann und wie geändert? Es ist sehr wichtig für eine konsistente Datenhaltung und die Kenntnis der Beteiligten über veränderte Zustände bzw. Bedingungen, die unbedingt berücksichtigt werden müssen. Es ist daher im gesamten PEP sehr nützlich, und ist vor allem bei mehreren, verteilt arbeitenden Personen nötig. Das Änderungsdokument muss richtig und vollständig sein sowie allen betroffenen Personen zur Verfügung gestellt werden.  |
| CAD-Modell (v.a. 3D) | Nach GÜNZLER (2005, S. 25ff) werden CAD-Modelle vor allem bei der Entwicklung komplexer technischer Produkte mit Hilfe von unterschiedlicher Software erstellt. Das CAD-Modell ermöglicht es, die geometrische Gestalt des Produkts in Form zwei- oder dreidimensionaler Darstellungen vollständig am Computer zu entwerfen. Durch das Prinzip der virtuellen Produktentwicklung, in welchem der Produktentwicklungsprozess durchgehend mithilfe von CAx-Software virtuell durchgeführt wird, ist eine wesentlich schnellere und kostengünstigere Entwicklung möglich. CAD-Modelle sind rein virtuell und ermöglichen eine verhältnismäßig einfache und schnelle Simulation und Überprüfung angestrebter Produktionseigenschaften. Nach GÜNZLER ist jedoch die Übersichtlichkeit, Verständlichkeit und Handhabbarkeit eines Modells umso schwieriger, je aussagekräftiger es ist. Das CAD-Modell wird im Laufe des gesamten Entwicklungsprozesses in zahlreichen Partialmodellen und in einem interdisziplinären Umfeld angewendet. Nach der VDI-Richtlinie 2223 (2004, S. 68ff) können aus CAD-Modellen auch FEM-Berechnungen, Simulationen (zum Beispiel Kinematiksimulation), NC-Programme für die Fertigung oder Rapid-Prototyping-Technologien abgeleitet werden. Weiter wird unterschieden, dass das CAD-Modell als 3D-Volumenmodell während des Entwurfprozesses verwendet wird und das |

Tabelle 4-3: Auszug der Dokumentenliste inklusive der jeweiligen Beschreibungen  
(siehe auch Anhang A, S. 173)

Aufgrund der unterschiedlichen Beachtung durch Forschungsarbeiten und Ungenauigkeiten bei den Antworten der interviewten Personen können nicht alle Dokumente mit vergleichbar aussagekräftigen Beschreibungen versehen werden. Deshalb werden 10 Dokumente exemplarisch für die Identifikation der Beschreibungsparameter ausgewählt. Diese Beispiele werden so gewählt, dass mindestens ein Dokument je Phase des Produktentwicklungsprozesses (vgl. VDI-RICHTLINIE 2221) für die spätere Analyse berücksichtigt wird. Außerdem wird darauf geachtet, einen höchstmöglichen Beschreibungsumfang der Dokumente zu gewährleisten, so dass für die spätere Analyse in Kapitel 4.5 möglichst viele beschriebene Dokumenteneigenschaften zur Verfügung stehen. Für die weitere Analyse wurden daher die Beschreibungen folgender exemplarischer Dokumente weiter detailliert:

- Anforderungsliste
- CAD-Modell
- Fertigungsprozessplan
- Funktionsstruktur
- Gesamtentwurf
- Konzeptheft
- Lösungsbeschreibungen/prinzipielle Lösung
- Modulare Struktur
- Morphologischer Kasten
- Vorentwurf

In den jeweiligen Beschreibungen sind zusätzliche Angaben zu den genauen Literaturquellen hinterlegt. Außerdem werden die Beschreibungen durch die Ergebnisse der Interviews vervollständigt. Als Beispiel für die detaillierte Beschreibung eines der 10 Dokumente ist in Bild 4-5 die Beschreibung einer Anforderungsliste dargestellt. Die detaillierten Beschreibungen der restlichen Dokumente und die jeweiligen Quellenverweise sind in Anhang A (S. 173 ff.) enthalten.

| Dokument                 | Beschreibung (ausführlich)  |
|--------------------------|---|
| <b>Anforderungsliste</b> | <p>Nach CONRAD (Conrad 2007, S. 73) versteht man unter einer Anforderungsliste eine systematisch erarbeitete Zusammenstellung aller Daten und Informationen durch den Konstrukteur für die Konstruktion von Produkten. Sie dient der Klärung und der genauen Festlegung der Aufgabe und wird in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber erstellt und aktualisiert. Ihre Aufgabe ist zudem das Definieren von Zweck und Eigenschaften der Anforderungen. Nach LINDEMANN (2005) muss für die Entwicklung erfolgreicher Produkte eine Vielzahl von Anforderungen berücksichtigt werden. Quellen für mögliche Anforderungen sind zum Beispiel der Markt, Gesetze, Normen, Unternehmensstrategien, der Wettbewerb oder auch der Kunde. Eine ausreichend vollständige Anforderungsliste ist die Basis für eine zielgerichtete Lösungssuche (Lindemann 2005, S. 84). Bei komplexen Produkten wie einem Kfz kann sie sehr umfangreich werden (Lindemann 2005, S. 92). Im weiteren Verlauf des PE-Prozesses wird auf sie zurückgegriffen. Dies geschieht vor allem bei einer späteren Bewertung und Auswahl von Lösungsmöglichkeiten, da sie Anhaltspunkte für eine Gewichtung von Bewertungskriterien bereitstellt. Zudem unterstützt sie dabei relevante Informationen konsistent und aktuell zur Verfügung zu haben (Lindemann 2005, S. 95). Die Formulierung der Anforderung ist lösungsneutral, positiv und eindeutig, die Anforderung selbst muss außerdem anspruchsvoll, aber erreichbar und zu Zwecken einer besseren Kommunikation auch quantifizierbar sein (Lindemann 2005, S. 97). Die Anforderungsliste verursacht großen Aufwand für ihre Erstellung, trägt aber positiv zum Informationsaustausch bei (Lindemann 2005, S. 221). Nach EHRENSPIEL (Ehrlenspiel 2007, S. 380) soll die Anforderungsliste sowohl möglichst in einem interdisziplinären Team erstellt als auch von dem Projektleiter geprüft werden. Darüber hinaus existiert Software für ihre Erstellung und Aktualisierung. Nach der VDI-Richtlinie 2221 (VDI 2221 1993, S. 10) ist die Anforderungsliste das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“. Sie ist für alle folgenden Arbeitsabschnitte eine begleitende und stets auf den neusten Stand zu haltende Informationsquelle.</p> |

*Bild 4-5: Detaillierte Beschreibung der Anforderungsliste*

Um nun aus der Datenbasis der Dokumente und deren Eigenschaften Beschreibungsparameter ableiten zu können, müssen zunächst Unterscheidungs- bzw. Strukturmerkmale der Dokumente und repräsentative Ausprägungen der Merkmale (Eigenschaften) identifiziert werden.

## 4.5 Strukturmerkmale und Ausprägungen

Die Norm DIN EN 81045-2 (2005, S. 17 ff.) für das Dokumentenmanagement beinhaltet eine Liste von Dokumentenmetainformationen. Beispiele für dort aufgelistete Metainformationen sind die Dokumenten-Identifikationsnummer, Schlüsselwörter, Empfänger oder verwendete Sprache. Bei der Analyse der Metainformationen zeigt sich jedoch, dass sich keine dieser Metainformationen als Parameter für eine prozessorientierte Beschreibung der Dokumente eignen, sondern lediglich für deren Verwaltung. Um eine gezielte Bereitstellung von Dokumenten in dynamischen Produktentwicklungsprozessen zu erreichen, müssen also neue Metainformationen identifiziert werden. Die im vorherigen Kapitel beschriebenen Dokumente werden deshalb im Hinblick auf deren Strukturierungsmerkmale untersucht, die eine Unterscheidung der Dokumente ermöglichen. Direkt verbunden mit den Strukturmerkmalen sind deren jeweilige Ausprägungen, die sich ebenfalls aus den Eigenschaftsbeschreibungen aus Kapitel 4.4 ableiten lassen. Entsprechend der in dieser Arbeit durchgeführten Methodenent-



wicklung können die identifizierten Strukturmerkmale und deren Ausprägungen als mögliche Beschreibungsparameter angesehen werden.

Um Strukturmerkmale zu identifizieren, werden Textanalysen der Dokumentenbeschreibungen durchgeführt wie es bei Forschungsarbeiten im Bereich des Information Retrieval üblich ist (SALTON & BUCKLEY 1991, S. 21). Dort wird die Textanalyse zur Bestimmung von Ähnlichkeiten von Dokumenten eingesetzt, was dann eine Strukturierung ermöglicht (siehe auch Kapitel 2.5.5). Auch JAPISKE et al. (2003, S. 54) analysieren die in Interviews mit Entwicklern erfassten Texte, um die Strukturierung von Konstruktionsrichtlinien in der Produktentwicklung zu erforschen. Mittels Mustererkennung, Clustering und multidimensionaler Skalierung legen sie die Anzahl der Strukturierungsmerkmale und deren Ausprägungen fest, über die die Konstruktionsrichtlinien strukturiert und beschrieben werden können (JAPISKE et al. 2003, S. 54). Im Bereich des Information Retrieval sind textbasierte Analysen zur Ähnlichkeitsbestimmung etabliert und werden inzwischen auch mittels Indexierungsbegriffen automatisiert (BRUZA & VAN DER WEIDE 1991, S. 2). WEBER et al. (2007, S. 3) verwenden beispielsweise eine semiautomatische Modularisierung von Textdokumenten, um deren Strukturen in Topic Maps abzubilden. Da bei der hier anstehenden Textanalyse die Indexierungsbegriffe (Unterscheidungsmerkmale) noch nicht bekannt sind, muss eine manuelle Textanalyse durchgeführt werden. Die identifizierten Begriffe werden mittels multivariater Analysemethoden, wie z. B. Clusteranalyse oder multidimensionaler Skalierung, in Strukturen übersetzt (BACKHAUS et al. 2006, S. 13).

In einem ersten Schritt werden die im Text beschriebenen Eigenschaften der Dokumente markiert, um die bisher unbekannt Struktur der Dokumente zu identifizieren. Um möglichst viele Eigenschaften zu erfassen, wird bei diesem Schritt keinerlei Einschränkung für die Auswahl bestimmter Begriffe vorgegeben. Es werden also nicht einzelne Begriffe, sondern zur Wahrung des Kontextes Begriffskombinationen bzw. Satzteile analysiert (BRUZA & VAN DER WEIDE 1991, S. 3). Als Beispiel für die Markierung relevanter Begriffe ist der Beschreibungstext des Dokuments „Modulare Struktur“ in Bild 4-6 dargestellt. Die markierten Begriffe, wie z. B. im ersten Satz „prinzipielle Lösungen“, „gliedert in“, „Teilsysteme und Systemelemente“, heben die wichtigsten Elemente des Satzes hervor und vereinfachen somit die systematische Analyse nach beschreibenden Eigenschaften.

Nach VDI-RICHTLINIE 2221 (1993, S. 10) basiert die modulare Struktur auf **prinzipiellen Lösungen und gliedert** diese in für die Realisierung wesentliche Aspekte **in Teilsysteme und Systemelemente**. Sie kann sich an der Funktionsstruktur orientieren, um Funktionseinheiten als Module zu definieren. Sie **beschreibt** somit auch die **Schnittstellen der Teilsysteme** des Produkts. **Darstellungsformen** der modularen Struktur sind unter anderem Anordnungsskizzen, Graphen, Logikpläne, Strukturprogramme oder Fließbilder. Vor allem bei komplexen Produkten dient sie zur **Reduktion von Komplexität** und verbessert die Produkteigenschaften im Bereich der Montage, Fertigung oder auch Wartung. Außerdem ermöglicht die Modulare Struktur die **Aufteilung und Parallelisierung der Konstruktionsarbeit**. Es gibt Konstruktions-, Montage-, Wartungs-, Recycling-, Basis- und Variationsmodule. Ihre Darstellungsformen sind **konkreter** als die der **Wirk- oder Funktionsstruktur**. Die Verständlichkeit erfordert ähnlich wie bei den prinzipiellen Lösungen Vorkenntnisse.

Bild 4-6: Markierung der eigenschaftsbeschreibenden Begriffe des Dokuments "Modulare Struktur"

Diese Eigenschaften können dann in einem weiteren Schritt als Strukturmerkmal mit Ausprägungen interpretiert werden. In Tabelle 4-4 ist in Bezug auf das Beispiel „Modulare Struktur“ eine tabellarische Aufstellung der identifizierten Textauszüge bzw. Eigenschaftsbeschreibungen und der sich daraus ergebenden Strukturierungsmerkmale und Ausprägungen dargestellt. Beispielsweise enthält der erste Textauszug der Tabelle 4-4 die markierten Begriffe „prinzipielle Lösung“ und „gliedert in Teilsysteme“. Auf Basis dieser Eigenschaftsbeschreibung lassen sich dann das Strukturmerkmal Zweck im Produktentwicklungsprozess (PE-Prozess) und die Ausprägung „Gliederung der prinzipiellen Lösung“ ableiten. Im genannten Beispiel ist der Zweck des Dokuments „Modulare Struktur“ also die Gliederung von prinzipiellen Lösungen. Im weiteren Verlauf der Analyse werden die jeweiligen Eigenschaften in ihre Bestandteile Strukturmerkmal und Ausprägung zerlegt. Die Darstellungsform erleichtert die Analyse, indem alle identifizierten Strukturmerkmale und deren Herleitung aus dem Text nachvollzogen werden können. Dabei werden in Ergänzung zur vorherigen Textanalyse nicht nur die Begriffe als einzelne Elemente dokumentiert, sondern auch der Kontext (siehe auch vorheriger Abschnitt: BRUZA & VAN DER WEIDE 1991, S. 3). Tabelle 4-4 stellt somit das Ergebnis der Textanalyse des Dokuments „Modulare Struktur“ dar und ergibt mit den Analysen der anderen Dokumente eine Übersicht über mögliche Strukturmerkmale der hier betrachteten Dokumente. Die übrigen Textanalysen der Dokumente sind in Anhang A (S. 186 ff.) dargestellt.

| <b>Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung</b>  | <b>Ausprägung</b>  | <b>Strukturmerkmal</b>         |
|---|--|--------------------------------|
| Nach VDI 2221 (S. 10) basiert die modulare Struktur auf den prinzipiellen Lösungen und gliedert diese in für die Realisierung wesentliche Aspekte wie in Teilsysteme und Systemelemente.  | Gliederung der prinzipiellen Lösungen  | Zweck im PE-Prozess            |
| Sie beschreibt somit auch die Schnittstellen der Teilsysteme des Produkts.  | Schnittstellen beschreiben   | Inhalt                         |
| Darstellungsformen der modularen Struktur sind unter anderem Anordnungsskizzen, Graphen, Logikpläne, Strukturprogramme oder Fließbilder.  | Anordnungsskizzen, Graphen, Logikpläne, Strukturprogramme, Fließbilder   | Konkretisierungsgrad           |
| Vor allem bei komplexen Produkten dient sie zur Reduktion von Komplexität und verbessert die Produkteigenschaften im Bereich der Montage, Fertigung oder auch Wartung. Außerdem ermöglicht die Modulare Struktur die Aufteilung und Parallelisierung der Konstruktionsarbeit. | Reduktion von Komplexität, Identifikation von Entwicklungsschwerpunkten, effiziente Aufteilung der Konstruktionsarbeit | Phasenzugehörigkeit            |
| Es gibt Konstruktions-, Montage-, Wartungs-, Recycling-, Basis- und Variationsmodule.   | Konstruktions-, Montage-, Wartungs-, Recycling-, Basis-, Variationsmodule  | Relevanz                       |
| Ihre Darstellungsformen sind konkreter als die der Wirk- oder Funktionsstruktur.  | konkreter als Wirkstruktur   | Restlicher Entwicklungsaufwand |
| Die Verständlichkeit erfordert ähnlich wie bei den prinzipiellen Lösungen Vorkenntnisse.  | Vorkenntnisse  | Verständlichkeit               |

Tabelle 4-4: Eigenschaftsanalyse am Beispiel des Dokuments "Modulare Struktur"

Durch die Textanalyse aller repräsentativen Dokumente werden zunächst 18 Strukturmerkmale identifiziert. Um inhaltlich gleichbedeutende Strukturmerkmale nicht mehrfach analysieren zu müssen, werden zusätzlich vor der ausführlichen Analyse die identifizierten Strukturmerkmale untereinander verglichen und zusammengefasst. Das Strukturmerkmal „Funktion“ wird als gleichbedeutend mit „Zweck im PE-Prozess“ erkannt und wird daher unter letzterer Bezeichnung automatisch berücksichtigt. Ebenso kann das Strukturmerkmal „Arbeitsschritt“ mit „Phasenzugehörigkeit“ zusammengefasst werden. Die ursprünglich 18 identifizierten Strukturmerkmale werden dadurch auf 16 reduziert (siehe Tabelle 4-5). Deren Bedeutung wird im Rahmen der Ableitung von Beschreibungsparametern in Kapitel 4.7 ausführlich diskutiert.

| Nr. | Strukturmerkmale              | Nr. | Strukturmerkmale               |
|-----|-------------------------------|-----|--------------------------------|
| 1   | Aktualität                    | 9   | Informationsquelle             |
| 2   | Anwendungsaufwand             | 10  | Inhalt                         |
| 3   | Anwendungshäufigkeit          | 11  | Konkretisierungsgrad           |
| 4   | Aufwand der Erstellung        | 12  | Phasenzugehörigkeit            |
| 5   | Darstellungsform              | 13  | Relevanz                       |
| 6   | Darstellungstypen             | 14  | Restlicher Entwicklungsaufwand |
| 7   | Ersteller                     | 15  | Verständlichkeit               |
| 8   | Funktion im Informationsfluss | 16  | Zweck im PE-Prozess            |

Tabelle 4-5: Liste der identifizierten Strukturmerkmale der hier betrachteten Dokumente

Da die 16 identifizierten Strukturmerkmale nicht in jeder Eigenschaftsbeschreibung der Dokumente auftreten, muss deren Übertragbarkeit auch auf andere Dokumente überprüft werden. Dazu werden alle Dokumente, Strukturmerkmale und Ausprägungen miteinander verglichen. Durch paarweise Vergleiche der Dokumente wird zunächst nach gemeinsamen Strukturmerkmalen gesucht. Gleichzeitig können die Dokumente durch den paarweisen Vergleich der jeweiligen Ausprägungen zueinander in Beziehung gesetzt werden (BORG & GROENEN 2005, S. 93). Der Vergleich der Ausprägungen ermöglicht, die Effektivität eines Strukturmerkmals für eine Unterscheidung einzuschätzen. Hätten nämlich zwei Dokumente vollständig gleiche Strukturmerkmale und vollständig gleiche Ausprägungen, dann würden die Dokumente als identisch gewertet werden. Folglich würde sich keines der Merkmale für die Beschreibungsmethode eignen. Um die paarweisen Vergleiche systematisch durchführen zu können, werden alle detailliert betrachteten Dokumente, Strukturmerkmale und Ausprägungen in einer Matrix dargestellt. Tabelle 4-6 zeigt einen Ausschnitt dieser Matrix, die vollständige Matrix ist in Anhang A (S. 198 ff.) dargestellt. In den Spalten sind die untersuchten Dokumententypen, wie z. B. Anforderungsliste oder Gesamtentwurf dargestellt. In den Zeilen sind alle Strukturmerkmale aufgelistet, die bei der Analyse aller Dokumententypen identifiziert werden können. Beispielsweise kann das Strukturmerkmal Darstellungsform bei dem Dokumententyp

Anforderungsliste und CAD-Modell abgeleitet werden. Während dieses Strukturmerkmal bei der Anforderungsliste die Ausprägung „textuell“ besitzt, hat das CAD-Modell die Ausprägung „graphisch“. Jede Zeile stellt somit alle identifizierten Möglichkeiten für Ausprägungen eines bestimmten Strukturmerkmals dar, die sich aus der Analyse der gesamten betrachteten Dokumentenlandschaft ergeben.

|                                | Anforderungsliste   | CAD-Modell (v.a. 3D)   | Gesamtentwurf   | Modulare Struktur   |
|--------------------------------|---|--|---|---|
| Aktualität                     | ständig aktualisiert  |  |   |   |
| Anwendungsaufwand              | im gesamten PE-Prozess  | erhöhte Anforderung, Vorbildung  | Vorbildung  | Vorkenntnisse   |
| Anwendungshäufigkeit           | im gesamten PE-Prozess verwendet                                  |  |   |   |
| Aufwand der Erstellung         | sehr umfangreich, aufwendig                                       |  |   |   |
| Darstellungsform               | textuell  | graphisch, rechnerunterstützt  |   |   |
| Darstellungstyp                |   |  | maßstäbliche Zeichnungen, vorläufige Stücklisten, Instrumentenfließbilder | Konstruktions-, Montage-, Wartungs-, Recycling-, Basis-, Variationsmodule   |
| Ersteller                      | Konstrukteur, Auftraggeber  |  |   |   |
| Funktion im Informationsfluss  | Informationsaustausch unterstützend                               |  |   |   |
| Informationsquelle             | Markt, Gesetze, Normen, Unternehmensstrategien, Wettbewerb, Kunde |  |   |   |
| Inhalt                         |   |  |   | Schnittstellen beschreiben  |
| Konkretisierungsgrad           |   | geometrische Festlegung  | gestalterische Festlegung   | konkreter als Wirkstruktur  |
| Phasenzugehörigkeit            | Aufgabe klären, präzisieren                                       | Entwerfen, Ausarbeiten   | Gestalten des gesamten Produkts   |   |
| Relevanz                       | Basis für Lösungssuche  | Basis für viele Partialmodelle   |   |   |
| restlicher Entwicklungsaufwand |   |  |   |   |
| Verständlichkeit               |   | unübersichtlich, schwer verständlich   |   |   |
| Zweck im PE-Prozess            | Aufgabe klären  | Bauteile modellieren, Feingestaltung, Einzelteilzeichnung, Explosionszeichnung |   | Gliederung der prinzipiellen Lösungen, Reduktion von Komplexität, Identifikation von Entwicklungsschwerpunkten, effiziente Aufteilung der Konstruktionsarbeit |

Tabelle 4-6: Ausschnitt der Matrix zum paarweisen Vergleich der Dokumente bezüglich deren Strukturmerkmale und Ausprägungen

Am Beispiel des „restlichen Entwicklungsaufwands“ fällt auf, dass es Strukturmerkmale gibt, die nicht in jedem Dokument oder nur vereinzelt in den Beschreibungstexten vorkommen und daher nur bei wenigen Dokumenten mit Ausprägungen versehen werden können. Dies liegt darin begründet, dass es nicht gewährleistet werden kann, dass die Beschreibungen alle Eigenschaften vollständig enthalten. Dadurch können Strukturierungsmerkmale eines Doku-

ments unentdeckt bleiben. Dies bedeutet gleichzeitig, dass Strukturmerkmale eines Dokuments aber auch auf andere Dokumente übertragen werden können, in deren Beschreibungstext diese Merkmale nicht vorkommen.

Zusätzlich ist anhand der Bezeichnungen für Ausprägungen, wie z. B. „im gesamten PE-Prozess“ oder „gestalterische Festlegung“, zu erkennen, dass die Begriffe unspezifisch und nicht sehr detailliert sind. Für die weitere Entwicklung der Methode werden daher in Kapitel 4.7 aussagekräftigere Begriffe für Ausprägungen definiert, die inhaltlich aber den hier aufgeführten Begriffen gleichen. Ebenso werden in Kapitel 4.7 die für eine prozessorientierte Bereitstellung notwendigen Beschreibungsparameter der hier zu entwickelnden Methode hergeleitet. Die Identifikation der Strukturmerkmale und ihrer möglichen Ausprägungen gewährleistet die für die Methodenentwicklung benötigte Datenbasis.

Da die Methode für die prozessorientierte Bereitstellung aber nicht nur auf Dokumente, sondern auch auf Prozessschritte anwendbar sein muss, werden für diese im nächsten Kapitel Charakterisierungsmöglichkeiten gesammelt und anschließend mit denen der Dokumente abgeglichen.

## 4.6 Charakterisierungsmöglichkeiten von Prozessschritten

Nach der Beschreibung der Dokumente und deren Analyse im Hinblick auf Unterscheidungsmerkmale werden auch Möglichkeiten der Beschreibung von Prozessschritten recherchiert. Um sowohl Dokumente als auch Prozessschritte in den gleichen mehrdimensionalen Entwicklungsraum einordnen und deren Relevanzabstand bestimmen zu können, müssen sie mit den gleichen Parametern beschrieben werden. Dies ist Voraussetzung für ihre spätere dynamische Vernetzung wie sie von der hier zu entwickelnden Methode gewährleistet werden soll. Bei der Recherche nach Charakterisierungsmöglichkeiten, wird der Stand der Forschung bei der Prozessbeschreibung genutzt und bestehende Ansätze speziell im Hinblick auf ihre definierten Prozesscharakteristika analysiert. Die Charakterisierungsmöglichkeiten können dann später mit den Strukturmerkmalen der Dokumente verglichen werden.

In der Forschung gibt es Ansätze zur Prozessbeschreibung, die direkt mit der Prozessmodellierung eines Gesamtprozesses bzw. Prozessnetzes in Verbindung gebracht werden. Dabei werden die Schritte und deren Abläufe sowie deren Eingangs- und Ausgangsinformationen fest modelliert. In diesem Zusammenhang beschreibt z. B. GÜNZLER (2005, S. 21) den Gesamtprozess und geht nicht auf die detaillierte Beschreibung der Eigenschaften einzelner Prozessschritte ein. Für die Gesamtprozessbeschreibung verwendet er Charakteristika wie Strukturiertheit, Automatisierbarkeit und Komplexitätsgrad, die weniger eine Aussage über den Inhalt des Prozessschrittes als vielmehr über dessen Dynamik zulassen. Dennoch lässt sich beispielsweise das **Charakteristikum Komplexitätsgrad** auch auf einzelne Aktivitäten bzw. Subprozesse (Prozessschritte) übertragen. Der Komplexitätsgrad beinhaltet Informationen über die Verzahnung der einzelnen Schritte, der daran beteiligten Personen und den Aufwand für die Prozessdurchführung.

Eine weitere Möglichkeit der Prozessbeschreibung gibt BICHLMAIER. Er definiert auf Prozessschritzebene einzelne Prozessbausteine (BICHLMAIER 2000, S. 80 ff.). Zentrales Element die-

ser Prozessbausteine ist die Tätigkeitsbeschreibung, welche die **Arbeitsinhalte** zur Bearbeitung des Prozessschrittes vermittelt. Diese Beschreibung wird durch die Angabe von benötigten **Kompetenzen, Werkzeugen** und **Methoden** ergänzt, was neben den auszuführenden Aktivitäten eine weitere Möglichkeit der Charakterisierung darstellt. Auch die Eingangs- und Ausgangsdokumente oder -informationen, die in jedem Prozessbaustein definiert sind, können als charakterisierende Merkmale interpretiert werden, da die angegebenen Eingangs- und Ausgangsinformationen Rückschlüsse auf den Zweck des Prozessschrittes zulassen. So kann beispielsweise das zu erzeugende Ausgangsdokument „Simulationsergebnis“ als **Zweck oder Ziel** des Prozessschrittes betrachtet werden, Simulationsergebnisse zu generieren. Die von BICHLMAIER definierten Prozessbausteine dienen daher zum einen als Quelle für charakterisierende Merkmale, zum anderen als repräsentative Datenbasis für Prozessschritte, die während eines vollständigen Produktentwicklungsprozesses entstehen.

Auch AHMED & WALLACE (2003, S. 6) beschäftigen sich mit der Analyse und Beschreibung von Prozessschritten. Sie führen Interviews durch, um Kurzbeschreibungen von Prozessschritten zu erfassen. Die dort beschriebenen Inhalte werden nach den vier Kategorien **Entwicklungsprozess (Phasen), Produktkomponente, Komponentenfunktion** und **wichtigen Aspekten** analysiert. Die Kategorie Entwicklungsprozess bezieht sich dabei auf die einzelnen Phasen des Entwicklungsprozesses, während die Kategorie Produktkomponente angibt, für welche Komponente des Gesamtproduktes der Prozessschritt wichtig ist. Ergänzt wird diese Beschreibung durch die Angabe der Funktion einer Komponente und wichtiger Aspekte, die bei einem Prozessschritt berücksichtigt werden müssen. SIM & DUFFY (2003, S. 204) unterteilen Aktivitäten in die drei Kategorien gestaltende, bewertende und verwaltende Aktivitäten zur generischen Beschreibung von Entwicklungstätigkeiten. Allerdings werden die verwendeten Kategorien nicht evaluiert (AHMED et al. 2007, S. 135) und können daher nur als zusätzliche Anregung zu den Kategorien von AHMED et al. gesehen werden. Eine weitere Möglichkeit der Beschreibung von Prozessschritten ist deren **Typisierung nach beschreibender und konstruktiver Produkterstellung, Bewertung, Analyse und Vergleich** (WYNN et al. 2009, S. 6). Diese Typisierung ermöglicht also eine Unterscheidung der Prozessschritte.

POLKE (2004, S. 38 ff.) beschreibt eine formalisierte Prozessbeschreibung, in der Attribute Prozessschritten zugewiesen werden. Neben den identifizierenden Attributen wie Lang- oder Kurzname, definiert er im Rahmen der VDI/VDE-RICHTLINIE 3682 (2005) auch einen beschreibenden Anteil. Dieser enthält Attribute wie die Repräsentativität oder Gültigkeitsgrenzen eines Prozessschrittes. Des Weiteren werden Attribute beschrieben, welche verschiedene Sichtweisen unterstützen oder Vorschriften zur Vernetzung von Elementen (Relationsgenerierung) vorgeben. Hier zeigt sich, dass es in der Literatur standardisierte Attribute gibt, die Prozessschritte beschreiben. Die in der Richtlinie beschriebenen Attribute enthalten jedoch keine Informationen über die Einordnung des jeweiligen Prozessschrittes in den Gesamtprozess, was für eine sinnvolle Positionierung im Entwicklungsraum Voraussetzung ist.

Im Rahmen der durchgeführten Literaturrecherche können folgende beschreibende Prozessschrittmerkmale gesammelt werden:

| Nr. | Prozessmerkmale  | Nr. | Prozessmerkmale                 |
|-----|------------------|-----|---------------------------------|
| 1   | Komplexitätsgrad | 8   | Produktkomponente               |
| 2   | Arbeitsinhalte   | 9   | Komponentenfunktion             |
| 3   | Kompetenzen      | 10  | Beschreibende Produkterstellung |
| 4   | Werkzeuge        | 11  | Konstruktive Produkterstellung  |
| 5   | Methoden         | 12  | Bewertung                       |
| 6   | Prozessphasen    | 13  | Analyse                         |
| 7   | Zweck/Ziel       | 14  | Vergleich                       |

*Tabelle 4-7: Liste der identifizierten Prozessmerkmale*

Die zu entwickelnde Beschreibungsmethode von Dokumenten muss auch auf Prozessschritte anwendbar sein. Aus diesem Grund werden die identifizierten Prozessmerkmale mit den Strukturmerkmalen der Dokumente, die in den beiden vorherigen Kapiteln beschrieben wurden, verglichen. Eine integrative Beschreibung ist nur dann möglich, wenn gemeinsame Merkmale existieren oder definiert werden können. Die Bestimmung von gemeinsamen Merkmalen und die Ableitung von entsprechenden Parametern für die Beschreibungsmethode werden im folgenden Kapitel erläutert.

## 4.7 Beschreibungsparameter und Parameterwerte

Nach der Identifikation möglicher Strukturmerkmale von sowohl Dokumenten als auch Prozessschritten stellt die Ableitung von Beschreibungsparametern und ihren Werten den nächsten Schritt dar. Deshalb wird zunächst die Bedeutung der identifizierten Merkmale für eine prozessorientierte Beschreibung diskutiert. Für die Entwicklung einer benutzerfreundlichen und effizienten Methode, gilt es die Anzahl der Beschreibungsparameter zu begrenzen, um den Aufwand für die Methodenanwendung gering zu halten. Abschließend werden die Werte der Beschreibungsparameter überprüft, verständliche Begriffe dafür definiert und eine Codierung der Parameterwerte für die spätere rechnergestützte Anwendung vorgenommen.

### 4.7.1 Definition prozessorientierter Beschreibungsparameter

Um die angestrebte dynamische Verknüpfung der Dokumente mit dem Entwicklungsprozess zu ermöglichen, müssen prozessorientierte Strukturmerkmale gefunden werden, welche sowohl für Prozessschritte als auch Dokumente gleichermaßen gelten. In diesem Zusammenhang bedeutet prozessorientiert, dass die Strukturmerkmale eine Verknüpfung zwischen einem Prozess und einem Dokument ermöglichen.

Die Merkmale von Dokumenten und Prozessschritten (siehe Tabelle 4-5 und Tabelle 4-7) werden deshalb zunächst gegenübergestellt. Anhand der Begriffe beider Merkmalslisten können Gemeinsamkeiten festgestellt werden. Die Merkmalspaare „Prozessphasen und Phasenzugehörigkeit“, „Arbeitsinhalt und Inhalt“ sowie „Zweck/Ziel und Zweck im PE-Prozess“ können direkt miteinander in Verbindung gebracht werden.

Dabei werden die „Arbeitsinhalte“ eines Prozessschrittes durch die auszuführenden Tätigkeiten definiert. Diese geben an, was in welcher Reihenfolge getan werden muss, um den Prozessschritt abzuschließen. Beispielsweise muss bei der Montageplanung eines Fügevorgangs zunächst die Verbindungsart und die Fügeeinheit ausgewählt werden sowie anschließend die Verbindungsgroßgestalt definiert werden. Des Weiteren können unter dem Prozessmerkmal „Arbeitsinhalte“ auch Prozessschritte zur Bewertung, Analyse oder zum Vergleich zusammengefasst werden. Der „Inhalt“ eines Dokuments kann z. B. aus Informationen zu Schnittstellen bestehen, die für einen Fügevorgang relevant sein können. Über die jeweiligen Inhalte können Prozessschritte und Dokumente so miteinander verknüpft werden. Für eine entsprechende Nutzung eines solchen Merkmals als Parameter gilt es in der weiteren Methodenentwicklung, Parameterwerte zu definieren, welche sowohl auf mögliche Arbeitsinhalte von Prozessschritten als auch auf Inhalte von Dokumenten angewendet werden können.

Das Gleiche gilt auch für die Merkmale „Prozessphasen“ (Prozessmerkmal) und „Phasenzugehörigkeit“ (Dokumentenmerkmal). Die Prozessphasen können beispielsweise durch die VDI-RICHTLINIE 2221 definiert werden. Die „Phasenzugehörigkeit“ eines Dokuments gibt demnach direkt an, in welcher Prozessphase das Dokument verwendet wird. AHMED et al. (2007, S. 137) identifizieren die Strukturierung nach den Lebenszyklusphasen des zu entwickelnden Produktes. Es lässt sich durch diese Parameter jedoch keine Verknüpfung zwischen Prozessschritten und Dokumenten herstellen, sondern nur zwischen Prozessphasen und Dokumenten. Zusätzlich ist dem Entwickler zwar die Phasenzugehörigkeit bewusst, aber nicht die Prozessschrittzugehörigkeit und kann daher meist nicht von Entwicklern angegeben werden. Allerdings ist es z. B. mittels weiterer Parameter wie dem zuvor beschriebenen „**Inhalt**“ eines Dokuments möglich, die Phasenzugehörigkeit auf Prozessschritzebene zu detaillieren, indem Beschreibungen des gleichen Inhalts eines Dokuments und Prozessschritts zu einer gegenseitigen Relevanz und damit Zugehörigkeit führen.

Eine weitere Möglichkeit, das Merkmal „Prozessphasen“ zu interpretieren, stellt der „**Konkretisierungsgrad**“ dar. Ähnlich wie bei den Prozessphasen bzw. Lebenszyklusphasen ist der Konkretisierungsgrad eines Produktes in Verbindung mit einem Dokument vom Nutzer intuitiv einzuschätzen. Die verschiedenen Konkretisierungsebenen sind nach PONN & LINDEMANN (2008, S. 24) die Anforderungs-, Funktions-, Wirk- und Baumodellebene. Um den Konkretisierungsgrad in Kombination mit dem Inhalt einsetzen zu können, müssen für die verschiedenen Prozessphasen und Konkretisierungsstufen repräsentative Begriffe definiert werden.

Allerdings lässt der Konkretisierungsgrad keinen Schluss auf die Dauer der vollständigen Konkretisierung bis zum fertigen Produkt zu. Das Dokumentenmerkmal „**restlicher Entwicklungsaufwand**“ kann jedoch für einen solchen Zweck eingesetzt werden. Es lässt sich im Vergleich zu den vorherigen gemeinsamen Parametern zwar nicht direkt auf Prozessschritte übertragen, kann aber die Merkmale „Prozessphase“ bzw. „Konkretisierungsgrad“ ergänzen. In diesem Zusammenhang wird angenommen, dass Entwickler selbst ein-



schätzen können, wie viel restlicher Entwicklungsaufwand in den Komponenten bis zur Fertigung steckt. Diese Einschätzung kann bei unvorhergesehenen Ereignissen revidiert werden und unterstützt auf diese Weise vor allem dynamische Prozesse. Durch die veränderbare Einschätzung des restlichen Entwicklungsaufwands können Iterationen berücksichtigt werden und dadurch eine neue Verknüpfung zu einem Prozess erstellt werden. Diese zeitliche Komponente wird auch in der DIN EN 82045-1 zum Dokumentenmanagement als Reifegradkonzept behandelt (DIN EN 82045-1 2002, S. 15). Hier werden die unterschiedlichen Stadien bzw. Phasen der Produktentwicklung in Bezug zur Dauer bis zur Freigabe eines Produktes dargestellt und dadurch der Reifegrad bestimmt (siehe Bild 4-7). Das Reifegradkonzept wird in dieser Arbeit so interpretiert, dass ausgehend von stufenweisen Freigaben der Dokumente immer eine grobe Abschätzung des restlichen Entwicklungsaufwands möglich ist. Dabei wird angenommen, dass der Begriff „restlicher Entwicklungsaufwand“ intuitiv verständlicher für Entwickler ist als der eng verwandte Begriff des „Reifegrads“. Die Abschätzung des restlichen Entwicklungsaufwands ist zwar mit Unsicherheiten (unerwartete Ereignisse) behaftet, die nur schwer vorherzusehen sind. Aber die Eignung des restlichen Entwicklungsaufwands für eine Verknüpfung der Dokumente mit dem Prozess hängt nicht vollständig davon ab wie groß der restliche Aufwand genau ist. Es reicht dabei aus, dass alle Entwickler eine ähnliche Abschätzung für den restlichen Aufwand treffen. Damit der restliche Entwicklungsaufwand robust gegen Abweichungen ist, wird er außerdem nur in diskreten Stadien angegeben.

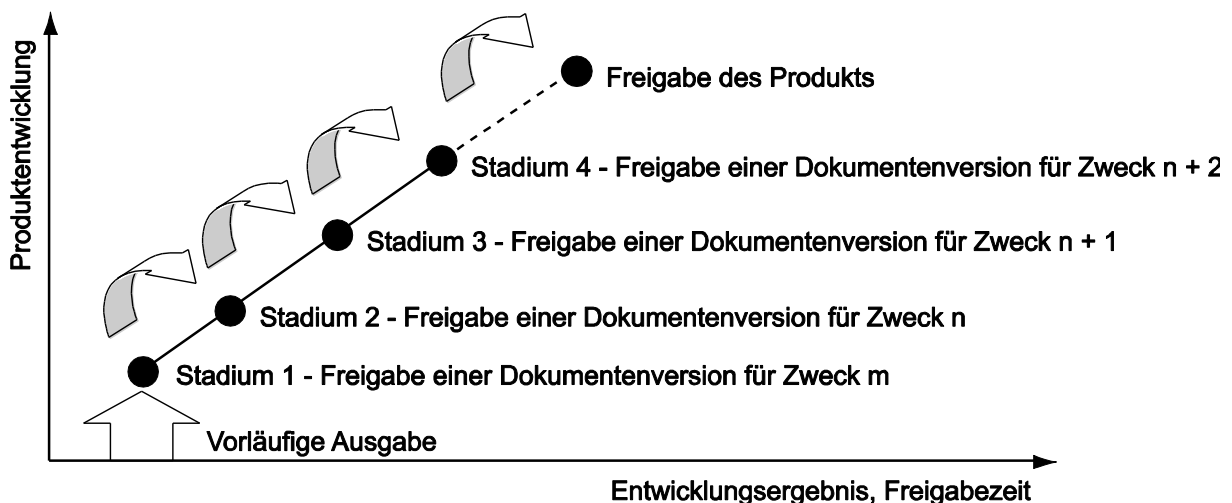


Bild 4-7: Prinzip des restlichen Entwicklungsaufwands in Anlehnung an das Reifegradkonzept nach DIN EN 82045-1 2002, S. 15

Des Weiteren sind die Parameter „Zweck/Ziel“ eines Prozessschrittes und „Zweck im PE-Prozess“ eines Dokuments vergleichbar. Der Zweck eines Prozessschrittes beschreibt, warum und wozu er benötigt wird, beispielsweise zur Vorbereitung und Planung der Fertigung, um einen reibungslosen Fertigungsablauf sicher zu stellen. Der Zweck eines Dokuments im PE-Prozess kann dementsprechend unter anderem sein, Fertigungszeiten, Kosten und Qualität abzusichern (z. B. Fertigungsprozessplan). Auch nach der DIN EN 82045-1 (2002) besitzen Dokumente je nach Phase des Entwicklungsprozesses unterschiedliche Zwecke (siehe Bild 4-7). Diese beiden Merkmale können durch den abstrahierten Begriff „**Verwendungszweck**“ als gemeinsame Strukturmerkmale verwendet werden.

Als letztes wichtiges Merkmal wird der Komplexitätsgrad von Prozessschritten genauer untersucht. Dieser eignet sich für eine Beschreibung der Dokumente insofern, als dass die Merkmale „Aufwand der Erstellung“ und „Verständlichkeit“ unter diesem Begriff zusammengefasst werden können. Diese beiden Merkmale beschreiben indirekt die Komplexität der Informationen in einem Dokument, welche durch zunehmende Komplexität schwieriger zu verstehen sind oder aber auch aufwendiger erstellt werden müssen. Auch die gegenseitige Relevanz von Dokumenten erhöht die Komplexität eines Dokuments. In Bezug auf Prozessschritte steigt der Komplexitätsgrad mit seiner Vernetzung zu anderen Prozessschritten. Allerdings kann der Komplexitätsgrad auch durch weitere Aspekte beeinflusst werden; auf die hier zu entwickelnde Methode haben sie aber keinen Einfluss. Um also für den Entwickler einen möglichst geeigneten Begriff zu definieren, wird der Komplexitätsgrad durch den maßgeblichen Aspekt „**Vernetzungsgrad**“ ersetzt. Dies bedeutet, dass durch die Angabe des Vernetzungsgrades die Anzahl der Verknüpfungen mit anderen Dokumenten und Prozessschritten berücksichtigt wird.

Mit steigender Parameteranzahl sinkt die Effektivität eines jeden Parameters, so dass der Aufwand für die Beschreibung mittels des Parameters nicht mehr den entsprechenden Nutzen oder auch ein zu großes Maß an Unsicherheit mit sich bringt (siehe auch Kapitel 2.5.5, HOTHO et al. 2001, S. 1), (BORG & GROENEN 2005, S. 37). Je höher die Parameteranzahl gewählt wird, desto schlechter wird das Verhältnis von Aufwand und Nutzen eines Parameters. Aus diesem Grund wird die Anzahl der eingesetzten Parameter vorerst auf 5 begrenzt. Die zuvor beschriebenen prozessorientierten Strukturmerkmale stellen dabei die am besten geeigneten Merkmale für eine Verknüpfung zwischen Dokumenten und Prozessschritten dar. Alle übrigen Strukturmerkmale werden auf Grund der notwendigen Begrenzung der Parameteranzahl vorerst nicht weiter berücksichtigt. Eine vorläufige Definition der Parameterzahl ist außerdem Voraussetzung für die spätere Kalibrierung der Methode in Kapitel 4.8. Allerdings gilt es am Ende der Kalibrierung die optimale Parameteranzahl abschließend zu überprüfen (siehe Kapitel 4.8.5). Dabei ist zu klären, wie viele Parameter notwendig sind, um eine qualitativ hochwertige Abbildung der Relevanzen im Entwicklungsraum zu gewährleisten.

| Beschreibungsparameter         | Dokumenten-Merkmale                       | Prozessschritt-Merkmale                      |
|--------------------------------|---|--|
| Inhalt                         | Inhalt                                    | Arbeitsinhalte                               |
| Konkretisierungsgrad           | Phasenzugehörigkeit, Konkretisierungsgrad | Prozessphasen                                |
| Restlicher Entwicklungsaufwand | Restlicher Entwicklungsaufwand            | Kein direkt vergleichbares Merkmal vorhanden |
| Verwendungszweck               | Zweck im PE-Prozess                       | Zweck/Ziel                                   |
| Vernetzungsgrad                | Aufwand der Erstellung, Verständlichkeit  | Komplexitätsgrad                             |

Tabelle 4-8: Zusammensetzung der prozessorientierten Strukturmerkmale zu Beschreibungsparametern

In Tabelle 4-8 sind die an der Auswahl der Beschreibungsparameter beteiligten Dokumenten- und Prozessmerkmale zur besseren Übersicht zusammengefasst. Es werden zunächst die beschriebenen fünf Parameter Inhalt, Konkretisierungsgrad, Verwendungszweck, restlicher Entwicklungsaufwand und Vernetzungsgrad weiter verfolgt. Im nachfolgenden Kapitel werden deren Parameterwerte und Codierung definiert.

#### 4.7.2 Definition und Codierung der Parameterwerte

Um Relevanzen von Dokumenten und Prozessschritten berechnen zu können, müssen die Beschreibungsparameter mit Parameterwerten für die Skalierung versehen werden. Als Ausgangsbasis werden zunächst die in Tabelle 4-8 aufgezeigten Dokumentenmerkmale und deren jeweilige Ausprägungen herangezogen. Zusätzlich sind in der Literatur typische Arten von Aktivitäten beschrieben, die zur Herleitung von Parameterwerten verwendet werden können. Im Folgenden werden Parameterwerte der einzelnen Beschreibungsparameter abgeleitet, repräsentative Begriffe definiert und abschließend eine Codierung vorgenommen.

##### Inhalt

Für den Beschreibungsparameter *Inhalt* konnten in der vorhergehenden Textanalyse der Dokumente die Ausprägungen *Sammeln von Lösungsprinzipien*, *Schnittstellen beschreiben*, *Ablauf der Fertigung*, und *Lösungsideen* identifiziert werden. Da diese Ausprägungen nur auf einer kleinen Datenbasis von 10 Dokumenten beruhen, werden diese durch eine zusätzliche Literaturrecherche ergänzt und durch die Aktivitätsarten *beschreibende Lösungserzeugung*, *konstruktive Lösungserzeugung*, *Bewertung*, *Analyse* und *Vergleich* vervollständigt (GREBICI et al. 2009, S. 575). Ebenso definieren AHMED et al. (2007, S. 137) über den Lebenszyklus die Kategorien *Entwicklung*, *Verwertung*, *Fertigung* und *Betrieb*. Aber auch *funktionale Anforderungen*, *Umgebungsbedingungen* und *Produkteigenschaften* werden

als Kategorien von AHMED et al. (2007, S.137) definiert. Einige der Parameterwerte sind sinngemäß ähnlich und können unter Oberbegriffen intuitiv verständlich zusammengefasst werden.

### **Eigenschaftsbeschreibung**

Die **beschreibende Lösungserzeugung** kann auch auf Dokumente übertragen werden, da implizite Lösungen zunächst aus dem eigenen Gedankenmodell extrahiert und in einem Dokument festgehalten werden. Wichtiger Bestandteil dieser Dokumentation ist die Beschreibung der Lösungseigenschaften, so dass sie in einem späteren Vergleich mit anderen Beschreibungen eingeschätzt werden kann. AHMED et al. (2007, S. 137) identifiziert dazu **Produkteigenschaften** als eine der intuitiv verwendeten Kategorien von Entwicklern. Da diese **Eigenschaftsbeschreibung** eine wesentliche beschreibende Information des **Inhalts** eines Dokuments darstellt, kann diese als weiterer Parameterwert definiert werden.

### **Bewertung**

Wie zuvor bei der Eigenschaftsbeschreibung erwähnt wird diese zur **Bewertung** und **Analyse** von Lösungen herangezogen. Der Inhalt eines Dokuments unterscheidet sich daher auch zwischen der Eigenschaftsbeschreibung und der tatsächlichen Dokumentation der Bewertung. Hier werden beispielsweise Bewertungsmethoden angewendet, die verschiedene Lösungen miteinander vergleichen bzw. analysieren. Ein Dokument mit dem Parameterwert **Bewertung** zur Beschreibung des **Inhalts** enthält demzufolge Informationen über Analyseergebnisse und Bewertungen, welche für eine Entscheidung wichtige Informationen darstellen.

### **Geometrische Darstellung**

Die **konstruktive Lösungserzeugung** beinhaltet gestalterische Elemente, die über eine erklärende Beschreibung einer Lösung hinausgehen. Konstruktive Tätigkeiten zur Lösungserzeugung können daher in geometrischen Formen bzw. Darstellungen resultieren. Geometrische Darstellungen, sei es in Skizzen oder CAD-Modellen, erlauben unter anderem die **Beschreibung von Schnittstellen**, was als Ausprägung des Inhalts eines Dokuments identifiziert wird. Zudem bietet eine **geometrische Darstellung** der Lösung zusätzliche Informationen wie z. B. Proportionen oder genaue Positionierungen zu der reinen Eigenschaftsbeschreibung oder einer Lösungsidee.

### **Anforderungen**

**Funktionale Anforderungen** und **Umgebungsbedingungen** enthalten beispielsweise verschiedenartige Anforderungen und können daher zur einfacheren Handhabung der Methode zum Oberbegriff **Anforderungen** zusammengefasst werden. Ein möglicher Parameterwert des Beschreibungsparameters **Inhalt** ist also **Anforderungen**. Wird der Inhalt eines Dokuments mittels der Methode beschrieben, kann damit angegeben werden, ob das Dokument Informationen über Anforderungen enthält. Welche Anforderungen genau gemeint sind, soll hier nicht näher unterschieden werden.

### **Lösungsideen**

Die Ausprägungen **Lösungsideen** und **Sammeln von Lösungsprinzipien** stammen aus der Dokumentenanalyse. Beide können unter dem Begriff **Lösungsideen** gruppiert werden. Zwar sind Lösungsprinzipien konkreter als Lösungsideen, aber auch Lösungsprinzipien stellen noch keine abgesicherte Lösung dar. Ein möglicher **Inhalt** eines Dokuments kann dadurch vermittelt werden, dass er als Quelle für verschiedenste **Lösungsideen** dienen kann.

Es ergeben sich folgende 5 Parameterwerte für den *Inhalt* von Dokumenten und Prozessschritten: *Eigenschaftsbeschreibung*, *Bewertung*, *Geometrische Darstellung Anforderungen und Lösungsideen*.

### **Konkretisierungsgrad**

Dieser Beschreibungsparameter wird ebenfalls aus den Strukturmerkmalen Phasenzugehörigkeit, Prozessphasen und Konkretisierungsgrad (siehe Tabelle 4-8) und den jeweiligen Ausprägungen aus Tabelle 4-6 zusammengesetzt. Im Folgenden wird die Herleitung der einzelnen Ausprägungen dieses Beschreibungsparameters erläutert.

#### **Konzept, Entwurf, Detail, Freigabe**

Bei der Dokumentenanalyse ergeben sich die Ausprägungsmöglichkeiten *grob maßstäblich*, *geometrische Festlegung*, *verschieden konkret*, *gestalterische Festlegung* und *konkreter als Wirkstruktur*. Diese werden zunächst mit den Konkretisierungsstufen des Münchner Konkretisierungsmodells (siehe Kapitel 2.5.1: MKM) nach PONN & LINDEMANN (2008, S. 24) und dem Pyramidenmodell nach EHRENSPIEL (2007, S. 38) verglichen. Beim Vergleich mit den Konkretisierungsstufen lassen sich die Begriffe in verschiedene Stufen einordnen. Beispielsweise kann *konkreter als Wirkstruktur* der Ebene Baummodell bzw. Entwurf zugeordnet werden, während die *geometrische Festlegung* sowohl der Ebene Baummodell (PONN & LINDEMANN 2008) als auch der Ebene Detail (EHRENSPIEL 2007) angehören kann. Neben den aus Dokumenten stammenden Konkretisierungsmöglichkeiten können auch aus der Phasenzugehörigkeit und Prozessphasen weitere Begriffe wie z. B. *Konzipieren*, *Lösungsprinzipien finden*, *Entwerfen* und *Ausarbeiten* abgeleitet werden. Im Rahmen des Konzipierens werden Lösungsprinzipien gefunden, weshalb stellvertretend nur *Konzept* als Begriff für eine Konkretisierungsstufe in Betracht gezogen wird. Der *Entwurf* beschreibt das Produkt konkreter als das Konzept, da es die *gestalterische Festlegung (Gestalten und Entwerfen)* beinhaltet. *Ausarbeiten* wird als Detaillierung bzw. in *Detail* umformuliert, um den Grad der Konkretisierung zur vorherigen Ebene *Entwurf* auch im Begriff abzugrenzen. Die letzte Konkretisierungsebene bei EHRENSPIEL (2007) „Produktion“ beinhaltet ein Konkretisierungsniveau, welches in der Produktion für die tatsächliche Fertigung und Herstellung des Produktes geeignet ist. Da in der Praxis der Abschluss der Konstruktion mit einer Freigabe für die Produktion verbunden ist, wird diese Konkretisierungsstufe in für den Entwickler verständlicher Form als *Freigabe* bezeichnet.

#### **Aufgabenklärung**

Neben den aus Dokumenten stammenden Konkretisierungsmöglichkeiten können auch aus der Phasenzugehörigkeit und Prozessphasen weitere Begriffe abgeleitet werden. So kann der Konkretisierungsgrad auch nach den Entwicklungsphasen *Aufgabe klären und präzisieren* und *Funktionen ermitteln* gegliedert werden. Wie in Kapitel 2.5.1 bereits erläutert, können die einzelnen Konkretisierungsstufen einzelnen Prozessphasen zugeordnet werden. Die Funktionsermittlung wird als Teil der *Aufgabenklärung* verstanden, da die Funktionsmodellierung als Methode zur Verbesserung des Systemverständnisses eingesetzt wird und damit auch zur Aufgabenklärung beiträgt.

Die Kombination der Konkretisierungsmodelle und Prozessphasen führt daher zu Parameterwerten, die durch ihre Begriffe die grobe Position (phasenweise) im Prozess und gleichzeitig

eine damit intuitiv verbundene Konkretisierungsstufe vermitteln. Für den **Konkretisierungsgrad** werden also die Parameterwerte **Aufgabenklärung**, **Konzept**, **Entwurf**, **Detail** und **Freigabe** gewählt.

### Restlicher Entwicklungsaufwand

Wie bei der Parameterauswahl bereits beschrieben lehnt sich der **restliche Entwicklungsaufwand** an ein Reifegradkonzept an (DIN EN 82045-1 2002, S. 15). Der Reifegrad soll dabei helfen, den aktuellen Stand des Produktes einzuschätzen. Er bezieht sich dabei nicht auf den Reifegrad eines einzelnen Teilsystems. Da es zudem eine Vielzahl an speziellen Reifegradkonzepten gibt, haben Entwickler ein unterschiedliches Verständnis dieses Begriffs. Aus diesem Grund sind Darstellungsformen des Reifegrades wie z. B. mittels Ampelfarben oder Prozentangaben hilfreich für die Erzeugung des gleichen Verständnisses. Mögliche Ausprägungen wie die überschlägige Berechnung oder eine grobmaßstäbliche Untersuchung (Dokumentenanalyse), die bei den Analysen der Beschreibungstexte identifiziert wurden, geben aus Sicht der Entwickler dagegen wenig Aufschluss über den restlichen Entwicklungsaufwand. Entsprechend der in der Literatur verwendeten allgemein verständlichen Symbolik werden dem Entwickler daher Prozentangaben darüber abverlangt, auf welchen aktuellen Entwicklungsstand sich das von ihm beschriebene Dokument bezieht. Dabei wird angenommen, dass es Entwicklern leichter fällt, den restlichen Entwicklungsaufwand einzuschätzen. Deshalb werden die **Prozentangaben** in Bezug auf den restlichen Entwicklungsaufwand von 100 % (Start der Entwicklung) - 0 % (Ende der Entwicklung), **in 20 % - Schritten** angegeben.

### Verwendungszweck

Der Beschreibungsparameter Verwendungszweck wird durch das Dokumentenmerkmal Zweck im PE-Prozess und das Prozess-Merkmal Ziel/Zweck definiert. Die Ausprägungen von Zweck im PE-Prozess sind vielfältig, können aber schrittweise zusammengefasst und zu einer handhabbaren Anzahl Parameterwerte umformuliert werden. Durch die Analyse mehrerer Dokumente haben sich zum einen innerhalb dieses Strukturmerkmals redundante Ausprägungen ergeben, zum anderen aber auch Redundanzen zu anderen Strukturmerkmalen gezeigt. Beispielsweise werden beim Prozessmerkmal Ziel/Zweck die Ausprägungen **Konkretisierungsschritt** und **Konkretisierungs- und Vollständigkeitsgrad vorantreiben** genannt, die bereits im Beschreibungsparameter Konkretisierungsgrad berücksichtigt sind. An dieser Stelle deutet sich eine Korrelation der verschiedenen Parameter an, die in Kapitel 4.8.2 näher untersucht wird.

### Fertigung

Der Parameterwert **Fertigung** resultiert aus den Ausprägungen **Bauteile modellieren**, **Feingestaltung**, **Einzelteilzeichnung** und **Explosionszeichnung**. Der Zweck der durch diese Ausprägungen beschriebenen Dokumente lässt sich unter dem Begriff **Fertigung** zusammenfassen. Dokumente, welche die Dokumentation des Modellierens von Bauteilen und der Feingestaltung als Verwendungszweck haben, beinhalten essentielle Informationen für die Fertigung. Ebenso sind Informationen aus Einzelteilzeichnungen und Explosionszeichnungen Voraussetzungen für die Fertigung.

### **„Frontloading“**

Als Verwendungszweck eines Dokumentes kann die Unterstützung des „**Frontloading**“ genannt werden, welches Informationen aus späten Phasen bereits in frühe Phasen einfließen lässt. Innerhalb des Strukturmerkmals Verwendungszweck eines Dokuments lassen sich die Begriffe **Entwicklungsschwerpunkte festlegen** und **Identifikation von Entwicklungsschwerpunkten** zusammenfassen. Ihnen gemeinsam ist die vorausgehende **Klärung der Aufgabe** (Prozessschritt), welche die Analyse sämtlicher Lebenszyklusphasen des zu entwickelnden Produktes beinhaltet. Durch die Herleitung der Entwicklungsschwerpunkte kann die Lösungssuche fokussiert und damit beschleunigt werden. Ebenso ist der Parameterwert „Frontloading“ auch für Prozessschritte anwendbar, da beispielsweise Prozessschritte wie **Transportwege analysieren** oder **Betriebsbedingungen recherchieren** existieren, die gerade für ein effektives „Frontloading“ unentbehrlich sind.

### **Absicherung**

Die Textanalyse der Dokumente hat außerdem **Fertigungszeiten, Kosten** und **Qualität absichern** als Ausprägung für den Zweck eines Dokuments im PE-Prozess ergeben. Daraus lässt sich stellvertretend der Begriff **Absicherung** bilden, der den Verwendungszweck eines Dokuments beschreiben kann. Zwar wurde die Ausprägung nur in einem Dokument erfasst, aber der daraus abgeleitete Begriff kann auf mehrere Dokumente, die nicht genauer analysiert werden, direkt übertragen werden. Dokumente mit dem Verwendungszweck der Absicherung sind beispielsweise Bewertungs- und Berechnungsergebnisse, FMEA-Dokumente oder Qualitätsprüfungsdaten.

### **Eigenschaftsermittlung**

Ein weiterer Verwendungszweck eines Dokuments kann auch die Dokumentation einer **Eigenschaftsermittlung** sein. Dieser Parameterwert basiert auf identifizierten Ausprägungen wie **Bewertung der Eigenschaften ermöglichen, Überblick über Teilfunktionen des Systems schaffen** oder **Zusammenhänge und Eigenschaften von Systemen abstrakt darstellen**. In Dokumenten mit solchen Verwendungszwecken stecken also Informationen über die Bewertung und über Teilfunktionen und Eigenschaften eines Systems. Im Gegensatz zu Eigenschaftsbeschreibungen des Parameters Inhalt, der das Ergebnis einer Eigenschaftsermittlung beschreibt, dienen Informationen mit dem Verwendungszweck für die Eigenschaftsermittlung als Unterstützung bei der eigentlichen Durchführung der Ermittlung. Durch die Ähnlichkeit der beiden Parameterwerte bei zwei verschiedenen Parametern wird dem Aspekt Eigenschaften ein höheres Gewicht beigemessen (siehe auch Kapitel 4.8.2).

### **Lösungssuche**

Die Ausprägungen **Lösungsideen ordnen, Lösungsideen mit Funktionen verknüpfen, Lösungsideen dokumentieren**, und **Gliederung der prinzipiellen Lösungen** haben den direkten Lösungsbezug gemeinsam. Dokumente mit solchen Ausprägungen des Zwecks im PE-Prozess beinhalten Informationen, die für die Lösungssuche relevant sind. Ähnlich wie mit der Eigenschaftsermittlung verhält es sich mit der Lösungssuche und den Lösungsideen des Beschreibungsparameters Inhalt. Während die Ausprägung **Lösungsideen** des Parameters **Inhalt** die Ergebnisse einer Lösungssuche beschreibt, kennzeichnet die Ausprägung **Lösungssuche** des Parameters **Verwendungszweck** ein Dokument, welches relevante Informationen für den Prozess der Lösungssuche enthält. So kann es Dokumente, wie z. B. Prinzipskizzen geben,

welche inhaltlich Lösungsideen beschreiben, jedoch das Ziel verfolgen, durch die Darstellung der Lösungsideen die Eigenschaften zu ermitteln. Wiederum gibt es Dokumente wie beispielsweise technische Zeichnungen von Komponenten, welche für die *Lösungssuche* relevante Informationen enthalten, aber inhaltlich eine *geometrische Darstellung* wiedergeben.

Der Beschreibungsparameter *Verwendungszweck* kann dementsprechend durch die Parameterwerte *Fertigung*, „*Frontloading*“, *Absicherung*, *Eigenschaftsermittlung* und *Lösungssuche* beschrieben werden.

## Vernetzungsgrad

Bei der Auswahl der Beschreibungsparameter können die Dokumentenmerkmale *Aufwand der Erstellung* und *Verständlichkeit* unter dem Begriff Vernetzungsgrad eingeordnet werden. Dabei steigt mit dem Vernetzungsgrad zum einen der Erstellungsaufwand, zum anderen wird ein solches Dokument immer komplizierter, da eine steigende Anzahl an Verbindungen berücksichtigt werden muss. Die während der Dokumentenanalyse identifizierten Ausprägungen *sehr umfangreich* und *aufwendig* (Aufwand der Erstellung) und *unübersichtlich* oder *schwer verständlich* (Verständlichkeit) eignen sich jedoch nicht für eine direkte Übertragung auf alle Dokumente und Prozessschritte. Da sie lediglich zwei Ausprägungen des Vernetzungsgrades angeben, müssen sie durch weitere ergänzt werden. Dazu werden entsprechend den Konkretisierungsstufen des Konkretisierungsgrades ebenfalls fünf Stufen des Vernetzungsgrades von *1 (niedrigster Vernetzungsgrad = nicht vernetzt) bis 5 (höchster Vernetzungsgrad = sehr stark vernetzt)* definiert. Ähnlich wie beim Komplexitätsgrad, bei dem die Angabe von quantifizierbaren Kennzahlen zu seiner genauen messbaren Bestimmung kaum möglich ist, können auch für den Vernetzungsgrad ebenfalls keine genauen Angaben gemacht werden. Jedoch basiert die Einschätzung des Vernetzungsgrades auf der Anzahl der Querverbindungen zu anderen Dokumenten, welche mit steigendem Vernetzungsgrad in gleichem Maße ansteigt. Diese Anzahl kann vom Entwickler angegeben werden. Die jeweiligen Parameterwerte 1-5 müssen dabei nicht exakt mit Schwellwerten der Anzahl an Querverbindungen verknüpft werden, da Entwickler den Vernetzungsgrad auf Basis des eigenen Wissensstandes intuitiv angeben sollen. Dieses Prinzip ist von den Entwicklern nachvollziehbar, kann aber auch zu Verunsicherung und Ungenauigkeiten bei der Vergabe des Vernetzungsgrades führen, da sich das Empfinden des Vernetzungsgrades je nach Person, Firma, Abteilung oder auch Kultur stark unterscheiden kann. In diesem Zusammenhang ist vorteilhaft, dass die Vernetzung nicht in Absolutwerten betrachtet wird, sondern in Relation zu anderen Dokumenten oder Prozessschritten. Dadurch wird eine Verfälschung der Abstände zwischen Dokumenten und Prozessschritten relativiert. Dennoch sind die unterschiedlichen Interpretationen noch nicht evaluiert, weshalb die Effektivität und damit die Eignung des Parameters Vernetzungsgrad nicht abschließend geklärt sind. Vor dem Hintergrund des Entwicklungsstandes der Beschreibungsmethode wird der Vernetzungsgrad jedoch vorerst in die Parameterliste aufgenommen, um ihn bei der Überprüfung der hier gewählten Parameteranzahl im Rahmen der Kalibrierung des Entwicklungsraumes genauer bewerten zu können.



## Codierung

Die Beschreibungsparameter und deren Werte werden definiert, um den metrischen, mehrdimensionalen Entwicklungsraum aufzuspannen. Es wird daher eine Intervallskala angestrebt, um die in den Entwicklungsraum eingeordneten Dokumente und Prozessschritte zueinander in Beziehung setzen zu können (BACKHAUS et al. 2006, S. 5). Da die Parameterwerte als qualitative Begriffe definiert sind, können der Entwicklungsraum und die eingeordneten Dokumente und Prozessschritte nicht direkt verarbeitet werden. Die qualitativen Begriffe der Parameterwerte werden deshalb mit einer Codierung versehen. Dadurch werden die einzelnen Dimensionen (Beschreibungsparameter) des Entwicklungsraumes in diskrete, äquidistante Skalenteile von 1-5 aufgeteilt. Alle zuvor beschriebenen Begriffe der Parameterwerte werden so mit einem Zahlenwert versehen. Nur mithilfe der Codierung kann die nachfolgende Kalibrierung der Beschreibungsmethode durchgeführt werden (siehe nachfolgendes Kapitel 4.8).

Die zuvor beschriebene Auswahl und Definition der Parameterwerte wird in Tabelle 4-9 zusammenfassend dargestellt. Da zu diesem Zeitpunkt noch keine Aussage über eine effektive Codierung der Parameter gemacht werden kann, werden die Parameter zunächst in aufsteigender Reihenfolge entsprechend der Begriffsfolge codiert und in Tabelle 4-10 dargestellt. Um die Codierung effektiv vornehmen zu können, wird zu Beginn der Kalibrierung der Methode im nächsten Kapitel die Anordnung der Parameterwerte zueinander untersucht und angepasst. Unter Berücksichtigung der angepassten Anordnung der Parameterwerte wird eine detaillierte Aufstellung der endgültigen Codierung ebenfalls in Tabelle 4-10 dargestellt.

| Beschreibungsparameter         | Parameterwerte   |
|--------------------------------|--|
| Inhalt                         | Eigenschaftsbeschreibung, Bewertung/Berechnung, Geometrische Darstellung, Anforderungen, Lösungsideen            |
| Verwendungszweck               | Fertigung, Frontloading, Absicherung, Eigenschaftsermittlung, Lösungssuche                                       |
| Konkretisierungsgrad           | Aufgabenklärung, Konzept, Entwurf, Detail, Freigabe  |
| Restlicher Entwicklungsaufwand | 100 % - 81 % (Start der Entwicklung), 80 % - 61 %, ..., 20 % - 0 % (Produkt vollständig entwickelt, SOP möglich) |
| Vernetzungsgrad                | 1 (keine Vernetzung), 2, ..., 5 (Sehr hoher Vernetzungsgrad)   |

*Tabelle 4-9: Übersicht der Beschreibungsparameter und deren Parameterwerte (Codierung in aufsteigender Reihenfolge nicht dargestellt, siehe Tabelle 4-10)*

## 4.8 Kalibrierung der Beschreibungsmethode

Die Definition der Beschreibungsparameter, der Parameterwerte und deren vorläufiger Codierung stellt das Ergebnis der ersten Zwischenstufe der Methodenentwicklung dar. Um die Effektivität der Methode vor einem Praxistest bewerten und optimieren zu können, wird im Folgenden eine Kalibrierung anhand eines Referenzsystems durchgeführt. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Abstände im Entwicklungsraum den tatsächlichen Relevanzen entspre-

chen, wie sie von den Anwendern empfunden werden. Im Zuge der Kalibrierung wird zunächst die Anordnung der Parameterwerte untersucht und ihre Codierung dementsprechend angepasst (Intervallskala) (BACKHAUS et al. 2006, S. 5). Anschließend wird die Beschreibungsmethode mittels einer Korrelationsanalyse untersucht. Dadurch können die Abhängigkeiten der Beschreibungsparameter voneinander und deren Effektivität für die Methode bewertet werden. Dies lässt Rückschlüsse auf die Abbildungsgüte der Methode zu, wie gut die Realität durch die Methode abgebildet werden kann (Goodness of fit) (COX & COX 2001, S. 37), (COXON 1982, S. 89). Des Weiteren wird auf Basis der Korrelationsanalyse die Gewichtung der einzelnen Beschreibungsparameter diskutiert. Nach der Korrelationsanalyse und der Gewichtung der Parameter wird die Methode auf die zugrunde liegenden Dokumente (Dokumententypen, siehe

Tabelle 4-2: Identifizierte Dokumententypen der Dokumentenlandschaft) und den Referenzprozess der VDI-RICHTLINIE 2221 und weiteren Richtlinien angewendet. Zur Einschätzung der Effektivität der Methode werden die so entstandenen Verknüpfungen zwischen Dokumenten und Prozessen mit den fest modellierten Verknüpfungen eines Referenzsystems abgeglichen. Für die Optimierung der Methode wird auf Basis dieses Vergleichs der Grenzwert des Relevanzabstandes variiert und anschließend festgelegt. Zum Abschluss der Kalibrierung wird zusätzlich zur Korrelationsanalyse ein weiterer Algorithmus zur Berechnung der Abbildungsgüte der nun angepassten Beschreibungsmethode eingesetzt. Dadurch soll die bisher gewählte Anzahl an Beschreibungsparametern abschließend überprüft werden.

#### 4.8.1 Anordnung der Parameterwerte

Die Codierung der Parameterwerte hat entscheidenden Einfluss auf die Effektivität der Methode in der Praxis, da die Angabe der Parameterwerte durch den Nutzer subjektiv geprägt ist und zu unterschiedlichen Beziehungen zwischen Dokumenten und Prozessschritten führt. Da die Begriffe der Parameterwerte für den **Konkretisierungsgrad** und **restlichen Entwicklungsaufwand** durch bestehende Einzelmodelle, wie z. B. das Münchner Konkretisierungsmodell nach PONN & LINDEMANN (2008) oder dem Reifegradkonzept nach DIN EN 82045-2 (2002), bereits etabliert sind, wird die Anordnung der Parameterwerte hier nicht verändert. Die Parameterwerte des **Vernetzungsgrads** sind nach aufsteigendem Vernetzungsgrad bereits in der Parameterdefinition angeordnet worden und müssen daher nicht mehr überprüft werden. Im Folgenden werden daher nur die Parameter **Inhalt** und **Verwendungszweck** in Bezug auf die Anordnung ihrer Parameter untersucht. Um die Robustheit der Methode bei diesen beiden Parametern gegen die erwähnten Unsicherheiten zu steigern, müssen die Begriffe der Parameterwerte so angeordnet werden, dass vom Nutzer als ähnlich bewertete Begriffe auch ähnlich codiert werden. So ist beispielsweise beim Parameter **Inhalt** der Begriff **Eigenschaftsbeschreibung** mit **1** und der Begriff **Lösungsidee** mit **5** codiert. Empfindet ein Nutzer diese beiden Begriffe als ähnlich, wird er sich für den einen oder anderen entscheiden, ohne sich der Folgen bewusst zu sein. Diese vermeintlich unbedeutende Entscheidung resultiert in einem deutlichen Anstieg des euklidischen Abstands in dieser Dimension. Die Relevanz zu anderen Elementen sinkt und es kann keine Verknüpfung mehr hergestellt werden. Entscheidenden Einfluss auf die subjektive Interpretation der Parameterwerte hat auch die Verständlichkeit der Parameter selbst.

Damit von Nutzern als ähnlich empfundene Begriffe in der Codierung nebeneinander angeordnet werden können, wird eine Stichprobe in Form einer qualitativen Befragung von 3 Entwicklern des Formula Student Rennteams TUfast durchgeführt. Zwar hat diese Befragung nur exemplarischen Charakter und ist empirisch nicht belastbar; aber zu diesem Zeitpunkt der Entwicklung wird eine derartige Stichprobe als ausreichend betrachtet, da im Rahmen der späteren Evaluation in Kapitel 6 Erfahrungen mit mehreren Entwicklern unter realen Projektbedingungen gesammelt werden können. Durch die Befragung können ähnliche Begriffe der Parameterwerte aus Nutzersicht in Beziehung zueinander gesetzt werden. Die Codierung kann darauf angepasst und die Robustheit der Methode damit verbessert werden. Für die Durchführung der Befragung wird ein rudimentärer Interviewleitfaden erstellt (siehe Anhang A, S. 201 ff.). Zur Beginn eines Interviews werden zunächst persönliche Daten des Befragten, wie z. B. Geburtsjahr, Geschlecht oder fachliche Qualifikation, erfasst. Diese Angaben dienen als Anhaltspunkte für die Aussagekraft der Antworten eines Befragten. Anschließend werden die Bedeutung der Beschreibungsparameter und deren Werte erläutert, um ein Grundverständnis für die Methode zu gewährleisten. Des Weiteren werden die Befragten gebeten, paarweise Ähnlichkeiten nach einer Skala von 1 (nicht ähnlich), 2 (kaum ähnlich), 3 (ähnlich) und 4 (sehr ähnlich) in einer Tabelle anzugeben. Anschließend sollen die jeweiligen Parameterwerte in eine intuitive Reihenfolge gebracht werden. Als Kriterium für die Reihenfolge sollen ähnliche Begriffe möglichst nahe beieinander, unterschiedliche Begriffe entfernt voneinander angeordnet werden. Die sich aus den einzelnen Interviews ergebenden Anordnungen sind mit dem Interviewleitfaden in Anhang A (S. 201 ff.) dokumentiert.

### **Inhalt**

Nach einer Konsolidierung der angegebenen Anordnungen der Parameterwerte ergibt sich eine neue Anordnung und Codierung der Parameterwerte. So werden beim Parameter **Inhalt** die Parameterwerte **Lösungsideen**, **Eigenschaftsbeschreibung** und **Geometrische Darstellung** als **ähnlich** empfunden. **Anforderungen** und **Bewertung/Berechnung** werden dagegen als **sehr unterschiedlich** empfunden und werden daher weit voneinander getrennt angeordnet. Zusätzlich sind Inhalte von Dokumenten zu **Anforderungen** eng **verbunden** mit **Lösungsideen**, da letztere direkt von Anforderungen begrenzt werden. **Bewertung/Berechnung** wird als **näher** zu **Geometrische Darstellung** eingeschätzt, da meist erst auf Basis der geometrischen Darstellung Berechnungen und Simulationen ausgeführt bzw. aussagekräftige Bewertungen vorgenommen werden können. Eine Übersicht der hieraus resultierenden Parameterwerte ist in Tabelle 4-10 dargestellt. Zum Vergleich wird auch die Codierung vor der Anordnung der Parameterwerte in Tabelle 4-10 angegeben.

| Beschreibungsparameter  | Parameterwerte           | Codierung nach der Anordnung | Codierung vor der Anordnung |
|---|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| <b>Inhalt</b>   | Anforderungen            | 1                            | 4                           |
|   | Lösungsideen             | 2                            | 5                           |
|   | Eigenschaftsbeschreibung | 3                            | 1                           |
|   | Geometrische Darstellung | 4                            | 3                           |
|   | Bewertung/Berechnung     | 5                            | 2                           |
| <b>Verwendungszweck</b>   | Frontloading             | 1                            | 2                           |
|   | Eigenschaftsermittlung   | 2                            | 4                           |
|   | Lösungssuche             | 3                            | 5                           |
|   | Absicherung              | 4                            | 3                           |
|   | Fertigung                | 5                            | 1                           |
| <b>Konkretisierungsgrad</b>                                       | Aufgabenklärung          | 1                            | 1                           |
|   | Konzept                  | 2                            | 2                           |
|   | Entwurf                  | 3                            | 3                           |
|   | Detail                   | 4                            | 4                           |
|   | Freigabe                 | 5                            | 5                           |
| <b>Restlicher Entwicklungsaufwand (bezogen auf Gesamtaufwand)</b> | 100 - 81 % (Start)       | 1                            | 1                           |
|   | 80 - 61 %                | 2                            | 2                           |
|   | 60 - 41 %                | 3                            | 3                           |
|   | 40 - 21 %                | 4                            | 4                           |
|   | 20 - 0 % (Ende)          | 5                            | 5                           |
| <b>Vernetzungsgrad</b>  | 1 (nicht vernetzt)       | 1                            | 1                           |
|   | 2 (schwach vernetzt)     | 2                            | 2                           |
|   | 3 (normal vernetzt)      | 3                            | 3                           |
|   | 4 (stark vernetzt)       | 4                            | 4                           |
|   | 5 (sehr stark vernetzt)  | 5                            | 5                           |

Tabelle 4-10: Codierung der Parameterwerte inklusive aller Beschreibungsparameter und –werte (vor und nach der Anordnung der Parameterwerte)

### Verwendungszweck

Wird der Verwendungszweck der Dokumente mittels der Parameterwerte beschrieben, werden zunächst die Begriffe **Eigenschaftsermittlung** und **Lösungssuche** nebeneinander angeordnet. Grund für diese Anordnung ist, dass der Zweck eines Dokuments die Dokumentation des Vorgehens zur **Lösungssuche**, aber gleichzeitig auch Teil dieser Lösungssuche die **Eigenschaftsermittlung** sein kann. Diese Überschneidung wird durch die benachbarte Anordnung berücksichtigt. Außerdem ergeben sich als nah beieinander liegende Begriffe **Ab-**

**sicherung** und **Fertigung**, da vor der Fertigung eine Absicherung der Konstruktion stattfinden muss. Da dieses Begriffspaar jedoch keinerlei Ähnlichkeit mit dem Zweck des „**Frontloading**“ hat und zudem das „Frontloading“ eine größere Ähnlichkeit zu **Eigenschaftsermittlung** als zu **Lösungssuche** aufweist, werden **Absicherung** und **Fertigung** entfernt von „**Frontloading**“ und **Eigenschaftsermittlung** angeordnet.

Die zu diesem Zeitpunkt durchgeführte qualitative Befragung (Stichprobe) liefert, wie erwähnt, keine statistisch belastbaren Aussagen. Sie dient lediglich einer groben frühzeitigen Abschätzung der Nutzersicht, um diese bereits in einer frühen Entwicklungsphase der Methode berücksichtigen zu können. Außerdem ist es für die Bestimmung der besten Anordnung der Parameterwerte nicht das Ziel, die Beschreibungsmethode in der Anwendung zu evaluieren. Um die Effektivität der Methode aber bereits in der Entwicklungsphase zu verbessern, wird sie auf Basis ihres aktuellen Stands für die nachfolgende Korrelationsanalyse exemplarisch angewendet.

#### 4.8.2 Korrelationsanalyse und Gewichtung der Parameter

Zur genaueren Analyse des Verhaltens und der definierten Beschreibungsparameter der entwickelten Beschreibungsmethode werden Korrelationen zwischen den Beschreibungsparametern untersucht. Die Zahl der Korrelationen steigt dabei mit wachsender Anzahl an Beschreibungsparametern. Die Korrelationsanalyse wird mittels der Berechnung des Korrelationskoeffizienten durchgeführt, der nach folgender Gleichung berechnet wird (BACKHAUS et al. 2006, S. 270):

$$Kor_e(X, Y) = r_{x,y} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

*Formel 2: Berechnung des Korrelationskoeffizienten (BACKHAUS et al. 2006, S. 270)*

$x_i$ ,  $y_i$  sind die Werte des Datenpunktes  $i$ , während  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  die Mittelwerte aller Datenpunkte (Anzahl  $n$ ) darstellen. Es wird also der Mittelwert des Produktes aus den Abweichungen der einzelnen Datenpunkte von deren Mittelwerten berechnet und zu deren Standardabweichung in Beziehung gesetzt. Der **Korrelationskoeffizient gibt demnach die Korrelation zweier Parameter** an, so dass für die Bewertung eines mehrdimensionalen Raumes mehrere Korrelationskoeffizienten berechnet werden müssen. Ein Korrelationskoeffizient nimmt Werte zwischen 0 und 1 an. Wobei der Wert 0 bedeutet, dass die Parameter unabhängig voneinander sind. Geht der Wert gegen 1, dann steigt die Korrelation zwischen den Parametern und damit ihrer Abhängigkeit. Parameter mit einem hohen Korrelationskoeffizienten führen zu einer stärkeren Gewichtung beider Parameter im Vergleich zu den anderen, da ihr Einfluss auf den euklidischen Abstand steigt.

Für die Berechnung der Korrelationskoeffizienten der Beschreibungsmethode wird die in Kapitel 4.3 erfasste Dokumentenlandschaft vom Autor dieser Arbeit durch die 5 Beschreibungsparameter beschrieben. Tabelle 4-11 zeigt einen Ausschnitt der Dokumente mit ihren jeweiligen Beschreibungen. Beispielsweise wird der **Inhalt** des Dokuments „Einflussmatrix“ mit dem Wert 3 für „**Eigenschaftsbeschreibung**“, der **Verwendungszweck** mit dem Wert 2 für „**Eigenschaftsermittlung**“ angegeben. Der **Konkretisierungsgrad** und der **restliche Entwicklungsaufwand** werden mit dem Wert 1 für **Aufgabenklärung** und **100 % - 81 % (Start der Entwicklung)** beschrieben. Der **Vernetzungsgrad** der Einflussmatrix mit anderen Dokumenten oder Prozessschritten wird als gering bzw. **kaum vernetzt** (Wert 2) eingeschätzt. Die vollständige Liste der Dokumentenbeschreibungen befindet sich in Anhang A, S. 209.

| Dokument                    | Beschreibungsparameter |                  |                      |                     |                 |
|-----------------------------|------------------------|------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
|                             | Inhalt                 | Verwendungszweck | Konkretisierungsgrad | Entwicklungsaufwand | Vernetzungsgrad |
| Änderungsdokument           | 3                      | 4                | 3                    | 3                   | 5               |
| Anforderungsliste           | 1                      | 1                | 1                    | 1                   | 3               |
| Baugruppenbeschreibung      | 3                      | 1                | 3                    | 3                   | 4               |
| Bedienungsanleitung         | 3                      | 4                | 5                    | 5                   | 5               |
| Berechnungsergebnisse       | 5                      | 2                | 2                    | 2                   | 3               |
| Betriebsdaten               | 3                      | 1                | 5                    | 5                   | 5               |
| Bewertungsergebnisse        | 5                      | 4                | 3                    | 3                   | 4               |
| CAD-Modell (v.a. 3D)        | 4                      | 3                | 4                    | 4                   | 4               |
| Design/Layout               | 4                      | 2                | 4                    | 4                   | 2               |
| Einflussmatrix              | 3                      | 2                | 1                    | 1                   | 2               |
| Fertigungsprozessplan       | 3                      | 5                | 5                    | 5                   | 5               |
| Fertigungszeichnung         | 4                      | 5                | 5                    | 5                   | 5               |
| FMEA-Dokument               | 3                      | 2                | 4                    | 5                   | 5               |
| Funktionsmodell / -struktur | 3                      | 2                | 1                    | 1                   | 3               |
| Gesamtentwurf               | 4                      | 2                | 3                    | 3                   | 5               |
| Gestaltstudie               | 3                      | 5                | 2                    | 3                   | 3               |
| Ideenformular (6-3-5)       | 2                      | 3                | 2                    | 3                   | 2               |
| Interner Projektauftrag     | 1                      | 1                | 1                    | 1                   | 1               |
| Konzeptheft                 | 3                      | 4                | 2                    | 3                   | 3               |
| Kostenabschätzung           | 3                      | 2                | 2                    | 3                   | 2               |

Tabelle 4-11: Beschreibungen der Dokumente

Mittels der zuvor eingeführten Codierung der Parameterwerte können die Korrelationskoeffizienten nun nach Formel 2 berechnet werden. Die errechneten Koeffizienten sind in Tabelle 4-12 dargestellt. Beispielsweise beträgt der Korrelationskoeffizient zwischen Inhalt und Verwendungszweck 0,54. Dieser Wert drückt aus, dass die beiden Parameter nicht unabhängig voneinander sind, aber auch nicht vollständig korrelieren bzw. gleichdeutend sind. Der Wert drückt eine mittlere Abhängigkeit aus (0 = unabhängig, 1 = vollständige Korrelation), die unter Berücksichtigung der anderen Korrelationskoeffizienten den Einfluss der beiden Parameter auf die Relevanzberechnung beschreibt. Eine genaue Angabe zur Bedeutung dieses Wertes ist jedoch ohne die Beachtung der anderen Koeffizienten nicht möglich.

|                      | Inhalt | Verwendungs-<br>zweck | Konkretisie-<br>rungsgrad | Entwicklungs-<br>aufwand | Vernet-<br>zungsgrad |
|----------------------|--------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| Inhalt               | x      | <b>0,54</b>           | <b>0,50</b>               | <b>0,45</b>              | <b>0,43</b>          |
| Verwendungszweck     |        | x                     | <b>0,63</b>               | <b>0,63</b>              | <b>0,40</b>          |
| Konkretisierungsgrad |        |                       | x                         | <b>0,94</b>              | <b>0,61</b>          |
| Entwicklungsaufwand  |        |                       |                           | x                        | <b>0,60</b>          |
| Vernetzungsgrad      |        |                       |                           |                          | x                    |

Tabelle 4-12: Berechnete Korrelationskoeffizienten in Matrixdarstellung

Da der Korrelationskoeffizient unabhängig von der Richtung der Korrelation ist, ergibt sich eine symmetrische Matrix, die nur in der oberen Hälfte ausgefüllt wird. Wie in der Übersicht der Korrelationskoeffizienten zu erkennen ist, haben diese überwiegend einen Wert um ca. 0,5 mit einem Durchschnittswert von 0,53 (ohne markierte Zelle). Dies wird als bedingte Korrelation der jeweiligen Parameter interpretiert. Im Zusammenhang mit der Methodenentwicklung wird darunter verstanden, dass die Dimensionen des Entwicklungsraumes, die durch die Beschreibungsparameter definiert werden, nicht orthogonal zueinander stehen. Ebenso bedeutet dies, dass sie nicht parallel zueinander sind (linear abhängig), aber dennoch den Entwicklungsraum aufspannen können. Die drei Parameter Inhalt, Verwendungszweck und Vernetzungsgrad können auf Basis dieser Interpretation für die Methode akzeptiert werden. Allerdings ergibt sich auch ein einzelner sehr hoher Korrelationskoeffizient von 0,94 bei den Beschreibungsparametern Konkretisierungsgrad und restlicher Entwicklungsaufwand (siehe Tabelle 4-12, markierte Zelle). Dieser nahe 1 gelegene Wert zeigt eine starke Korrelation der beiden Parameter an und damit nahezu eine Redundanz beider Parameter. Dokumente können demnach kaum durch den Einsatz beider Parameter sinnvoll unterschieden werden.

### Gewichtung

Zur Verbesserung der Effektivität der Informationsbereitstellung einzelne Dimensionen eines mehrdimensionalen Raumes typischerweise mit einer Gewichtung versehen (SACKS-DAVIS 1997, S. 3), (SALTON & BUCKLEY 1988, S. 516). Anhand einer Gewichtung kann der Einfluss einzelner Dimensionen bzw. Parameter auf die Informationsbereitstellung gesteuert und die Relevanzberechnung der Dokumente optimiert werden. Das Prinzip der Gewichtung wurde bereits 1988 GORDON (1988, S. 1209) eingesetzt und stellt ein bewährtes Mittel zur Optimierung der Informationsbereitstellung dar.

Die starke Korrelation der Parameter Konkretisierungsgrad und restlicher Entwicklungsaufwand bedeutet nun, dass die Beibehaltung beider Parameter auch als Gewichtung zur Optimierung der Informationsbereitstellung gesehen werden kann. Da gerade diese beiden Parameter einen engen Bezug zum Entwicklungsprozess haben, wird ihre stärkere Gewichtung als Vorteil für eine prozessorientierte Beschreibungsmethode gesehen. Zusätzlich bieten sich dem Entwickler bei der Anwendung der Methode zwei Parameter an, die sich bei unsicheren Angaben gegenseitig unterstützen und die Berechnung der Verknüpfung robuster gestalten. Von einer Gewichtung der anderen Parameter wird vorerst abgesehen, da an dieser Stelle der Me-

thodenentwicklung der Einfluss der Parameter auf die Methodeneffektivität noch nicht abgeschätzt werden kann.

### 4.8.3 Abgleich mit Referenzsystem: Präzision und Vollständigkeit

Im Anschluss an die Korrelationsanalyse wird die Methodenanwendung mit einem Referenzsystem abgeglichen. Das Referenzsystem setzt sich aus Verknüpfungen zwischen vorgegebenen Dokumententypen und einem Referenzprozess nach der VDI-RICHTLINIE 2221 (1993) zusammen. Für den Abgleich der Beschreibungsmethode mit dem Referenzsystem wird die Methode auf den Referenzprozess angewendet und die dadurch entstehenden Verknüpfungen identifiziert. Die im Referenzsystem abgebildeten Verknüpfungen werden dann mit den Verknüpfungen (Relevanzen) der Methodenanwendung abgeglichen und anhand von Kennzahlen wie z. B. Präzision und Vollständigkeit bewertet.

#### **Referenzsystem**

Um die Qualität der Informationsbereitstellung bereits während der Entwicklungsphase der Beschreibungsmethode beurteilen zu können, wird ein Referenzsystem aufgebaut. Das Referenzsystem besteht aus Dokumenten, Prozessschritten und festen Verknüpfungen zwischen ihnen, die in mehreren Prozessmodellierungsworkshops abgebildet werden. Dem Referenzsystem wird das vom Forschungsverbund FORFLOW definierte Entwicklungsprozessmodell zugrunde gelegt (KREHMER et al. 2009, S. 242). Dieses ergänzt die etablierten Vorgehens- und Prozessmodelle, wie z. B. das V-Modell XT (adaptiert aus der Informatik), die VDI-RICHTLINIE 2221 – 2223 und 2206; es berücksichtigt dabei Aspekte der mechatronischen Produktentwicklung sowie Iterationen. Die einzelnen Phasen des Prozessmodells werden außerdem detaillierter aufgelöst als die zuvor genannten Modelle und in Prozessschritten dargestellt (KREHMER et al. 2009, S. 242). Auf dieser detaillierten Prozessebene werden dann alle Dokumente der Dokumentenlandschaft mit dem Entwicklungsprozess verknüpft, wenn sie füreinander als relevant eingestuft werden. Diese Relevanzen werden ausführlich von den an den Workshops beteiligten Entwicklern diskutiert. Die resultierenden Verknüpfungen des Referenzsystems stehen im Fokus der Betrachtung, da diese mit den durch die Beschreibungsmethode errechneten Relevanzen von Dokumenten für bestimmte Prozessschritte abgeglichen werden sollen. Das vom Forschungsverbund generierte Prozessmodell soll hier nicht als allgemeingültiges generisches Standardprozessmodell verstanden werden. Vielmehr ist es als eine Detaillierungsmöglichkeit der VDI-RICHTLINIE 2221 und weiterer Richtlinien zu sehen. Das aufgebaute Referenzsystem bietet eine Datengrundlage für die Optimierung der Beschreibungsmethode, da für die Kalibrierung der Beschreibungsmethode leichte Abweichungen zu einem realen Prozess tolerierbar sind. Das erstellte Referenzsystem wird zur besseren Darstellung der Vernetzung zwischen Dokumenten und Prozessschritten in Tabellenform abgebildet (siehe Bild 4-8). Eine detaillierte Darstellung des Referenzsystems befindet sich im Anhang A (S. 210 ff.).





| Prozessschritte            | Parameter |                  |                      |                     |                 |
|----------------------------|-----------|------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
|                            | Inhalt    | Verwendungszweck | Konkretisierungsgrad | Entwicklungsaufwand | Vernetzungsgrad |
| Klären der Anforderungen   | 1         | 1                | 1                    | 1                   | 1               |
| Funktionsstruktur aufbauen | 3         | 2                | 2                    | 1                   | 2               |
| Lösungsprinzipien suchen   | 2         | 2                | 2                    | 2                   | 2               |
| Modularisieren             | 3         | 2                | 2                    | 2                   | 2               |
| Grobgestaltung             | 3         | 2                | 2                    | 2                   | 2               |
| Eigenschaftsanalyse        | 3         | 2                | 2                    | 2                   | 2               |
| Konzeptauswahl             | 5         | 4                | 2                    | 3                   | 2               |
| Bauteilgestaltung          | 4         | 3                | 3                    | 3                   | 3               |
| Bauteilberechnung          | 5         | 2                | 4                    | 3                   | 3               |
| Bauteilabsicherung         | 5         | 4                | 4                    | 4                   | 3               |
| Teilsystemintegration      | 4         | 2                | 4                    | 4                   | 4               |
| Teilsystemabsicherung      | 5         | 4                | 4                    | 4                   | 4               |
| Gesamtsystemintegration    | 4         | 2                | 4                    | 4                   | 5               |
| Gesamtsystemabsicherung    | 5         | 4                | 4                    | 5                   | 5               |
| Vorserie produzieren       | 3         | 5                | 5                    | 5                   | 5               |

Tabelle 4-13: Beschreibung der Prozessschritte mittels der Methode

### Kennzahlen

Um Abweichungen im Hinblick auf deren Bedeutung für die Effektivität der Methode beurteilen zu können, werden die Verknüpfungen anhand mehrerer Kennzahlen analysiert. Die üblichen Kennzahlen zur Messung der Effektivität der Informationsbereitstellung sind Präzision („Precision“) und Vollständigkeit („Recall“) (BLAIR & MARON 1985, S. 290), (BAEZA-YATES & RIBEIRO-NETO 1999, S. 75). Sie werden wie folgt berechnet:

$$\text{Präzision} = \frac{\text{Anzahl der relevanten} \cap \text{bereitgestellten Dokumente}}{\text{Anzahl der bereitgestellten Dokumente}}$$

$$\text{Vollständigkeit} = \frac{\text{Anzahl der relevanten} \cap \text{bereitgestellten Dokumente}}{\text{Anzahl der relevanten Dokumente}}$$

Bild 4-9: Berechnung von Präzision und Vollständigkeit für die Beurteilung der Effektivität der Dokumentenbereitstellung durch die Methode

Die Kennzahl **Präzision** (Genauigkeit) gibt Aufschluss über den Anteil der relevanten Verknüpfungen (Übereinstimmungen mit Referenzsystem) der durch die Methode bereitgestellten Verknüpfungen im Verhältnis zur Gesamtzahl der durch die Methode berechneten Verknüpfungen. Wenn beispielsweise 20 Dokumente bereitgestellt werden und davon aber nur 15 Dokumente für den Nutzer relevant sind, ergibt sich eine Präzision von 0,75 bzw. 75 %. Der maximal erreichbare Wert für die Präzision beträgt demnach 1, der minimale Wert 0.

Die Präzision wird außerdem durch die **Vollständigkeit** ergänzt. Diese Kennzahl gibt an, welcher Anteil der relevanten Dokumente (Verknüpfungen) des Referenzsystems durch die Methode angezeigt wird. Das heißt, es wird bewertet wie viele relevante Dokumente des Referenzsystems nicht bereitgestellt werden. Beispielsweise kann es insgesamt 30 relevante Dokumente geben, von denen aber nur 15 bereitgestellt werden. Die Vollständigkeit beträgt in diesem fiktiven Beispiel 0,5 bzw. 50 %.

Neben den beiden Standardkennzahlen werden zur detaillierten Einschätzung der Methode zusätzlich auch folgende weitere Kennzahlen ermittelt:

- Fehlende Verknüpfungen (3)
- Positive neue Verknüpfungen (4)
- Negative neue Verknüpfungen (5)

Die Kennzahl 3 ist der komplementäre Wert zur Vollständigkeit, wird aber aus Gründen der übersichtlicheren Darstellung und Unterstützung der Analyse dennoch angegeben. Diese Kennzahl gibt also direkt an, wie viele relevante Dokumente nicht bereitgestellt wurden, also fehlende Verknüpfungen. Das hier zugrunde gelegte Referenzsystem beinhaltet wie jedes Modell der Realität Ungenauigkeiten. Es besteht die Möglichkeit, dass das Referenzsystem nicht alle Verknüpfungen abdeckt. Die von der Methode bereitgestellten Dokumente können das Referenzsystem also durch neue Verknüpfungen erweitern. Um neue Verknüpfungen analysieren zu können, werden diese mithilfe der Kennzahlen 4 (positive neue Verknüpfungen) und 5 (negative neue Verknüpfungen) im Hinblick auf ihren positiven bzw. negativen Effekt für den Nutzer bewertet. Als positiv wird eine Verknüpfung gewertet, wenn sie nützlich für den Entwickler ist, als negativ, wenn sie nicht brauchbar ist. Die Kennzahlen werden dann als Verhältnis der Anzahl der positiven oder negativen Effekte zur Gesamtzahl der durch die Methode ermittelten Verknüpfungen angegeben. Die negativen Verknüpfungen verursachen dabei einen Informationsüberfluss und werden daher auch als Ausfallquote (Fallout) bezeichnet (BLAIR & MARON 1985, S. 290).

Die Kennzahlen werden für jeden einzelnen Prozessschritt angegeben, um das Verständnis für die Wirksamkeit der Methode verbessern zu können. In Bild 4-10 ist ein Ausschnitt des beispielhaften Vergleichs des Prozessschrittes *Lösungsprinzipien suchen* dargestellt. Während die rechte Spalte die durch die Methode errechneten Werte für den Relevanzabstand  $d$  angibt, werden in der linken Spalte nur die fest modellierten Verknüpfungen durch ein „X“ dargestellt. Die Relevanzabstände werden mittels des euklidischen Abstandes (siehe Formel 1, S. 67) berechnet. Z. B. ergibt sich für das Dokument „Gestaltstudie“ ein Relevanzwert von  $d = 3,46$  Skalenteilen, für das „Ideenformular (6-3-5)“ ein Relevanzabstand für den Prozessschritt von  $d = 1,41$  Skalenteilen. In der Spalte „Methode“ sind Dokumente mit einem Rele-

vanzwert innerhalb der Grenze von  $d = 2,5$  Skalenteilen (Skt.) graphisch gekennzeichnet. Diese Kennzeichnung hebt Dokumente hervor, welche für den jeweiligen Prozessschritt bereitgestellt werden. Beispielsweise wird durch die Methode das Dokument „Ideenformular (6-3-5)“ für den Prozessschritt „Lösungsprinzipien suchen“ bereitgestellt, das Dokument „Gestaltstudie“ jedoch nicht. Die Anzahl der einzelnen als relevant berechneten Dokumente dient der Berechnung der Kennzahlen Präzision und Vollständigkeit (siehe Bild 4-10, rechts). Dazu werden für die Präzision die Anzahl aller bereitgestellten Dokumente und für die Vollständigkeit die Anzahl aller relevanten Dokumente aus den Tabellen ausgelesen (siehe auch Bild 4-9). Auf eine explizite Darstellung der Anzahlen wird aus Gründen der Übersichtlichkeit jedoch verzichtet.

| Dokumente               | Lösungsprinzipien suchen |         | Kennzahl                    | [%]  |
|-------------------------|--------------------------|---------|-----------------------------|------|
|                         | Referenz                 | Methode |                             |      |
| Gestaltstudie           |                          | 3,46    | Präzision                   | 90,5 |
| Ideenformular (6-3-5)   | X                        | 1,41    | Vollständigkeit             | 63,3 |
| Interner Projektauftrag | X                        | 2,24    | Fehlende Verknüpfungen      | 36,7 |
| Konzeptheft             | X                        | 2,65    | Positive neue Verknüpfungen | 50,0 |
| Kostenabschätzung       | X                        | 1,41    | Negative neue Verknüpfungen | 50,0 |
| Kundenauftrag           |                          | 2,24    |                             |      |
| Lastenheft              | X                        | 2,24    |                             |      |
| Lieferantendatenblatt   | X                        | 2,00    |                             |      |
| Lösungsbeschreibungen   | X                        | 1,41    |                             |      |
| Machbarkeitsstudie      | X                        | 2,65    |                             |      |
| Marktanalyseergebnisse  |                          | 2,24    |                             |      |

**Legende:**  Fehlende Verknüpfungen     Positive neue Verknüpfungen     Negative neue Verknüpfungen

Bild 4-10: Vergleich des Referenzsystems mit dem System der Beschreibungsmethode am Beispiel des Prozessschrittes Lösungsprinzipien suchen für  $d = 2,5$  Skalenteile (Ausschnitt)

Zusätzlich zu Präzision und Vollständigkeit werden die Dokumente auch bezüglich der eingeführten Kennzahlen „Fehlende Verknüpfungen“, „Positive neue Verknüpfungen“ und „Negative neue Verknüpfungen“ bewertet. Im Zuge der Methodenentwicklung bewertet der Autor dieser Arbeit die jeweiligen Verknüpfungen als positiv oder negativ. Beispielsweise ergibt die Bewertung der neuen Verknüpfungen (siehe Bild 4-10) eine ausgeglichene Verteilung zwischen positiven und negativen Verknüpfungen. Dies zeigt, dass es nützliche Verknüpfungen geben kann, die durch das Referenzsystem nicht vollständig erfasst sind. Außerdem kann das Konzeptheft (siehe Bild 4-10) mit einer Relevanz von  $d = 2,65$  Skalenteilen als fehlende Verknüpfung eingestuft und in der Spalte „Referenz“ gekennzeichnet werden (siehe Legende in Bild 4-10).

Anhand der im rechten Bereich von Bild 4-10 dargestellten Übersicht der erfassten Kennzahlen kann die Effektivität der Beschreibungsmethode für den Beispielprozess interpretiert werden. Es ergibt sich eine hohe Übereinstimmung (Präzision) der durch die Methode berechneten Verknüpfungen (90,5 %). Die Trefferquote bzw. Vollständigkeit („Recall“) liegt dagegen bei (63,3 %). Im Vergleich zu den Verknüpfungen des Referenzsystems fehlen also 36,7 % der relevanten Dokumente. Zum einen bedeutet dies, dass nahezu alle berechneten Verknüpfungen auch im Referenzsystem vorkommen und somit als nützlich für den Anwender eingeschätzt werden können. Zum anderen gibt es aber einen nicht zu vernachlässigenden Anteil relevanter Dokumente, die von der Methode gar nicht erfasst bzw. bereitgestellt werden (Ausfallquote).

### Ergebnis des Abgleichs

Das Ergebnis des Vergleichs wird anhand des jeweiligen Mittelwertes der eingeführten Kennzahlen für alle Prozessschritte in Abhängigkeit von der Relevanzgrenze  $d$  dargestellt. Die Interpretation der Kennzahlen hängt dabei vom Einzelfall ab. Es werden daher die Kennzahlen jedes Prozessschrittes genauer betrachtet. Die einzelnen ermittelten Kennzahlen sind vollständig in Anhang A, S. 213 zu finden. Die Übersicht der Mittelwerte der 5 Kennzahlen für  $d = 2,5$  Skalenteile ist in Bild 4-11 abgebildet.

| <b>Mittelwerte</b>          | <b><math>d = 2,5</math> Skalenteile</b> |
|-----------------------------|---|
| Präzision                   | 84,9 %                                  |
| Vollständigkeit             | 53,1 %                                  |
| Fehlende Verknüpfungen      | 46,9 %                                  |
| Positive neue Verknüpfungen | 78,5 %                                  |
| Negative neue Verknüpfungen | 21,5 %                                  |

*Bild 4-11: Mittelwerte der Kennzahlen des Vergleichs zwischen Referenzsystem und Beschreibungsmethode für alle Prozessschritte*

Die Interpretation der Mittelwerte liefert schon frühzeitig in der Entwicklungsphase der Methode einen ersten Anhaltspunkt über die Qualität der Methode. So ergibt sich für die mittlere Übereinstimmung der berechneten Verknüpfungen (Präzision) eine Quote von 84,9 %. Das bedeutet, dass 15,1 % der durch die Methode bereitgestellten Dokumente nicht relevant sind. Dieser Anteil wird durch die Kennzahlen für positive und negative Verknüpfungen genauer analysiert. Es wird ersichtlich, dass die 15,1 % der nicht mit dem Referenzsystem übereinstimmenden Verknüpfungen zu 78,5 % aus für Prozessschritte dennoch positiven Verknüpfungen bestehen. Die übrigen 21,5 % dieser Verknüpfungen haben dabei keinen positiven Einfluss, haben jedoch in Bezug auf die gesamten Verknüpfungen nur einen Anteil von 3,2 % (21,5 % von 14,9 %). Dieser Anteil wird im Rahmen dieser Arbeit als gering bewertet.

Durch die Interpretation der Präzision wird klar, dass die Methode kaum Informationsüberfluss generiert. Jedoch zeigt die Kennzahl Vollständigkeit, dass sie nur 53,1 % der relevanten Dokumente überhaupt bereitstellen kann. Viele Verknüpfungen, die im Referenzsystem vorhanden sind, werden von der Methode nicht ermittelt. Als Ursache für diese große Zahl an fehlenden Verknüpfungen wird zunächst die anfangs als relativ klein abgeschätzte Grenze des Relevanzabstandes von 2,5 Skalenteilen vermutet. Um die Zahl der fehlenden Verknüpfungen (46,9 %) zu reduzieren, wird im nachfolgenden Kapitel die Relevanzgrenze variiert. Dieser erste Optimierungsschritt ermöglicht es, bereits während der Entwicklung die Methode effektiver zu gestalten.

#### 4.8.4 Definition der Relevanzgrenzen

Ein wichtiger Bestandteil der zu entwickelnden Methode ist die Definition der Relevanzgrenze. Diese gibt einen maximalen Grenzwert des Relevanzabstandes  $d$  an, innerhalb dessen die Verknüpfungen zwischen Dokumenten und Prozessschritten hergestellt werden. Diese Grenze ermöglicht die Entscheidung zwischen relevant und irrelevant und sorgt dafür, dass dem Nutzer möglichst nur relevante Dokumente bereitgestellt werden können. Wie zuvor festgestellt führt die initiale Relevanzgrenze von  $d = 2,5$  Skalenteile zu einer geringen Vollständigkeit („Recall“) der bereitgestellten Dokumente. Da die Präzision jedoch sehr hoch liegt, wird im Folgenden die Relevanzgrenze auf  $d = 3$  Skalenteile erhöht (siehe Bild 4-12). Eine Erweiterung der Relevanzgrenze bewirkt die Berücksichtigung von zusätzlichen relevanten Dokumenten und erhöht damit die Vollständigkeit und verringert gleichzeitig die Präzision. Die einzelnen Kennzahlen sind in Anhang A (S. 213 ff.) zu finden.

| <b>Mittelwerte</b>          | <b><math>d = 2,5</math> Skalenteile</b> | <b><math>d = 3</math> Skalenteile</b> |
|-----------------------------|---|---------------------------------------|
| Präzision                   | 84,9 %                                  | 76,9 %                                |
| Vollständigkeit             | 53,1 %                                  | 69,3 %                                |
| Fehlende Verknüpfungen      | 46,9 %                                  | 30,7 %                                |
| Positive neue Verknüpfungen | 78,5 %                                  | 55,6 %                                |
| Negative neue Verknüpfungen | 21,5 %                                  | 44,4 %                                |

Bild 4-12: Veränderung der Kennzahlen bei Erhöhung der Relevanzgrenze auf 3 Skalenteile

Im Vergleich zu den vorherigen Werten für  $d = 2,5$  Skalenteile ist zu erkennen, dass der zuvor niedrige Wert für die Vollständigkeit („Recall“) deutlich von 53,1 % auf 69,3 % ansteigt. Die Anzahl der nicht erkannten Relevanzen sinkt demnach, was zu einer besseren Informationsversorgung beiträgt. Gleichzeitig sinkt aber auch die Präzision um 8,0 %. Zwar liegt diese immer noch in einem akzeptablen Rahmen, aber es ist zu vermuten, dass mit einer weiteren Steigerung der Relevanzgrenze über  $d = 3$  Skalenteile hinaus die Präzision weiter absinkt. Zu diesem Zeitpunkt der Entwicklung wird daher eine weitere Erhöhung des Grenzwertes als nicht zielführend betrachtet. Zwar wird das verwendete Referenzsystem als ausreichende Grundlage für einen ersten Optimierungsschritt während der Entwicklung betrachtet, aber es spiegelt nicht die vollständigen Anwendungsbedingungen der Methode während einer realen Aufgabenstellung wider. Um also die in Bild 4-12 angegebenen Werte und damit die Effektivität der Methode bei der gewählten Relevanzgrenze von  $d = 3$  Skalenteile einschätzen zu können, ist eine Praxisevaluation erforderlich. Diese wird in Kapitel 6 anhand eines Anwendungsszenarios durchgeführt.

Durch den Abgleich der Methode mit dem Referenzsystem und die Anpassung der Relevanzgrenze kann zwar die Qualität der Methode verbessert werden. Aber neben der Variation der Relevanzgrenze können die beiden Kennzahlen Vollständigkeit und Präzision auch durch die Anzahl der Parameter beeinflusst werden, da je nach Anzahl der Parameter unterschiedliche Relevanzabstände berechnet werden. Im folgenden Kapitel wird daher die Anzahl der eingesetzten Parameter im Hinblick auf die Effektivität der Methode überprüft.

#### 4.8.5 Überprüfung der Parameteranzahl

Die Anzahl der Parameter beeinflusst nicht nur die Ergonomie bei der Anwendung der Methode, sondern vor allen Dingen auch die Effektivität der Informationsbereitstellung. Um die optimale Parameteranzahl zu identifizieren bzw. zu definieren, werden die Kennzahlen Präzision und Vollständigkeit zunächst für verschiedene Anzahlen  $n = 1,2,3,4,5$  ermittelt. Die Variation der Anzahl bis 5 wird zunächst als ausreichend bewertet, da anhand der entstehenden Daten die Tendenz der beiden Kennzahlen identifiziert werden kann (siehe Bild 4-14). Dieses Vorgehen zur Definition der Parameteranzahl wird typischerweise in der Statistik eingesetzt (BORG & GROENEN 2005, S. 37), (SCHIFFMAN et al. 1981, S. 10). Da die Beschreibungsparameter nicht unabhängig voneinander sind, müssen grundsätzlich alle möglichen Kombinationen der Parameter berechnet werden. Beispielsweise spielt es bei voneinander abhängigen Parametern eine Rolle, welcher der fünf Parameter für  $n = 1$  ausgewählt wird. Allerdings können zur Vereinfachung anhand der Korrelationsanalyse aus Kapitel 4.8.2 viele Kombinationen vernachlässigt werden, da sich aus der Korrelationsanalyse eine Rangfolge der einzelnen Parameter ergibt, welche eng miteinander korrelierende Parameter nahe und weniger eng korrelierende weit auseinander anordnet. Zusätzlich ist bereits bei der Definition der Parameter in Kapitel 4.7 erkennbar, dass die Bedeutung der Parameter für eine Einordnung unterschiedlich groß ist. So wird z. B. der Parameter **Inhalt** als wichtigster Parameter angesehen, da er aus Sicht des Nutzers (Ersteller) immer intuitiv angegeben werden kann. Daraus lässt sich schließen, dass bei einer Reduktion der Parameter zunächst weniger stark beeinflussende Parameter gewählt werden müssen, um die Methode für die gewählte Parameteranzahl möglichst effektiv gestalten zu können. Daher wird ausgehend vom Parameter **Inhalt** über die

jeweiligen Korrelationskoeffizienten die Rangfolge zur Reduktion der Parameter erstellt (siehe Tabelle 4-14). Korreliert ein Parameter stärker mit dem wichtigsten Parameter **Inhalt**, verstärkt er dessen Effekt und bietet damit die bestmögliche Kombination.

|                      | Inhalt | Verwendungs-<br>zweck | Konkretisie-<br>rungsgrad | Entwicklungs-<br>aufwand | Vernetz-<br>ungsgrad |
|----------------------|--------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| Inhalt               | x      | <b>0,54</b>           | <b>0,50</b>               | <b>0,45</b>              | <b>0,43</b>          |
| Verwendungszweck     |        | x                     | <b>0,63</b>               | <b>0,63</b>              | <b>0,40</b>          |
| Konkretisierungsgrad |        |                       | x                         | <b>0,94</b>              | <b>0,61</b>          |
| Entwicklungsaufwand  |        |                       |                           | x                        | <b>0,60</b>          |
| Vernetzungsgrad      |        |                       |                           |                          | x                    |

Tabelle 4-14: Ausschnitt der in Kapitel 4.8.2 errechneten Korrelationskoeffizienten

In Zeile 1 ist die absteigende Rangfolge der Parameter bezüglich des Korrelationskoeffizienten ersichtlich. Aus der Bedeutung der Parameter und ihren Korrelationen lässt sich also folgende Rangfolge erstellen:

1. Inhalt
2. Verwendungszweck
3. Konkretisierungsgrad
4. Entwicklungsaufwand
5. Vernetzungsgrad

Zur Ermittlung der Kennzahlen für die verschiedenen Parameteranzahlen wird die Anzahl  $n$  zunächst um den Vernetzungsgrad auf 4, dann um den Entwicklungsaufwand auf 3 reduziert. Anschließend wird die Anzahl um den Konkretisierungsgrad und den Verwendungszweck auf 2 bzw. 1 verringert. Wie bei der Berechnung der Kennzahlen in den vorherigen beiden Kapiteln werden alle Relevanzabstände für die jeweiligen Parameteranzahlen berechnet. Dazu werden für jeden Prozessschritt die unterschiedlichen Relevanzabstände aufgetragen (siehe Bild 4-13) und mit den Verknüpfungen des Referenzsystems verglichen. Die Erfassung der einzelnen Kennzahlen wird für das gesamte Referenzsystem mit 15 Prozessschritten und 57 Dokumenten für  $n = 1, 2, 3, 4, 5$  Parameter durchgeführt (4275 Einzelvergleiche). Ein Überblick der ermittelten Kennzahlen befindet sich im Anhang A (S. 213 ff.). Eine detaillierte Darstellung der einzelnen Prozessschritte und Kennzahlen kann unter <http://www.pe.mw.tum.de/forschung/publikationen/dissertationen/lauer> abgerufen werden.



| Dokumente                   | Prozessschritte          |       |                 |       |                 |       |                 |       |                 |       |
|-----------------------------|--------------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|                             | Klären der Anforderungen |       |                 |       |                 |       |                 |       |                 |       |
|                             | Referenzprozess          | n = 5 | Referenzprozess | n = 4 | Referenzprozess | n = 3 | Referenzprozess | n = 2 | Referenzprozess | n = 1 |
| Änderungsdokument           |                          | 6,08  |                 | 4,58  |                 | 4,12  |                 | 3,61  |                 | 2,00  |
| Anforderungsliste           | X                        | 2,00  | X               | 0,00  | X               | 0,00  | X               | 0,00  | X               | 0,00  |
| Baugruppenbeschreibung      |                          | 4,58  |                 | 3,46  |                 | 2,83  |                 | 2,00  |                 | 2,00  |
| Bedienungsanleitung         |                          | 7,81  |                 | 6,71  |                 | 5,39  |                 | 3,61  |                 | 2,00  |
| Berechnungsergebnisse       |                          | 4,80  |                 | 4,36  |                 | 4,24  |                 | 4,12  |                 | 4,00  |
| Betriebsdaten               | X                        | 6,00  | X               | 5,66  | X               | 4,00  | X               | 0,00  | X               | 0,00  |
| Bewertungsergebnisse        | X                        | 6,48  | X               | 5,74  | X               | 5,39  | X               | 5,00  | X               | 4,00  |
| CAD-Modell (v.a. 3D)        |                          | 6,32  |                 | 5,57  |                 | 4,69  |                 | 3,61  |                 | 3,00  |
| Design/Layout               |                          | 5,39  |                 | 5,29  |                 | 4,36  |                 | 3,16  |                 | 3,00  |
| Einflussmatrix              |                          | 2,45  |                 | 2,24  |                 | 2,24  |                 | 2,24  |                 | 2,00  |
| Fertigungsprozessplan       |                          | 8,25  |                 | 7,21  |                 | 6,00  |                 | 4,47  |                 | 2,00  |
| Fertigungszeichnung         |                          | 8,54  |                 | 7,55  |                 | 6,40  |                 | 5,00  |                 | 3,00  |
| FMEA-Dokument               |                          | 6,78  |                 | 5,48  |                 | 3,74  |                 | 2,24  |                 | 2,00  |
| Funktionsmodell / -struktur |                          | 3,00  |                 | 2,24  |                 | 2,24  |                 | 2,24  |                 | 2,00  |

Bild 4-13: Ausschnitt der Relevanzabstände für die verschiedenen Parameteranzahlen

Da Präzision und Vollständigkeit vom Relevanzabstand beeinflusst werden, wird das Vorgehen nicht nur für den Relevanzabstand  $d = 2,5$  Skalenteile durchgeführt, sondern zusätzlich für  $d = 3$  Skalenteile wiederholt. Zum Vergleich der Kennzahlen werden wieder die Mittelwerte der Kennzahlen aller Prozessschritte ermittelt und in einem Scree-Diagramm dargestellt (BORG & GROENEN 2005, S. 39). Bild 4-14 zeigt die beiden Scree-Diagramme für  $d = 2,5$  und  $d = 3$  Skalenteile. Im Diagramm werden die Kennzahlen über den verschiedenen Anzahlen der Parameter aufgetragen (Ordinate). Das aus der Statistik bekannte Diagramm wird normalerweise für die Darstellung des „Stress“ über der Anzahl der Dimensionen eingesetzt (BORG & GROENEN 2005, S. 39), (SCHIFFMAN et al. 1981, S. 10). Die Kennzahl „Stress“ gibt die mittlere Abweichung der Daten des mathematischen Modells von den realen Daten an. Da Präzision und Vollständigkeit ebenfalls Aufschluss über die mittleren Abweichungen des Modells geben, kann das Scree-Diagramm auf die beiden Kennzahlen der hier zu entwickelnden Methode übertragen werden.

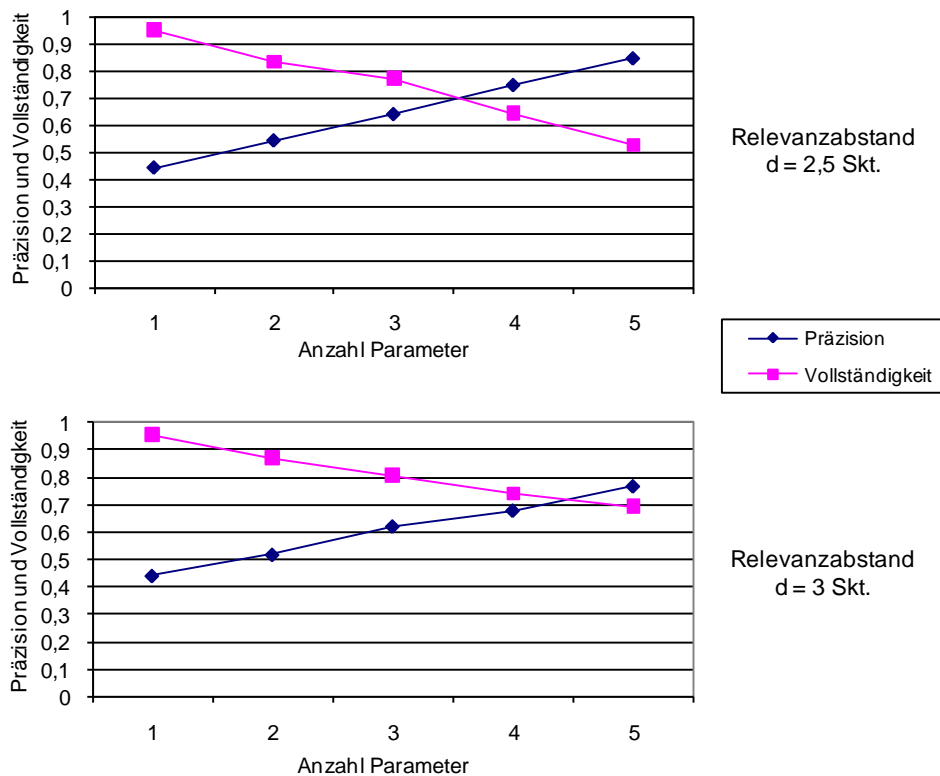


Bild 4-14: Scree-Diagramme zur Bestimmung der optimalen Parameteranzahl

In beiden Diagrammen ist zu erkennen, dass mit zunehmender Parameteranzahl der Wert für die Präzision steigt, für die Vollständigkeit jedoch sinkt. Dies bedeutet, mit steigender Parameteranzahl werden die überflüssigen Dokumente reduziert (Präzision steigt), allerdings gleichzeitig auch einige Dokumente gar nicht erkannt (Vollständigkeit sinkt). Das Abfallen der Vollständigkeit lässt sich dadurch erklären, dass der als zuvor besonders wichtig eingeschätzte Parameter *Inhalt* einen großen Beitrag zur Verknüpfung liefert. Es ist jedoch nicht möglich, aus diesem Parameter alleine auf die Relevanz zu schließen, da der hohe Vollständigkeits-Wert dadurch zustande kommt, dass bei  $n = 1$  nahezu alle Dokumente des Referenzsystems angezeigt werden können. Von einer Berücksichtigung der Relevanz kann also nicht gesprochen werden, was sich im gleichzeitig niedrigen Wert für die Präzision ausdrückt.

Der erwähnte gegensätzliche Verlauf der Präzision und der Vollständigkeit führt zu einem Schnittpunkt beider Graphen der Kennzahlen. Bei fast gleichen Anfangswerten für  $n = 1$  liegt der Schnittpunkt für  $d = 3$  Skalenteile jedoch bei einer höheren Parameteranzahl. An der Spreizung der Kennzahlen und an den dargestellten Schnittpunkten ist klar zu erkennen, dass sich bei Überschreitung der Schnittpunkte (aufsteigende Parameteranzahl) der Abstand zwi-

schen Vollständigkeit und Präzision wieder vergrößert. Um sowohl eine akzeptable Präzision und Vollständigkeit zu erhalten, sollen beide Werte möglichst eng beieinander liegen. Die beste Parameteranzahl, um das zu erreichen, liegt daher im Bereich des Schnittpunktes, der demzufolge das Optimum darstellt. Eine weitere Erhöhung der Parameteranzahl über 5 hinaus wird als nicht zielführend erachtet, da sich die Abstände der Kennzahlen bei zusätzlichen Parametern weiter vergrößern werden.

Für den Relevanzabstand  $d = 2,5$  Skalenteile befindet sich der Schnittpunkt zwischen  $n = 3$  und  $n = 4$ , bei  $d = 3$  Skalenteile zwischen  $n = 4$  und  $n = 5$ . Im Bereich der Schnittpunkte liegen die Kennzahlen für  $d = 3$  Skalenteile allerdings höher als für  $d = 2,5$  Skalenteile, weshalb die Relevanzgrenze  $d = 3$  Skalenteile favorisiert wird. Bei der Auswahl der Parameteranzahl ist festzustellen, dass beim Übergang von 4 auf 5 Parameter die Präzision stärker ansteigt als der Vollständigkeitsgrad sinkt. Es kann also bei der Wahl von 5 Parametern mehr Präzision gewonnen werden, als bei der Vollständigkeit verloren geht. Aus diesem Grund wird die Parameteranzahl auf 5 festgelegt.

## 4.9 Zusammenfassung der entwickelten Beschreibungsmethode

Die Entwicklung der Beschreibungsmethode wurde in den vorherigen Kapiteln ausführlich dargestellt. Um einen aussagekräftigen Überblick der entwickelten Methode zu geben, werden die Ergebnisse der einzelnen Entwicklungsschritte im Folgenden zusammengefasst. Abschließend wird die vollständig entwickelte Methode mit ihren definierten Parametern und Parameterwerten beschrieben.

Das Vorgehen zur Entwicklung der Methode ist in Bild 4-1, S. 69 gezeigt. Zunächst werden in Kapitel 4.2 die Anforderungen abgeleitet. Beispielsweise soll die Methode eine prozessorientierte Bereitstellung von Dokumenten ermöglichen und gleichzeitig einfach bzw. ergonomisch anwendbar sein. Eine vollständige Liste der definierten Anforderungen ist in Tabelle 4-1, S. 71 abgebildet.

Der zweite Schritt beschäftigt sich mit der Erfassung der Dokumentenlandschaft. Dazu wird Literatur recherchiert, ein PDM-System eines OEM untersucht und typische Dokumente eines studentischen Entwicklungsprojekts als Datengrundlage eingesetzt. Die daraus resultierende Dokumentenlandschaft besteht aus 57 Dokumenten (Dokumententypen) wie z. B. CAD-Modellen, Kostenabschätzungen, Ideenformularen oder Simulationsergebnissen (siehe Tabelle 4-2, S. 77).

Um charakterisierende Parameter für die Dokumente definieren zu können, werden ihre Eigenschaften beschrieben und die Beschreibungstexte analysiert. Eine detaillierte Analyse wird jedoch nur für 10 exemplarische Dokumente vorgenommen (z. B. Modulare Struktur, CAD-Modell, usw.), deren textuelle Beschreibung im Vergleich zu den übrigen Dokumenten weiter detailliert und ergänzt wird. Sie dienen als Grundlage für die Definition der Beschreibungsparameter (siehe Kapitel 4.4). Anhand der Textanalyse werden die Eigenschaften dieser 10 Dokumente in Merkmale und deren jeweilige Ausprägungen bzw. Werte unterteilt. Dadurch können insgesamt 16 Strukturmerkmale, wie z. B. Phasenzugehörigkeit, Inhalt oder Zweck/Ziel, identifiziert werden (siehe Tabelle 4-5, S. 83), welche die für die Beschrei-

bungsmethode vorausgesetzte Differenzierung durch die Parameter ermöglichen können. Für eine Verknüpfung der Dokumente mit den Prozessschritten werden außerdem 14 Charakterisierungsmöglichkeiten von Prozessschritten recherchiert (siehe Tabelle 4-7, S. 87). Beispiele sind der Komplexitätsgrad, die Arbeitsinhalte oder Analyse. Für eine prozessorientierte Integration der Dokumente werden in Kapitel 4.7 prozessorientierte Strukturmerkmale bzw. Charakterisierungsmöglichkeiten ausgewählt sowie deren Parameterwerte definiert. Letztere werden für die spätere Implementierung eines Algorithmus zur automatischen Berechnung der Relevanzen mit einer äquidistanten Codierung von 1-5 versehen.

Nach der Definition der Parameter wird im Zuge der Kalibrierung (siehe Kapitel 4.8) die Anordnung der Parameterwerte überarbeitet. Dazu wird von Studenten eines Formula Student Teams ihr intuitives Verständnis der Parameterwerte abgefragt und diese in eine Reihenfolge gebracht. Nach der Konsolidierung dieser Reihenfolge wird die neu definierte Anordnung der Parameterwerte auf die Methode übertragen. Die der Methode zugrunde gelegten Parameter, deren Werte und Codierung sind in Tabelle 4-15 zusammenfassend dargestellt.

| Beschreibungsparameter         | Parameterwerte  |
|--------------------------------|---|
| Inhalt                         | Anforderungen (1), Lösungsideen (2), Eigenschaftsbeschreibung (3), Geometrische Darstellung (4), Bewertung/Berechnung (5) |
| Verwendungszweck               | Frontloading (1), Eigenschaftsermittlung (2), Lösungssuche (3), Absicherung (4), Fertigung (5)                            |
| Konkretisierungsgrad           | Aufgabenklärung (1), Konzept (2), Entwurf (3), Detail (4), Freigabe (5)   |
| Restlicher Entwicklungsaufwand | 100% -81% (Start der Entwicklung:1), 80%-61% (2),..., 20%-0% (Produkt vollständig entwickelt, SOP möglich:5)              |
| Vernetzungsgrad                | 1 (keine Vernetzung), 2, ..., 5 (Sehr hoher Vernetzungsgrad)  |

Tabelle 4-15: Parameter und Parameterwerte der Beschreibungsmethode

Anschließend wird die Korrelation der Parameter analysiert. Dazu werden zunächst alle Dokumente der Dokumentenlandschaft durch die zuvor definierten Parameter beschrieben (siehe Tabelle 4-11, S. 102) und alle Korrelationskoeffizienten berechnet. Durch die Korrelationsanalyse können unterschiedliche Gewichtungen erkannt werden, die eine bessere Befähigung der Methode ermöglichen. So korrelieren **Konkretisierungsgrad** und **restlicher Entwicklungsaufwand**, was in einer stärkeren Gewichtung der einzelnen Parameter resultiert (siehe Tabelle 4-12, S. 103).

Um die Effektivität der Methode bewerten zu können, wird ein Referenzsystem erzeugt (Kapitel 4.8.3). Es enthält für den Nutzer relevante Verknüpfungen von Dokumenten und Prozessschritten und wird daher als Maßstab für die Dokumentenbereitstellung herangezogen (siehe Bild 4-8, Anhang A). Der dem Referenzsystem hinterlegte Prozess orientiert sich an den Schritten der VDI-RICHTLINIE 2221 und verwendet das Entwicklungsprozessmodell nach KREHMER et al. (2009, S. 242). Die Prozessschritte des Referenzsystems werden dann mittels der Methode beschrieben. Auf Basis der Beschreibungen von Dokumenten und Prozessschritt-

ten können die Kennzahlen Präzision und Vollständigkeit ermittelt und die Effektivität der Methode eingeschätzt werden. Da die Methode zur Bestimmung von Relevanzen bzw. Verknüpfungen eine Grenze für den Relevanzabstand benötigt, wird zunächst ein initialer Wert von  $d = 2,5$  Skalenteile definiert. Um den Einfluss dieser Grenze auf die beiden Kennzahlen einschätzen und die optimale Relevanzgrenze bestimmen zu können, wird in Kapitel 4.8.4 die Relevanzgrenze auf  $d = 3$  Skalenteile erhöht. Dabei ergibt sich eine signifikante Verbesserung der Vollständigkeit von 53,1 % auf 69,3 % gegenüber einer moderaten Verringerung der Präzision von 84,9 % auf 76,9 %, weshalb für die weitere Kalibrierung die Relevanzgrenze auf  $d = 3$  Skalenteile festgelegt wird (siehe Bild 4-12, S. 110).

Für die abschließende Definition der Methode wird in Kapitel 4.8.5 die Anzahl der Parameter überprüft. Dazu werden die Parameteranzahl variiert (Anzahl  $n = 1, 2, 3, 4, 5$ ) und die Mittelwerte für Präzision und Vollständigkeit berechnet. Um auch den Einfluss dieser Variation bei einer Relevanzgrenze von  $d = 2,5$  Skalenteile untersuchen zu können, werden die Mittelwerte für beide Relevanzgrenzen gebildet. Die in Bild 4-14, S. 114 dargestellten Verläufe der Kennzahlen über der Parameteranzahl zeigen, dass nur bei 5 Parametern die Präzision höher als die Vollständigkeit ist und gleichzeitig beide Kennzahlen nahe beieinander liegen.

Zur Interpretation der Kennzahlen ist anzumerken, dass es auch theoretisch und mathematisch nicht möglich ist, die Ähnlichkeiten von Dokumenten zu Prozessschritten 100 %ig genau abzubilden. Der Verlauf der Kennzahlen verdeutlicht, dass es nicht möglich ist, die Präzision und die Vollständigkeit gleichermaßen auf 100 % zu steigern. Die tatsächlichen Ähnlichkeiten zwischen Dokumenten und Prozessschritten können also nur zum Teil in entsprechende Distanzen abgebildet werden (BORG & GROENEN 2005, S. 33). Für die Akzeptanz der Methode in der Praxis ist entscheidend, wie viele Dokumente falsch (Rauschen) und wie viele gar nicht angezeigt werden. Um also die hier entwickelte Methode im Praxiseinsatz zu testen, wird im folgenden Kapitel 5 ein Rechnerwerkzeug entwickelt, welches den Anwendungsaufwand der Methode weitestgehend reduziert. Anschließend wird in Kapitel 6 das Werkzeug zur Evaluation der Methode im praktischen Einsatz verwendet.



## 5 Entwicklung eines Rechnerwerkzeugs zur Methodenunterstützung

*Die Methode zur integrativen Beschreibung von Dokumenten und Entwicklungsprozessschritten zielt darauf ab, die Informationsbereitstellung in der Produktentwicklung zu verbessern. Dazu spannt die entwickelte Methode den sogenannten Entwicklungsraum auf, durch den Relevanzen zwischen Dokumenten und Prozessschritten berechnet werden können. Da Ingenieure heutzutage einen Großteil ihrer Arbeitszeit am Rechner verbringen und viele Informationen digital – sei es beispielsweise durch Email oder Dateien - austauschen, sorgt die Bereitstellung einer durch den Rechner unterstützten Methode für mehr Akzeptanz. Damit die Anwendung der Methode bestmöglich unterstützt werden kann, wird ein Rechnerwerkzeug entwickelt. Dieses unterstützt einerseits bei der Erfassung der Parameterwerte, andererseits übernimmt es die vollständige Berechnung der Relevanzen. Um alle benötigten Funktionalitäten des Rechnerwerkzeugs zu berücksichtigen, werden zunächst Anforderungen definiert und ein Konzept für das Rechnerwerkzeug entwickelt. Anschließend wird das umgesetzte Werkzeug beschrieben und die Unterstützung der Methodenanwendung erläutert. Es sei darauf hingewiesen, dass im Rahmen dieser Arbeit eine Unterstützung der Methode entwickelt werden soll, welche die Anwendung der entwickelten Methode zu Evaluationszwecken ermöglicht. Es ist also keine Softwareentwicklung für ein marktreifes Softwareprodukt angestrebt. An dieser Stelle wird deshalb auf weiterführende Fachliteratur, wie z. B. zu Softwareentwicklung für Datenbankmanagementsysteme und deren webbasierten Anwendungen, verwiesen (KLEIN-SCHMIDT & RANK 2005), (KEMPER & EICKLER 2006), (SAAKE et al. 2008).*

### 5.1 Anforderungen

Das Rechnerwerkzeug soll vor allen Dingen die Anwendung der Methode vereinfachen bzw. im alltäglichen Umfeld von Entwicklern unterstützen. Aus dieser Zielsetzung heraus lassen sich Anforderungen aus Sicht des Nutzers in Form von Anwendungsfällen („Use Cases“) und Funktionen ableiten. Außerdem werden allgemeine Anforderungen erfasst, welche beispielsweise für eine ergonomische Anwendung des Rechnerwerkzeugs notwendig sind.

#### Funktionale Anforderungen

Bei der Softwareentwicklung wird die Definition von Anwendungsfällen zur Anforderungsklä rung eingesetzt, um ein „Overengineering“ (Funktionsübererfüllung) zu vermeiden (SEEMANN & WOLFF VON GUDENBERG 2000, S. 17). Zur Modellierung der Anwendungsfälle wird die Unified Modelling Language (UML) eingesetzt (HITZ et al. 2005, S. 174). Die modellierten Anwendungsfälle sind in Bild 5-1 dargestellt. Diese werden unter dem sogenannten Classifier „Beschreibungsmethode anwenden“ zusammengefasst (HITZ et al. 2005, S. 175). Dieser ergibt sich direkt aus der Zielsetzung des Rechnerwerkzeugs und unterstützt die Anwendung der zuvor entwickelten Methode.

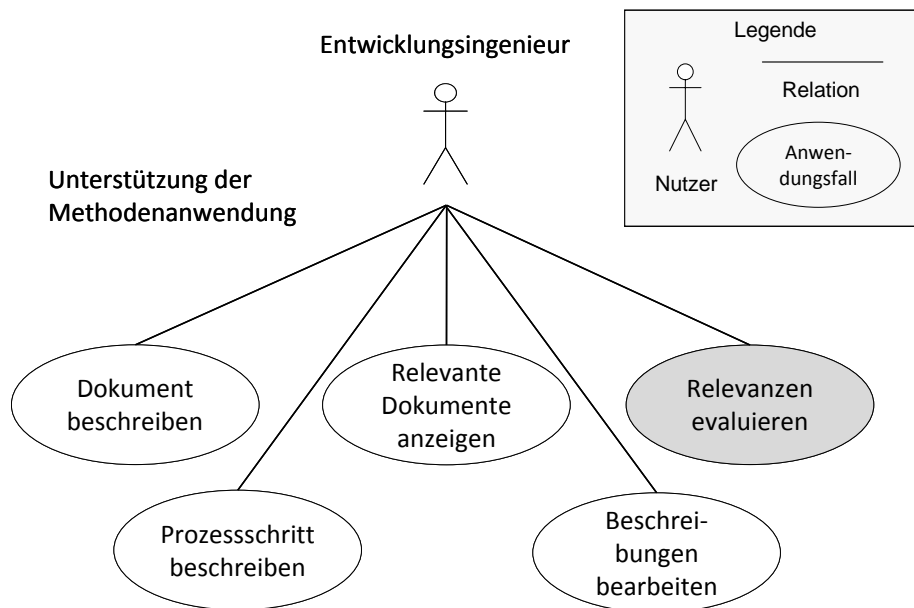


Bild 5-1: Anwendungsfälle für das Rechnerwerkzeug der Beschreibungsmethode

Zielgruppe für die Anwendung des Rechnerwerkzeugs sind Entwicklungsingenieure, welche Informationen zu ihrer aktuellen Aufgabe bzw. ihrem Prozessschritt benötigen. Für die Anwendung der Methode ergeben sich die in Bild 5-1 dargestellten Anwendungsfälle. Der Entwicklungsingenieur muss zum einen **Dokumente und Prozessschritte beschreiben**. Dies beinhaltet nicht nur die Beschreibung von bestehenden, sondern auch die Erfassung von neuen Dokumenten und Prozessschritten (siehe auch Bild 5-2). Zum anderen muss er diese **Beschreibungen** auch zu späteren Zeitpunkten wieder **bearbeiten** können, um Falscheingaben rückgängig zu machen. Außerdem muss das Rechnerwerkzeug eine Anzeigefunktion beinhalten. Erst die **Anzeige von relevanten Dokumenten** ermöglicht, dass der Entwicklungsingenieur von der vorherigen Anwendung der Methode profitiert. Als zusätzlicher Anwendungsfall – in Bild 5-1 grau hinterlegt – wird „**Relevanzen evaluieren**“ ergänzt. Dieser Anwendungsfall wird für den normalen Einsatz nicht benötigt, allerdings ist er für die spätere Evaluation der Methode in Kapitel 6 notwendig, um die Relevanzbewertungen der angezeigten Dokumente erfassen zu können.

### Dokumente und Prozesse beschreiben

Für die Werkzeugentwicklung spielen vor allen Dingen die beiden Anwendungsfälle „Dokument beschreiben“ und „Prozessschritt beschreiben“ eine maßgebliche Rolle. Um diese durch das Rechnerwerkzeug effektiv unterstützen zu können, werden diese detaillierter in einem UML-Diagramm abgebildet. Da die Anwendungsfälle für die Beschreibung von Dokumenten und Prozessen identisch sind, wird stellvertretend nur der Anwendungsfall „Dokumente beschreiben“ in Bild 5-2 dargestellt.



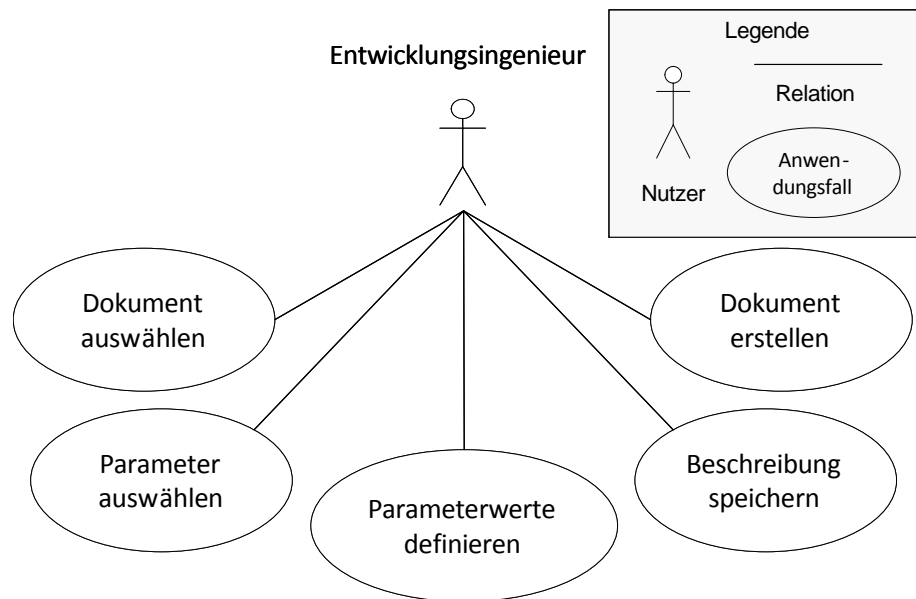


Bild 5-2: Verfeinertes „Use Case Diagramm“ für „Dokumente/Prozessschritte beschreiben“

Nutzt der Entwicklungsingenieur das Rechnerwerkzeug zur Beschreibung eines **Dokuments**, kann er entweder ein bestehendes **auswählen** oder ein neues **erstellen**. Außerdem **definiert** er anschließend die **Parameterwerte** und **speichert** die daraus resultierende **Beschreibung**. Dies spiegelt direkt die Anwendung der Beschreibungsmethode wider und kann bei der späteren Umsetzung auf Prozessschritte übertragen werden.

Durch die Erfassung dieser Anwendungsfälle wird sichergestellt, dass das Rechnerwerkzeug alle Funktionen bereitstellt, die für die Erfassung der Beschreibungen notwendig sind. Die aus den Anwendungsfällen abgeleiteten Funktionen des Rechnerwerkzeugs sind in Tabelle 5-1 (funktionale Anforderungen) dargestellt.

### Allgemeine Anforderungen

Neben den funktionalen Anforderungen, die zur Unterstützung der Methodenanwendung notwendig sind, soll das Rechnerwerkzeug auch typische Anforderungen der Softwareergonomie erfüllen (DIN EN ISO 9241-110 2008). Diese beinhalten die Forderung nach einer einfachen Bedienung der Software und damit der **einfachen Anwendung der Methode**. Die Parameter und deren Parameterwerte sollen also mit geringstem Aufwand eingegeben werden können.

Aus Sicht der Datenverwaltung müssen alle beschriebenen Elemente eindeutig identifiziert und Änderungen später nachvollzogen werden können. Daher sind eine **Versionierung** der Beschreibungen und die Möglichkeit für die Erstellung von Sicherungskopien zu integrieren. Aufgrund der subjektiven Prägung der Beschreibungen der Elemente soll eine **benutzerspezifische Erfassung** aller Beschreibungen ermöglicht werden. Diese ist für die späteren Analy-

sen und Verbesserungen der Methode mit z. B. statistischen Methoden Voraussetzung. Damit der Einführungsaufwand des Rechnerwerkzeugs gering gehalten wird, soll es **einfach** und **aufwandsarm** in bestehende Betriebssysteme **integriert werden können**. Außerdem soll es **robust** realisiert werden, um die Akzeptanz des Rechnerwerkzeugs nicht durch zeitraubende Ausfälle negativ zu beeinflussen. In Verbindung mit der typischerweise großen Datenbasis von mehreren Tausend Dokumenten ist auch eine **kurze Antwortzeit** des Rechnerwerkzeugs zu gewährleisten. Es sind also Lösungen zu wählen, welche die relevanten Dokumente aus der Vielzahl an Dokumenten in kurzer Zeit (< 2-4 Sekunden) bereitstellen können (HERZEG 2005, S. 111). Auch Informationsüberfrachtung am Bildschirm ist zu vermeiden. In Bezug auf die in Kapitel 6 durchzuführende Evaluation soll zusätzlich die Möglichkeit geschaffen werden, ein Evaluationskonzept aufwandsarm integrieren zu können. Die beschriebenen allgemeinen Anforderungen sind ebenfalls in Tabelle 5-1 aufgelistet.

| Nr.      | Anforderungen   | Erläuterung   |
|----------|---|---|
| <b>1</b> | <b>Funktionale Anforderungen</b>  |   |
| 1.1      | Dokumente und Prozessschritte erfassen                                  | Datengrundlage schaffen   |
| 1.2      | Parameter und Parameterwerte für Dokumente und Prozessschritte erfassen | Realisierung der Beschreibungsmethode in der Software                       |
| 1.3      | Beschreibungen bearbeiten   | Anwendungsflexibilität  |
| 1.4      | Evaluation der Relevanzen ermöglichen (Erweiterung)                     | Einsatz für die Evaluation in der praktischen Anwendung                     |
| 1.5      | Relevante Dokumente anzeigen  | Darstellung der durch den Algorithmus berechneten relevanten Dokumente      |
| <b>2</b> | <b>Allgemeine Anforderungen</b>   |   |
| 2.1      | Intuitive Bedienung gewährleisten                                       | Softwareergonomie   |
| 2.2      | Informationsüberfrachtung vermeiden                                     | Softwareergonomie   |
| 2.3      | Versionierung und Backup ermöglichen                                    | Datenmanagement   |
| 2.4      | Benutzerspezifische Datenerfassung ermöglichen                          | Grundlage für statistische Optimierung der Methode                          |
| 2.5      | Robust und ausfallfrei  | höhere Akzeptanz bei der Nutzung  |
| 2.6      | Kurze Antwortzeiten (< 2 - 4 sec)                                       | Bei großer Datenbasis soll dennoch eine schnelle Systemantwort möglich sein |
| 2.7      | Schnell implementierbar   | Einfache Einführung   |

Tabelle 5-1: Anforderungsliste für die Entwicklung des Rechnerwerkzeugs

## 5.2 Konzeptentwicklung

Für die Entwicklung des Rechnerwerkzeugs wird im Folgenden ein Überblick des Konzeptes gegeben, welches auf einer 3-Ebenen Architektur basiert (FAESKORN-WOYKE & BERTELSMEIER 2008, S. 44), (GEISLER 2009, S. 75). Außerdem wird auf die beiden

entwickelten Softwarekomponenten „Home- und Web-Modul“ eingegangen. An entsprechenden Stellen wird auf vertiefende Fachliteratur verwiesen.

### 5.2.1 3-Schichten-Architektur

Basierend auf den definierten Anforderungen wird das Konzept ausgearbeitet. Dieses sieht eine Internetdatenbankanwendung vor, da auf diese Weise keine Software auf dem Rechner installiert werden muss, sondern ein standardmäßig vorhandener „Browser“ für die Nutzung des Rechnerwerkzeugs ausreicht (GEISLER 2009, S. 79). Die Internetdatenbankanwendung sieht eine 3-Schicht-Architektur vor (siehe Bild 5-3), (FAESKORN-WOYKE & BERTELSMEIER 2008, S. 44). Jede Schicht stellt eine eigenständige Einheit dar, welche jeweils bestimmte Aufgaben bzw. Funktionen erfüllt. Die erste Schicht wird als Datenhaltungsschicht oder Datenbankschicht bezeichnet und stellt beispielsweise die konsistente Datenhaltung und den Zugriff (Abfragen, Eingaben, Aktualisieren und Löschen) sicher (GEISLER 2009, S. 76). Dort werden alle Daten, wie z. B. Dokumente und Prozessschritte, deren Beschreibungen oder später auch Evaluationsdaten, in einer „MySQL-Datenbank“ gespeichert. Das Datenmanagementsystem MySQL (DBMS) verwaltet die Daten in der Datenbank und gibt sie an die Logikschicht weiter. Diese wird durch einen „Webserver“ repräsentiert und sorgt für den Datenaustausch zwischen der Daten- und Darstellungsschicht nach dem „Server-Client-Prinzip“ (KEMPER & EICKLER 2006, S. 524). Ein „Webserver“ bietet Vorteile bei der Administration des Rechnerwerkzeugs, z. B. für die Installation von Aktualisierungen oder für die Benutzerverwaltung, da es durch das weit verbreitete Internet zugreifbar ist (KLEINSCHMIDT & RANK 2005, S. 196). Zudem bietet der „Webserver“ bzw. „Server“ im Allgemeinen Sicherheitsvorteile, da die Daten zentral an einer Stelle gesichert und dadurch leichter gegen Angriffe von außen geschützt werden können. Der Trend geht daher immer mehr zu webbasierten Lösungen.

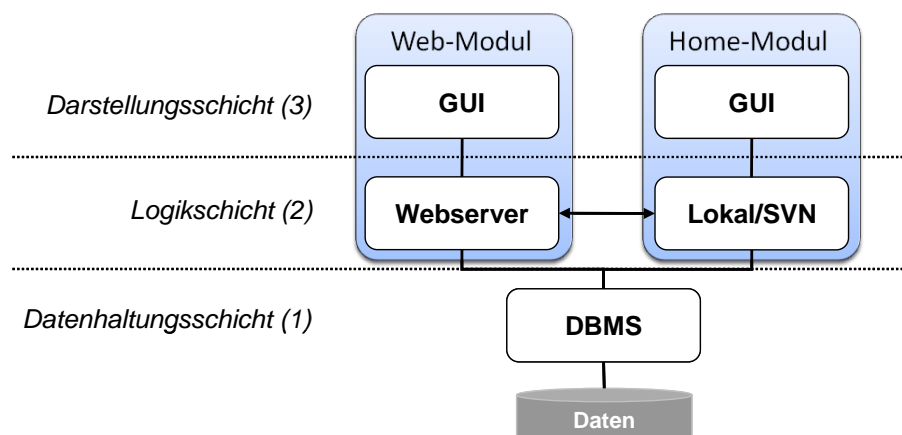


Bild 5-3: 3-Schichten-Architektur und Einordnung von Home- und Web-Modul

Im Hinblick auf die Evaluation in Kapitel 6 sieht das Konzept für die Darstellungs- und Logikschicht eine Zweiteilung vor. Zum einen soll eine lokale Anwendung zur Erfassung der Dokumentenbeschreibungen bereitgestellt werden (Home-Modul), zum anderen soll ein „Webserver“ eingesetzt werden, der eine breite Verfügbarkeit des Rechnerwerkzeugs ermöglicht (Web-Modul). Beide Komponenten stellen eine eigenständige graphische Benutzeroberfläche (GUI) bereit und ermöglichen dadurch auf die gemeinsame Datenbasis (Datenhaltungsschicht) zuzugreifen (siehe Bild 5-3).

## 5.2.2 Home-Modul

Das Home-Modul wird eingesetzt, um die Erfassung von Dokumentenbeschreibungen bestmöglich zu unterstützen. Dazu soll es neu erstellte Dokumente automatisch erkennen und dem Nutzer durch ein Pop-up-Fenster die Möglichkeit für eine Beschreibung geben. Im späteren Anwendungsfall für die Evaluation wird für die zentrale Speicherung der Daten ein SVN-Server („Subversion“) eingesetzt (COLLINS-SUSSMAN & FITZPATRICK 2008). Ein SVN-Server protokolliert alle Änderungen an Dateien, so dass simultanes und verteiltes Arbeiten an gemeinsamen Dokumenten unterstützt werden kann. Dabei werden die jeweiligen Zwischenstände (Revision) gespeichert, so dass jederzeit auf die Historie zurückgegriffen werden kann. Durch einen Abgleich der Daten des SVN-Servers mit den lokalen Daten werden beide Datenbestände miteinander synchronisiert. Zur automatischen Erkennung von neu erstellten Dokumenten wird daher die Kommunikation zwischen dem Nutzer bzw. dem lokalen Datensystem und dem SVN-Server durch das Home-Modul überwacht (siehe Bild 5-4).

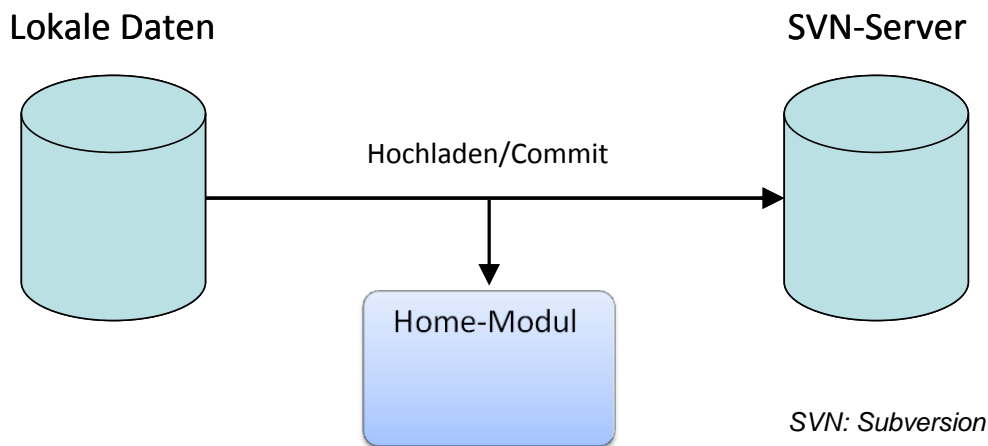


Bild 5-4: Automatische Erkennung von neu erstellten Dokumenten durch das Home-Modul

Beim Hochladen („Commit“) von Dokumenten auf den SVN-Server werden Dokumente erkannt, für die noch keine Beschreibungen existieren. Dazu werden die lokalen Daten mit denen des SVN-Servers verglichen. Falls nach diesem Abgleich nicht alle Dokumente durch den Nutzer beschrieben werden, werden diese auch bei zukünftigen Dokumentenlisten des Home-

Moduls angezeigt. Da für den Abgleich lokale Zugriffsrechte für die SVN-Ordner notwendig sind, diese aber für eine webbasierte Anwendung am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München aus Sicherheitsgründen nicht gewährt werden können, muss das Home-Modul jedoch lokal installiert werden. Dadurch wird auch eine Kommunikation auf der Logikebene notwendig, welche dem Home-Modul ermöglicht die existierenden Beschreibungen abzugleichen (siehe Bild 5-3).

### 5.2.3 Web-Modul

Als zweites Modul wird das Web-Modul bereitgestellt, welches über den Browser aufgerufen wird. Dieses hat die Aufgabe, die relevanten Dokumente für die jeweiligen Prozessschritte anzuzeigen. Außerdem besitzt es Funktionalitäten zur Erfassung der Prozessschrittbeschreibungen und zur Bearbeitung/Veränderung aller Beschreibungen (Dokumente und Prozessschritte). Für die geforderte benutzerspezifische Datenerfassung wird eine Benutzerverwaltung eingeführt, die das An- und Abmelden eines Nutzers ermöglicht. Die Benutzerverwaltung erlaubt die eindeutige Identifikation eines Nutzers und dadurch die benutzerspezifische Speicherung der Daten in der MySQL-Datenbank („Logging“). Die Speicherung bzw. die vollständige Verwaltung der Daten selbst wird durch das Datenmanagementsystem (DBMS) vorgenommen. Dieses sieht für jede Beschreibung einen eigenen Datenbankeintrag vor (Zeile) sowie die Speicherung des Erstellers, der jeweiligen Parameter mit ihren Werten und des Speicherorts (Dateipfad) des jeweiligen Dokuments. Die Dokumente selbst werden nicht von der Software verwaltet, sondern werden im vorhandenen Datensystem belassen. Das Rechnerwerkzeug ist demnach bewusst nicht darauf ausgelegt, Funktionalitäten eines Produktdatenmanagementsystems bereitzustellen, sondern die Beschreibungen der Dokumente und Prozessschritte zu verwalten und deren gegenseitige Relevanz zu ermitteln. Die Erweiterung des Rechnerwerkzeugs um einen Vault würde die Problematik der Zugriffsrechte auf die Dokumente beheben. Dadurch könnte in Zukunft auf das Home-Modul verzichtet werden und seine Funktionen im Web-Modul integriert werden. Für die Durchführung der Evaluation wäre dies aber aus sicherheitstechnischen Gründen nicht möglich, da Studenten keine Zugriffsrechte auf lehrstuhlinterne „Server“ gewährt werden darf.

## 5.3 Umsetzung

Das Konzept wird schichtenweise für die Datenhaltungs-, die Logik- und die Darstellungsschicht umgesetzt. Es wird daher zunächst die Auswahl der Datenbank, des Datenbankmanagementsystems und des „Webservers“ beschrieben. Abschließend wird die graphische Benutzerschnittstelle (GUI) dargestellt.

### 5.3.1 Datenbank und -managementsystem

Für die verschiedenen Arten an Datenbanken gibt es die jeweiligen Datenbankmanagementsysteme (DBMS). Maßgeblich für die Auswahl des DBMS ist demnach die Datenbank. Die einfachsten Datenbanken werden als flache Datenbanken bezeichnet, bei denen die einzelnen

Daten in einer Textdatei gespeichert sind und eine Tabellenstruktur mit Zeilen und Spalten zu erkennen ist (zweidimensional). Relationale Datenbanken verknüpfen mehrere solcher statischen zweidimensionalen Tabellen miteinander und erlauben dadurch die Modellierung komplexerer Zusammenhänge (SAAKE et al. 2008, S. 54). Die Statik von relationalen Datenbanken wird durch den Ansatz von objektorientierten Datenbanken aufgebrochen. Diese ermöglichen für einzelne Informationselemente ein Verhalten zu definieren, um dynamische Anwendungen, wie z. B. Multimediaanwendungen, zu ermöglichen. Allerdings ist für die Speicherung der Beschreibungsparameter kein individuelles Verhalten notwendig und würde zu unverhältnismäßigem Mehraufwand führen.

Für die Speicherung der Beschreibungsparameter und deren Werte reicht daher eine flache Datenbank aus, welche in den Zeilen jeweils ein Dokument und dessen Parameterwerte ablegt. Für die Verwaltung einer solchen flachen Datenbank wird das Datenbankmanagementsystem MySQL 5.0.77 verwendet, welches auf der Datenbanksprache SQL („Structured Query Language“) basiert (SAAKE et al. 2008, S. 209). Aufgrund seiner weiten Verbreitung, des kostenfreien Zugangs und seiner Plattformunabhängigkeit wird es anderen Lösungen, wie z. B. MS Access, MS SQL Server oder Oracle, vorgezogen. Weiterführende Informationen zu Datenbanken und entsprechenden Datenbankmanagementsystemen sind beispielsweise bei KLEINSCHMIDT & RANK (2005) und KEMPER & EICKLER (2006) zu finden.

### 5.3.2 Webserver

In der Logikschicht der 3-Ebenen-Architektur hat der „Webserver“ die Aufgabe, Anfragen des „Clients“ nach dem „Client-Server-Prinzip“ zu bearbeiten. Dabei müssen die Kommunikationsregeln eingehalten werden, die in dem HTTP („Hypertext Transfer Protokoll“) hinterlegt sind. Der „Webserver“ wird durch „Webserversoftwaresysteme“ wie z. B. Apache HTTP Server oder Microsoft Internet Information Service (MS IIS) realisiert. MS IIS setzt sich aus mehreren Internet-Diensten für Serverbetriebssysteme von Microsoft zusammen. Dies schränkt die Verwendung von MS IIS auf windowsbasierte Rechner ein. Die Vollversion von MS IIS ist kostenpflichtig. Im Gegensatz zu MS IIS ist Apache HTTP Server ein eigenständiges System, das auf verschiedenen Betriebssystemen lauffähig ist. Es ist eine „OpenSource-Anwendung“, was einen hohen Konfigurationsgrad erlaubt. Apache HTTP Server wird aus diesen Gründen für die Umsetzung der Logikschicht ausgewählt.

### 5.3.3 Graphische Benutzerschnittstelle (GUI)

Die oberste Schicht der 3-Schichten-Architektur wird durch die graphische Benutzerschnittstelle repräsentiert. Die Kommunikation des Nutzers mit der Logikschicht („Webserver“) wird dabei über graphische Elemente ermöglicht. Die graphische Benutzerschnittstelle muss daher kompatibel mit dem „Webserversystem“ sein. Es gibt mehrere Programmiersprachen für die Umsetzung einer graphischen Benutzerschnittstelle sowohl für das Web-Modul als auch für das Home-Modul.

## Programmiersprachen

Typischerweise wird die graphische Benutzerschnittstelle von webbasierten Systemen über einzelne Webseiten realisiert, welche mit HTML (**H**yper**T**ext **M**arkup **L**anguage) programmiert sind. Aufgrund der Statik von HTML-Seiten ist HTML nicht für die Darstellung von veränderbaren Datenbankinhalten geeignet. Erweiterungen wie CGI (Common Gateway Interface), PHP (**H**ypertext **P**reprocessor) oder JSP (Java Server Pages) lösen diese Problematik. PHP und JSP ermöglichen es, Daten aus Datenbanken abzurufen und auf der Webseite darzustellen. Während PHP serverseitig interpretiert wird, wird Java kompiliert. Die Entscheidung für eine der beiden Sprachen spielt aufgrund der geringen Unterschiede der Lösungen keine Rolle und wird daher meist willkürlich vorgenommen. Allerdings zeichnet sich **PHP** durch einen geringeren Implementierungsaufwand aus und wird daher im Folgenden für die Dynamisierung des Web-Moduls verwendet.

Das Home-Modul wird nicht in einem Browser dargestellt, sondern wird als eigenständiges Programm aufgerufen. Für die Programmierung bietet sich die Programmiersprache **Python** an. Python besitzt Vorteile beim Programmierungsaufwand und der betriebssystemunabhängigen Implementierung (WALEROWSKI 2008, S. 13 ff.). Außerdem wird die Gestaltung einer graphischen Benutzerschnittstelle durch das Spezialmodul *Tkinter* unterstützt, welches einen Satz an vordefinierten graphischen Elementen bereithält und so den Programmierungsaufwand für eine GUI reduzieren kann (WALEROWSKI 2008, S. 176 ff.). Da keine Softwareentwicklung im eigentlichen Sinne durchgeführt wird, sondern ein Rechnerwerkzeug zur Unterstützung der Methode umgesetzt werden soll, wird hier nicht näher auf einen Vergleich mit anderen objektorientierten Programmiersprachen wie C++ oder C# eingegangen. An dieser Stelle sei auf Fachliteratur zu den Programmiersprachen, wie z. B. (LIBERTY 2005) oder (STROUSTRUP 2000), verwiesen.

## Home-Modul

Die graphische Benutzerschnittstelle des Home-Moduls ist in zwei Bereiche aufgeteilt (siehe Bild 5-5). Im linken oberen Bereich werden alle Dokumente angezeigt, für die Beschreibungen abzugeben sind. Diese Liste ist das Ergebnis der automatischen Erkennung von neu erstellten Dokumenten, einer der beiden Hauptfunktionen des Home-Moduls. Beim Starten des Home-Moduls wird diese Liste automatisch aktualisiert. Eine manuelle Aktualisierung kann über das Feld „Aktualisieren“ gestartet werden. Ebenso kann ein Abbruch der Aktualisierung vorgenommen werden. Um eine Beschreibung zu einem Dokument abgeben zu können, muss ein Dokument aus der Liste ausgewählt werden. Im linken unteren Bereich werden zu einem ausgewählten Dokument Dateiinformatoren angezeigt, wie z. B. Name, Speicherort, Ersteller oder Erstellungs- bzw. Änderungsdatum. Im rechten Bereich sind die Parameter der Beschreibungsmethode untereinander aufgelistet. Zu jedem Parameter werden die jeweiligen Parameter permanent angezeigt und können vom Nutzer mit einem Klick ausgewählt werden. Ein ausgewählter Parameterwert wird farblich gekennzeichnet, was die komplette Beschreibung eines Dokuments auf einen Blick sichtbar macht. Ist die Beschreibung vollständig, kann sie der Benutzer über „Dokument parametrisieren“ speichern. Möchte er zu dem ausgewählten Dokument keine Beschreibung abgeben, kann er „Überspringen“ wählen und wird später erneut zu einer Beschreibung aufgefordert. Möchte der Benutzer gar keine Beschreibung ab-

geben, kann eine Aufforderung zur Beschreibung dieses Dokuments über „Ignorieren“ permanent verhindert werden. Wird ein Dokument beschrieben, wird es aus der Dokumentenliste im oberen linken Bereich entfernt (siehe Bild 5-5). Neben den Beschreibungsfunktionen können unten links Programminformationen aufgerufen oder Programmeinstellungen vorgenommen werden (siehe Bild 5-5). Außerdem kann über einen Link das Web-Modul mit einem Klick geöffnet werden und erleichtert so die Verwendung beider Module.

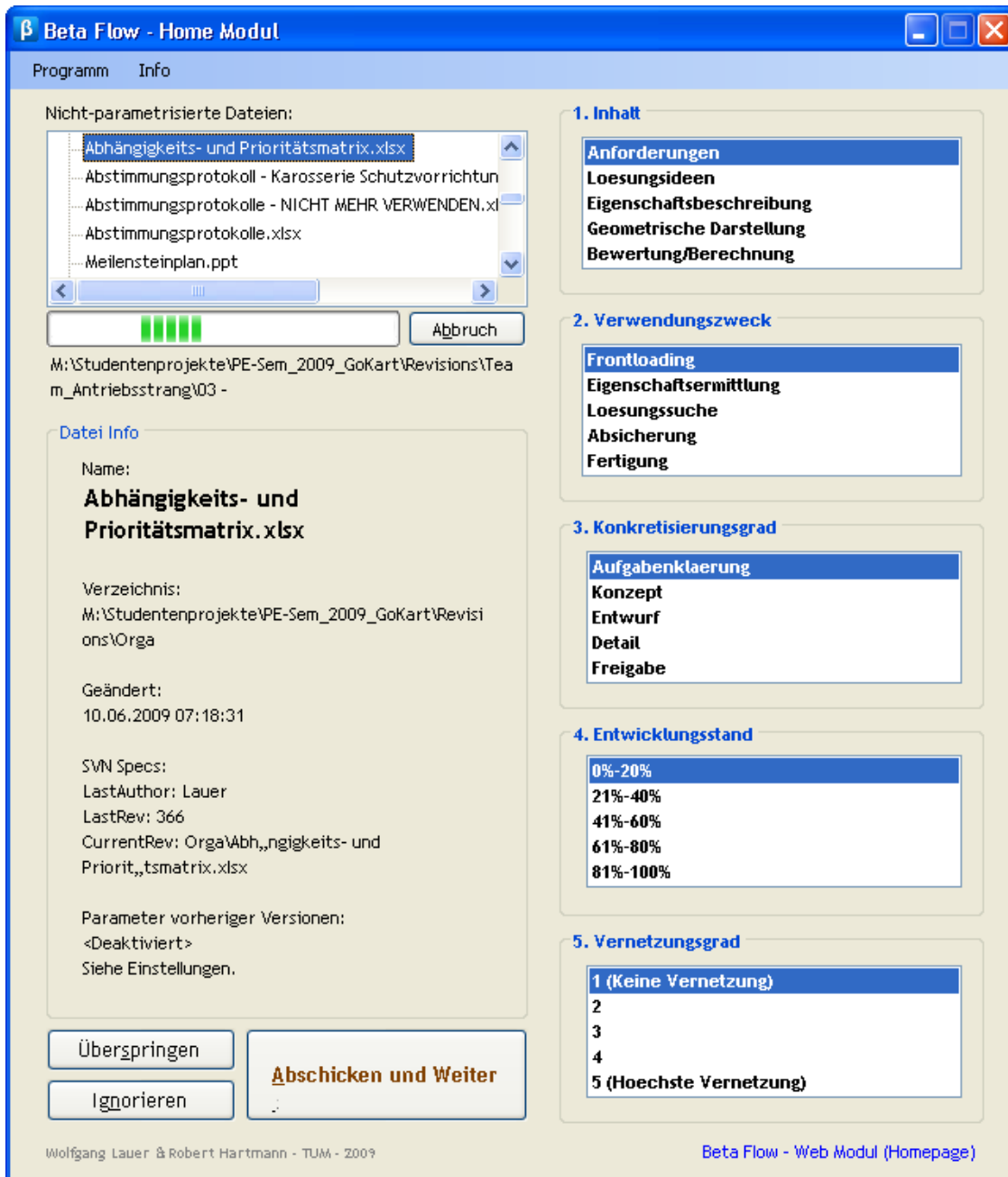


Bild 5-5: Programmoberfläche des Home-Moduls



## Web-Modul

Ähnlich wie beim Home-Modul ist auch das Web-Modul in zwei Hauptbereiche unterteilt (siehe Bild 5-6). Während das Home-Modul Beschreibungen der Dokumente erfasst, ist das Web-Modul für die Erfassung der Prozessschritte zuständig. Prozessschrittbeschreibungen können im rechten Bereich des Web-Moduls vorgenommen werden. Dazu können – wie beim Home-Modul – die Parameterwerte zu den einzelnen Parametern aus Listen ausgewählt werden. Durch die Anzeige der aktuell ausgewählten Parameterwerte eines Parameters ist auch im Web-Modul die aktuelle Beschreibung eines Prozessschrittes direkt zu erkennen.

The screenshot shows the 'Beta Flow Web Modul' interface for 'Technische Universität München'. The user is identified as 'Wolfgang Lauer'. The interface is divided into two main sections: process selection on the left and a 'Neuer Prozess' (New Process) configuration on the right.

**Left Section:**

- Prozessauswahl:** A dropdown menu for 'Prozesslandschaft' with options 'HTML | PDF | Visio'. Below it, a dropdown for 'Reifen' is set to 'Reifen', with an 'Anzeigen' button.
- Prozesszugehörige Dokumente\*:** A section titled 'Keine Dokumente'.
- Vollständige Dokumentenliste:** A dropdown menu showing '0 265 005 262.pdf' with an 'Anzeigen' button.

**Right Section: Neuer Prozess:**

- Name:** An empty text input field.
- Inhalt:** A list box containing: Anforderungen, Loesungsideen, Eigenschaftsbeschreibung, Geometrische Darstellung, Bewertung/Berechnung.
- Verwendungszweck:** A list box containing: Frontloading, Eigenschaftsermittlung, Loesungssuche, Absicherung, Fertigung.
- Konkretisierungsgrad:** A list box containing: Aufgabenklaerung, Konzept, Entwurf, Detail, Freigabe.
- Entwicklungsstand:** A list box containing: 0%-20%, 21%-40%, 41%-60%, 61%-80%, 81%-100%.
- Vernetzungsgrad:** A list box containing: 1 (Keine Vernetzung), 2, 3.

Bild 5-6: Ausschnitt der Web-Modul-Programmoberfläche zur Beschreibung von Prozessschritten

Auf der linken Seite kann im oberen Bereich derjenige Prozessschritt ausgewählt werden, zu dem die relevanten Dokumente angezeigt werden sollen. Die entsprechende Anzeige der relevanten Dokumente befindet sich unterhalb davon (siehe Bild 5-7). Die Ergebnisliste wird in drei hierarchischen Kategorien angezeigt. An oberster Stelle werden die vom Nutzer selbst beschriebenen und erstellten Dokumente angezeigt. Im weiteren Verlauf der Liste werden zusätzlich Dokumente aus dem gleichen Team und am Ende der Liste sämtliche Dokumente der gesamten Entwicklungsaufgabe angezeigt. Diese Kategorisierung wird vorgenommen, um die Navigation in der Ergebnisliste für den Nutzer möglichst einfach zu gestalten. Da das System aufgrund seiner Zielsetzung nur die Beschreibungsdaten sammelt, aber nicht die Dokumente selbst, können die als relevant angezeigten Dokumente nicht direkt aus dem Web-Modul heraus geöffnet werden (siehe Kapitel 5.2.3). Um die Dokumente aber dennoch möglichst leicht zugreifbar zu machen, wird beim Bewegen des Mauszeigers über den Dokumenteneintrag („Mouse-Over“) der Dateipfad des Dokuments in einem kleinen Fenster eingeblendet.

Des Weiteren können neben den Prozessschrittbeschreibungen auch bestehende Dokumentenbeschreibungen geöffnet und bearbeitet werden (siehe Bild 5-7). Die entsprechende Ansicht wird eingeblendet, sobald ein Dokument der Liste im linken Bereich ausgewählt wird. Bei jeder Aktualisierung von Prozessschritt- oder Dokumentenbeschreibungen werden auch die Relevanzen über den euklidischen Abstand neu berechnet (siehe auch Kapitel 4.8.4).

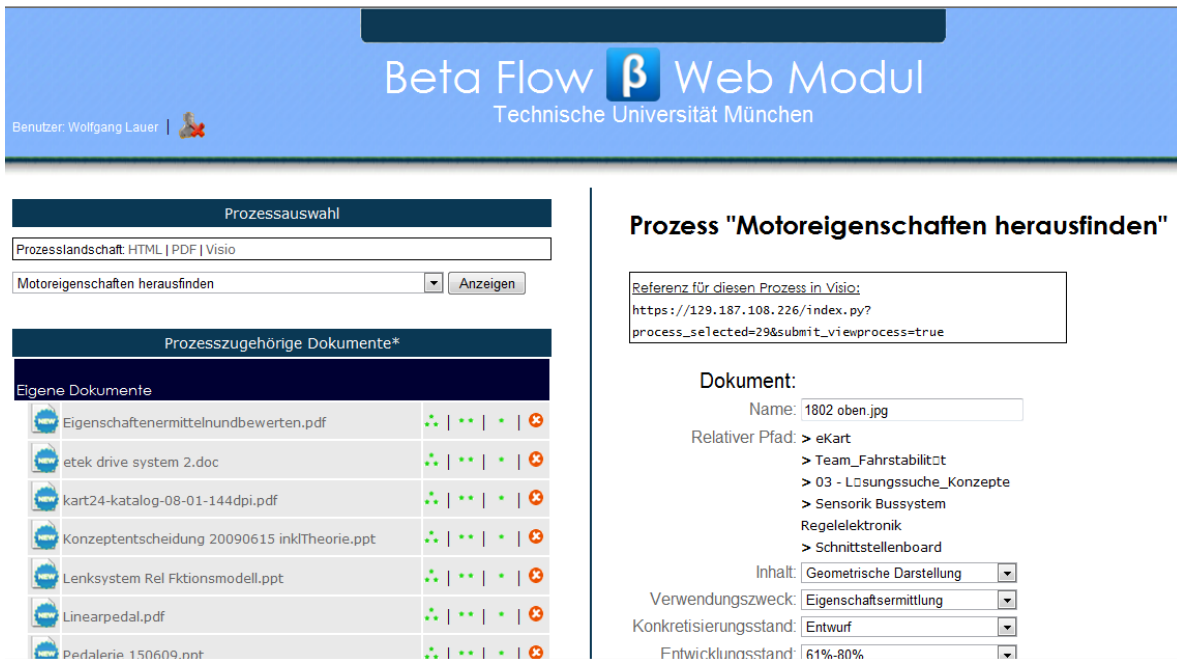


Bild 5-7: Ausschnitt der Web-Modul-Programmoberfläche zur Anzeige, Bewertung und Bearbeitung von Dokumenten/-beschreibungen

## Erweiterung des Webmoduls

Für die spätere Evaluation ist neben den Dokumentennamen eine symbolische Bewertungsskala von 0 (nicht hilfreich) bis 3 (sehr hilfreich) eingeblendet (siehe Bild 5-7). Kann ein Nutzer die Informationen eines angezeigten Dokuments häufig verwenden, hilft es ihm besonders für den Prozessschritt (sehr hilfreich). In diesem Fall kann er seine Einschätzung durch einen Klick auf das 3-Punkt-Symbol abgeben („3“-Punkte). Nutzen ihm die Informationen eines Dokuments nichts, verwendet er es nicht und gibt über das X-Symbol („0“-Punkte) seine Bewertung ab. Die Bewertungen der Nutzer werden personenspezifisch gespeichert und später in Kapitel 6 ausgewertet. Zusätzlich zum Nutzen angezeigter Dokumente wird auch eine Funktion implementiert, welche die Angabe von fehlenden, jedoch relevanten Dokumenten ermöglicht. Zwar reicht diese Art der Erfassung von fehlenden Dokumenten nicht für die Ermittlung des Vollständigkeitsgrades aus, aber damit sollen wichtige Dokumente im System gespeichert werden können.

## Überblick der Anwendung des Rechnerwerkzeugs

Für den Nutzer des Rechnerwerkzeugs gibt es die Möglichkeit zum einen Dokumente zum anderen Prozessschritte zu beschreiben. Die Dokumentenbeschreibung wird dabei sowohl durch das Home-Modul als auch das Web-Modul ermöglicht. Das Home-Modul identifiziert dabei automatisch geänderte oder neu erstellte Dokumente und fragt den Nutzer nach den Beschreibungsdaten dieser Dokumente (siehe Bild 5-5: Programmoberfläche des Home-Moduls). Der Nutzer muss also keine manuelle Überprüfung durchführen, welches Dokument seit dem letzten Aufruf des Home-Moduls neu erstellt oder verändert wurde. Anhand der „Drop-Down“-Listen muss der Nutzer nun die vordefinierten Werte der einzelnen Parameter auswählen und speichern. Das Rechnerwerkzeug codiert die abgegebene Beschreibung und verarbeitet diese zu Koordinaten im Entwicklungsraum. Durch den hinterlegten Algorithmus werden die Relevanzen von Dokumenten und Prozessschritten automatisch berechnet. Hat der Nutzer alle veränderten bzw. neu erstellten Dokumente beschrieben, wechselt er in das Web-Modul, in dem er sich dann die für einen Prozessschritt relevanten Dokumente anzeigen lassen kann. Dazu wählt der Nutzer entweder einen bereits beschriebenen Prozessschritt aus einer Liste aus, oder er erstellt einen neuen Prozessschritt einschließlich seiner Beschreibung (siehe Bild 5-6). Analog zum Home-Modul muss er nur die entsprechenden Werte in den Drop-Down-Listen auswählen und einen Namen für den Prozessschritt vergeben. Wählt er nun aus der Liste an verfügbaren Prozessschritten einen bestimmten aus, werden ihm automatisch alle vom Rechnerwerkzeug als relevant berechneten Dokumente angezeigt (siehe Bild 5-7). Der Zugriff auf die einzelnen angezeigten Dokumente wird über den angegebenen Dateipfad gewährleistet. Da das Rechnerwerkzeug als prototypische Unterstützung der Methodenanwendung konzipiert ist, sind die Dokumente selbst nicht im Rechnerwerkzeug integriert und müssen separat geöffnet werden.

## 5.4 Zusammenfassung

Die entwickelte Methode wird durch ein Rechnerwerkzeug unterstützt. Für die Entwicklung dieser Unterstützung werden zunächst Anforderungen an das Softwarewerkzeug erhoben. Da hier die Entwicklung der Methode und nicht die marktreife Softwareentwicklung im Vordergrund steht, werden nur die elementaren Anwendungsfälle erfasst. Diese werden mittels UML-Diagrammen modelliert und dienen als Grundlage für die Definition der Anforderungen. Beispielsweise beinhalten die Diagramme funktionale Anforderungen wie „Dokumente bzw. Prozessschritte beschreiben“ oder allgemeinere Anforderungen zur Softwareergonomie wie intuitive Bedienung oder einfache Implementierung der Software. Auf Basis der Anforderungen wird dann ein bewährtes Konzept ausgewählt, welches eine 3-Schichten-Architektur verwendet. Diese Architektur eignet sich z. B. besonders für eine einfache Implementierung und bietet für spätere Weiterentwicklungen größtmögliche Flexibilität, da jede Schicht einzeln verändert bzw. weiterentwickelt werden kann. Die einzelnen Ebenen bestehen aus einem Datenbankmanagementsystem einschließlich Datenbank (Datenschicht) und dem „Webserver“ (Logikschicht) zur Verteilung der Daten an ein Home- und Webmodul (Darstellungsschicht). Das Homemodul ist für die Erfassung der Dokumentenbeschreibungen zuständig und wird lokal am Rechner installiert. Über Listen können die Parameter und deren Werte für

neu erstellte Dokumente ausgewählt werden. Das Webmodul wird hingegen für die Erfassung der Prozessschritte und zur Anzeige der Ergebnisliste in einem Browser eingesetzt. Zur aufwandsarmen Beschreibung der Prozesse kommen Drop-Down-Listen der Parameterwerte zum Einsatz. Eine Trennung des Homemoduls vom Webmodul ist dabei notwendig, um alle neu erstellten Dokumente automatisch identifizieren zu können. Eine rein webbasierte Lösung kann aufgrund der eingeschränkten Zugriffsrechte an der Universität nicht eingesetzt werden. Die einzelnen Schichten werden mittels MySQL 5.0.77 (DBMS) und Apacheserver 2.2.11, („Webserver“) umgesetzt. Das Homemodul wird mit Python, das Webmodul mit PHP programmiert. Handelsübliche Browser können für die Darstellung der graphischen Benutzerschnittstelle (GUI) des Webmoduls eingesetzt werden.

Das Rechnerwerkzeug wurde außerdem im Hinblick auf eine spätere Evaluation der Methodeneffektivität erweitert. Dazu wurde eine Bewertungsskala neben jedem Dokument der Ergebnisliste ergänzt. Dadurch kann die Einschätzung des Nutzers erfasst werden, ob das jeweilige Dokument **sehr hilfreich** (3), **hilfreich** (2), **weniger hilfreich** (1) oder **nicht hilfreich** (0) für die Durchführung des aktuellen Prozessschritts ist. Die Erfassung dieser Nutzerbewertungen ist dann die Grundlage für die Evaluation der Methodeneffektivität.

Bezüglich der Anwendung des Rechnerwerkzeugs wird der Nutzer durch die automatische Berechnung der Relevanzen unterstützt. Auch die Erfassung der Beschreibungen wird durch Auswahllisten („Drop-Down-Listen“) bestmöglich unterstützt, so dass der Nutzer nur einen geringen Zeitaufwand für die Anwendung der Methode leisten muss.

## 6 Evaluation der Beschreibungsmethode

*In dieser Forschungsarbeit wurde eine Beschreibungsmethode von Dokumenten und Entwicklungsprozessschritten zur Verbesserung der Informationsbereitstellung entwickelt. Ein Hauptziel der Methodenentwicklung ist die Verkürzung der Beschaffungszeit von Dokumenten mit Produktinformationen. Für die Bewertung der Effizienz der Methode müssen allerdings mehrerer vergleichbarer Anwendungsbeispiele evaluiert werden. Da dies mit unverhältnismäßig großem Aufwand verbunden ist, wird die Effizienz stattdessen indirekt über die Bewertung der Effektivität der entwickelten Methode abgeschätzt. Die Effektivität liefert eine Aussage über den Nutzen der Dokumente für den Anwender. Je höher der Anteil der relevanten Dokumente und damit des Nutzens, desto weniger Zeit wird mit der Suche nach relevanten Dokumenten verbracht (Effizienzsteigerung). Dennoch erhebt die Evaluation der Methodeneffektivität nicht den Anspruch auf statistische Belastbarkeit. Sie wird vor allen Dingen als Möglichkeit betrachtet das Vorgehen auch für spätere Evaluationen zu vermitteln und erste Anhaltspunkte für die Effektivität der Methode zu erhalten.*

*Für die Vorbereitung der Evaluation werden zunächst wichtige Aspekte wie der Evaluationsgegenstand, das Evaluationsziel, die unterschiedlichen Phasen und die verschiedenen Funktionen einer Evaluation beschrieben. Anschließend werden anhand des Anwendungsbeispiels „Elektrofahrzeugentwicklung“ das Vorgehen, die Durchführung und die Auswertung dargestellt.*

### 6.1 Vorbereitung der Evaluation

Vor einer Evaluation müssen zunächst Evaluationsgegenstand und -ziel festgelegt werden. Außerdem kann eine Evaluation je nach Einsatzzweck in verschiedene Phasen aufgeteilt werden. Zur Vorbereitung der angestrebten Evaluation wird daher zunächst geklärt, welche Phasen der Evaluation angewendet werden und welche Funktionen die Evaluation dabei wahrnimmt.

#### 6.1.1 Evaluationsgegenstand und -ziel

Die Entwicklung einer Beschreibungsmethode für Dokumente zielt auf die verbesserte Informationsbereitstellung in dynamischen Entwicklungsprozessen ab. Aus diesem Grund wird die in Kapitel 4 beschriebene Methode im Folgenden evaluiert und stellt daher den Evaluationsgegenstand dar. Dieser besteht zunächst aus den definierten Parametern und der Methodenanwendung, die durch das in Kapitel 5 realisierte Rechnerwerkzeug unterstützt wird. Im Vordergrund stehen dabei die Anwendung der Methode und damit die wissenschaftliche Bewertung dieses neuen Konzepts. Softwaretechnische Aspekte wie die graphische Benutzerschnittstelle oder Ergonomie werden als prototypisch betrachtet und sind daher nicht Gegenstand der Evaluation.

Das Ziel der Evaluation ist die Einschätzung der **Methodeneffektivität**. Diese gibt Aufschluss darüber, inwieweit sich der Einsatz der Methode im realen Anwendungsfall lohnt (Erkenntnisfunktion) und dadurch rechtfertigt (Legitimation). Eine Bewertung der Methodeneffizienz wird im Zuge einer ersten Evaluation der Wirksamkeit der Methode vernachlässigt, da die Bewertung der Effizienz (Nutzen/Zeitaufwand) ohne den Nachweis der Effektivität (Nutzen) nicht zielführend ist.

Unter **Methodeneffektivität** wird der Nutzen der errechneten Relevanzen für den Anwender verstanden. Dazu müssen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

1. In welchem Umfang werden die durch die Methode berechneten Verknüpfungen als relevant empfunden?
2. Führt die Anwendung der Methode nicht nur im Einzelfall, sondern auch durch mehrere Anwender jeweils zu ähnlichen Ergebnissen?

Die Frage nach der Relevanz kann durch die Ermittlung der Präzision (Anteil der relevanten Dokumente an den angezeigten Dokumenten) und der Vollständigkeit der angezeigten Dokumente (Anteil der angezeigten relevanten Dokumente an allen relevanten Dokumenten) beantwortet werden. Im Unterschied zu Kapitel 4.8.3, in dem ein Abgleich mit einem Referenzsystem vorgenommen wird, soll bei der Evaluation ein real durchgeführter Entwicklungsprozess zugrunde liegen. Zum einen soll dabei der Nutzen bzw. die **Effektivität** der Methode für den Einzelnen bewertet werden (siehe auch Kapitel 6.2.4). Zum anderen soll die Methodeneffektivität über einen einzelnen Anwendungsfall hinaus auch für eine größere Nutzerzahl evaluiert werden. Dadurch kann die **Übertragbarkeit** der Methode auf andere Personen beurteilt werden (siehe auch Kapitel 6.2.4).

### 6.1.2 Evaluationsphasen

Die Evaluationsforschung unterteilt eine Evaluation in die drei (Lebens-)Phasen Planung, Implementierung und Nachhaltigkeit (STOCKMANN 2007, S. 32). Dabei muss eine Evaluation nicht zwingend alle Phasen durchlaufen (siehe Bild 6-1).

#### **Planungsphase (Ex-ante)**

Vor Beginn einer Evaluation werden im Rahmen der Planungsphase die Idee und das Konzept der Evaluation entwickelt. Um frühzeitig Effekte der später durchzuführenden Evaluation zu erkennen, wird sie selbst überprüft. Darauf aufbauend findet dann eine Optimierung des Evaluationsprogramms statt (STOCKMANN 2007, S. 32). Die Entwicklung und Optimierung der Beschreibungsmethode aus Kapitel 4 dieser Arbeit entsprechen dabei der Planungsphase der Evaluation. Dort wird die Evaluation beispielsweise mittels der Anordnung der Parameter (Kapitel 4.8.1) und der Erfassung von Präzision und Vollständigkeit (Kapitel 4.8.3) durchgeführt.

#### **Implementierungsphase (On-going)**

Während der Implementierungsphase wird eine On-going-Evaluation (formative Evaluation) durchgeführt. Diese erfasst die benötigten Informationen über den Verlauf und den Effekt des Programms (STOCKMANN 2007, S. 34), (BORTZ & DÖRING 2006, S. 109 ff.). Die On-going-Evaluation entspricht der im Folgenden beschriebenen Evaluationsform, welche alle benötig-

ten Informationen zur Anwendung der entwickelten Methode anhand eines realen Entwicklungsbeispiels erfasst. Die formative Evaluation ist immer dann sinnvoll, wenn neue Wege eingeschlagen werden, die zu neuartigen Ergebnissen führen (KOPPENHÖFER et al. 2000, S. 6).

**Nachhaltigkeit (Ex-post)**

Die dritte Phase hat zum Ziel Nachhaltigkeit der Evaluation zu gewährleisten, indem Auswirkungen und Zielerreichung des Programms auf Basis der erfassten Informationen evaluiert werden (STOCKMANN 2007, S. 34), (BORTZ & DÖRING 2006, S. 110 ff.). Zu diesem Zeitpunkt ist die Evaluation der Implementierung bzw. der Durchführung des Programms bereits abgeschlossen. Eine Evaluation nach Ablauf des Projektes wird daher auch als Ex-post-Evaluation bezeichnet (STOCKMANN 2007, S. 34). In Bezug auf die Evaluation der Beschreibungsmethode schließt sich die Ex-post-Evaluation an die On-going-Evaluation an und wird ebenfalls im Folgenden näher beschrieben.

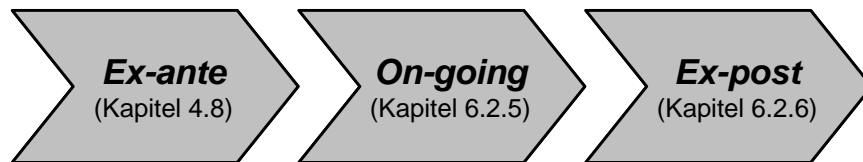


Bild 6-1: Phasen der Evaluation (in Anlehnung an STOCKMANN 2007, S. 32, FTEVAL 2005, S. 5)

**6.1.3 Funktionen der Evaluation**

Eine Evaluation übernimmt bei ihrer Durchführung verschiedene Funktionen (siehe Bild 6-2). Die vier Funktionen Erkenntnis, Kontrolle, Legitimation und Dialog beziehen sich auf das zu evaluierende Programm oder Projekt (STOCKMANN 2007, S. 37).

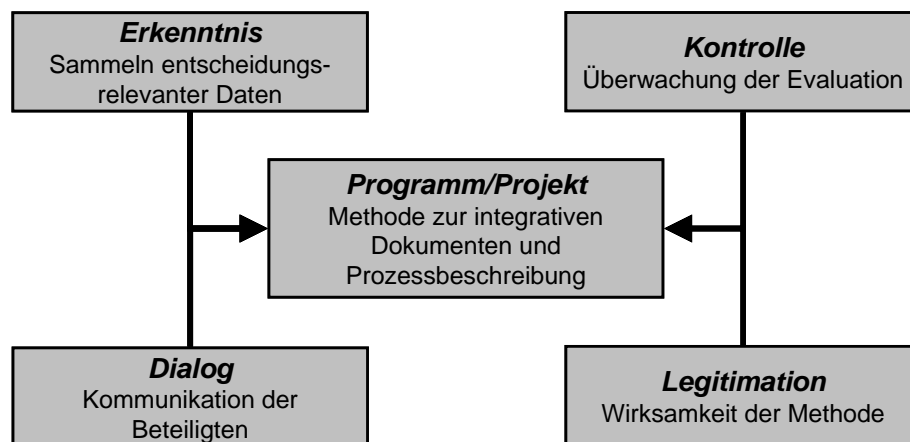


Bild 6-2: Funktionen der Evaluation (in Anlehnung an STOCKMANN 2007, S. 37, FTEVAL 2005, S. 4)

Die wichtigste Funktion stellt die Erkenntnisfunktion dar. Durch das Sammeln aller entscheidungsrelevanten Evaluationsdaten während der Implementierungsphase stellt eine Evaluation Erkenntnisgewinn sicher. Dies gibt Aufschluss über Stärken und Schwächen, die Akzeptanz oder auch die Anwendbarkeit des Programms.

Des Weiteren erfüllt die Evaluation eine Legitimationsfunktion. Durch die Evaluation kann die Wirksamkeit eines Programms/Projektes überprüft und dadurch Schlussfolgerungen bzw. Empfehlungen für eine breitere Verwendung gegeben werden. Eine Evaluation kann demnach als Rechtfertigung für eine Entscheidung gesehen werden.

Neben der Erkenntnis- und Legitimationsfunktion übernimmt die Evaluation auch eine Kontrollfunktion. Sie dient dabei der Überwachung der eigentlichen Durchführung und überprüft, ob den jeweiligen Verpflichtungen und Aufgaben entsprechend nachgekommen wird. In der Konsequenz müssen dann auch Maßnahmen ergriffen werden.

Die vierte Funktion wird als Dialogfunktion bezeichnet. Diese greift die Kommunikation der an der Evaluation beteiligten Personen auf. In dieser Funktion soll sie über die Qualität der Zusammenarbeit im Rahmen der Evaluation reflektieren und dadurch zur besseren Interpretation der Ergebnisse und zur nachhaltigen Verbesserung der Methode beitragen.

## 6.2 Anwendungsbeispiel „Elektrofahrzeugentwicklung“

Nach den zuvor erläuterten ersten Vorbereitungen der Evaluation wird das Vorgehen für das Anwendungsbeispiel „Elektrofahrzeugentwicklung“ beschrieben. Ausgangspunkt ist die Bestimmung des Evaluationskonzeptes zur Durchführung und Auswertung der Evaluation.

### 6.2.1 Vorgehen

Die Planungsphase beinhaltet vor allem die Entwicklung eines Evaluationskonzeptes der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten integrativen Dokumenten und Prozessbeschreibung. Die Erstellung des Evaluationskonzeptes wiederum beinhaltet die Definition des Evaluationsrahmens und -kriteriums. Der Evaluationsgegenstand und das Evaluationsziel wurden bereits in der Vorbereitung definiert. Im Folgenden werden daher nur das Konzept, der Rahmen, die Bewertungskriterien sowie die Erhebungsmethode der Evaluation erläutert. Anschließend werden die Durchführung (Implementierungsphase) und Auswertung (Nachhaltigkeitsphase) der Evaluation dargestellt (siehe Bild 6-3).



Bild 6-3: Vorgehen zur Evaluation im Anwendungsbeispiel



## 6.2.2 Evaluationskonzept

Vor der Durchführung einer Evaluation gilt es ein Evaluationskonzept zu entwickeln (siehe Bild 6-4). Teile des Konzeptes sind die zuvor festgelegten Evaluationsphasen Implementierung und Auswertung. Parallel zur Anwendung der Methode (**Evaluationsgegenstand**) wird daher eine begleitende Evaluation (**formativ**) durchgeführt und anschließend eine Auswertung vorgenommen (**summativ**). Die Anwendung der Methode wird während der Entwicklung eines Elektrofahrzeugs evaluiert. Dieses Anwendungsbeispiel definiert den **Evaluationsrahmen**, der die Rahmenbedingungen für die Anwendung der Methode vorgibt. Bestandteil dieses Evaluationsrahmens ist außerdem das Evaluationskriterium zur Bewertung des Nutzens der durch die Methode bereitgestellten Dokumente. Zur Erfassung dieses Nutzens wird eine softwareunterstützte Erhebungsmethode angewendet (**Erkenntnisfunktion**). Während der begleitenden Evaluation wird die **Kontrollfunktion** durch permanente Analyse und Beobachtung der erfassten Daten und Personen wahrgenommen. Die **Dialogfunktion** wird durch das parallele Supportangebot für die Benutzung des Softwarewerkzeugs erfüllt. Der Support soll den Austausch zwischen dem Evaluator und den Teilnehmern der Evaluation fördern.

Die gewonnenen Informationen sind die Basis für die anschließende Auswertung. Die **summative Evaluation** erfüllt durch ihre Bewertung der Beschreibungsmethode eine **Legitimationsfunktion** und bereitet eine Entscheidung über weitere Maßnahmen vor. Anhand der Erfassung des **Nutzens** kann die Methodeneffektivität im Rahmen der Auswertung bewertet werden und dient damit der Überprüfung des Evaluationsziels.

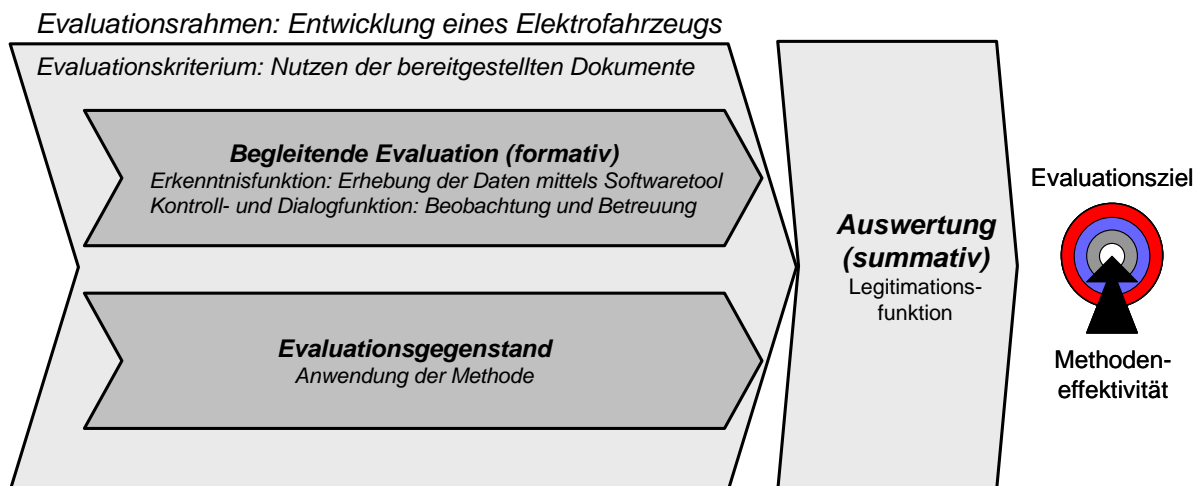


Bild 6-4: Evaluationskonzept

Da der Evaluationsrahmen großen Einfluss auf die Ergebnisse der Evaluation hat, wird dieser im Folgenden detailliert beschrieben. Außerdem wird das Bewertungskriterium **Nutzen** näher erläutert. Zur Erfassung der dafür geeigneten Daten wird die Bestimmung der Erhebungsmethode diskutiert und ihre Anwendung erläutert.

### 6.2.3 Evaluationsrahmen: Elektrofahrzeugentwicklung

Für eine praxisnahe Anwendung der zu evaluierenden Methode soll ein realer Prozess eines Entwicklungsprojektes beobachtet werden. Die Evaluation eines Entwicklungsprojektes der Industrie kann jedoch nicht durchgeführt werden, da aus Geheimhaltungsgründen nicht alle Dokumente, die in einem Prozess erstellt und verwendet werden, durch die Evaluierung erfasst werden (Erkenntnisfunktion) dürfen. Auch die Einführung von Methoden oder neuen IT-Werkzeugen im Unternehmen ist durch bestehende Strukturen limitiert und erschwert dadurch eine industrienaher Evaluation der Methode. Aus diesem Grund wird ein realitätsnahes Anwendungsbeispiel zunächst generiert, welches eine Evaluation ermöglicht und mittels der die Legitimation für die Einführung der Methode in Unternehmen überprüft werden kann. Das Anwendungsbeispiel wird aufgrund des unbeschränkten Zugangs zu Informationen und der nicht vorhandenen äußeren Zwänge, wie sie bei einem Industrieprojekt vorherrschen, als studentisches Entwicklungsprojekt definiert. Allerdings ist dieses Anwendungsbeispiel nicht vollständig auf die spätere Anwendung in der Industrie übertragbar. Zum einen sind die beteiligten Personen noch Studenten, zum anderen sind die Arbeitsbedingungen bezüglich Arbeitsplätzen oder verfügbaren Arbeitsmitteln nicht mit denen der Industrie gleich zu setzen. Die Ergebnisse der Evaluation in dem behandelten Evaluationsrahmen dienen daher als Orientierung für weitere empirische Untersuchungen von Anwendungsbeispielen. Der Evaluationsrahmen wird in diesem Zusammenhang als realitätsnahes Anwendungsbeispiel verstanden, allerdings nicht als realitätsgetreues Beispiel.

Um das Anwendungsbeispiel so realitätsnah wie möglich zu gestalten, werden Rahmenbedingungen festgelegt, welche den Prozess eines Entwicklungsprojektes aus der industriellen Praxis bestmöglich nachahmen:

- Mechatronisches Produkt
- Hierarchische Organisationsstruktur
- Arbeitsteilung
- Zeitplan
- Budgetplan

Für den Aufbau einer realistischen Datenbasis werden bei der Planung des Entwicklungsprojektes der interdisziplinäre Charakter von Projekten der Automobilindustrie sowie ein anspruchsvoller Komplexitätsgrad berücksichtigt. Als mechatronisches Produkt wird daher ein Elektrofahrzeug gewählt. Es wird also kein bestehendes ottomotorisch betriebenes Fahrzeug auf elektrischen Antrieb umgerüstet, sondern ausgehend von einer bestehenden Standardrahmenkonstruktion der vollständige Entwicklungsprozess für alle Teilsysteme des Gesamtfahrzeugs durchlaufen. Dabei müssen die Studenten ausgehend von der Anforderungsklä rung Lösungen recherchieren, selbst entwickeln, bewerten, auswählen und anschließend gestalten sowie umsetzen. Neben dem elektrischen Antrieb und den Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien (LiFePo) zählen auch eine elektromechanisch unterstützte Lenkung, ein ABS-fähiges Bremsystem (**Antiblockiersystem**), elektronisches **Stabilitätsprogramm** (ESP) inklusive „Torque Vectoring“ sowie alle dafür benötigten „Controller“ und Sensoren zur Entwicklungsaufgabe (siehe Bild 6-5). Auch die Packageplanung, welche für die Integration aller Komponenten

notwendig ist, wird durchgeführt. Im Entwicklungsprojekt werden außerdem übliche DfX-Kriterien, wie z. B. Kosten oder Gewicht berücksichtigt. Um realistische Rahmenbedingungen zu gewährleisten, wird das Fahrzeug unter Berücksichtigung realer Kundenanforderungen bzw. für den Einsatz auf kommerziellen Kartbahnen entwickelt.

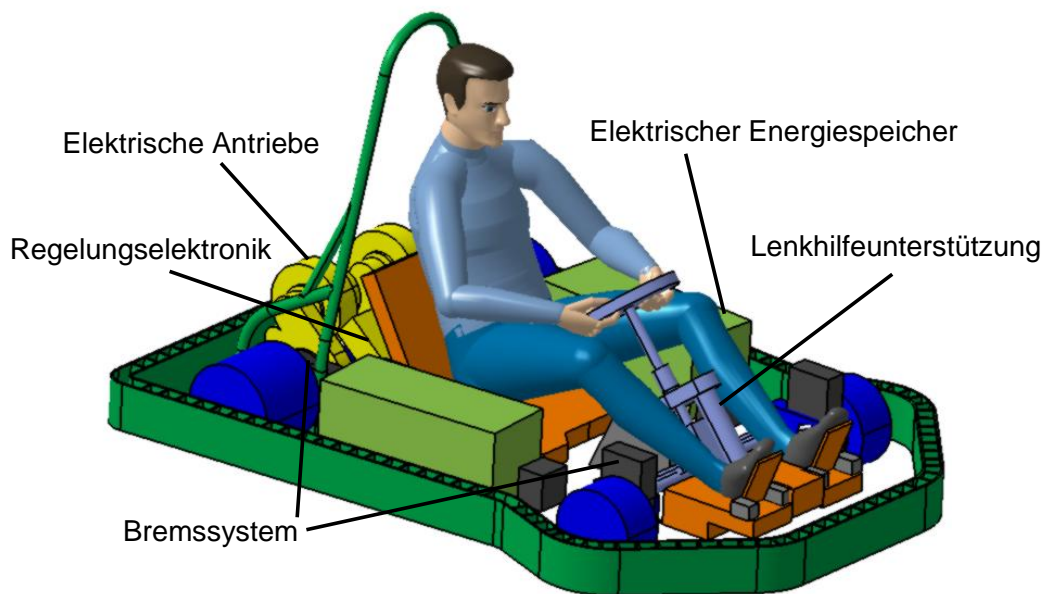


Bild 6-5: Virtuelles Modell des Elektrofahrzeugs zur Packageplanung

Für die Durchführung des Entwicklungsprojektes wird das übliche Prinzip der Arbeitsteilung angewendet. Die Bearbeitung der dadurch entstehenden abgeschlossenen Teilprojekte wird durch eine hierarchische Organisationsstruktur unterstützt (siehe Bild 6-6). Das Projekt wird in die drei Ebenen Projektleitung, Teamleitung und Teilprojektverantwortung unterteilt. Insgesamt werden elf Teilprojekte definiert, die von 8 Studenten bearbeitet werden. Dabei übernehmen einzelne Studenten zwei Teilprojekte in verschiedenen Teams, um die teamübergreifende Kommunikation und Schnittstellenabstimmung zu fördern. Die Teams werden von jeweils einem Assistenten betreut und von einem Gesamtprojektverantwortlichen sowohl inhaltlich als auch organisatorisch koordiniert. Bei regelmäßigen Einzeltreffen, Team- und Projekttreffen werden ähnlich wie bei industriellen Entwicklungsprojekten aktuelle Entwicklungsstände und das weitere Vorgehen abgestimmt. Das Projekt unterliegt dabei einem Zeitplan (Meilensteinplan), der die Entwicklung und erste prototypische Umsetzung des Elektrofahrzeugs auf 12 Monate begrenzt.

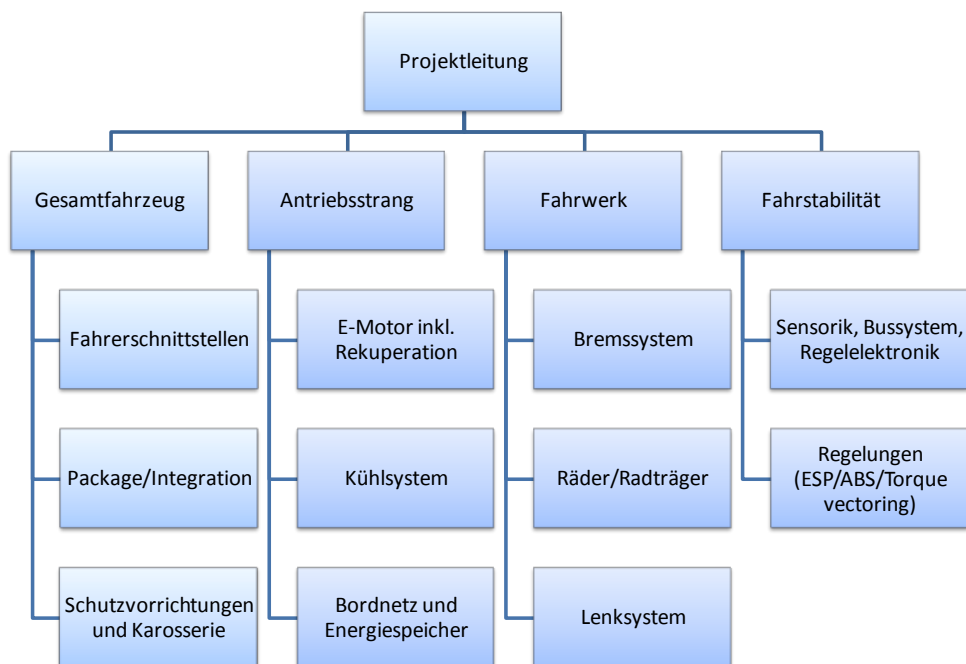


Bild 6-6: Organisationsstruktur des Entwicklungsprojektes

### 6.2.4 Bewertungskriterien

Für eine Evaluation gibt es mehrere Kriterien, die jedoch nicht generell auf alle Sachverhalte angewendet werden können. Beispiele für Kriterien sind Zielerreichung, Effizienz, Effektivität oder Zielgruppenbezug (KROMREY 2001, S. 108). Das Evaluationsziel richtet sich nach dem Kriterium der Methodeneffektivität, also dem Nutzen für den Anwender. Anhand der zuvor definierten Fragestellungen kann dieses Kriterium weiter unterteilt werden in:

- Nutzen
- Übertragbarkeit

Um die Methodeneffektivität also bewerten zu können, wird das Bewertungskriterium **Nutzen** der bereitgestellten Dokumente für den Anwender der Methode definiert. Der Nutzen beschreibt dabei den Wert, den ein Anwender für die bereitgestellten Dokumente empfindet. In Ergänzung dazu wird das Kriterium **Übertragbarkeit** bewertet, inwieweit sich das Empfinden der Methodeneffektivität (Nutzen für den Einzelnen) auch bei mehreren Personen in ähnlichem Umfang zeigt. Vor dem Hintergrund der Legitimation verbessert dies die Entscheidungsgrundlage.

Für die spätere summative Evaluation muss bereits während der formativen Evaluation eine Reihe an Daten erhoben werden. Beispielsweise werden durch das Rechnerwerkzeug sämtli-

che Beschreibungen von Dokumenten und Prozessen und die jeweiligen Autoren (Anwender) automatisch erfasst. Die Bewertung des Nutzens für den Einzelnen wird durch eine im Folgenden beschriebene Erhebungsmethode abgefragt.

### 6.2.5 Erhebungsmethode

Zur Einschätzung der Methodeneffektivität wird die Relevanz der bereitgestellten Dokumente für den Nutzer erhoben. Dies wird typischerweise mittels der Kennzahlen Präzision und Vollständigkeit bewerkstelligt. Eine Ermittlung der **Vollständigkeit** ist allerdings im gewählten Evaluationsrahmen nicht möglich, da hierfür eine Berechnung der Anzahl aller relevanten Dokumente durchgeführt werden muss. Die am Projekt beteiligten Studenten kennen aber aufgrund ihrer geringen Erfahrung nicht alle relevanten Dokumente und können daher nur sehr schwer Angaben zu fehlenden Dokumenten machen. Um zumindest die Möglichkeit zu schaffen, fehlende Dokumente erfassen zu können, wurde eine entsprechende Funktion in dem Rechnerwerkzeug implementiert.

Um die **Präzision** anhand des Anwendungsbeispiels erheben zu können, muss jede durch die Anwendung der Methode erzeugte Ergebnisliste durch den Anwender im Hinblick auf die Relevanz bewertet werden. Die in diesem Fall durchgeführte Evaluation erlaubt dabei eine automatische Erfassung der Anzahl der bereitgestellten Dokumente. Eine Berechnung der Präzision wird zur Bewertung der Methodeneffektivität als vordergründig erachtet und reicht für eine erste Betrachtung aus. Sie wird nach der Formel in Bild 6-7 berechnet.

$$\text{Präzision} = \frac{\text{Anzahl der relevanten} \cap \text{bereitgestellten Dokumente}}{\text{Anzahl der bereitgestellten Dokumente}}$$

*Bild 6-7: Berechnung von Präzision für die Beurteilung der Effektivität der Methode  
(BAEZA-YATES & RIBEIRO-NETO 1999, S. 75)*

Die Erhebung der vom Nutzer empfundenen Relevanzen kann nun durch verschiedene Methoden vorgenommen werden. Einerseits können regelmäßige Interviews geführt und die Relevanzen nachträglich erfasst werden, andererseits sind schriftliche Befragungen möglich (Hoffmann 1998, S. 86 ff.). Letztere können auch in einer softwareunterstützten Form angewendet werden. Im Vergleich zu herkömmlichen schriftlichen Befragungen, welche eine verzögerte Erfassung und daher eine beeinträchtigte Wahrnehmung des Befragten zur Folge haben, können softwareunterstützte Befragungen auch zur Laufzeit des Entwicklungsprozesses eingesetzt werden. Die zu erfassenden Bewertungen der Dokumente sind daher direkt im System einzugeben. Durch diese Aufwandsminimierung ist eine breitere Datenbasis möglich.

Zur Erhebung der Relevanzbewertungen wird daher eine diskrete Bewertungsskala eingeführt. Dabei wird der Anwender der Methode nicht nach einer zweistufigen Bewertung der Relevanz „relevant“ und „irrelevant“ gefragt, sondern nach einer vierstufigen Bewertung des Nutzens (sehr hilfreich, hilfreich, wenig hilfreich, nicht hilfreich). Die zuvor beschriebene Erweiterung des Rechnerwerkzeugs aus Kapitel 5 realisiert dies als Bewertungsskala

von 0 (nicht hilfreich) bis 3 (sehr hilfreich). Neben den Dokumenten der Ergebnisliste wird die Bewertungsskala angezeigt (siehe Bild 6-8). Durch die nahtlose Integration der Skala in das Rechnerwerkzeug kann jedes Dokument ohne Mehraufwand für den Anwender bewertet werden.



Bild 6-8: Integrierte Skala zur Bewertung des individuellen Nutzens von bereitgestellten Dokumenten für die Anwender

### 6.2.6 Durchführung

Die formative Evaluation dient der Datenerhebung (Erkenntnisfunktion). Dazu wird den sechs Testpersonen zunächst das zuvor beschriebene Rechnerwerkzeug zur Anwendung der Methode bereitgestellt und eine kurze Einweisung gegeben. Sowohl das Home- und Web-Modul als auch der Nutzen, den die Anwender durch die Methode haben sollen, werden erläutert. Nach einer Erklärung der Methode und den damit verbundenen Begriffen wird die Methoden-anwendung mittels des in dieser Arbeit entwickelten Rechnerwerkzeugs demonstriert. Entscheidend für die Methoden-anwendung ist, dass die beteiligten Personen alle von ihnen erzeugten Dokumente mittels des Rechnerwerkzeugs beschreiben. Das Home-Modul registriert dazu alle neu auf den Projektserver geladenen Dokumente und fordert zu einer Beschreibung auf. Im Gegensatz zu den Dokumenten werden die Prozessschrittbeschreibungen im Web-Modul erfasst. Die Nutzer sind dazu aufgefordert, die Tätigkeit, für die sie gerade Informationen benötigen, mittels der Methode zu beschreiben. Mit den Daten aus beiden Modulen kann so im Web-Modul die Ergebnisliste mit der zugehörigen Bewertungsskala angezeigt werden (siehe Bild 6-8). Zum besseren Verständnis der Skala wird die Bedeutung der Symbole als Einschätzung des Nutzens verdeutlicht. Dokumente werden demnach als sehr hilfreich, hilfreich, weniger hilfreich oder nicht hilfreich eingestuft. Die vorgenommenen Erläuterungen werden als

ausreichend eingeschätzt, weshalb auf eine ausführlichere Schulung zur Werkzeug-Anwendung verzichtet wird. In Ergänzung zur Einführung wird ein Support eingerichtet, der bei technischen und inhaltlichen Fragestellungen unterstützt.

Während der Durchführung selbst werden in regelmäßigen Abständen Kontrollen der abgegebenen Bewertungen für Prozesse und Dokumente vorgenommen. Allerdings wird die Methode zu Beginn der Evaluation noch sehr wenig eingesetzt, weshalb immer wieder zur häufigeren Nutzung animiert werden muss.

### 6.2.7 Auswertung

Durch die Anwendung der Methode und die Erfassung des individuell empfundenen Nutzens werden während der formativen Evaluation Beschreibungen sowie Nutzerbewertungen zu Relevanzen erfasst. Dabei werden verschiedene Daten in den Datentabellen „Prozesse“, „Dokumente“ und „Bewertungen“ gespeichert. Unter anderem werden Prozess- und Dokumentennamen, Autoren, Parameterwerte sowie Dateipfade in den Datentabellen abgelegt (siehe Tabelle 6-1). Auf Grundlage dieser Datentabellen können in der summativen Evaluation alle Daten personenspezifisch analysiert und ausgewertet werden. Die jeweiligen Datentabellen sind im Anhang B (S. 217 ff.) ausschnittsweise dargestellt. Eine vollständige Darstellung kann im Internet unter <http://www.pe.mw.tum.de/forschung/publikationen/dissertationen/lauer> abgerufen werden.

| <i>Datentabelle</i> | <i>Kurzbeschreibung</i>   | <i>Felder</i>  |
|---------------------|---|--|
| <b>Prozesse</b>     | Alle durch die Nutzer beschriebenen Prozessschritte                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozessname</li> <li>• Autor</li> <li>• Parameter</li> </ul>  |
| <b>Dokumente</b>    | Alle während des Entwicklungsprozesses durch Nutzer erstellte Dokumente       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokumentenname</li> <li>• Pfad</li> <li>• Revision</li> <li>• Autor</li> <li>• Parameter</li> </ul> |
| <b>Bewertungen</b>  | Die zu Prozessschritten und zugehörigen Ergebnislisten abgegebene Bewertungen | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozessname</li> <li>• Dokumentenname</li> <li>• Autor</li> <li>• Bewertungen</li> </ul>            |

Tabelle 6-1: Übersicht der Datentabellen zur Speicherung der erfassten Daten

Insgesamt können 620 Dokumente, 22 Prozessschritte und 1960 Bewertungen erfasst werden. Diese sind in den oben dargestellten Datentabellen strukturiert. Auf dieser Datengrundlage können die in Kapitel 6.2.4 definierten Bewertungskriterien Nutzen und Übertragbarkeit an-

gewendet werden. Mithilfe der Datentabelle „Bewertungen“ kann der Nutzen der durch die Methode bereitgestellten Dokumente eingeschätzt werden. Zusätzlich kann durch die personenspezifische Datenerfassung die Übertragbarkeit von einer Person auf mehrere überprüft werden (Durchschnittswert der Nutzenbewertung). Zwar ist die Datengrundlage bei 6 Anwendern statistisch nicht belastbar, aber im Vergleich zu einer Einzelanwendung lassen sich individuelle Unterschiede beim Nutzenempfinden identifizieren. Rückschlüsse auf die Methodeneffektivität für verschiedene Anwender und damit die Übertragbarkeit auf eine breitere Anwenderschicht sind somit möglich.

### Bewertung des Nutzens

Zunächst wird die Datentabelle „Bewertungen“ analysiert, da diese direkt Aufschluss über die Methodeneffektivität im Anwendungsbeispiel gibt. Tabelle 6-2 zeigt einen Ausschnitt für den Beispielprozess „Antriebstechnik auswählen“. Es werden die durch die Methode bereitgestellten Dokumente (Verknüpfungen), die jeweils abgegebene Bewertung und der Bewerter angezeigt. Die für die Berechnung dieser Verknüpfungen benötigten Daten liefern die anderen Datentabellen. Dort sind die einzelnen Parameterwerte zu Dokumenten und Prozessen hinterlegt (Prozess- und Dokumententabelle, siehe Anhang B, S. 219 ff.), so dass die Verknüpfungen berechnet werden können.

|     | Dokument                               | Bewerter    | Bewertung | ... |
|-----|--|-------------|-----------|-----|
| 1   | Abstimmungsprotokoll - Lenksystem- A1  | Blaimer     | 3         | ... |
| 2   | Abstimmungsprotokoll - Regelungen - A2 | Steinberger | 3         | ... |
| 3   | Abstimmungsprotokoll - Regelungen - A2 | Blaimer     | 1         | ... |
| 4   | Abstimmungsprotokolle                  | Steinberger | 1         | ... |
| 5   | Abstimmungsprotokolle                  | Blaimer     | 1         | ... |
| 6   | AkkuRechner                            | Steinberger | 0         | ... |
| 7   | Einarmiges_Pedalgestell                | Steinberger | 1         | ... |
| 8   | Grenzen und Verbrauch                  | Steinberger | 2         | ... |
| ... | ...                                    | ...         | ...       | ... |

Tabelle 6-2: Ausschnitt der Bewertungstabelle zum Prozess „Antriebstechnik auswählen“

Mithilfe der Bewertungstabelle kann nun die Präzision der Methode berechnet werden (Anteil der relevanten Dokumente an den angezeigten Dokumenten). Dazu werden die Bewertungen aller Nutzer nach ihren Kategorien zusammengefasst und zunächst auf **Plausibilität** geprüft. Hierbei fällt auf, dass ca. 12 % (232 von 1960) aller Bewertungen als fraglich eingestuft werden müssen. Als „nicht hilfreich“ bewertete Dokumente sind signifikant häufig bei zuvor als relevant eingeschätzten Dokumenten aufgetreten. Es kann daher zunächst davon ausgegangen werden, dass die Nutzer diese Relevanzbeziehung nicht kannten und daher falsch bewerteten.



Außerdem standen die Testpersonen sehr unter Zeitdruck, so dass sie nicht alle Dokumente der Ergebnisliste bis zur letzten Konsequenz bewertet haben. Die Qualität der einzelnen Nutzenbewertungen unterscheidet sich also deutlich. Diese beiden Faktoren verfälschen das Ergebnis entscheidend und werden daher bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Die Gesamtzahl zugrunde gelegter Bewertungen reduziert sich daher von 1960 auf 1728 (siehe auch Bild 10-1, Anhang B).

Nach der Plausibilitätsprüfung wird die Verteilung der einzelnen Nutzenbewertungen in folgendem Kreisdiagramm dargestellt (Bild 6-9):

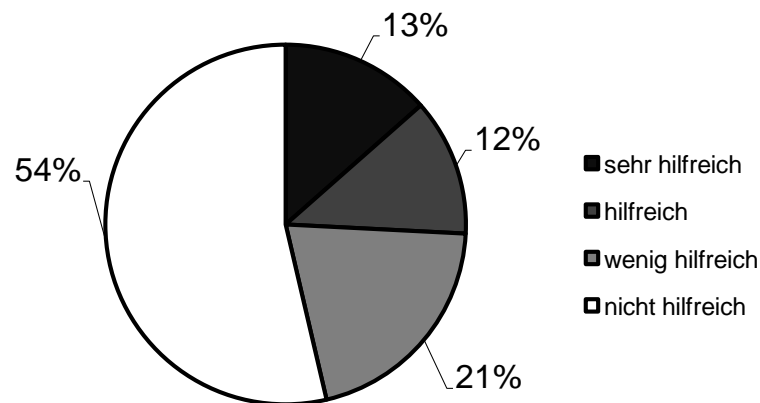


Bild 6-9: Verteilung der Nutzenbewertungen

Die Bewertungen *sehr hilfreich* und *hilfreich* werden als Kennzeichnung relevanter Dokumente gewertet. *Weniger hilfreich* wird als neutral und *nicht hilfreich* als irrelevant verstanden. Daraus ergibt sich eine Präzision von 46 %. Im Vergleich zu den Werten aus der Kalibrierungsphase in Kapitel 4.8.3 ist dieser Wert niedriger und zeigt die Bedeutung einer Evaluation für die Weiterentwicklung der Methode. Ursachen für die geringere Präzision im realen Anwendungsbeispiel als beim Abgleich mit dem Referenzsystem liegen offensichtlich in der komplexen Aufgabenstellung und der mangelnden Schulung für die Anwendung der Methode. Außerdem lässt die ermittelte Präzision auf einen hohen Vollständigkeitsgrad schließen, der aber aufgrund des Wissensstandes der Testpersonen nicht genauer untersucht werden konnte.

Der Nutzen der Methode für eine gezielte Bereitstellung von Dokumenten lässt sich nicht abschließend klären, da die Ergebnisse aufgrund mangelnder Schulung der Testpersonen verfälscht werden. Die Evaluation zeigt jedoch, dass durch den Einsatz der Methode mit geringem Aufwand für den Anwender relevante Dokumente zu Prozessschritten bereitgestellt werden können. Damit wird der Nachweis einer Methodeneffektivität erbracht, die eine Verbesserung der Informationsbereitstellung in dynamischen Entwicklungsprozessen unterstützt. Dieser Nachweis ist Ausgangspunkt und Legitimation für eine Weiterentwicklung der Methode.

## Übertragbarkeit

Durch die Analyse von Dokumenten und Prozessen, die durch unterschiedliche Anwender bewertet wurden, kann die Übertragbarkeit der Methode auf mehrere Anwender überprüft werden. Dazu werden Bewertungen verschiedener Nutzer verglichen, die sich auf denselben Prozess und dasselbe Dokument beziehen. Dadurch wird untersucht, wie verschiedene Anwender in einem bestimmten Prozess dasselbe Dokument bewerten.

Mittels der Datentabelle „Bewertungen“ können 5 Prozesse identifiziert werden, deren Ergebnislisten durch unterschiedliche Nutzer bewertet wurden. Im Rahmen aller fünf Prozesse können insgesamt 116 Dokumente gefunden werden, zu denen mehrere Bewertungen existieren (siehe Tabelle 6-3).

|                    | Prozess                         | Anzahl Mehrfachbewertungen pro Prozessschritt | Durchschnittliche Bewertungsunterschiede [Skalenteile] |
|--------------------|---------------------------------|---|--|
| 1                  | Motoreigenschaften herausfinden | 66  | 0,48   |
| 2                  | Schnittstellen abstimmen        | 4   | 0,25   |
| 3                  | Bordnetz entwerfen              | 36  | 1,17   |
| 4                  | Antriebstechnik auswählen       | 7   | 0,43   |
| 5                  | Bremskraft herausfinden         | 3   | 0,5  |
| <b>Mittelwert:</b> |                                 |   | <b>0,57</b>  |

Tabelle 6-3: Bewertungsunterschiede bei denselben Dokumenten und Prozessschritten

Die Tabelle stellt die Prozesse und deren jeweiligen erfassten mittleren (arithmetischen) Bewertungsunterschied der Anwender dar. Der errechnete Mittelwert des Bewertungsunterschiedes von *0,57 Skalenteilen* zeigt, dass die Methode überwiegend zu ähnlichen Bewertungen bei unterschiedlichen Nutzern führt. Es zeigt sich, dass in 84 % der Fälle der Bewertungsunterschied  $\leq 1$  Skalenteil ist und nur 16 % sich deutlicher unterscheiden. Bei genauerer Betrachtung der Fälle mit größeren Unterschieden kann festgestellt werden, dass diese alle im Prozess „Bordnetz entwerfen“ auftreten. In diesem Fall lassen sich die Unterschiede durch die verschiedenen Aufgabenbereiche bzw. Rollen der Anwender erklären und sind nicht durch die Methode verursacht.

## 6.3 Diskussion und Fazit der Evaluation

Die Evaluation der Beschreibungsmethode wurde mittels des Anwendungsbeispiels Elektrofahrzeugentwicklung mit sechs Testpersonen vorgenommen. Die Evaluation kann daher keinen Anspruch auf statistische Belastbarkeit erheben, gibt aber wichtige Anhaltspunkte zur Einschätzung der Methodeneffektivität. Die Evaluation wurde für die Datenerfassung beglei-

tend zum Projekt (formativ) und zur Auswertung nach Abschluss des zu betrachtenden Entwicklungszeitraumes (summativ) durchgeführt. Im Vordergrund stand der Erkenntnisgewinn über die Methodeneffektivität, welche mittels der Erfassung des Nutzens (Nutzenbewertungen) bzw. die Berechnung der Präzision und der Übertragbarkeit bewertet wurde. Zur Datenerhebung wurde das zur Anwendung der Methode entwickelte Rechnerwerkzeug aus Kapitel 5 um eine vierstufige Bewertungsskala ergänzt. Diese erfasst den Nutzen eines Dokuments für den Anwender und erlaubt so Rückschlüsse auf die Methodeneffektivität. Für die Durchführung der Evaluation wurde eine Einweisung zur Anwendung der Methode und des Rechnerwerkzeugs gegeben. Die während der Evaluation erhobenen Daten wurden in Datentabellen gespeichert, so dass nach Abschluss des Evaluationszeitraumes die Auswertung begonnen werden konnte.

Die formative und summative Evaluation haben dabei neue Erkenntnisse über die Methode geliefert. So werden 46 % aller angezeigten Dokumente als relevant durch die Nutzer bewertet (Präzision). Außerdem lässt sich zeigen, dass es kaum Bewertungsunterschiede für den Nutzen eines Dokuments für verschiedene Anwender gibt. Die mittlere Abweichung einer Bewertung beträgt *0,57 Skalenteile* und liegt damit unterhalb eines Skalenteils der Bewertungsskala. Dies liefert einen fundierten Ausgangspunkt, um die Methode auch auf mehrere Anwender übertragen zu können.

Dennoch ist die Präzision, die in der Evaluation ermittelt wurde, geringer als in Kapitel 4.8.3 beim Abgleich einer Einzelanwendung und bei einem Referenzsystem. Damit kann zwar eine Effektivität der Methode nachgewiesen werden, aber zeigt gleichzeitig den Optimierungsbedarf für die Methode. Auf Basis der Beobachtungen, die in der Dialogfunktion der Evaluation gemacht wurden, können mögliche Ursachen identifiziert werden. Es konnten unter anderem Schwierigkeiten der Probanden bei der Anwendung der Methode und bei ihrem erwarteten Nutzen für den Anwender beobachtet werden. Dies ist auf die im Nachhinein als unzureichend einzuschätzende Schulung der Anwender zurückzuführen, die vor allem für die Nutzung des prototypischen Rechnerwerkzeugs der Methode notwendig gewesen wäre. Durch die Optimierung des Rechnerwerkzeugs und eine entsprechende Schulung der Methodenanwendung ist mit einer größeren Effektivität und damit Präzision der Methode zu rechnen. Des Weiteren hängt der Präzisionswert von der Relevanzgrenze ab, die maßgeblich die Menge der angezeigten Dokumente beeinflusst. Eine Verringerung der Relevanzgrenze würde zu einem höheren Präzisionswert führen, allerdings immer zu Lasten der Vollständigkeit. In einer späteren breit angelegten Evaluation sollte der Vollständigkeitsgrad ebenfalls erfasst werden. Dies bedarf zusätzlicher Interviews, welche nicht angezeigte, aber relevante Dokumente von den Anwendern erfragen. Eine ursprünglich in das Softwarewerkzeug integrierte Funktion zur Erfassung der fehlenden Dokumente (Voraussetzung für die Ermittlung der Vollständigkeit) wurde von den Probanden kaum genutzt, da ihr Wissensstand dafür nicht ausreichte (siehe Kapitel 6.2.5).

Des Weiteren basiert die mittlere Abweichung der Bewertungen, welche für die Evaluation der Methodenübertragbarkeit notwendig ist, auf 5 verschiedenen Prozessen und 116 verschiedenen Dokumenten. Diese Datengrundlage könnte durch das Erzeugen einer größeren Dringlichkeit für die Anwendung der Methode und deren Nutzen für die Anwender gesteigert werden. Bei der Analyse der Daten wird ersichtlich, dass durch die eingeführte Kategorisierung

der Ergebnisliste in „Eigene Dokumente“, „Team-Dokumente“ und „Projekt-Dokumente“ meist nur eigene Dokumente mit einer Bewertung versehen wurden. Eine vollständige Bewertung aller angezeigten Dokumente würde die Datengrundlage für eine Einschätzung der Methodenübertragung entscheidend verbessern. Außerdem zeigen sich bei der Auswertung der 5 Prozesse und 116 Dokumente, dass der Nutzen auch vom Aufgabengebiet des Nutzers abhängt; er sollte daher in einer weiteren Dimension berücksichtigt werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Methode durch den Nachweis ihrer Effektivität und Übertragbarkeit auf mehrere Personen für weitere Forschung legitimiert ist. Es wird jedoch empfohlen, die benutzerspezifische Datenerfassung auszuweiten und neben der Präzision auch den Vollständigkeitsgrad umfangreich zu erfassen. In weiteren Anwendungsbeispielen und damit durchzuführenden Evaluationen sollte der Zeitaufwand für die Anwendung der Methode erfasst und verglichen werden. Damit kann zusätzlich zur Effektivität auch die Effizienz der Methode bewertet werden.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

*Wie die Analyse der aktuellen industriellen Praxis und Forschungsarbeiten zeigt, können Dokumente bisher nur statisch mit dem Prozess verknüpft werden. Bei dynamischen Prozessen treten während ihrer Ausführung allerdings neue Abläufe und Prozessschritte auf, zu denen dann relevante Dokumente aufwendig nachmodelliert werden müssen. Abhilfe schafft die hier entwickelte Methode zur integrativen Dokumenten- und Prozessbeschreibung. Sie setzt Dokumente mit Produktinformationen und dynamische Produktentwicklungsprozesse zueinander in Beziehung, indem sie eine halbautomatische Verknüpfung von Dokumenten und Prozessen ermöglicht. Die Beschreibungsmethode ermöglicht dadurch Dokumente, die für die Ausführung eines Prozesses relevant sind, zu erkennen und bereitzustellen. Dadurch trägt sie zur verbesserten Informationsbereitstellung in der Produktentwicklung bei. Im Folgenden werden die Forschungsarbeit zusammengefasst und Hinweise auf weiteren Forschungsbedarf gegeben.*

### Zusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Problematik der Bereitstellung von technischen Produktinformationen in dynamischen Produktentwicklungsprozessen. Dazu wurden die Ursachen wie Innovationsdruck, steigende Produkt- und Prozesskomplexität oder verteilte Produktentwicklung erläutert. Sie führen zu Unsicherheiten in Entwicklungsprozessen und gestalten eine Detailplanung auf operativer Prozessebene schwierig. Bestehende Informations- und Prozessmanagementsysteme (oder Workflowmanagementsysteme) können nur Prozesse abbilden, die durch ihre strikte Wiederholbarkeit sehr gut planbar sind (z. B. administrative Prozesse). Sie sind daher für die hier betrachteten dynamischen Produktentwicklungsprozesse nicht einsetzbar. Auch wissenschaftliche Ansätze zur Lösung dieses Problems scheitern an der Dynamik der Prozesse. Zwar gibt es Ansätze zur Integration von Produkt- und Prozessmodell oder prozessorientierte Informationssysteme bzw. flexible Workflowmanagementsysteme. Aber alle Ansätze basieren auf der vorherigen Modellierung von Dokumenten und Prozessen. Zur Laufzeit muss dann eine veränderte Verknüpfung manuell nachgepflegt werden. Die Flexibilität solcher Ansätze besteht also darin, überhaupt die technische Möglichkeit zu haben, das Modell auch zur Laufzeit anzupassen. Eine automatische Verknüpfung ohne weiteres Zutun kann damit nicht realisiert werden. Die Analyse der Informationsbereitstellung zeigt, dass der Aufwand für die Prozessmodellierung reduziert und auch die starren Verknüpfungen aller bestehenden Ansätze aufgelöst werden sollte.

Da die Anpassung der Informationsbereitstellung an dynamische Entwicklungsprozesse bisher nicht unterstützt wird, können richtige Informationen zur richtigen Zeit für die richtigen Personen nur bedingt zur Verfügung gestellt werden. **Ziel der Arbeit** ist es daher, die Informationsbereitstellung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen zu verbessern. Dabei sollen Beschaffungszeiten von technischen Produktinformationen verkürzt werden. Ingenieure sind sich – aufgrund der enormen Informationsflut und ihrer geringen Erfahrung in der vorherrschenden Informationslandschaft – des eigenen Informationsbedarfs und des Informa-

tionsangebotes nicht immer bewusst. Da bestehende Systeme keine dynamischen Entwicklungsprozesse unterstützen können, bestand bisher keine Möglichkeit für eine gezielte Informationsbereitstellung bei dynamischen Entwicklungsprozessen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird daher ein Lösungsansatz für die gezielte Bereitstellung von Produktinformationen verfolgt, welcher die Dynamik von Produktentwicklungsprozessen berücksichtigt. Das Ergebnis dieser Forschungsarbeit ist eine parameterbasierte Beschreibungsmethode für Dokumente und Prozessschritte, welche eine **integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung** für dynamische Produktentwicklungsprozesse ermöglicht. Die Methode sieht eine Beschreibung durch 5 Parameter vor, welche einen mehrdimensionalen Entwicklungsraum aufspannen. Die in Kapitel 4 definierten Parameter sind **Inhalt, Verwendungszweck, Konkretisierungsgrad, restlicher Entwicklungsaufwand** und **Vernetzungsgrad**. Mittels der Parameter können sowohl Dokumente als auch Prozessschritte in den Entwicklungsraum (Vektorraumprinzip) eingeordnet und über deren euklidischen Abstand zueinander in Beziehung gesetzt werden (siehe Bild 7-1). Je näher die Elemente beieinander liegen, desto ähnlicher sind deren Beschreibungen und desto größer damit auch deren gegenseitige Relevanz. Kern dieser Methode sind die identifizierten Parameter zur gemeinsamen Beschreibung von Dokumenten und Entwicklungsprozessschritten, die es in dieser Form bisher noch nicht gab.

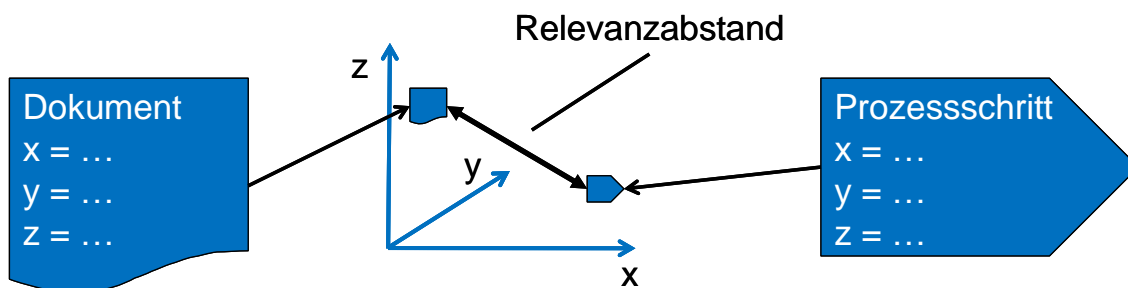


Bild 7-1: Verknüpfung von Dokumenten und Prozessschritten auf Basis des Vektorraumprinzips

Für die Entwicklung der Methode werden zunächst Anforderungen aus der Analyse der Informationsbereitstellung in der industriellen Praxis und Forschung ermittelt. Kernanforderung ist die bedarfsgerechte Bereitstellung von Dokumenten, welche bei bestimmten Tätigkeiten bzw. Prozessschritten benötigt werden. Für die Herleitung der Beschreibungsparameter werden reale Dokumentenlandschaften und Entwicklungsprozesse analysiert. Die identifizierten Dokumente werden in 57 Dokumententypen eingeteilt. Diese Dokumententypen werden dann auf Strukturierungs- bzw. Unterscheidungsmerkmale hin untersucht. In Kombination mit erfassten Charakterisierungsmöglichkeiten von Prozessschritten können so gemeinsame Beschreibungsparameter definiert werden. Die Definition dieser Parameter ermöglicht in Verbindung mit deren einzelnen Ausprägungen Dokumente und Prozesse so zu beschreiben, dass Ähnlichkeiten und damit Relevanzen bestimmt werden können. Um die Methodeneffektivität zu gewährleisten, wird außerdem eine Ex-ante Evaluation bezüglich eines Referenzsystems

durchgeführt. Dabei werden die durch die Methode erzeugten Verknüpfungen zwischen Dokumenten und Prozessen mit einem vorher in mehreren Workshops definierten Referenzsystem abgeglichen. Maßstab für den Abgleich sind die Kennzahlen Präzision und Vollständigkeit. Anhand des Abgleichs wird dann eine Kalibrierung der Methode durchgeführt.

Für eine aufwandsarme Methodenanwendung in der Praxis wird ein prototypisches Rechnerwerkzeug entwickelt. Dieses berücksichtigt neben allgemeinen Anforderungen wie Ergonomie und einer aufwandsarmen Einführung vor allem auch funktionale Anforderungen wie die Beschreibung von Dokumenten und Prozessschritten. Das Rechnerwerkzeug stellt die Beschreibungsparameter der Methode in einer Web-Oberfläche zur Verfügung, und ermöglicht, die jeweiligen Ausprägungen der Parameter sowohl für Dokumente als auch Prozessschritte auszuwählen. Anschließend zeigt das Rechnerwerkzeug auch alle durch die Methode und die hinterlegten Algorithmen errechneten Dokumente an.

Die Anzeige der Dokumente wird im Hinblick auf die abschließende Evaluation der Methode um eine vierstufige Bewertungsskala von 0 (nicht hilfreich) bis 3 (sehr hilfreich) erweitert. Außerdem besteht für die Anwender die Möglichkeit fehlende Dokumente anzugeben. Die Bewertungen können durch die implementierte Benutzerverwaltung personenspezifisch abgespeichert werden, was für die spätere Auswertung der Evaluation weitreichende Analysemöglichkeiten ermöglicht.

Die bereits während der Kalibrierung der Methode durchgeführte Ex-ante Evaluation wird durch eine formative und summative Evaluation ergänzt. Somit sind alle Phasen einer Evaluation abgedeckt. Ziel der Evaluation ist die Einschätzung der Methodeneffektivität in einem realen Entwicklungsprozess. Die Methodeneffektivität dient gleichzeitig auch als Indikator zur Einschätzung der Effizienz der Informationsbereitstellung durch die Methode. Als Anwendungsfall wird die Entwicklung eines Elektrofahrzeugs betrachtet, bei der 8 Entwickler den vollständigen Entwicklungsprozess durchlaufen. Zur Unterstützung der Methodenanwendung im Rahmen der Elektrofahrzeugentwicklung und zur begleitenden Evaluation (formativ) wird ein eigens entwickeltes Rechnerwerkzeug eingesetzt. Die so erfassten Daten sind dann Grundlage für die Auswertung (summativ). Wie bereits bei der Kalibrierung der Methode in Kapitel 4.8 wird auch hier die Präzision als Kennzahl eingesetzt. Die Vollständigkeit der angezeigten Dokumente wurde jedoch nicht erfasst, da zum einen die studentischen Probanden nicht über die Erfahrung verfügten, alle fehlenden Dokumente anzugeben; zum anderen, weil der Aufwand der Erfassung mittels umfangreicher Interviews im Vergleich zum Beitrag für die Bewertung der Methodeneffektivität als nicht gerechtfertigt bewertet wurde. Zusätzlich zur Präzision wird die Übertragbarkeit der Methode auf mehrere Nutzer überprüft.

Das Ergebnis der Evaluation zeigt, dass die Präzision der Methode im Anwendungsbeispiel Elektrofahrzeugentwicklung mit 46 % niedriger liegt als beim Abgleich mit dem Referenzsystem (76,9 %). Die Ursachen liegen offensichtlich in der komplexen Aufgabenstellung der Elektrofahrzeugentwicklung, welche eine ausführliche Schulung für die Anwendung der Methode voraussetzt.

Indiz für die Übertragbarkeit der Methode auf mehrere Nutzer ist die Gleichmäßigkeit, mit der unterschiedliche Nutzer die angezeigten Dokumente bewertet haben. 84 % der Probanden geben ähnliche Bewertungen ab, die sich mit durchschnittlichen *0,57 Skalenteilen* der Bewertungsskala nur geringfügig unterscheiden. Mittels der Evaluation der Methode am Praxisbei-

spiel kann der Nachweis ihrer Effektivität und Übertragbarkeit auf mehrere Personen erbracht werden. Des Weiteren wird die entwickelte Methode bei einem Workshop mit Industrievertretern diskutiert und als sehr interessant bewertet.

## **Ausblick**

Auf Basis der Evaluation der Methodeneffektivität lassen sich Verbesserungspotentiale erkennen, die in zukünftigen Forschungsarbeiten genauer untersucht werden können. So können in zukünftigen Evaluationen auch die Vollständigkeit und Effizienz der Methode ermittelt werden. Gleichzeitig könnte die Datenbasis durch weitere Evaluationen ausgeweitet werden, indem die zugrunde gelegten Entwicklungsbeispiele für die Erfassung der darin erzeugten und verwendeten Dokumenten- und Prozesslandschaften genutzt werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, bestehende Beschreibungsparameter zusätzlich abzusichern, weitere potentielle Beschreibungsparameter zu identifizieren und dadurch die Methodeneffektivität weiter zu steigern. Vor allem die Erweiterung der betrachteten Dokumentenlandschaft – über produktbezogene Informationen hinaus – auf organisatorische Dokumente führt zu weiteren Beschreibungsparametern (siehe auch Kapitel 2.2). Mittels der erweiterten Beschreibungsparameter der Methode kann die Informationsbereitstellung auch bei Unterstützungsprozessen verbessert werden.

Zur weiteren Verbesserung der Methodeneffektivität können auch statistische Verfahren zur Relevanzbestimmung in die Methode integriert werden. Durch das Erfassen des sogenannten „Relevance Feedback“ (BAEZA-YATES & RIBEIRO-NETO 1999, S. 118) können Dokumente, die von Nutzern häufig als relevant eingeschätzt bzw. verwendet werden, stärker in der Ergebnisliste berücksichtigt werden und die Präzision der Methode weiter verbessern. Das „Relevance Feedback“ muss dazu vom Rechnerwerkzeug protokolliert und in die Relevanzberechnungen durch die entsprechenden Algorithmen für die zukünftigen Ergebnislisten integriert werden.

Des Weiteren kann das Rechnerwerkzeug der Methode als Zusatzmodul in bestehende Produktdaten- oder Workflowmanagementsysteme integriert werden. Die Anwendung der Methode würde durch den dort implementierten direkten Zugriff auf Dokumente unterstützt werden, da der Nutzen für den Einzelnen unmittelbar erkennbar wird. Auf diese Weise können bestehende Systeme von der neuartigen Methode profitieren und eine bisher vermisste dynamische Komponente für dynamische Produktentwicklungsprozesse bereitstellen. In weiteren Forschungsarbeiten ist eine technische Integration in bestehende Systeme zu prüfen und in das jeweilige Gesamtkonzept zu integrieren. So kann der Transfer der Methode und das damit verbundene Rechnerwerkzeug in eine industrielle Anwendung unterstützt werden.

Als weitere Unterstützung solcher Systeme kann die Methode auch zur konventionellen Prozessmodellierung verwendet werden. Hierzu müsste untersucht werden, ob eine unreflektierte Anwendung in einem Prozessmodellierungsworkshop ein Grundgerüst an Verknüpfungen ergibt, auf dessen Basis ein erstes Prozessmodell aufwandsarm erstellt werden kann. In wie weit dies zeitliche und ergonomische Vorteile im Vergleich zu dem bisherigen Vorgehen bringt, kann in weiteren Forschungsarbeiten eruiert werden.



## 8 Literaturverzeichnis

### ABRAMOVICI & SIEG 2002

Abramovici, M.; Sieg, O. C.: Status and Development Trends of Product Life Cycle Management Systems. Conference on Integrated Product and Process Development, Wroclaw, 21.-22.11.2002.

### AHLEMANN et al. 2006

Ahlemann, F.; Teuteberg, F.; Brune, G.: Ontologiebasierte Attributierung von Informationsmodellen: Grundlagen und Anwendungsgebiete. Arbeitsbericht Nr. 01/2006. Universität Osnabrück, Forschungszentrum für Informationssysteme (2006).

### AHMED et al. 2004

Ahmed, S.; Kim, S.; Wallace, K. M.: Understanding the Knowledge Need of Novice Designers in the Aerospace Industry. Design Studies 25 (2004) 2, S. 155-173. ISSN: 0142-694X.

### AHMED et al. 2005

Ahmed, S.; Kim, S.; Wallace, K. M.: A Methodology For Creating Ontologies For Engineering Design. In: Proceedings of the 2005 ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference – Band 2. Long Beach, 24.09.-28.09.2005. ISBN: 0-7918-3766-1.

### AHMED et al. 2007

Ahmed, S.; Kim, S.; Wallace, K. M.: A Methodology for Creating Ontologies For Engineering Design. Journal of Computing Information Science and Engineering 7 (2007) 2, S. 132-140. ISSN: 1530-9827.

### AHMED & WALLACE 2003

Ahmed, S.; Wallace, K.M.: Indexing Design Knowledge Based Upon Description of Design Processes. In: Folkson, A. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design ICED 2003. Stockholm, 19.08.-21.08.2003. Glasgow: the Design Society 2003. ISBN: 1-904670-00-8.

### AHO & CORASICK 1975

Aho, A. V.; Corasick, M. J.: Efficient String Matching: An Aid to Bibliographic Search. Communications of the ACM 18 (1975) 6, S. 333-340. ISSN:0001-0782.

### AMFT 2002

Amft, M.: Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung. Zugl. Dissertation, Technische Universität München (2002). München: Dr. Hut 2002. ISBN: 3-89963-003-3.

ANDERL & PHILIPP 1999

Anderl, R.; Philipp, M.: Konstruktionswissenschaft und Produktdatentechnologie - Potentiale zur Verbesserung der Produktentwicklung. *Konstruktion* 51 (1999), S. 20-24. ISSN: 0720-5953, 1999.

ANDERL & TRIPPNER 2000

Anderl, R.; Trippner, D. (Hrsg.): *STEP - Standard for the Exchange of Product Model Data*. Stuttgart: Teubner 2000. ISBN: 3519063778.

APITZ et al. 2002

Apitz, R.; Lattner, A. D.; Schäffer, Chr.: Kontextbasiertes Wissensmanagement in der Produktentwicklung als Grundlage für anpassungsfähige Unternehmen. *Industrie Management* 3 (2002), S. 32-35.

ARNOLD et al. 2005

Arnold, V.; Dettmering, H.; Engel, T.; Karcher, A.: *Product Lifecycle Management beherrschen*. Berlin: Springer 2005. ISBN-10: 3-540-22997-3.

AURICH 2005A

Aurich, J. C. (Hrsg.): *Einführung von Workflowmanagementsystemen. Ein Leitfaden zur Anwendung von Groupware in der mittelständischen Wirtschaft*. Forschungsbericht, Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern (2005).

AURICH 2005B

Aurich, J. C. (Hrsg.): *Einführung von Dokumentenmanagementsystemen. Ein Leitfaden zur Anwendung von Groupware in der mittelständischen Wirtschaft*. Forschungsbericht, Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern (2005).

BACKHAUS et al. 2006

Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R.: *Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung*. 11. Auflage Berlin: Springer 2006. ISBN: 3-540-27870-2.

BAEZA-YATES & RIBEIRO-NETO 1999

Baeza-Yates, R.; Ribeiro-Neto, B.: *Modern Information Retrieval*. New York: Addison Wesley 1999. ISBN: 0-201-39829-X.

BECKER et al. 2005

Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.): *Prozessmanagement. Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung*. 5. Aufl. Berlin: Springer 2005. ISBN: 3-540-23493-4.

BICHLMAIER 2000

Bichlmaier, C.: *Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen*. Zugl. Dissertation. Technische Universität München (2000). München: Utz 2000. ISBN: 3-89675-710-5.

BLAIR & MARON 1985

Blair D. C.; Maron, M.E.: An Evaluation Of Retrieval Effectiveness For a Full-Text Document-Retrieval System. *Communications of the ACM* 28 (1985) 3, S. 289-299. ISSN: 0001-0782.

BLOCKS 2004

Blocks, D.: A Qualitative Study of Thesaurus Integration for End-user Searching. Dissertation University of Glamorgan (2004).

BLOCKS et al. 2006

Blocks, D.; Cunliff, D.; Tudhope, D.: A Reference Model for User-System Interaction in Thesaurus-Based Searching. *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 57 (2006) 12, S. 1655-1665.

BÖHM et al. 2005

Böhm, K.; Engelbach, W.; Härtwig, J.; Wilcken, M.; Delp, M.: Modelling and Implementing Prebuilt Information Spaces. *Architecture and Methods for Process Oriented Knowledge Management. Journal of Universal Computer Science* 11 (2005) 4, S. 605-633. ISBN: 3-540-36591-5.

BORG & GROENEN 2005

Borg, I.; Groenen, P.: *Modern Multidimensional Scaling: theory and applications*. 2. Aufl. New York: Springer 2005. ISBN: 0-387-25150-2.

BORTZ & DÖRING 2006

Bortz, J.; Döring, N.: *Forschungsmethoden und Evaluation – für Human- und Sozialwissenschaftler*. 4. Aufl. Berlin: Springer 2006. ISBN: 3-540-33305-3.

BREXEL 1997

Brexel, D.: *Methodische Strukturmodellierung komplexer und variantenreicher Produkte des integrativen Maschinebaus*. Zugl. Dissertation Universität Paderborn (1997). Paderborn: HNI 1997. ISBN: 3-931466-31-0.

BRIX et al. 2003

Brix, T.; Döring, U.; Reeßing, M.: Multi-Stage Modeling in early Phases of Design. In: Folkesson, A. et al. (Hrsg.): *Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design ICED 2003*. Stockholm, 19.08.-21.08.2003. Glasgow: the Design Society 2003. ISBN: 1-904670-00-8.

BROWN & WIDELL 2006

Brown, R.; Widell, R.: Managing Business Processes Through Collaborative Workflow Systems. In: Horváth, I.; Duhovnik, J. (Hrsg.): *Proceedings of the TMCE 2006*. Ljubljana, 18.04.-22.04.2006. Ljubljana: Universität Ljubljana 2006.

BROWNING & LÉVÁRDY 2009

Browning T. R.; Lévárđy, V.: An Adaptive Process Model to Support Product Development Project Management. *IEEE Transactions on Engineering Management* 56 (2009) 4, S. 600-620. ISSN: 0018-9391.

BRUZA & VAN DER WEIDE 1991

Bruza, P.D.; van der Weide, T.P.: The Modelling and Retrieval of Documents using Indexing Expressions. ACM SIGIR Forum 25 (1991) 2, S. 10-17. ISSN: 0163-5840.

CHALUPNIK et al. 2009

Chalupnik, M. J.; Wynn, D.; Clarkson, J. P.: Approaches to Mitigate The Impact of Uncertainty in Development Processes. In: Norell Bergendahl, M. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design ICED 2009. Stanford, 24.08.-27.08.2009. Glasgow: the Design Society 2009, S. 459-470. ISBN: 9-781904-670056. (Band 1).

CHIRA et al. 2006

Chira, O.; Chira C.; Roche T.; Tormey D.; Brennan, A.: An agent-based approach to knowledge management in distributed design. Journal of Intelligent Manufacturing 17 (2006), S. 737-750. ISSN: 0956-5515.

CHU 2003

Chu, H.: Information Representation and Retrieval in the digital age. Medford: Information Today Incorporated 2003. ISBN: 157387-172-9.

COLLIN 2001

Collin, H.: Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen. Zugl. Dissertation Technische Universität München (2001). München: Dr. Hut 2001. ISBN: 3-934767-39-7.

COLLINS-SUSSMAN & FITZPATRICK 2009

Collins-Sussman, B.; Fitzpatrick, B.-W.; Pilato, C. M.: Versionskontrolle mit Subversion: Für Subversion 1.5. <<http://svnbook.red-bean.com/nightly/de/svn-book.pdf>> - 04.11.2009.

CONKLIN & BEGEMAN 1988

Conklin, E. J.; Begeman, M. L.: gIBIS: A hypertext tool for exploratory policy discussion. ACM Transactions on Information Systems 6 (1988) 4, S. 303-331. ISSN: 1046-8188.

CONRAD et al. 2007

Conrad, J.; Deubel, T.; Köhler, C.; Wanke, S.; Weber, C.: Comparison of knowledge representation in PDM and by semantic networks. In: Bocquet, J.-C. (Hrsg.): Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design ICED 2007. Paris, 28.08.-31.08.2007. Glasgow: the Design Society 2007, S. 583-584. ISBN: 1-904670-02-4.

COX & COX 2001

Cox, T. F.; Cox, M. A. A.: Multidimensional Scaling. 2. Aufl. Boca Raton, Florida: CRC Press 2001. ISBN: 1-58488-094-5.

COXON 1982

Coxon, A. P.M.: The User's Guide to Multidimensional Scaling. With special reference to the MDS(X) library of Computer Programs. London: Heinemann Educational Books 1982. ISBN: 0-423-82252-7.

CROSSLAND et al. 2003

Crossland, R.; Sims Williams, J. H.; McMahon, C. A.: An object-oriented modeling framework for representing uncertainty in early variant design. *Research in Engineering Design* 14 (2003) 3, S. 173-183. ISSN: 0934-9839.

DADAM et al. 2009

Dadam, P.; Reichert, M.; Rinderle-Ma, S.; Göser, K.; Kreher, U.; Jurisch, M.: Von ADEPT zur AristaFlow BPM Suite – Eine Vision wird Realität „Correctness by Construction“ und flexible, robuste Ausführung von Unternehmensprozessen. *Ulmer Informatikberichte*, Universität Ulm (2009).

DEL-REY-CHAMARRO & WALLACE 2003

Del-Rey-Chamarro, F.; Wallace, K.: A Study of Information Retrieval in Aerospace Domain. In: Folkesson, A. et al. (Hrsg.): *Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design ICED 2003*. Stockholm, 19.08.-21.08.2003. Glasgow: the Design Society 2003. ISBN: 1-904670-00-8.

DEMERS 2000

Demers, M. T.: *Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen*. Zugl. Dissertation Technische Universität München (2000). München: Dr. Hut 2000. ISBN: 9 3-934767-14-1.

DETTMERING 2008

Dettmering, J. H.: *Disziplinübergreifendes Datenmanagement im automobilen Entwicklungsprozess*. Zugl. Dissertation Technische Universität München (2008). Göttingen: Sierke 2008. ISBN: 978-3-86844-003-4.

DIN EN ISO 9241-110 2008

DIN EN ISO 9241-110: *Ergonomie der Mensch-Maschine-Interaktion*. Berlin: Beuth 2008.

DIN EN 82045-1 2002

DIN EN 82045 Teil 1: *Dokumentenmanagement - Teil 1: Prinzipien und Methoden*. Berlin: Beuth 2002.

DIN EN 82045-2 2005

DIN EN 82045 Teil 2: *Dokumentenmanagement - Teil2: Metadaten und Informationsreferenzmodelle*. Berlin: Beuth 2005.

DYLA 2002

Dyla, A.: *Modell einer durchgängig rechnerbasierten Produktentwicklung*. Dissertation Technische Universität München (2002).

ECKERT & CLARKSON 2003

Eckert, C. M.; Clarkson, P. J.: *The Reality Of Design Process Planning*. In: Folkesson, A. et al. (Hrsg.): *Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design ICED 2003*. Stockholm, 19.08.-21.08.2003. Glasgow: the Design Society 2003. ISBN: 1-904670-00-8.

ECKERT et al. 2001

Eckert, C.; Clarkson, J.; Stacey, M.: Information Flow in Engineering Companies: Problems and their Causes. In: Culley, S. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design ICED 2001. Glasgow, 21.08.-23.08.2001. Glasgow: the Design Society 2001. ISBN: 1-86058-356-3. (Band 2).

EHRENSPIEL 2007

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. 3. Aufl. München: Carl-Hanser 2007. ISBN: 978-3-446-42013-7.

EIGNER & STELZER 2001

Eigner, M.; Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme. Ein Leitfaden für Product Development und Lifecycle Management. Dordrecht: Springer 2001. ISBN: 978-3-540-66870-5.

EIGNER & ZAGEL 1999

Eigner, M.; Zigel, M.: PDM-Technologie als Schlüssel für die virtuelle Produktentstehung. In: Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie. Düsseldorf: VDI-Verlag 1999 (VDI-Berichte 1497), S. 103-119. ISBN: 3-18-091497-1.

ENDIG 1999

Endig, M.: Ansatz einer Komponenten-basierten Prozeßsteuerung zur Modellierung und Ausführung von Engineeringprozessen. Tagungsband zum 1. Workshop Komponentenorientierte betriebliche Anwendungssysteme (WKBA 1). Magdeburg, 30.03.1999.

EVERSHEIM & SCHUH 2005

Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Berlin: Springer 2005. ISBN: 978-3-540-21175-6.

FAESKORN-WOYKE & BERTELSMEIER 2007

Faeskorn-Woyke, H.; Bertelsmeier, B.; Riemer, P.; Bauer, E.: Datenbanksysteme – Theorie und Praxis mit SQL2003, Oracle und MySQL. München: Pearson Studium 2007. ISBN: 3-827-37266-6.

FELDHUSEN & GEBHARDT 2008

Feldhusen, J.; Gebhardt, B.: Product Lifecycle Management in der Praxis. Ein Leitfaden zur modularen Einführung, Umsetzung und Anwendung. Berlin: Springer 2008. ISBN: 3-540-34008-9.

FERBER 2003

Ferber, R.: Information Retrieval, Suchmodelle und Data-Mining-Verfahren für Textsammlungen und das Web. Heidelberg: dpunkt 2003. ISBN: 3-89864-213-5.

FIDEL & GREEN 2004

Fidel, R.; Green, M.: The many faces of accessibility: engineer's perception of information sources. Journal of Information Processing and Management 40 (2004) 3, S. 563-581. ISSN: 0306-4573.

FTEVAL 2005

Fteval (Hrsg.): Standards der Evaluierung in der Forschungs- und Technologiepolitik. Wien: 2005.

GALLER 1997

Galler, J.: Vom Geschäftsprozessmodell zum Workflow-Modell. Wiesbaden: Gabler 1997. ISBN: 3-409-12322-9.

GARSHOL 2004

Garshol, L. M.: Metadata? Thesauri? Taxonomies? Topic Maps! Making sense of it all. *Journal of Information Science* 30 (2004) 4, S. 378-391. ISSN: 0165-5515.

GAUSEMEIER et al. 2006

Gausemeier, J.; Hahn, A.; Kespohl, H. D.; Seifert, L.: Vernetzte Produktentwicklung. Der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Network. München: Carl Hanser 2006. ISBN: 3-446-22725-3.

GEISLER 2009

Geisler, F.: Datenbanken – Grundlagen und Design. 3. Auflage Bonn: mitp 2009. ISBN: 3-826-65529-X.

GEORGAKOPOULUS & HORNICK 1995

Georgakopoulos, D.; Hornick, M.: An Overview of Workflow Management: From Process Modeling to Workflow Automation Infrastructure. *Journal of Distributed and Parallel Databases* 3 (1995) 2, S. 119-153. ISSN: 0926-8782.

GIERHAKE 1998

Gierhake, O.: Integriertes Geschäftsprozessmanagement: effektive Organisationsgestaltung mit Workflow-, Workgroup- und Dokumentenmanagement-Systemen. Braunschweig: Vieweg 1998. ISBN: 3-528-15665-1.

GOESMANN 2002

Goesmann, T.: Ein Ansatz zur Unterstützung wissensintensiver Prozesse durch Workflow-Management-Systeme. Dissertation Technische Universität Berlin (2002).

GORDON 1988

Gordon, M.: Probabilistic And Genetic Algorithms For Document Retrieval - Computing Practices. *Communications of the ACM* 31 (1988) 10, S. 1208-1218. ISSN: 0001-0782.

GRABOWSKI et al. 1993

Anderl, R.; Grabowski, H.; Polly, A.: Integriertes Produktmodell - Entwicklungen zur Normung von CIM. Berlin: Beuth 1993. ISBN: 3-410-12920-0.

GRAEBSCH et al. 2007

Graebisch, M.; Seering, W.; Lindemann, U.: Assessing Information Waste in Lean Product Development. In: Bocquet, J.-C. (Hrsg.): *Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design ICED 2007*. Paris, 28.08.-31.08.2007. Glasgow: the Design Society 2007, S. 553-554. ISBN: 1-904670-02-4.

GREBICI et al. 2008

Grebici, K.; Wynn, D.C.; Clarkson, P. J.: Modelling the Relationship between Uncertainty Levels in Design Descriptions and Design Process Duration. In: Fischer, X.; Ray, P. (Hrsg.): Proceedings of IDMME – Virtual Concept. Peking, 08.-10.10.2008.

GREBICI et al. 2009

Grebici, K.; Wynn, D.; Clarkson, P. J.: Describing information use in engineering design processes using a diagrammatic model. In: Norell Bergendahl, M. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design ICED 2009. Stanford, 24.08.-27.08.2009. Glasgow: the Design Society 2009, S. 571-582. ISBN: 9-781904-670056. (Band 1).

GRUBER 1993

Gruber, T.: A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition 5 (1993) 2, S. 199- 220. (www.sciencedirect.com ). ISSN: 0001-2998.

GRUNWALD 2002

Grunwald, S.: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung. Zugl. Dissertation Technische Universität München (2002). München: Utz 2002. ISBN: 3-8316-0095-3.

GÜNZLER 2005

Günzler, A.: Integrationskonzepte in der modellbasierten Produktentwicklung. Dissertation Technische Universität München (2005).

HARTMANN 1996

Hartmann, D.: Modell zur qualitätsgerechten Konstruktion. Zugl. Dissertation Technische Universität Clausthal (1996). Düsseldorf: VDI-Verlag 1996. ISBN: 3-18-326001-8.

HASTEDT-MARCKWARDT 1999

Hastedt-Marckwardt, C.: Workflow-Management-Systeme. In: Informatik Spektrum 22 (1999) 2, S. 99-109. ISSN: 0170-6012.

HECKER 2007

Hecker, M.: Entwicklung eines Konzeptes für die Erstellung und Verwaltung von technischen Dokumentationen auf der Basis einer integrierten Produktentwicklung. Dissertation Universität Duisburg-Essen (2007).

HELBIG 2006

Helbig H.: Knowledge Representation and The Semantics of Natural Language. Berlin: Springer 2006. ISBN: 978-3-540-24461-5.

HELMS et al. 2009

Helms, B.; Shea, K.; Hoisl, F.: A Framework for Computational Design Synthesis Based on Graph-Grammars and Function-Behavior-Structure In: Proceedings of the 2009 ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. San Diego, 30.08–02.09.2009.



HERCZEG 2005

Herczeg, M.: Softwareergonomie. Grundlagen der Mensch-Computer-Kommunikation. 2. Aufl. München: Oldenbourg 2005. ISBN: 3-486-25052-3.

HITZ et al. 2005

Hitz, M.; Kappel, G.; Kapsammer, E.; Retschitzegger, W.: UML@Work – Objekt-orientierte Modellierung mit UML 2. 3. Aufl. Heidelberg: dpunkt 2005. ISBN: 3-89864-261-5.

HOFFMANN 1998

Hoffmann, M.: Mitarbeiter-orientierte Erhebung und Modellierung von Geschäftsprozessen bei der Einführung von Workflow-Management. Forschungsbericht 681, Universität Dortmund (1998).

HOTHO et al. 2001

Hotho, A.; Staab, S.; Maedche, A.: Ontology-based Text Clustering. In: Proceedings of the 17th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Seattle, 04.08.–10.08.2001. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers 2001.

IEEE 1999

Institute of Electrical and Electronics Engineers (Hrsg.): IEEE Standard for Conceptual Modeling Language Syntax and Semantics for IDEF1X 97 (IDEF Object). New York, USA: 1999.

IRLINGER 1998

Irlinger, R.: Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung. Zugl. Dissertation Technische Universität München (1998). Aachen: Shaker 1998. ISBN: 978-3-8265-4714-0.

JABLONSKI 1997

Jablonski, S.: Architektur von Workflow-Management-Systemen. Informatik Forschung und Entwicklung 12 (1997) 2, S. 72-81. ISSN: 0178-3564.

JANIA 2005

Jania, T.: Änderungsmanagement auf Basis eines integrierten Produkt- und Prozessmodells mit dem Ziel einer durchgängigen Komplexitätsbewertung. Zugl. Dissertation Universität Paderborn (2005). Paderborn: Universität Paderborn Heinz Nixdorf Institut 2005. ISBN: 978-3-935433-75-4.

JAPISKE 2004

Japiske, R.: Structuring and Retrieving Engineering Design Information. Dissertation, Cambridge University Engineering Department, 2004.

JAPIKSE et al. 2003

Japikse, R.; Langdon, P.; Wallace, K. M.: Structuring engineering design information using a model of how engineers' intuitively structure design information. In: Folkesson, A. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design ICED 2003. Stockholm, 19.08.–21.08.2003. Glasgow: the Design Society 2003. ISBN: 1-904670-00-8.

JASPER & USCHOLD 1999

Jasper, R.; Uschold, M.: A framework for understanding and classifying ontology applications. In: Proceedings of the IJCAI-99 workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods (KRR5). Stockholm, 31.07.-06.08.1999.

JOERIS et al. 2000A

Joeris, G.; Wache, H.; Herzog, O.: MOKASSIN - Innovative Technologien zum Prozessmanagement und zur semantischen Datenintegration. KI Künstliche Intelligenz 3 (2000), S. 52-55. ISSN: 0933-1875.

JOERIS et al. 2000B

Joeris, G.; Wache, H.; Herzog, O.; Gronemann, B.: Flow.Net: Workflow Support for Inter-Organizational Engineering And Production Processes. International Journal of Agile Manufacturing, Special issue on Information Management for Productivity Enhancement, 2000. ISSN: 1741-9174.

JOSHI 2004

Joshi, A.A.: CAE Data Management Using Traditional PDM Systems. In: Proceedings of 2004 ASME Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. Salt Lake City, 28.09.-02.10.2004. ISBN: 0-791-83742-4.

KALUZA & BLECKER 2000

Kaluza, B.; Blecker, T.: Produktions- und Logistikmanagement in virtuellen Unternehmen und Unternehmensnetzwerken. Springer, 2000. ISBN: 3-540-67675-9.

KATZENBACH 2007

Katzenbach, A.: Informationstechnik und Wissensverarbeitung in der Produktentwicklung. Umdruck zur Vorlesung, Technische Universität Stuttgart (2007).

KEMPER & EICKLER 2006

Kemper, A.; Eickler, A.: Datenbanksysteme. Eine Einführung. 6. Auflage München: Oldenbourg 2006. ISBN: 3-486-57690-9.

KERR et al. 2004

Kerr, C. I.; Roy, R.; Sackett, P. J A: Product Ontology for Automotive Seat Specification. In: Proceedings of 2004 ASME Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. Salt Lake City, 28.09.-02.10.2004. ISBN: 0-791-83742-4.

KITAMURA & MIZOGUCHI 2003

Kitamura, Y.; Mizoguchi, R.: Ontology-based Description of Functional Design Knowledge and its Use in a Functional Way Server. Journal of Expert Systems with Applications 24 (2003) 2, S. 153-166. ISSN: 0957-4174.

KLEINSCHMIDT & RANK 2005

Kleinschmidt, P; Rank, C.: Relationale Datenbanksysteme – Eine praktische Einführung. 3. Aufl. Berlin: Springer 2005. ISBN: 3-540-22496-3.

KOPPENHÖFER et al. 2000

Koppenhöfer, C.; Böhm, T.; Krcmar, H.: Evaluation der CASTLE Umgebung für kooperatives Lernen. In: Deutsche Computer-Supported Cooperative Learning Tagung 2000. Darmstadt, 23.03.–24.03.2000.

KÖRNER 1998

Körner, F.: Effizienz im Büro – eine Utopie? - Zum Einsatz von Workflow Management Systemen. Kongress Büro Dynamik 97. Köln, 11.11.–13.11.1998. Köln: Mensch&Büro-Akademie, S. 239-254.

KRCMAR 2005

Krcmar, H.: Informationsmanagement. 3. Aufl. Springer 2005. ISBN: 3-540-23015-7.

KREHMER et al. 2009

Krehmer, H.; Eckstein, R.; Lauer, W.; Roelofsen, J.; Stöber, C.; Troll, A.; Weber, N.; Zapf, J.: Coping With Multidisciplinary Product Development - A Process Model Approach. In: Norell Bergendahl, M. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design ICED 2009. Stanford, 24.08.–27.08.2009. Glasgow: the Design Society 2009, S. 241-252. ISBN: 9-781904-670056. (Band 1).

KROMREY 2001

Kromrey, H.: Evaluation – ein vielschichtiges Konzept Begriff und Methodik von Evaluierung und Evaluationsforschung. Empfehlungen für die Praxis. Sozialwissenschaften und Berufspraxis 24 (2001) 2, S. 105-131.

KUFFNER & ULLMAN 1991

Kuffner, T. A.; Ullman, D. G.: The Information Requests of Mechanical Design Engineers. Design Studies 12 (1991) 1, S. 42-50. ISSN: 0142-694X.

LAUER & LINDEMANN 2008

Lauer, W.; Lindemann, U.: Initial Steps of Developing a Process Integrative Structuring of Documents Containing Product Information. In: Marjanovic, D. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 10th International Design Conference Design 2008. Dubrovnik, 19.05.–22.05.2008. Glasgow: the Design Society 2008, S. 817-824. ISBN: 978-953-6313-89-1.

LAUER & LINDEMANN 2009

Lauer, W.; Lindemann, U.: Dynamic Linking and Retrieval of Product Models to Product Development Processes. In: Norell Bergendahl, M. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design ICED 2009. Stanford, 24.08. –27.08.2009. Glasgow: the Design Society 2009, S. 31-42. ISBN: 9-781904-670124. (Band 8).

LEWANDOWSKI 2005

Lewandowski, D.: Web Information Retrieval: Technologien zur Informationssuche im Internet. Reihe Informationswissenschaft der DGI Band 7. Frankfurt am Main, 2005. ISBN: 3-925474-55-2.

LI et al. 2004

Li, Z.; Liu, M.; Ramani, K.: Review of Product Information Retrieval: Representation and Indexing. In: Proceedings of 2004 ASME Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. Salt Lake City, 28.09.–02.10.2004. ISBN: 0-791-83742-4.

LIBERTY 2005

Liberty, J.: Programmieren mit C#. 2. Aufl. Köln: O'Reilly 2005. ISBN: 3897-21415-6.

LINCKE 1995

Lincke, W.: Simultaneous Engineering. Neue Wege zu überlegenen Produkten. München: Carl Hanser 1995. ISBN: 3-446-18009-5.

LINDEMANN 2009

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3. Aufl. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3-642-01422-2.

MARSH 1997

M. J. Marsh.: The capture and utilisation of experience in engineering design. Dissertation University of Cambridge (1997).

MAEDCHE 2002

Maedche, A. S.: Semantikbasiertes Wissensmanagement: Neue Wege für das Management von Wissenssammlungen. In: Praxishandbuch Wissensmanagement, S.425-437, 2002. ISSN: 978-3-933814-97-5.

MARCA & MACGOWAN 1987

Marca, D.; MacGowan, C. L.: SADT: Structured Analysis and Design Technique. New York: McGraw-Hill 1987. ISBN: 0-07-040235-3.

MAURER 1996

Maurer, G.: Von der Prozessmodellierung zum Workflowmanagement - Teil 2: Prozessmanagement, Workflow Management, Workflowmanagement-Systeme. Arbeitspapier WI, Nr. 10, Universität Mainz (1996).

OLESHCHUK & PEDERSEN 2003

Oleshchuk, V.; Pedersen, A.: Ontology Based Semantic Similarity Comparison of Documents. In: Marik, V. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 14th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA'03). Prag, 01.09.–05.09.2003. Washington: IEEE Computer Society 2003, S. 735-738. ISBN: 0-7695-1993-8.

OREN & HALLER 2005

Oren, E.; Haller, A.: Formal frameworks for workflow modelling. DERI Technical Report, Digital Enterprise Research Institute, National University of Ireland, Galway (2005).

PAHL et al. 2007

Pahl, G.; Beitz W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklungsmethoden und Anwendung. 7. Aufl. Berlin: Springer 2007. ISBN: 3-540-34060-2.

PEARLSON & SAUNDERS 2004

Pearlson, K.; Saunders, C.: Managing and Using Information Systems. 2. Aufl. Hoboken: John Wiley & Sons 2004. ISBN: 0-471-34644-6.

PESIC & VAN DER AALST 2006

Pesic, M.; van der Aalst, W. M. P.: Declarative Approach for Flexible Business Processes Management. In: Eder, J. et al. (Hrsg.): BPM 2006 Workshops. Wien, 04.09.–07.09.2006. Berlin: Springer 2006, S. 169-180. ISSN: 0302-9743.

PETERS 1996

Peters, P.: Planning and Analysis of Information Flows in Quality Management. Dissertation Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (1996).

POLKE 2004

Polke, B.: Formalisierte Prozessbeschreibungen - Richtlinie VDI/VDE 3682. In: 1. Fachwissenschaftliches Kolloquium für Angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung an Fachhochschulen. Pforzheim, 11.03.–12.03.2004.

PONN et al. 2006

Ponn, J.; Deubzer, F.; Lindemann, U.: Intelligent Search for Product Development Information – An Ontology-Based Approach. In: Marjanovic, D. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 9th International Design Conference Design 2006. Dubrovnik, 15.05.–18.05.2006. Glasgow: the Design Society 2006, S. 1203-1210. ISBN 953-6113-78-2.

PONN & LINDEMANN 2008

Ponn, J.; Lindemann U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Berlin: Springer 2008. ISBN: 978-3-540-68562-3.

PORTER 2000

Porter, M. E.: Wettbewerbsvorteile. Spitzenleistungen erreichen und behaupten. 6. Aufl. Frankfurt/Main: Campus Fachbuch 2000. ISBN: 359-33617-87.

PROSTEP iViP 2008

ProSTEP iViP (Hrsg.): PSI 4 – Simulation Data Management: Empfehlung zur Integration der Simulation und Berechnung in eine PDM-Umgebung (SimPDM). Darmstadt 2008. ISBN: 978-3-9811864-9-9.

RADTKE et al. 2004

Radtke, P.; Zielke, A. E.; Abele, E.: Die smarte Revolution in der Automobilindustrie. Frankfurt: Redline Wirtschaftsverlag 2004. ISBN: 3-8323-1060-6.

RATH 2003

Rath, H.; Empolis GmbH (Hrsg.): The Topic Maps Handbook. Firmenschrift. Gütersloh:2003.

REICHERT 2000

Reichert, M.: Dynamische Ablaufänderungen in Workflow-Management-Systemen. Dissertation Universität Ulm (2000).

RICHTER 2005

Richter, M.: Eine Plattform zur Visualisierung von einander abhängiger Produktdaten im Produktlebenslauf. Dissertation Universität Karlsruhe (2005).

RICKAYZEN 2002

Rickayzen, A.: Workflow-Management mit SAP. Effektive Geschäftsprozesse mit SAPs WebFlow-Engine. Bonn: Galileo Press 2002. ISBN: 3-898-42190-2.

RUDE 1998

Rude, S.: Wissensbasiertes Konstruieren. Habilitationsschrift, Universität Fridericiana (TH) Karlsruhe. Aachen: Shaker 1998. ISBN: 3826539850.

SAAKE et al. 2008

Saake, G.; Sattler, K.-U.; Heuer, A.: Datenbanken – Konzepte und Sprachen. 3. Aufl. Heidelberg: mitp 2008. ISBN: 3-826-60619-1.

SACKS-DAVIS 1997

Sacks-Davis, R.: Indexing Documents for Queries on Structure, Content and Attributes. In: Yoshikawa, M. et al. (Hrsg.): Proceedings of the International Symposium on Digital Media Information Base. Nara, 26.11.–28.11.1997. Singapur: World Scientific Publishing Company 1998, S. 236-245. ISBN: 9810234376.

SAE 2009

SAE International (Hrsg.): 2010 Formula SAE Rules. USA, 2009.

SALTON & BUCKLEY 1988

Salton, G. B.; Buckley, C.: Term-weighting approaches in automatic text retrieval. Information Processing and Management 24 (1988) 5, S. 513-523. ISSN: 0306-4573.

SALTON & BUCKLEY 1991

Salton, G.; Buckley, C.: Automatic Text Structuring and Retrieval – Experiments in Automatic Encyclopedia Searching. In: Proceedings of the 14th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. Chicago, 13.10.–16.10.1991. New York: ACM Press 1991, S. 21-30. ISBN: 0-89791-448-1.

SALTON & MCGILL 1983

Salton, G.; McGill, M. J.: Introduction to Modern Information Retrieval. McGraw-Hill, 1983. ISBN: 0-070-54484-0.

SALTON & MCGILL 1987

Salton, G.; McGill, M. J.: Information Retrieval - Grundlegendes für Informationswissenschaftler. Hamburg: McGraw-Hill 1987. ISBN: 3-89028-051-X.

SCHÄFER 2006

Schäfer, T.: Marktorientierte Produktentwicklung und optimierte Time-to-Market durch den Einsatz eines Produkt Information Management Systems (PIM) im Gerätebau. Dissertation, Universität Duisburg-Essen (2006).

SCHÄPPI et al. 2005

Schäppi, B.; Andreasen, M.; Kirchgeorg, M.; Radermacher, F.-J.: Handbuch Produktentwicklung. München: Carl Hanser 2005. ISBN: 3-446-22838-1.

SCHEER 1996

Scheer, A.-W.: ARIS-House of Business Engineering: Von der Geschäftsprozessmodellierung zur Workflow-gesteuerten Anwendung; vom Business Process Reengineering zum Continuous Process Improvement. Heft 133, Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität des Saarlandes, Saarbrücken (1996).

SCHEER 1998

Scheer, A.-W.: Wirtschaftsinformatik: Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse. 2. Aufl. Berlin: Springer 1998. ISBN: 3-540-63728-1.

SCHIFFMAN et al. 1981

Schiffman, S.; Reynolds, M.; Young, F. W.: Introduction to Multidimensional Scaling: Theory, Methods, and Applications. New York: Academic Press 1981. ISBN: 0-126-24350-6.

SCHMITT 2000

Schmitt, R.: Unternehmensübergreifender Engineering Workflow. Dissertation, Technische Universität Clausthal, 2000.

SCHÖTTNER 1999

Schöttner, J.: Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie: Prinzip-Konzept-Strategien. Leipzig: Hanser Fachbuchverlag 1999. ISBN: 3-446-21152-7.

SCHULZ 2002

Schulz, A. P.: Systemtechnische Gestaltung der Informationsarchitektur im Entwicklungsprozess. Zugl. Dissertation Technische Universität München (2002). München: Utz 2002. ISBN: 3-831-60147-X.

SEEMANN & WOLFF VON GUDENBERG 2000

Seemann, J.; Wolff von Gudenberg, J.: Software-Entwurf mit UML. Berlin: Springer 2000. ISBN: 3-540-64103-3.

SEPP 2007

Sepp, S.: Role of PLM in Webasto's IT Strategy as Backbone for Global Data Management and Collaboration. In: 5. InnovationsFORUM Automobil 2007. München, 13.11.2007.

SHEA & STARLING 2003

Shea, K.; Starling, A.: From Discrete Structures To Mechanical Systems: A Framework For Creating Performance-based parametric Synthesis Tools. In: Lipson, H. et al. (Hrsg.): Spring Symposium on Computational Synthesis: From Basic Building Blocks to High Level Functionality. Menlo Park: AAAI Press 2003, S. 210-217. ISBN: 978-1-57735-179-5.

SIM & DUFFY 2003

Sim, S. K.; Duffy, A.: Towards an Ontology of Generic Design Activities. Research in Engineering Design 14 (2003) 4, S. 200-233. ISSN: 0934-9839.

SLEDGE 1995

Sledge, J.: Points of view. In: Bearman, D. (Hrsg.): Proceedings of the 3rd International Conference on Hypermedia and Interactivity in Museums (Multimedia Computing and Museums). San Diego, Oktober 9.10.–13.10.1995. Pittsburgh: Archives & Museums Informatics, S. 335-346. ISBN: 1-885626-11-8.

SPUR & KRAUSE 1997

Spur, G.; Krause F. L.: Das virtuelle Produkt – Management der CAD-Technik. München: Carl Hanser 1997. ISBN: 3-446-19176-3.

STAHLKNECHT & HASENKAMP 2004

Stahlknecht, P.; Hasenkamp, U.: Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 11. Aufl. Berlin: Springer 2004. ISBN: 3-540-01183-8.

STOCKMANN 2007

Stockmann, R. (Hrsg.): Handbuch zur Evaluation. Münster: Waxmann 2007. ISBN: 978-3-8309-1766-3.

STROUSTRUP 2000

Stroustrup, B.: Die C++-Programmiersprache. 4. Aufl. München: Addison-Wesley 2000. ISBN: 3-827-31660-X.

TUDHOPE & TAYLOR 1997

Tudhope, D.; Taylor, C.: Navigation via Similarity: Automatic Linking Based on Semantic Closeness. Information Processing & Management 33 (1997) 2, S. 233-242. ISSN: 0306-4573.

ULLMAN 2003

Ullman, D.G.: The Mechanical Design Process. 3. Aufl. New York: McGraw-Hill 2003. ISBN: 0-072-37338-5.

ULRICH & EPPINGER 2008

Ulrich, K.T.; Eppinger, S.D.: Product Design and Development. McGraw-Hill, International Edition 2008. ISBN: 0-073-10142-7.

UMEDA & TOMIYAMA 1995

Umeda, Y.; Tomiyama, T.: FBS-modeling: Modeling Scheme of function for conceptual design. In: Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Workshop on Qualitative Reasoning about Physical Systems. Amsterdam, 16.05.–19.05.1995, S. 271-278.



VAJNA et al. 2009

Vajna, S.; Weber, Chr. ; Bley, H.; Zeman, K.: *CAX für Ingenieure. Eine praxisbezogene Einführung*. 2. Aufl. Berlin: Springer 2009. ISBN: 3-540-36038-7.

VAN HOOF et al. 2003

van Hoof, A.; Fillies, C.; Härtwig, J.: *Aufgaben- und rollengerechte Informationsversorgung durch vorgebaute Informationsräume*. In: FÄHNRICH et al. (Hrsg.): *Content- und Wissensmanagement: Beiträge auf den LIT'03*. Leipzig, 24.09.–26.09.2003. Leipzig: Forschungsinstitut für Informationstechnologien (FIT) e.V., S. 1-9. ISBN: 3-934178-26-X.

VAN DER AALST & TER HOFSTEDÉ 2005

van der Aalst, W. M. P.; ter Hofstede, A. H. M.: *YAWL: Yet Another Workflow Language*. *Information Systems* 30 (2005) 4, S. 245-275. ISSN: 0306-4379.

VDI-RICHTLINIE 2219 2002

VDI Richtlinie 2219: *Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung – Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen*. Düsseldorf: Beuth 2002.

VDI-RICHTLINIE 2221 1993

VDI Richtlinie 2221: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf: Beuth 1993.

VDI/VDE-RICHTLINIE 3682 2005

VDI/VDE Richtlinie 3682: *Formalisierte Prozessbeschreibungen*. Düsseldorf: Beuth 2005.

ViCON GMBH 2003

ViCon GmbH: *Einführung in das Prozessmanagement – Ein Leitfaden*. Hannover: 2003.

VOSSEN & BECKER 1997

Vossen, G.; Becker, J. (Hrsg.): *Geschäftsprozeßmodellierung und Workflow-Management. Modelle, Methoden, Werkzeuge*. Bonn: Redline 1997. ISBN: 3-826-60124-6.

WALEROWSKI 2008

Walerowski P.: *Python – Grundlagen und Praxis*. München: Addison-Wesley 2008. ISBN: 3-827-32517-X.

WARTZACK 2000

Wartzack, S.: *Predictive Engineering - Assistenzsystem zur multikriteriellen Analyse alternativer Produktkonzepte*. Zugl. Dissertation Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (2000). Düsseldorf: VDI-Verlag 2001. ISBN: 3-18-333601-4.

WEBER 2005

Weber, C.: *CPM/PDD – An Extended Theoretical Approach to Modeling Products and Product Development Processes*. In: Bley, H. et al. (Hrsg.): *Proceedings of the 2nd German-Israeli Symposium on Advances in Methods and Systems for Development of Products and Processes*. Berlin, 07.07–08.07.2005. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag 2005, S. 159-179.

WEBER et al. 2002

Weber, C.; Werner, H.; Deubel, T.: A Different View on PDM and its Future Potentials. In: Marjanovic, D. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 7th International Design Conference Design 2002. Dubrovnik, 14.05.–17.05.2002. Glasgow: the Design Society 2006, S. 101-112. ISBN: 953-6313-45-6.

WEBER et al. 2004

Weber C.; Pohl M.; Steinbach M.: New Ideas for Knowledge Management in Product Development Projects. In: Marjanovic, D. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 8th International Design Conference Design 2004. Dubrovnik, 18.05.–21.05.2004. Glasgow: the Design Society 2004, S. 77-82. ISBN: 953-6313-59-6.

WEBER et al. 2007

Weber, H.; Lenhart, M.; Birkhofer, H.: Iterative semi-automatic modularization of documents and topic map generation for product development knowledge. In: Bocquet, J.-C. (Hrsg.): Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design ICED 2007. Paris, 28.08.–31.08.2007. Glasgow: the Design Society 2007, S. 547-548. ISBN: 1-904670-02-4.

WHITNEY et al. 1999

Whitney, D. E.; Dong, Q.; Judson, J.; Mascoli, G.: Introducing Knowledge-Based Engineering Into an Interconnected Product Development Process. In: Proceedings of the 1999 ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. Las Vegas, 12.09.-15.09.1999.

WIES 2007

Wies, R.: Verbesserung der Entwicklungsproduktivität am Beispiel der Prozesskette Antrieb. In: 5. InnovationsFORUM Automobil 2007. München, 13.11.2007.

WORKFLOW MANAGEMENT COALITION 1999

Workflow Management Coalition (Hrsg.): Terminology & Glossary. Dokumentennummer WPMC-TC-1011, Winchester: 1999.

WYNN 2007

Wynn, D. C.: Model-Based Approaches to Support Process Improvement in Complex Product Development. PhD University of Cambridge (2007).

WYNN et al. 2007

Wynn, D.; Eckert C.M; Clarkson P.J.: Modelling Iteration in Engineering Design. In: Bocquet, J.-C. (Hrsg.): Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design ICED 2007. Paris, 28.08.–31.08.2007. Glasgow: the Design Society 2007, S. 693-694. ISBN: 1-904670-02-4.

WYNN et al. 2009

Wynn, D. C.; Seena, MT. N.; Clarkson, P. J.: The P3 Platform: An Approach and Software System for Developing Diagrammatic Model-Based Methods in Design Research. In: Norell Bergendahl, M. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design ICED 2009. Stanford, 24.08.–27.08.2009. Glasgow: the Design Society 2009, S. 559-570. ISBN: 9-781904-670056. (Band 1).

ZWICKER 1998

Zwicker, E.: Unterstützung der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung durch den Einsatz moderner Informationstechnologien. Dissertation ETH Zürich (1998). Zürich: VDI-Verlag 1998. ISBN: 3-18-328820-6.



## 9 Anhang A

### 9.1 Dokumentenbeschreibungen

#### **Änderungsdokument**

Information über eine Änderung des Produkts und zugehöriger Dokumentation. Was wurde von wem, wann und wie geändert? Das Änderungsdokument ist sehr wichtig für eine konsistente Datenhaltung und die Kenntnis der Beteiligten über veränderte Zustände bzw. Bedingungen, die unbedingt berücksichtigt werden müssen. Das Änderungsdokument ist daher im gesamten PEP sehr nützlich, und ist vor allem bei mehreren, verteilt arbeitenden Personen nötig. Das Änderungsdokument muss richtig und vollständig sein sowie allen betroffenen Personen zur Verfügung gestellt werden.

#### **Anforderungsliste**

Nach CONRAD (CONRAD et al. 2007, S. 73) versteht man unter einer Anforderungsliste eine systematisch erarbeitete Zusammenstellung aller Daten und Informationen durch den Konstrukteur für die Konstruktion von Produkten. Sie dient der Klärung und der genauen Festlegung der Aufgabe und wird in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber erstellt und aktualisiert. Ihre Aufgabe ist zudem das Definieren von Zweck und Eigenschaften der Anforderungen. Nach LINDEMANN (2009) muss für die Entwicklung erfolgreicher Produkte eine Vielzahl von Anforderungen berücksichtigt werden. Quellen für mögliche Anforderungen sind z. B. der Markt, Gesetze, Normen, Unternehmensstrategien, der Wettbewerb oder auch der Kunde. Eine vollständige Anforderungsliste ist die Basis für eine zielgerichtete Lösungssuche (LINDEMANN 2009, S. 84). Bei komplexen Produkten wie einem Kfz kann sie sehr umfangreich werden (LINDEMANN 2009, S. 92). Im weiteren Verlauf des PE-Prozesses wird auf sie zurückgegriffen. Dies geschieht vor allem bei einer späteren Bewertung und Auswahl von Lösungsmöglichkeiten, da sie Anhaltspunkte für eine Gewichtung von Bewertungskriterien bereitstellt. Zudem unterstützt die Anforderungsliste die konsistente Bereitstellung von relevanten Informationen (LINDEMANN 2009, S. 95). Die Anforderung ist lösungsneutral, positiv und eindeutig zu formulieren, außerdem anspruchsvoll, aber erreichbar und zu Zwecken einer besseren Kommunikation auch quantifizierbar (LINDEMANN 2009, S. 97). Sie verursacht großen Aufwand für die Erstellung, trägt aber positiv zum Informationsaustausch bei (LINDEMANN 2009, S. 221). Nach EHRENSPIEL (EHRENSPIEL 2007, S. 380) soll sie sowohl möglichst in einem interdisziplinären Team erstellt als auch vom Projektleiter geprüft werden. Darüber hinaus existiert Software für ihre Erstellung und Aktualisierung. Nach der VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 10) ist die Anforderungsliste das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“. Sie ist für alle folgenden Arbeitsabschnitte eine begleitende und stets auf den neuesten Stand zu haltende Informationsquelle.

|  |
|--|
| <b>Baugruppenbeschreibungen</b>  |
| Baugruppenbeschreibungen sind textuelle und graphische Erläuterungen bzw. Beschreibungen von Baugruppen, die bei Bedarf auch auf technische Zeichnungen zurückgreifen. Sie vermitteln die Bauteilzusammenhänge (-Schnittstellen) und deren gemeinsame Gesamtfunktion bzw. Erklärung für die gemeinsame Gruppierung. Dieser Dokumententyp ist vor allem bei komplexen Produkten mit vielen Baugruppen und Zusammenhängen nötig, um die einzelnen Baugruppen zu erkennen und deren Zusammenbau im Gesamtsystem vorzubereiten. Baugruppenbeschreibungen werden meist beim Entwerfen und Ausarbeiten im PEP erstellt bzw. nach der Modularisierung oder der Lösungssuche definiert. Eine Baugruppenbeschreibung kann also verschieden konkret sein und je nach Anwendungsfall das Systemverständnis unterstützen. Ebenso hilft sie bei der Bewertung modularer Strukturen. |
| <b>Bedienungsanleitung</b>   |
| Sie ist ein Mittel zum Übertragen von Informationen an den Benutzer eines Produktes, wie dieses korrekt und sicher zu verwenden und zu bedienen ist. Eine Bedienungsanleitung beschreibt die Funktionsweise des Produkts und enthält Wartungsinformationen. Sie wird am Ende des PEP erstellt und erläutert das Produkt für den Kunden. Sie liefert eine komplette Produktbeschreibung der für den Kunden wichtigen Elemente. Inhalte der Bedienungsanleitung können für die kundengerechte Entwicklung nützlich sein.   |
| <b>Berechnungsergebnisse</b>   |
| Berechnungsergebnisse beschreiben Produkteigenschaften z. B. Belastungsfähigkeit oder Größe. Sie sind wichtig zur Einschätzung und Bestätigung von z. B. der Sicherheit und der Funktionsfähigkeit des Produkts. Alte Berechnungen können übernommen werden oder als Orientierung dienen und sollten daher archiviert werden, um bei folgenden Projekten Ressourcen einzusparen. Einfache Rechnungen können in Papierform vorhanden sein. Komplexere Rechnungen werden digital mithilfe von Software erstellt. Berechnungen werden in frühen Entwicklungsphasen wie Vorentwurf und Entwurf sowie auch in späten Phasen wie z. B. bei der Absicherung der Produkteigenschaften nach der Gestaltung benötigt.  |
| <b>Betriebsdaten</b>   |
| Betriebsdaten geben Auskunft über die Eigenschaften des Produkts während des Betriebs. Dazu gehören sowohl Betriebsbedingungen, wie z. B. benötigte Anschlüsse, als auch Betriebseigenschaften wie z. B. Abwärmeverhalten, Energieaufwand, Vibrationsverhalten usw. Die Abschätzung der erwarteten Betriebsdaten wird daher bereits bei der Anforderungsklärung vorgenommen und dort dokumentiert. Am Ende der Entwicklung können dann die konkreten Betriebsdaten des Produktes gemessen bzw. angegeben werden.   |

**Bewertungsergebnisse**

Bewertungsergebnisse fassen eine Bewertung übersichtlich zusammen. Die Bewertung wird nachvollziehbar dokumentiert und die Schlussfolgerungen werden erläutert. Bewertungsergebnisse beschreiben die Qualität von Lösungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Bewertungskriterien und ermöglichen so eine Unterstützung der Entscheidungsfindung und Vorbereitung. Bewertungsergebnisse sind vor allem in der Konzeptionsphase hilfreich, unterstützen aber auch bei der Vermeidung von Iterationen, falls vorherige Entscheidung erneut hinterfragt werden müssen.

**CAD-Modell**

Nach GÜNZLER (2005, S. 25 ff.) werden CAD-Modelle vor allem bei der Entwicklung komplexer technischer Produkte mithilfe von unterschiedlicher Software erstellt. Das CAD-Modell ermöglicht es, die geometrische Gestalt des Produkts in Form zwei- oder dreidimensionaler Darstellungen vollständig am Computer zu entwerfen. Der virtuelle Produktentwicklungsprozess wird durchgehend mithilfe von CAx-Software virtuell durchgeführt. Damit ist eine wesentlich schnellere und kostengünstigere Entwicklung möglich. CAD-Modelle sind rein virtuell und ermöglichen eine verhältnismäßig einfache und schnelle Simulation und Überprüfung angestrebter Produktionseigenschaften. Nach GÜNZLER ist jedoch die Übersichtlichkeit, Verständlichkeit und Handhabbarkeit eines Modells umso schwieriger, je aussagekräftiger es ist. Das CAD-Modell wird im Laufe des gesamten Entwicklungsprozesses in zahlreichen Partialmodellen und in einem interdisziplinären Umfeld angewendet. Nach der VDI-Richtlinie 2223 (2004, S. 68 ff.) können aus CAD-Modellen auch FEM-Berechnungen, Simulationen (z. B. Kinematiksimulation), NC-Programme für die Fertigung oder Rapid-Prototyping-Technologien abgeleitet werden. Weiter wird unterschieden, ob das CAD-Modell als 3D-Volumenmodell während des Entwurfsprozesses verwendet wird und das 2D-Modell während der späteren Ausarbeitung. Außerdem stellt der Einsatz von CAD-Modellen und der dafür benötigten Software erhöhte Anforderungen an den Konstrukteur und muss deshalb durch Vorbildung bzw. Schulung der Mitarbeiter unterstützt werden. Nach CONRAD (2005, S. 315 ff.) ist das CAD-Modell eine graphisch interaktive Erzeugung und Manipulation einer digitalen Objektdarstellung, z. B. die 2D-Zeichnungserstellung oder 3D-Modellbildung. Objekte können Einzelgruppen, Bauteile, Erzeugnisse oder Anlagen sein. Beim Entwerfen kann das CAD-Modell helfen, Bauteile zu modellieren, zu verbinden und anzuordnen, Baugruppen zu untersuchen und Simulationen durchzuführen. Aspekte bei der Ausarbeitung sind die Feingestaltung, die Einzelteilzeichnung aus abgeleiteten 3D-Modellen und der Zusammenbau, ausgehend von der Explosionszeichnung. Darüber hinaus kann eine Stückliste generiert werden.

|   |
|---|
| <b>Design/Layout</b>  |
| Das Design/Layout ist eine geometrische Darstellung des Produkts, das einen Überblick über die optischen Eigenschaften des Produktes bietet. Es unterstützt bei der Einschätzung des möglichen Markterfolges und trägt zur Bestimmung des Bauraums bzw. des Packagings bei.   |
| <b>Einflussmatrix</b>   |
| Die Einflussmatrix erfasst die gegenseitige Beeinflussung von Parametern. Oft sind diese Parameter Bauteile oder Funktionen, deren Einflüsse für die Definition von Schnittstellen und die Einschätzung von Änderungseinflüssen wichtig sind. Meist ist die Einflussmatrix in digitaler Form und in verschiedenen Konkretisierungsstufen wie z. B. Anforderungsebene oder Gestalt- bzw. Bauteilebene vorhanden. Über z. B. Aktiv- oder Passivsumme können Rückschlüsse auf die Größe der Einflüsse gezogen werden. Dies unterstützt das Systemverständnis und gibt Impulse für Entwicklungsschwerpunkte bzw. Gestaltungsfreiräume.  |
| <b>Fertigungsprozessplan</b>  |
| Nach CONRAD (2005, S. 166) ist die Erstellung eines Fertigungsplans nötig, da durch ihn Fertigungszeiten, Kosten und Qualität von Produkten abgesichert werden. Aus diesem Grund muss der Entwickler mit möglichen Fertigungsverfahren vertraut sein und die Regeln der fertigungsgerechten Gestaltung beherrschen. Diese gilt es bereits in der Konzeptphase zu berücksichtigen. Nach EHRENSPIEL (2007, S. 280) beschreibt der Fertigungsprozessplan, nach welchen Arbeitsschritten das Produkt gefertigt bzw. montiert werden muss. Außerdem werden konkrete geometrische Angaben festgelegt, die eine fertigungsgerechte Gestalt gewährleisten. Zusätzlich ist der Fertigungsplan eine wichtige Informationsquelle für die Logistik, welche alle für die Fertigung benötigten Teile in ausreichender Menge bereitstellen muss. |
| <b>Fertigungszeichnung</b>  |
| Fertigungszeichnung stellen detaillierte Zeichnungen des Produkts für die Fertigung dar und beinhalten daher genaue Maß- und Toleranzangaben sowie weitere Details, die für den Fertigungsprozess wichtig sind. Sie sind in Papierform und digital vorhanden, wobei die Fertigung noch meist die Papierform benötigt. Fertigungszeichnungen werden am Ende der Gestaltung erstellt, sobald das entwickelte Produkt oder Bauteil vollständig konkretisiert wurde. Fertigungszeichnungen sind Voraussetzung für die Freigabe des Bauteils oder Produktes.   |
| <b>FMEA - Dokument</b>  |
| FMEA - Dokument ist das dokumentierte Ergebnis einer FMEA. Es zeigt Schwachstellen und deren Auswirkungen auf das Produkt auf. Es kann präventiv zur Fehlervermeidung oder bei Auftreten von Fehlern bei der Identifikation der Ursachen und der damit verbundenen Auswirkungen eingesetzt werden (Risikoprioritätszahl). In Bezug auf den Produktlebenszyklus kann das Dokument zur frühen Abschätzung spätere Fehlerrisiken oder nach in Betriebnahme zur Analyse aufgetretener Fehler dienen.  |



### **Funktionsmodell / -struktur**

Nach PAHL/BEITZ (2007, S. 44) resultiert die Verknüpfung von Teilfunktionen zu einer Gesamtfunktion in einer Funktionsstruktur. Dabei wird zwischen umsatzorientierter, relationsorientierter und nutzerorientierten Funktionsstruktur unterschieden. In einer umsatzorientierten Funktionsstruktur kann z. B. der Energie-, Stoff- und/oder Signalumsatz nach bestimmten Regeln abgebildet werden und stellt so den Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangszustand eines Systems dar. Die Funktionsstruktur im Allgemeinen kann je nach Wahl des Systems verschiedene Konkretisierungsstufen repräsentieren. Anfangs ist die Funktionsstruktur sehr abstrakt, wird dann auf immer kleinere Teilfunktionen heruntergebrochen und somit immer konkreter. Sie soll die Lösungsfindung erleichtern, indem die Komplexität des Produkts in Teilfunktionen dargestellt wird. Nach LINDEMANN (2009, S. 265) sind es Zwecke der Funktionsmodellierung und damit letztendlich der Funktionsstruktur, das Systemverständnis zu fördern, den Umgang mit komplexen Systemen zu unterstützen, Strukturen und Verhalten technischer Systeme abzubilden, Eigenschaften von Systemen abstrakt darzustellen und Entwicklungsschwerpunkte festzulegen. Nach der VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 10) ist die Funktionsstruktur das Ergebnis des Arbeitsschrittes „Ermitteln von Funktionen“. Die Funktionsstruktur kann als Beschreibung bzw. formale Darstellung verstanden werden, welche vor allem bei Produkten mit komplexen Energie-, Stoff-, und Signalflüssen hilfreich ist.

### **Gesamtentwurf**

Nach der VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 11) ist der Gesamtentwurf das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Gestalten des gesamten Produkts“. Er enthält alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung. Darstellungsformen können maßstäbliche Zeichnungen, vorläufige Stücklisten, Instrumentenfließbilder und Ähnliches sein. Nach CONRAD (2005, S. 144, S. 225) wird die Entwurfszeichnung nach den Regeln des Technischen Zeichnens angefertigt, so dass einheitliche Darstellungen mit firmenspezifischen Besonderheiten vorliegen. Sie ist das Arbeitsergebnis der Ausarbeitung des Produkts.

### **Gestaltstudie**

Die Gestaltstudie stellt ähnlich wie das Design das Produkt graphisch dar, allerdings ist noch nicht alles endgültig definiert. Sie bewegt sich also noch in der Konzeptionsphase des Designs und wird daher mehrfach erstellt, um verschiedene Gestalten vergleichen zu können. Eine Gestaltstudie kann auch dazu beitragen, die Machbarkeit einer bestimmten Gestalt einzuschätzen.

### **Ideenformular**

Das Ideenformular ist eine strukturierte Sammlung von Lösungsmöglichkeiten für verschiedene Teilfunktionen des Produkts. Es ist das Ergebnis der Methode 6-3-5 und kann dabei unterstützen, Lösungen sukzessiv weiter zu entwickeln und Teamarbeit zu fördern. Die Lösungsmöglichkeiten werden in Skizzenform und kurzen textuellen Beschreibungen erläutert.

|   |
|---|
| <b>interner Projektauftrag</b>  |
| Der interne Projektauftrag ist Grundlage für die anstehende Entwicklung. Er enthält Informationen über die eigentliche Aufgabe und initiiert den Start der Entwicklung.   |
| <b>Konzeptheft</b>  |
| In der Konzeptphase des Entwicklungsprozesses werden auf Basis der zuvor definierten Funktionsstrukturen Wirkprinzipien festgelegt und verschiedene Lösungsvarianten entwickelt (Conrad, 2005, S. 97). Die einzelnen Konzepte werden dabei aus den einzelnen Prinzipien kombiniert und weiter konkretisiert, so dass eine Abschätzung z. B. der Machbarkeit oder Funktionstüchtigkeit möglich ist. Die verschiedenen Lösungsprinzipien und die daraus entstehenden Konzepte werden im Konzeptheft gesammelt und dienen der gesammelten Darstellung und ausführlichen Beschreibung aller Lösungsalternativen. Ziel des Konzeptheftes ist es, die für eine Bewertung und anschließende Auswahl benötigten Informationen über die Lösungsalternativen bereitzustellen. |
| <b>Kostenabschätzung</b>  |
| Eine Kostenabschätzung beschreibt das Produkt bzw. die einzelnen Produktteile und Prozessschritte in Bezug auf die Kosten. Es ist daher sehr wichtig, um die Umsetzbarkeit bzw. die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten und darf somit während des gesamten PEP nicht vernachlässigt werden. Zu Entscheidungspunkten wird die Kostenabschätzung gezielt erstellt, um auf möglichst aktueller Basis Entscheidungen treffen zu können.  |
| <b>Kundenauftrag</b>  |
| Der Kundenauftrag beschreibt das Produkt anhand der Kundenwünsche und -bedingungen (Kosten, Liefertermin, Volumen, usw.) an das zu entwickelnde Produkt. Der Entwickler sollte den Kundenauftrag genau kennen, da dessen Erfüllung die oberste Priorität besitzt. Der Kundenauftrag fließt zum Teil in das Lastenheft ein, das als Ausgangspunkt für die Verständigung zwischen dem Kunden und dem Unternehmen dient.   |
| <b>Lastenheft</b>   |
| Das Lastenheft ist die vom Auftraggeber festgelegte Gesamtheit aller Anforderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers. Es dokumentiert die Grundvoraussetzung für das zu entwickelnde Produkt. Das Lastenheft dient als Verständigungsgrundlage zwischen Kunde und Unternehmen und wird in weiteren Schritten in das Pflichtenheft im Sinne technischer Anforderungen überführt. Je besser das Lastenheft/die Anforderungen formuliert sind, desto leichter ist eine zielgenaue, anforderungsgerechte Umsetzung.  |
| <b>Lieferantendatenblatt</b>  |
| Das Lieferantendatenblatt enthält Informationen zu der Spezifikation, also den technischen Daten und Eigenschaften einer gelieferten Komponente. Diese Informationen sind entscheidend bei der Auswahl von Komponenten bei der Konkretisierung von Konzepten. Sie erlauben die Bewertung hinsichtlich der Eignung der Komponenten für bestimmte Lösungen.   |

### **Lösungsbeschreibungen / -prinzipien / prinzipielle Lösung**

Nach der VDI-RICHTLINIE 2221 (1993, S. 10) stellen die Lösungsbeschreibungen bzw. prinzipiellen Lösungen das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Lösungsprinzipien und deren Strukturen finden“ dar. Sie beinhalten die Wirkstrukturen zum Erfüllen einzelner Funktionen und können z. B. als Prinzipskizze, Schaltung oder Beschreibung dokumentiert werden. Auf ihrer Basis kann das Produktmodell der modularen Struktur entworfen werden. Nach PAHL/BEITZ (2007, S. 55) muss die Wirkstruktur einer Lösung durch eine überschlägige Berechnung oder eine grobmaßstäbliche Untersuchung der Geometrie quantifiziert und dadurch konkretisiert werden. Erst hierauf kann das Lösungsprinzip festgelegt werden, welches als prinzipielle Lösung für das Problem geeignet ist.

### **Machbarkeitsstudie**

Eine Machbarkeitsstudie untersucht die Machbarkeit von einzelnen Lösungen bzw. des Produkts. Dies beinhaltet sowohl die Überprüfung hinsichtlich Funktion und Kosten als auch z. B. der Fertigbarkeit.

### **Marktanalyseergebnisse**

Marktanalyseergebnisse stammen aus einer Marktstudie. In der Marktstudie werden Marktpotentiale durch Kundenbefragungen oder Datenanalysen ermittelt bzw. prognostiziert. Es können z. B. Fragen gestellt werden wie „Was will der Kunde?“, „Was bietet die Konkurrenz?“, „Wo gibt es bei uns neue Ideen?“, „Wer ist unsere Zielgruppe?“, „Wo im Produktlebenszyklus befinden sich unsere anderen Produkte?“, „Welchen Nutzen bringt das?“. Die Marktanalyse dient als Quelle für die Ermittlung von Kundenbedürfnissen und ist meistens mit größerem Aufwand verbunden (Mafo-Institute). Die Ergebnisse werden vor allem für die Anforderungsklä rung benötigt, um ein marktgerechtes Produkt zu entwickeln. Gleichzeitig können die Ergebnisse aber auch am Ende des PEP zur Überprüfung des entwickelten Produktes dienen. Marktanalysen werden sowohl intern erstellt als auch extern vergeben.

### **Materialliste**

Die Materialliste beschreibt das Produkt anhand der benötigten Materialien und enthält Informationen zu Lieferanten, Bezeichnungen, Materialmengen, Masse und Kosten. Sie erlaubt so eine Abschätzung der materialbedingten Eigenschaften des Produkts.

### **Meilensteindokumentation**

Die Meilensteindokumentation fasst Abschnitte im Entwicklungsprozess anhand des aktuellen Status zusammen (Meilensteine). Es wird der aktuelle Entwicklungsstand des Produkts beschrieben. Anhand der Meilensteindokumentation kann deshalb beurteilt werden, ob vorgesehene Entwicklungsstände erreicht worden sind oder ob Nachbesserung nötig ist. Über die Meilensteindokumentation sind vor allem auch weitere Dokumente verknüpft, auf die in der Meilensteindokumentation hingewiesen wird. Sie dient der Projektverfolgung und damit dem Projektmanagement. Dokumentationen aus früheren Meilensteinen können auch in späteren Phasen für die Kontrolle der Entscheidungsfindung herangezogen werden.

|  |
|--|
| <b>Messergebnisse</b>  |
| Der Dokumententyp „Messergebnisse“ enthält die Beschreibung und das Ergebnis von Messungen eines Produkts. Es beschreibt somit reale Eigenschaften des Produkts. Im Bereich der Gestaltung und Absicherung gewinnen Messungen eine immer größere Bedeutung. Sie dienen also der Überprüfung der Gestalt hinsichtlich der Anforderungen bzw. der geforderten Eigenschaften.   |
| <b>Mindmap</b>   |
| Eine Mindmap kann im Rahmen der Methode „Mind Mapping“ das Produkt und das damit verbundene Projekt strukturieren. Verschiedene Begriffe, Bauteile oder auch Organisations-elemente können durch eine graphische Darstellung miteinander assoziiert werden. Dies wird meist digital, manchmal auch in Papierform dokumentiert. Die Mindmap kann so die Produktstruktur und verschiedene Sichten, die die Entwicklung beeinflussen können, darstellen.  |
| <b>Modulare Struktur</b>   |
| Nach VDI-RICHTLINIE 2221 (1993, S. 10) basiert die modulare Struktur auf den prinzipiellen Lösungen und gliedert diese in für die Realisierung wesentliche Aspekte in Teilsysteme und Systemelemente. Sie kann sich an der Funktionsstruktur orientieren, um Funktionseinheiten als Module zu definieren. Sie beschreibt somit auch die Schnittstellen der Teilsysteme des Produkts. Darstellungsformen der modularen Struktur sind unter anderem Anordnungsskizzen, Graphen, Logikpläne, Strukturprogramme oder Fließbilder. Vor allem bei komplexen Produkten dient sie zur Reduktion von Komplexität und verbessert die Produkteigenschaften im Bereich der Montage, Fertigung oder auch Wartung. Außerdem ermöglicht die Modulare Struktur die Aufteilung und Parallelisierung der Konstruktionsarbeit. Es gibt Konstruktions-, Montage-, Wartungs-, Recycling-, Basis- und Variationsmodule. Ihre Darstellungsformen sind konkreter als die der Wirk- oder Funktionsstruktur. Die Verständlichkeit erfordert ähnlich wie bei den prinzipiellen Lösungen Vorkenntnisse.  |
| <b>Montageplan</b>   |
| Der Montageplan beschreibt, wie das Produkt im Rahmen der Fertigung montiert werden muss. Er muss vor allem bei der Gestaltung und Modularisierung berücksichtigt werden, da eine montagegerechte Gestaltung des Produktes wesentlichen Einfluss auf die effiziente Fertigung bzw. Montage und die Demontage beim Recycling oder der Wartung hat. Er wird meistens bei oder nach der Gestaltung erstellt. Des Weiteren muss der Montageplan bis zur Fertigungsfreigabe abgesichert sein. Ein unvollständiger oder nicht geprüfter Montageplan ist für eine weitere Verwendung nicht verwendbar. Die Planung der Montage ist aufgrund vieler Freiheitsgrade in der Gestalt und Anzahl der Teile mit großem Arbeitsaufwand verbunden. Er muss daher von Personen erstellt werden, die ein hohes Know-how bezüglich des Produkts, aber auch der Fertigung besitzen. Die Berücksichtigung des Montageplans im PEP bedeutet auch die Berücksichtigung firmenspezifischer Fertigungsvoraussetzungen (spez. Know-how, spez. Maschinen). Er kann sowohl digital als auch in Papierform vorliegen und wird nach speziellen Normen und Vorschriften erstellt. Er beinhaltet und verweist auf weitere Dokumente wie z. B. Arbeitsanweisungen oder technische Zeichnungen. |

**Morphologischer Kasten**

Nach LINDEMANN (2009, S. 279) ist die Anwendung des morphologischen Kastens eine Methode, die dazu geeignet ist, ein bestehendes Feld an Lösungsideen zu ordnen, einen Überblick sowohl über Teilfunktionen eines Systems als auch über Teillösungsideen zur Problemstellung zu schaffen. Somit wird er vor allem in den frühen Phasen der PE-Phasen eingesetzt wie dem Planen, Konzipieren und der Lösungssuche. Hilfreich ist seine Anwendung für die Aufteilung komplexer technischer Produkte in leichter zu bearbeitende Teilprobleme und die Zuweisung von Lösungsideen. Der Morphologische Kasten kann so der Dokumentation von gefundenen Lösungsideen, der Strukturierung und Verdichtung von Informationen oder als Grundlage für die Kombination von Gesamtlösungsideen dienen. Er kann sowohl rechnerunterstützt als auch auf Tafeln erstellt werden. Weiterhin ist der morphologische Kasten nach EHRENSPIEL (2007, S. 411) ein eindimensionales Ordnungsschema in matrizenartiger Darstellung.

**Nachweis Konzepttauglichkeit**

Der Nachweis der Konzepttauglichkeit enthält eine Analyse des Konzepts. Dazu wird das Konzept z. B. in Bezug auf die Anforderungen, Machbarkeit, Kosten und unter Berücksichtigung weiterer Entscheidungsfaktoren, wie z. B. der Unternehmensziele, untersucht. Es werden also Anforderungen, Sicherheit, Kundenwünsche, Fertigungsbedingungen, betriebswirtschaftliche und technische Aspekte beleuchtet. Aus der Analyse resultiert daher die Möglichkeit, die Tauglichkeit des Konzepts einzuschätzen.

**Packaging**

Das Package enthält Informationen über die Anordnung der einzelnen Bauteile und Gruppen zueinander. Meistens hat es zum Ziel so wenige Zwischenräume wie möglich entstehen zu lassen. Dies beinhaltet auch Wartungsstrategien, bei denen für spätere Wartungsarbeiten das Packaging Einfluss auf die Geschwindigkeit oder Kosten der Wartung hat. Ebenfalls werden mechanische, elektrische (EMV) und thermische Beeinflussungen im Packaging berücksichtigt, um z. B. das Durchschmoren von elektrischen Leitungen durch eng angebrachte Wärmequellen zu vermeiden.

**Patent**

Patente stellen eine juristische Beschreibung eines Lösungsprinzips bzw. Produkts dar, welches dieses eindeutig definiert (Funktionsweise, Aufbau, Zweck, usw.). Der Besitzer des Patents kann so sein Produkt juristisch vor Nachahmung schützen. Lösungsbeschreibungen bzw. Produktbeschreibungen ähneln denen in Patenten, haben aber keinen rechtlichen Status wie das Patent.

|  |
|--|
| <b>Pflichtenheft</b>   |
| <p>Im Pflichtenheft werden die Inhalte des zuvor ausgearbeiteten Lastenhefts präzisiert, indem die abstrakten Anforderungen des Lastenhefts in technische Anforderungen übersetzt werden. Je nach Produkt und Geschäftsbeziehung wird erst nach der Erstellung des Pflichtenhefts und dessen Abstimmung mit dem Kunden der Auftrag erteilt. Erst im Pflichtenheft sind die Anforderungen so konkretisiert, dass der Kunde einschätzen kann, welche Eigenschaften das Produkt am Ende haben soll. Das Pflichtenheft muss als erweiterte Vertragsgrundlage vollständig und nachvollziehbar sein.</p>   |
| <b>Prinzipzeichnung (Skizze)</b>   |
| <p>Prinzipzeichnungen sind digital oder in Papierform vorhanden. Diese Art Zeichnungen können in verschiedensten Konkretisierungsgraden erstellt sein. Sie dienen dem Festhalten von spontanen Ideen und der Darstellung von Lösungsprinzipien, um sie anderen zu vermitteln oder sie auch hinsichtlich ihrer Funktionstüchtigkeit analysieren zu können. Sie sind meist Grundlage für die Konzeptentwicklung bzw. sind Teil der Lösungssuche und der Schaffung eines Lösungspools.</p>  |
| <b>Produktlogik</b>  |
| <p>Die Produktlogik stellt in Ergänzung zur Produktstruktur die Querverbindungen zwischen den einzelnen Elementen dar. Dadurch können gegenseitige Beeinflussungen zwischen baugruppenübergreifenden Elementen erkannt und bei der Gestaltung berücksichtigt werden. Die Produktlogik ist auch Grundvoraussetzung, um das Produktverhalten abschätzen zu können. Die Produktlogik kann z. B. durch Kombination der Einflussmatrix mit der Produktstruktur abgebildet werden. Sie dient der Einschätzung der Zusammenhänge und des Systemverhaltens und unterstützt somit die Eigenschaftsanalyse und Absicherung des Produkts.</p>                 |
| <b>Produktstruktur</b>   |
| <p>Die Produktstruktur ist ein produktdarstellendes Modell, das die Gesamtheit der nach bestimmten Gesichtspunkten (z. B. Fertigung, Montage, Funktion, Disposition, Kalkulation) festgelegten Beziehungen zwischen Baugruppen und Einzelteilen eines Produktes beschreibt. Sie ist die strukturierte Zusammensetzung des Produktes aus seinen Komponenten. Baugruppen und Einzelteile führen dabei zu Strukturstufen, die Komponenten auf tieferer Ebene in der Produktstruktur zusammenfassen. Eine Produktstruktur spiegelt demnach die Zusammensetzung eines Erzeugnisses wider. Somit bildet sie auch die Komplexität eines Produktes ab.</p> |
| <b>Projektdokumentation</b>  |
| <p>Die Projektdokumentation ist eine Zusammenstellung ausgewählter, wesentlicher Daten über Konfiguration, Organisation, Mitteleinsatz, Lösungswege, Ablauf und geplante, erreichte Ziele des Projektes. Diese Dokumentation wird projektbegleitend geführt und stellt am Ende des PEP wichtige Informationen über die Entscheidungsfindung, den Verlauf und mögliche Schwierigkeiten bereit.</p>  |

**Prototyp (Dokumentation)**

Die Dokumentation eines Prototypen eines Produktes enthält dessen Beschreibung. Darin wird seine Funktionsfähigkeit beschrieben, ist oft aber auch nur ein vereinfachtes Versuchsmodell eines geplanten Produktes. Es gibt reale oder virtuelle (CAD) Prototypen, wobei virtuelle selbst als Dokument betrachtet werden können. Reale Prototypen werden nur durch deren Dokumentation erfasst. Ein Prototyp wird zur besseren Einschätzung der Produkteigenschaften erstellt. Er dient unter anderem der Absicherung der Fertigbarkeit und zur Bestimmung des Produktverhaltens unter Betriebsbedingungen. Er unterstützt also auch die Vorbereitung für die Serienproduktion.

**Prüfanweisung**

Die Anweisung für die Durchführung einer Qualitätsprüfung gibt an, wie eine Prüfung durchzuführen ist. Sie beschreibt die einzelnen Schritte des Prüfvorgangs. Eine Prüfanweisung wird auf Basis von Qualitätsanforderungen während der Anforderungsklä rung erstellt bzw. berücksichtigt und stellt daher Produktinformationen über angestrebte Produkteigenschaften bzgl. Qualität bereit. Sie kann jedoch erst durch Festlegung der Gestalt und die tatsächliche Umsetzung endgültig definiert werden, denn für Prüfungen müssen definierte Prüfstellen nach bestimmten Prüfvorschriften berücksichtigt werden. Die Prüfanweisung steht in enger Verbindung zum Prüfplan, der auf abstrakterer Ebene mehrere Prüfanweisungen koordiniert.

**Prüfplan**

Der Prüfplan gibt vor, was, wann, mit welcher Methode und wie häufig geprüft werden muss. Diese Informationen sind sowohl für die geforderte Qualität als auch die Fertigung des Produktes entscheidend. Er koordiniert dabei Prüfanweisungen und gibt deren Reihenfolge vor. Dadurch ergeben sich bestimmte Produkteigenschaften, die in regelmäßigen Intervallen Prüfungen standhalten müssen.

**Qualitätsprüfungsdaten**

Qualitätsprüfungsdaten beschreiben das Produkt hinsichtlich seiner ermittelten Qualitätseigenschaften. Qualitätsprüfungsdaten geben Informationen über Schwächen/Fehler (Qualitätsmängel) des Produktes und helfen entsprechende Gegenmaßnahmen abzuleiten. Je nach Prüfverfahren und Anzahl der Prüfungen können statistisch belastbare Aussagen getroffen werden. Die Daten werden meistens während oder nach der Fertigung erfasst, können aber auch bereits bei der Prototypenherstellung aufgenommen werden.

**Recyclingplan**

Der Recyclingplan beschreibt das Produkt hinsichtlich des Recyclingprozesses. Er bildet gesetzliche Vorschriften und Normen ab, die berücksichtigt werden müssen. Der Recyclingplan bietet daher eine wichtige Informationsquelle für Anforderungsklä rung, die Konzeptentwicklung als auch die Gestaltung, da das Recycling in der Konstruktion bestmöglichst berücksichtigt werden muss ( z. B. Trennung von Materialien, Demontage, Verbindungstechniken, usw.). Auch bei der Bestimmung der Kosten spielt der Wiederverwendungsgrad von Rohstoffen oder ganzen Bauteilen eine große Rolle.

|  |
|--|
| <b>Richtlinien/Normen/Gesetze/Vorschriften</b>   |
| Richtlinien/Normen/Gesetze/Vorschriften für Produkte stammen aus den verschiedensten Bereichen wie Gesetz, Normungsausschüssen oder maßgebenden Vereinen. Sie müssen eingehalten werden, um z. B. zugelassen zu werden oder auch Strafzahlungen für Nichteinhaltung von Grenzwerten zu vermeiden. V. a. die Bereiche Sicherheit und Umwelt haben somit einen großen Einfluss auf die Entwicklung und die späteren Eigenschaften des Produkts. Sie müssen zu Beginn der Entwicklung in alle Überlegungen einfließen und stellen einen großen Teil der Anforderungen an ein Produkt. |
| <b>Schaltplan</b>  |
| Ein Schaltplan ist die grafische Darstellung einer Schaltung und beschreibt das Produkt hinsichtlich seiner konkreten elektrischen Schaltungen. Der Schaltplan erlaubt eine Berechnung bzw. Überprüfung der elektrischen Funktionen und Eigenschaften des Produkts. Er ist die Grundlage für die spätere physische Verdrahtung (Kabel, Platine, Funk, usw.), vergleichbar mit einer technischen Zeichnung aus der Mechanik.  |
| <b>Simulations- &amp; Berechnungsergebnis (Report)</b>   |
| Sie beschreiben das Produkt nach bestimmten Kennwerten. Deren Interpretation liefert Aussagen über gewisse Eigenschaften des Produkts bezogen z. B. auf seine Festigkeit und Steifigkeit, aber auch die Leistung von Funktionen des Produkts. Simulationen werden zur Absicherung und Analyse der Eigenschaften sowohl am realen Prototypen als auch im virtuellen Modell durchgeführt. Sie unterstützen bei der Berechnung von Kennwerten und bei der graphischen Darstellung der Berechnungsergebnisse.  |
| <b>Skizze/Entwurf</b>  |
| Skizzen werden meist auf Papier festgehalten und für die datentechnische Verwaltung digitalisiert. Sie werden für die geometrische Darstellung einer Idee bzw. einer Lösung verwendet und unterstützen so die Lösungsfindung (Entscheidungshilfe). Anhand der Skizzen können erste grobe Einschätzungen der Eigenschaften gemacht werden.  |
| <b>Stückliste</b>  |
| Eine Stückliste dokumentiert alle Einzelteile bzw. Bauteile einer Komponente ohne ihre Funktionen zu beschreiben. Die Stückliste enthält Informationen über Zukaufteile etc.. Sie ist in Papierform oder digital vorhanden. Sie wird vor allem nach der endgültigen Festlegung der Produktgestalt und der Freigabe in der Fertigung eingesetzt.  |
| <b>Tatsächliches Leistungsprofil</b>   |
| Das tatsächliche Leistungsprofil beschreibt die Leistungsfähigkeit des endgültigen Produkts. Es dient dem Abgleich der tatsächlichen "Leistung" des Produkts mit den Anforderungen und kann daher erst nach der Herstellung erfasst werden. In Bezug auf das Benchmarking kann ein tatsächliches Leistungsprofil auch für die Anforderungsklä rung für weitere Produkte verwendet werden.  |



|   |
|---|
| <b>Teilekatalog</b>   |
| Ein Teilekatalog dient als Informationsquelle für zu verwendende Bauteile, die im Produkt eingesetzt werden könnten. Er unterstützt bei der Lösungssuche und regt zur Ideenfindung an.  |
| <b>Vertriebsunterlagen (kundenspezifisch)</b>   |
| Die Vertriebsunterlagen ergänzen den internen Projektauftrag durch die dem Kunden kommunizierten Bedingungen des Auftrags. Um eine maximale Kundenberücksichtigung zu erreichen, können Vertriebsunterlagen wichtige Informationen über Zielkosten und Auftragsgegenstand liefern. Der Austausch dieser Informationen kann Missverständnisse zwischen Vertrieb und Entwicklung frühzeitig vermeiden.  |
| <b>Vorentwurf</b>   |
| Nach VDI-RICHTLINIE 2221 (1993, S. 11) bestehen Vorentwürfe aus grob maßstäblichen Zeichnungen für die maßgebenden Module und basieren so auf den modularen Strukturen und deren Lösungsprinzipien. Der Vorentwurf ist die Basis für den Gesamtentwurf und findet somit in einer späteren Phase des PE-Prozesses, in der Entwurfsphase, seine Anwendung. Es findet ein wichtiger Konkretisierungsschritt statt. Der Konkretisierungs- und Vollständigkeitsgrad wird nur soweit vorangetrieben, dass ein Erkennen und Auswählen eines Gestaltungsoptimums möglich wird. Der Vorentwurf dient dem Vorgestalten. |
| <b>Wartungsanleitung</b>  |
| Eine Wartungsanleitung beschreibt die Wartungsintervalle und die durchzuführenden Wartungsarbeiten. Darin wird auch das Vorgehen beschrieben, wie die Wartung durchzuführen ist (z. B. Demontage). Für die Entwicklung und Gestaltung des Produktes können geforderte Wartungsmaßnahmen wichtig sein, gleichzeitig kann aber bei fehlenden Wartungsanforderungen die Wartung auch aus der Konstruktion resultieren.   |
| <b>Zusammenstellungszeichnung</b>   |
| Die Zusammenstellungszeichnung stellt eine Baugruppe mit ihren Anschluss- und Außenmaßen dar. Sie dient der geometrischen Darstellung der Baugruppe und ermöglicht eine Analyse der Baugruppe z. B. hinsichtlich Kollisionen, Funktion oder Montierbarkeit. Sie ist eine wichtige Informationsquelle für die Fertigung.   |

## 9.2 Textanalyse der ausgewählten 10 Dokumente

### Anforderungsliste

Nach CONRAD (CONRAD et al. 2007, S. 73) versteht man unter einer Anforderungsliste eine systematisch erarbeitete Zusammenstellung aller Daten und Informationen durch den Konstrukteur für die Konstruktion von Produkten. Sie dient der Klärung und der genauen Festlegung der Aufgabe und wird in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber erstellt und aktualisiert. Ihre Aufgabe ist zudem das Definieren von Zweck und Eigenschaften der Anforderungen. Nach LINDEMANN (2009) muss für die Entwicklung erfolgreicher Produkte eine Vielzahl von Anforderungen berücksichtigt werden. Quellen für mögliche Anforderungen sind z. B. der Markt, Gesetze, Normen, Unternehmensstrategien, der Wettbewerb oder auch der Kunde. Eine vollständige Anforderungsliste ist die Basis für eine zielgerichtete Lösungssuche (LINDEMANN 2009, S. 84). Bei komplexen Produkten wie einem Kfz kann sie sehr umfangreich werden (LINDEMANN 2009, S. 92). Im weiteren Verlauf des PE-Prozesses wird auf sie zurückgegriffen. Dies geschieht vor allem bei einer späteren Bewertung und Auswahl von Lösungsmöglichkeiten, da sie Anhaltspunkte für eine Gewichtung von Bewertungskriterien bereitstellt. Zudem unterstützt die Anforderungsliste die konsistente Bereitstellung von relevanten Informationen (LINDEMANN 2009, S. 95). Die Anforderung ist lösungsneutral, positiv und eindeutig zu formulieren, außerdem anspruchsvoll, aber erreichbar und zu Zwecken einer besseren Kommunikation auch quantifizierbar (LINDEMANN 2009, S. 97). Sie verursacht großen Aufwand für die Erstellung, trägt aber positiv zum Informationsaustausch bei (LINDEMANN 2009, S. 221). Nach EHRENSPIEL (EHRENSPIEL 2007, S. 380) soll sie sowohl möglichst in einem interdisziplinären Team erstellt als auch vom Projektleiter geprüft werden. Darüber hinaus existiert Software für ihre Erstellung und Aktualisierung. Nach der VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 10) ist die Anforderungsliste das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“. Sie ist für alle folgenden Arbeitsabschnitte eine begleitende und stets auf den neusten Stand zu haltende Informationsquelle.

| Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung  | Ausprägung  | Attribut                      |
|--|---|-------------------------------|
| Nach CONRAD (CONRAD et al. 2007, S. 73) versteht man unter einer Anforderungsliste eine systematisch erarbeitete Zusammenstellung aller Daten und Informationen durch den Konstrukteur für die Konstruktion von Produkten. | Konstrukteur  | Ersteller                     |
| Sie dient der Klärung und der genauen Festlegung der Aufgabe und wird in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber erstellt und aktualisiert.  | Klären der Aufgabe, Festlegen der Aufgabe                         | Zweck im PE-Prozess           |
|  | Auftraggeber  | Ersteller                     |
|  | ständig aktualisiert  | Aktualität                    |
| Quellen für mögliche Anforderungen sind z. B. der Markt, Gesetze, Normen, Unternehmensstrategien, der Wettbewerb oder auch der Kunde.  | Markt, Gesetze, Normen, Unternehmensstrategien, Wettbewerb, Kunde | Informationsquelle            |
| Eine vollständige Anforderungsliste ist die Basis für eine zielgerichtete Lösungssuche (LINDEMANN 2009, S. 84).  | Basis für Lösungssuche  | Relevanz                      |
| Bei komplexen Produkten wie einem Kfz kann sie sehr umfangreich werden (LINDEMANN 2009, S. 92)   | sehr umfangreiche Erstellung                                      | Aufwand der Erstellung        |
| Im weiteren Verlauf des PE-Prozesses wird auf sie zurückgegriffen.   | im gesamten PE-Prozess verwendet                                  | Anwendungshäufigkeit          |
| Die Anforderung ist lösungsneutral, positiv und eindeutig zu formulieren, außerdem anspruchsvoll, aber erreichbar und zu Zwecken einer besseren Kommunikation auch quantifizierbar (LINDEMANN 2009, S. 97).                | textuell  | Darstellungsform              |
| Sie verursacht großen Aufwand für die Erstellung, trägt aber positiv zum Informationsaustausch bei (LINDEMANN 2009, S. 221).   | arbeitsaufwendig  | Aufwand der Erstellung        |
|  | Informationsaustausch unterstützend                               | Funktion im Informationsfluss |
| Nach EHRENSPIEL (EHRENSPIEL 2007, S. 380) soll sie sowohl möglichst in einem interdisziplinären Team erstellt als auch vom Projektleiter geprüft werden.   | Team  | Ersteller                     |
| Nach der VDI-Richtlinie 2221 (VDI 2221 1993, S. 10) ist die Anforderungsliste das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“.  | Klären und Präzisieren der Aufgabe                                | Zweck im PE-Prozess           |
| Sie ist für alle folgenden Arbeitsabschnitte eine begleitende und stets auf den neuesten Stand zu haltende Informationsquelle.   | für folgende Arbeitsschritte begleitend                           | Anwendungshäufigkeit          |
|  | auf dem neusten Stand zu halten                                   | Aktualität                    |

Tabelle 9-1: Analysetabelle der "Anforderungsliste"

## CAD-Modell

Nach GÜNZLER (2005, S. 25 ff.) werden CAD-Modelle vor allem bei der Entwicklung komplexer technischer Produkte mithilfe von unterschiedlicher Software erstellt. Das CAD-Modell ermöglicht es, die geometrische Gestalt des Produkts in Form zwei- oder dreidimen-

sionaler Darstellungen vollständig am Computer zu entwerfen. Der virtuelle Produktentwicklungsprozess wird durchgehend mithilfe von CAx-Software virtuell durchgeführt. Damit ist eine wesentlich schnellere und kostengünstigere Entwicklung möglich. CAD-Modelle sind rein virtuell und ermöglichen eine verhältnismäßig einfache und schnelle Simulation und Überprüfung angestrebter Produktionseigenschaften. Nach GÜNZLER ist jedoch die Übersichtlichkeit, Verständlichkeit und Handhabbarkeit eines Modells umso schwieriger, je aussagekräftiger es ist. Das CAD-Modell wird im Laufe des gesamten Entwicklungsprozesses in zahlreichen Partialmodellen und in einem interdisziplinären Umfeld angewendet. Nach der VDI-Richtlinie 2223 (2004, S. 68 ff.) können aus CAD-Modellen auch FEM-Berechnungen, Simulationen (z. B. Kinematiksimulation), NC-Programme für die Fertigung oder Rapid-Prototyping-Technologien abgeleitet werden. Weiter wird unterschieden, ob das CAD-Modell als 3D-Volumenmodell während des Entwurfsprozesses verwendet wird und das 2D-Modell während der späteren Ausarbeitung. Außerdem stellt der Einsatz von CAD-Modellen und der dafür benötigten Software erhöhte Anforderungen an den Konstrukteur und muss deshalb durch Vorbildung bzw. Schulung der Mitarbeiter unterstützt werden. Nach CONRAD (2005, S. 315 ff.) ist das CAD-Modell eine graphisch interaktive Erzeugung und Manipulation einer digitalen Objektdarstellung, z. B. die 2D-Zeichnungserstellung oder 3D-Modellbildung. Objekte können Einzelgruppen, Bauteile, Erzeugnisse oder Anlagen sein. Beim Entwerfen kann das CAD-Modell helfen, Bauteile zu modellieren, zu verbinden und anzuordnen, Baugruppen zu untersuchen und Simulationen durchzuführen. Aspekte bei der Ausarbeitung sind die Feingestaltung, die Einzelteilzeichnung aus abgeleiteten 3D-Modellen und der Zusammenbau, ausgehend von der Explosionszeichnung. Darüber hinaus kann eine Stückliste generiert werden.

| <b>Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung</b>  | <b>Ausprägung</b>  | <b>Attribut</b>      |
|---|--|----------------------|
| Nach GÜNZLER (2005, S. 25 ff.) werden CAD-Modelle vor allem bei der Entwicklung komplexer technischer Produkte mithilfe von unterschiedlicher Software erstellt.  | Software (graphisch)   | Darstellungsform     |
| Das CAD-Modell ermöglicht es, die geometrische Gestalt des Produkts in Form zwei- oder dreidimensionaler Darstellungen vollständig am Computer zu entwerfen.  | geometrische Festlegung  | Konkretisierungsgrad |
| CAD-Modelle sind rein virtuell und ermöglichen eine verhältnismäßig einfache und schnelle Simulation und Überprüfung angestrebter Produktionseigenschaften.   | rechnerunterstützt   | Darstellungsform     |
| Nach GÜNZLER ist jedoch die Übersichtlichkeit, Verständlichkeit und Handhabbarkeit eines Modells umso schwieriger, je aussagekräftiger es ist.  | unübersichtlich, schwer verständlich                                 | Verständlichkeit     |
| Das CAD-Modell wird im Laufe des gesamten Entwicklungsprozesses in zahlreichen Partialmodellen und in einem interdisziplinären Umfeld angewendet.   | Basis für viele Partialmodelle                                       | Relevanz             |
| Nach der VDI-Richtlinie 2223 (2004, S. 68 ff.) können aus CAD-Modellen auch FEM-Berechnungen, Simulationen (z. B. Kinematiksimulation), NC-Programme für die Fertigung oder Rapid-Prototyping-Technologien abgeleitet werden. |  |                      |
| Weiter wird unterschieden, ob das CAD-Modell als 3D-Volumenmodell während des Entwurfprozesses verwendet wird und das 2D-Modell während der späteren Ausarbeitung.  | Entwurf, Ausarbeiten   | Phasenzugehörigkeit  |
| Außerdem stellt der Einsatz von CAD-Modellen und der dafür benötigten Software erhöhte Anforderungen an den Konstrukteur und muss deshalb durch Vorbildung bzw. Schulung der Mitarbeiter unterstützt werden.                  | erhöhte Anforderung, Vorbildung                                      | Anwendungsaufwand    |
| Beim Entwerfen kann das CAD-Modell helfen, Bauteile zu modellieren, zu verbinden und anzuordnen, Baugruppen zu untersuchen und Simulationen durchzuführen.  | Bauteile modellieren, verbinden, anzuordnen, untersuchen, simulieren | Funktion             |
| Aspekte bei der Ausarbeitung sind die Feingestaltung, die Einzelteilzeichnung aus abgeleiteten 3D-Modellen und der Zusammenbau, ausgehend von der Explosionszeichnung. Darüber hinaus kann eine Stückliste generiert werden.  | Feingestaltung, Einzelteilzeichnung, Explosionszeichnung             | Zweck im PE-Prozess  |

Tabelle 9-2: Analysetabelle des CAD-Modells

## Fertigungsprozessplan

Nach CONRAD (2005, S. 166) ist die Erstellung eines Fertigungsplans nötig, da durch ihn Fertigungszeiten, Kosten und Qualität von Produkten abgesichert werden. Aus diesem Grund muss der Entwickler mit möglichen Fertigungsverfahren vertraut sein und die Regeln der fertigungsgerechten Gestaltung beherrschen. Diese gilt es bereits in der Konzeptphase zu berücksichtigen. Nach EHRENSPIEL (2007, S. 280) beschreibt der Fertigungsprozessplan, nach welchen Arbeitsschritten das Produkt gefertigt bzw. montiert werden muss. Außerdem werden konkrete geometrische Angaben festgelegt, die eine fertigungsgerechte Gestalt gewährleisten. Zusätzlich ist der Fertigungsplan eine wichtige Informationsquelle für die Logistik, welche alle für die Fertigung benötigten Teile in ausreichender Menge bereitstellen muss.

| Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung  | Ausprägung                       | Attribut             |
|--|----------------------------------|----------------------|
| Nach CONRAD (2005, S. 166) ist die Erstellung eines Fertigungsplans nötig, da durch ihn Fertigungszeiten, Kosten und Qualität von Produkten abgesichert werden.                | wichtig für Wettbewerbsvorteile  | Relevanz             |
| Aus diesem Grund muss der Entwickler mit möglichen Fertigungsverfahren vertraut sein und die Regeln der fertigungsgerechten Gestaltung beherrschen.                            | Vorbildung nötig                 | Anwendungsaufwand    |
| Diese gilt es bereits in der Konzeptphase zu berücksichtigen.  | bereits in Konzeptphase relevant | Relevanz             |
| Nach EHRENSPIEL (2007, S. 280) beschreibt der Fertigungsprozessplan, nach welchen Arbeitsschritten das Produkt gefertigt bzw. montiert werden muss.                            | Ablauf der Fertigung             | Inhalt               |
| Außerdem werden konkrete geometrische Angaben festgelegt, die eine fertigungsgerechte Gestalt gewährleisten.   | geometrische Festlegung          | Konkretisierungsgrad |
| Zusätzlich ist der Fertigungsplan eine wichtige Informationsquelle für die Logistik, welche alle für die Fertigung benötigten Teile in ausreichender Menge bereitstellen muss. | Logistik und weitere Abteilungen | Relevanz             |

Tabelle 9-3: Analysetabelle des "Fertigungsprozessplan"

## Funktionsstruktur

Nach PAHL/BEITZ (2007, S. 44) resultiert die Verknüpfung von Teilfunktionen zu einer Gesamtfunktion in einer Funktionsstruktur. Dabei wird zwischen umsatzorientierter, relationsorientierter und nutzerorientierten Funktionsstruktur unterschieden. In einer umsatzorientierten Funktionsstruktur kann z. B. der Energie-, Stoff- und/oder Signalumsatz nach bestimmten Regeln abgebildet werden und stellt so den Zusammenhang zwischen Eingangszustand und Ausgangszustand eines Systems dar. Die Funktionsstruktur im Allgemeinen kann je nach

Wahl des Systems verschiedene Konkretisierungsstufen repräsentieren. Anfangs ist die Funktionsstruktur **sehr abstrakt**, wird dann auf immer kleinere Teilfunktionen heruntergebrochen und somit immer konkreter. Sie soll die **Lösungsfindung erleichtern**, indem die **Komplexität des Produkts in Teilfunktionen dargestellt wird**. Nach LINDEMANN (2009, S. 265) sind es **Zwecke der Funktionsmodellierung und damit letztendlich der Funktionsstruktur**, das **Systemverständnis zu fördern**, den **Umgang mit komplexen Systemen zu unterstützen**, **Strukturen und Verhalten technischer Systeme abzubilden**, **Eigenschaften von Systemen abstrakt darzustellen** und **Entwicklungsschwerpunkte festzulegen**. Nach der VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 10) ist die Funktionsstruktur das Ergebnis des Arbeitsschrittes „Ermitteln von Funktionen“. Die Funktionsstruktur kann als **Beschreibung bzw. formale Darstellung** verstanden werden, welche vor allem bei Produkten mit komplexen Energie-, Stoff-, und Signalflüssen hilfreich ist.

| <b>Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung</b>  | <b>Ausprägung</b>  | <b>Attribut</b>      |
|---|--|----------------------|
| Dabei wird zwischen umsatzorientierter, relationsorientierter und nutzerorientierten Funktionsstruktur unterschieden.   | umsatzorientiert, relationsorientiert, nutzerorientierte Betrachtung               | Darstellungstypen    |
| In einer umsatzorientierten Funktionsstruktur kann z. B. der Energie-, Stoff- und/oder Signalumsatz nach bestimmten Regeln abgebildet werden und stellt so den Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangszustand eines Systems dar.   | Zusammenhänge darstellen   | Zweck im PE-Prozess  |
| Die Funktionsstruktur im Allgemeinen kann je nach Wahl des Systems verschiedene Konkretisierungsstufen repräsentieren.  | verschieden konkret  | Konkretisierungsgrad |
| Sie soll die Lösungsfindung erleichtern, indem die Komplexität des Produkts in Teilfunktionen dargestellt wird.   | Lösungsfindung erleichtern   | Funktion             |
| Nach LINDEMANN (2009, S. 265) sind es Zwecke der Funktionsmodellierung und damit letztendlich der Funktionsstruktur, das Systemverständnis zu fördern, den Umgang mit komplexen Systemen zu unterstützen, Strukturen und Verhalten technischer Systeme abzubilden, Eigenschaften von Systemen abstrakt darzustellen und Entwicklungsschwerpunkte festzulegen. | Eigenschaften von Systemen abstrakt darstellen, Entwicklungsschwerpunkte festlegen | Zweck im PE-Prozess  |
| . Nach der VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 10) ist die Funktionsstruktur das Ergebnis des Arbeitsschrittes „Ermitteln von Funktionen“.  | Ermitteln von Funktionen   | Arbeitsschritt       |
| Die Funktionsstruktur kann als Beschreibung bzw. formale Darstellung verstanden werden  | Beschreibung und Formalisierung  | Zweck im PE-Prozess  |

Tabelle 9-4: Analysetabelle der Funktionstruktur

## Gesamtentwurf

Nach der VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 11) ist der Gesamtentwurf das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Gestalten des gesamten Produkts“. Er enthält alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung. Darstellungsformen können maßstäbliche Zeichnungen, vorläufige Stücklisten, Instrumentenfließbilder und Ähnliches sein. Nach CONRAD (2005, S. 144, S. 225) wird die Entwurfszeichnung nach den Regeln des Technischen Zeichnens angefertigt, so dass einheitliche Darstellungen mit firmenspezifischen Besonderheiten vorliegen. Sie ist das Arbeitsergebnis der Ausarbeitung des Produkts.

| Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung  | Ausprägung  | Attribut             |
|--|---|----------------------|
| Nach der VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 11) ist der Gesamtentwurf das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Gestalten des gesamten Produkts“  | Gestalten des gesamten Produkts   | Arbeitsschritt       |
| Er enthält alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung.   | gestalterische Festlegung   | Konkretisierungsgrad |
| Darstellungsformen können maßstäbliche Zeichnungen, vorläufige Stücklisten, Instrumentenfließbilder und Ähnliches sein.  | maßstäbliche Zeichnungen, vorläufige Stücklisten, Instrumentenfließbilder | Darstellungstypen    |
| Nach CONRAD (2005, S. 144, S. 225) wird die Entwurfszeichnung nach den Regeln des Technischen Zeichnens angefertigt, so dass einheitliche Darstellungen mit firmenspezifischen Besonderheiten vorliegen. | Vorbildung  | Anwendungsaufwand    |

Tabelle 9-5: Analysetabelle des "Gesamtentwurfs"

## Konzeptheft

In der Konzeptphase des Entwicklungsprozesses werden auf Basis der zuvor definierten Funktionsstrukturen Wirkprinzipien festgelegt und verschiedene Lösungsvarianten entwickelt (Conrad, 2005, S. 97). Die einzelnen Konzepte werden dabei aus den einzelnen Prinzipien kombiniert und weiter konkretisiert, so dass eine Abschätzung z. B. der Machbarkeit oder Funktionstüchtigkeit möglich ist. Die verschiedenen Lösungsprinzipien und die daraus entstehenden Konzepte werden im Konzeptheft gesammelt und dienen der gesammelten Darstellung und ausführlichen Beschreibung aller Lösungsalternativen. Ziel des Konzeptheftes ist es, die für eine Bewertung und anschließende Auswahl benötigten Informationen über die Lösungsalternativen bereitzustellen.



| Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung  | Ausprägung                              | Attribut            |
|--|---|---------------------|
| In der Konzeptphase des Entwicklungsprozesses werden auf Basis der zuvor definierten Funktionsstrukturen Wirkprinzipien festgelegt und verschiedene Lösungsvarianten entwickelt (Conrad, 2005, S. 97).   | Konzeptphase                            | Phasenzugehörigkeit |
| Die einzelnen Konzepte werden dabei aus den einzelnen Prinzipien kombiniert und weiter konkretisiert, so dass eine Abschätzung z. B. der Machbarkeit oder Funktionstüchtigkeit möglich ist. Ziel des Konzeptheftes ist es, die für eine Bewertung und anschließende Auswahl benötigten Informationen über die Lösungsalternativen bereit zu stellen. | Bewertung der Eigenschaften ermöglichen | Zweck im PE-Prozess |
| Die verschiedenen Lösungsprinzipien und die daraus entstehenden Konzepte werden im Konzeptheft gesammelt und dienen der gesammelten Darstellung und ausführlichen Beschreibung aller Lösungsalternativen.  | Sammeln von Lösungsprinzipien           | Inhalt              |

Tabelle 9-6: Analysetabelle des "Konzeptheftes"

### Lösungsbeschreibungen / -prinzipien / prinzipielle Lösung

Nach der VDI-RICHTLINIE 2221 (1993, S. 10) stellen die Lösungsbeschreibungen bzw. prinzipiellen Lösungen das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Lösungsprinzipien und deren Strukturen finden“ dar. Sie beinhalten die Wirkstrukturen zum Erfüllen einzelner Funktionen und können z. B. als Prinzipskizze, Schaltung oder Beschreibung dokumentiert werden. Auf ihrer Basis kann das Produktmodell der modularen Struktur entworfen werden. Nach PAHL/BEITZ (2007, S. 55) muss die Wirkstruktur einer Lösung durch eine überschlägige Berechnung oder eine grobmaßstäbliche Untersuchung der Geometrie quantifiziert und dadurch konkretisiert werden. Erst hierauf kann das Lösungsprinzip festgelegt werden, welches als prinzipielle Lösung für das Problem geeignet ist.

| Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung  | Ausprägung  | Attribut                       |
|--|---|--------------------------------|
| Nach der VDI 2221 (S. 10) stellen die prinzipiellen Lösungen das Arbeitsergebnis des Arbeitsschrittes „Lösungsprinzipien und deren Strukturen finden“ dar.   | Lösungsprinzipien und deren Strukturen finden           | Arbeitsschritt                 |
| Sie beinhalten die Wirkstrukturen zum Erfüllen einzelner Funktionen und können z. B. als Prinzipsskizze, Schaltung oder Beschreibung dokumentiert werden.  | Aufzeigen von Wirkstrukturen                            | Zweck im PE-Prozess            |
|  | Prinzipsskizze, Schaltung, Beschreibung                 | Darstellungstypen              |
| Auf ihrer Basis kann das Produktmodell der modularen Struktur entworfen werden.  | Basis für modulare Struktur                             | Relevanz                       |
| Nach PAHL/BEITZ (2007, S. 55) muss die Wirkstruktur einer Lösung durch eine überschlägige Berechnung oder eine grobmaßstäbliche Untersuchung der Geometrie quantifiziert und dadurch konkretisiert werden. | überschlägige Berechnung, grobmaßstäbliche Untersuchung | restlicher Entwicklungsaufwand |

Tabelle 9-7: Analysetabelle der "Lösungsbeschreibungen"

## Modulare Struktur

Nach VDI-RICHTLINIE 2221 (1993, S. 10) basiert die modulare Struktur auf prinzipiellen Lösungen und gliedert diese in für die Realisierung wesentliche Aspekte in Teilsysteme und Systemelemente. Sie kann sich an der Funktionsstruktur orientieren, um Funktionseinheiten als Module zu definieren. Sie beschreibt somit auch die Schnittstellen der Teilsysteme des Produkts. Darstellungsformen der modularen Struktur sind unter anderem Anordnungsskizzen, Graphen, Logikpläne, Strukturprogramme oder Fließbilder. Vor allem bei komplexen Produkten dient sie zur Reduktion von Komplexität und verbessert die Produkteigenschaften im Bereich der Montage, Fertigung oder auch Wartung. Außerdem ermöglicht die Modulare Struktur die Aufteilung und Parallelisierung der Konstruktionsarbeit. Es gibt Konstruktions-, Montage-, Wartungs-, Recycling-, Basis- und Variationsmodule. Ihre Darstellungsformen sind konkreter als die der Wirk- oder Funktionsstruktur. Die Verständlichkeit erfordert ähnlich wie bei den prinzipiellen Lösungen Vorkenntnisse.

| Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung   | Ausprägung   | Attribut             |
|---|--|----------------------|
| Nach VDI 2221 (S. 10) basiert die modulare Struktur auf den prinzipiellen Lösungen und gliedert diese in für die Realisierung wesentliche Aspekte in Teilsysteme und Systemelemente.  | Gliederung der prinzipiellen Lösungen  | Zweck im PE-Prozess  |
| Sie beschreibt somit auch die Schnittstellen der Teilsysteme des Produkts.  | Schnittstellen beschreiben   | Inhalt               |
| Darstellungsformen der modularen Struktur sind unter anderem Anordnungsskizzen, Graphen, Logikpläne, Strukturprogramme oder Fließbilder.  | Anordnungsskizzen, Graphen, Logikpläne, Strukturprogramme, Fließbilder   | Darstellungstypen    |
| Vor allem bei komplexen Produkten dient sie zur Reduktion von Komplexität und verbessert die Produkteigenschaften im Bereich der Montage, Fertigung oder auch Wartung. Außerdem ermöglicht die Modulare Struktur die Aufteilung und Parallelisierung der Konstruktionsarbeit. | Reduktion von Komplexität, Identifikation von Entwicklungsschwerpunkten, effiziente Aufteilung der Konstruktionsarbeit | Funktion             |
| Es gibt Konstruktions-, Montage-, Wartungs-, Recycling-, Basis- und Variationsmodule.   | Konstruktions-, Montage-, Wartungs-, Recycling-, Basis-, Variationsmodule  | Darstellungstypen    |
| Ihre Darstellungsformen sind konkreter als die der Wirk- oder Funktionsstruktur.  | konkreter als Wirkstruktur   | Konkretisierungsgrad |
| Die Verständlichkeit erfordert ähnlich wie bei den prinzipiellen Lösungen Vorkenntnisse.  | Vorkenntnisse  | Anwendungsaufwand    |

Tabelle 9-8: Analysetabelle der "Modularen Struktur"

## Morphologischer Kasten

Nach LINDEMANN (2009, S. 279) ist die Anwendung des morphologischen Kastens eine Methode, die dazu geeignet ist, ein bestehendes Feld an Lösungsideen zu ordnen, einen Überblick sowohl über Teilfunktionen eines Systems als auch über Teillösungsideen zur Problemstellung zu schaffen. Somit wird er vor allem in den frühen Phasen der PE-Phasen eingesetzt wie dem Planen, Konzipieren und der Lösungssuche. Hilfreich ist seine Anwendung für die Aufteilung komplexer technischer Produkte in leichter zu bearbeitende Teilprobleme und die Zuweisung von Lösungsideen. Der Morphologische Kasten kann so der Dokumentation von gefundenen Lösungsideen, der Strukturierung und Verdichtung von Informationen oder als Grundlage für die Kombination von Gesamtlösungsideen dienen. Er kann sowohl rechnerunterstützt als auch auf Tafeln erstellt werden. Weiterhin ist der Morphologische Kasten nach EHRENSPIEL (2007, S. 411) ein eindimensionales Ordnungsschema in matrizenartiger Darstellung.

| Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung   | Ausprägung  | Attribut                    |
|---|---|-----------------------------|
| Nach LINDEMANN (2009, S. 279) ist die Anwendung des morphologischen Kastens eine Methode, die dazu geeignet ist, ein bestehendes Feld an Lösungsideen zu ordnen, einen Überblick sowohl über Teilfunktionen eines Systems als auch über Teillösungsideen zur Problemstellung zu schaffen. | Lösungsideen ordnen, einen Überblick über Teilfunktionen eines Systems schaffen | Zweck im PE-Prozess, Inhalt |
| Somit wird er vor allem in den frühen Phasen der PE-Phasen eingesetzt wie dem Planen, Konzipieren und der Lösungssuche.   | Planen, Konzipieren   | Phasenzugehörigkeit         |
| Hilfreich ist seine Anwendung für die Aufteilung komplexer technischer Produkte in leichter zu bearbeitende Teilprobleme und die Zuweisung von Lösungsideen.  | Lösungsideen mit Funktionen verknüpfen  | Zweck im PE-Prozess         |
| Der Morphologische Kasten kann so der Dokumentation von gefundenen Lösungsideen, der Strukturierung und Verdichtung von Informationen oder als Grundlage für die Kombination von Gesamtlösungsideen dienen.   | Lösungsideen dokumentieren, Informationen verdichten                            | Zweck im Prozess            |
| Er kann sowohl rechnerunterstützt als auch auf Tafeln erstellt werden.  | rechnerunterstützt, papierbasiert auf Tafel                                     | Darstellungsform            |

Tabelle 9-9: Analysetabelle des morphologischen Gartens

## Vorentwurf

Nach VDI-RICHTLINIE 2221 (1993, S. 11) bestehen Vorentwürfe aus **grob maßstäblichen Zeichnungen** für die maßgebenden Module und basieren so auf den modularen Strukturen und deren Lösungsprinzipien. Der Vorentwurf ist die Basis für den Gesamtentwurf und findet somit in einer **späteren Phase des PE-Prozesses, dem Entwerfen**, seine Anwendung. Es findet ein wichtiger **Konkretisierungsschritt** statt. Der **Konkretisierungs- und Vollständigkeitsgrad** wird nur soweit vorangetrieben, dass ein **Erkennen und Auswählen eines Gestaltungsoptimums** möglich wird. Der Vorentwurf dient dem **Vorgestalten**.

| <b>Textauszug/Eigenschaftsbeschreibung</b>   | <b>Ausprägung</b>                                       | <b>Attribut</b>      |
|--|---|----------------------|
| Nach VDI 2221 (S. 11) bestehen Vorentwürfe aus grob maßstäblichen Zeichnungen für die maßgebenden Module und basieren so auf den modularen Strukturen und deren Lösungsprinzipien. | grob maßstäblich  | Konkretisierungsgrad |
| Der Vorentwurf ist die Basis für den Gesamtentwurf und findet somit in einer späteren Phase des PE-Prozesses, dem Entwerfen, seine Anwendung.                                      | Entwerfen   | Phasenzugehörigkeit  |
|  | Basis für den Gesamtentwurf                             | Relevanz             |
| Es findet ein wichtiger Konkretisierungsschritt statt.   | Konkretisierungsschritt                                 | Funktion             |
| Der Konkretisierungs- und Vollständigkeitsgrad wird nur soweit vorangetrieben, dass ein Erkennen und Auswählen eines Gestaltungsoptimums möglich wird.                             | Konkretisierungs- und Vollständigkeitsgrad vorantreiben | Zweck im PE-Prozess  |
| Der Vorentwurf dient dem Vorgestalten.   | Vorgestalten  | Zweck im PE-Prozess  |

*Tabelle 9-10: Analysetabelle des "Vorentwurfs"*

### 9.3 Strukturmerkmale und Ausprägungen

| Nr. | Dokumente                      | Anforderungsliste   | CAD-Modell (v.a. 3D)   | Funktionsmodell / -struktur   |
|-----|--------------------------------|---|--|---|
|     | Strukturmerkmale               |   |  |   |
| 1   | Aktualität                     | ständig aktualisiert  |  |   |
| 2   | Anwendungsaufwand              | im gesamten PE-Prozess  | erhöhte Anforderung, Vorbildung  |   |
| 3   | Anwendungshäufigkeit           | im gesamten PE-Prozess verwendet                                  |  |   |
| 4   | Aufwand der Erstellung         | sehr umfangreich, aufwendig                                       |  |   |
| 5   | Darstellungsform               | textuell  | graphisch, rechnerunterstützt  |   |
| 6   | Darstellungstypen              |   |  | umsatzorientiert, relationsorientiert, nutzerorientierte Betrachtung  |
| 7   | Ersteller                      | Konstrukteur, Auftraggeber  |  |   |
| 8   | Funktion im Informationsfluss  | Informationsaustausch unterstützend                               |  |   |
| 9   | Informationsquelle             | Markt, Gesetze, Normen, Unternehmensstrategien, Wettbewerb, Kunde |  |   |
| 10  | Inhalt                         |   |  |   |
| 11  | Konkretisierungsgrad           |   | geometrische Festlegung  | verschieden konkret   |
| 12  | Phasenzugehörigkeit            | Aufgabe klären, präzisieren                                       | Entwerfen, Ausarbeiten   | Ermitteln von Funktionen  |
| 13  | Relevanz                       | Basis für Lösungssuche  | Basis für viele Partialmodelle   |   |
| 14  | restlicher Entwicklungsaufwand |   |  |   |
| 15  | Verständlichkeit               |   | unübersichtlich, schwer verständlich   |   |
| 16  | Zweck im PE-Prozess            | Aufgabe klären  | Bauteile modellieren, Feingestaltung, Einzelteilzeichnung, Explosionszeichnung | Zusammenhänge darstellen, Lösungsfindung erleichtern, Eigenschaften von Systemen abstrakt darstellen, Entwicklungsschwerpunkte festlegen, Beschreibung und Formalisierung |

Tabelle 9-11: Ergänzung zu Tabelle 4-6 aus Kapitel 4.5: Strukturmerkmale und Ausprägungen Teil 1/3

| Nr. | Dokumente                         | Gesamtentwurf   | Konzeptheft                                   | Lösungsbeschreibungen,<br>prinzipielle Lösung                    |
|-----|-----------------------------------|---|---|--|
|     | Strukturmerkmale                  |   |   |  |
| 1   | Aktualität                        |   |   |  |
| 2   | Anwendungsaufwand                 | Vorbildung  |   |  |
| 3   | Anwendungshäufigkeit              |   |   |  |
| 4   | Aufwand der Erstellung            |   |   |  |
| 5   | Darstellungsform                  |   |   |  |
| 6   | Darstellungstypen                 | maßstäbliche Zeichnungen,<br>vorläufige Stücklisten,<br>Instrumentenfließbilder |   | Prinzipsskizze, Schaltung,<br>Beschreibung                       |
| 7   | Ersteller                         |   |   |  |
| 8   | Funktion im Informationsfluss     |   |   |  |
| 9   | Informationsquelle                |   |   |  |
| 10  | Inhalt                            |   | Sammeln von<br>Lösungsprinzipien              |  |
| 11  | Konkretisierungsgrad              | gestalterische Festlegung   |   |  |
| 12  | Phasenzugehörigkeit               | Gestalten des gesamten<br>Produkts  | Konzeptphase                                  | Lösungsprinzipien und<br>deren Strukturen finden                 |
| 13  | Relevanz                          |   |   | Basis für modulare<br>Struktur                                   |
| 14  | restlicher<br>Entwicklungsaufwand |   |   | überschlägige<br>Berechnung,<br>grobmaßstäbliche<br>Untersuchung |
| 15  | Verständlichkeit                  |   |   |  |
| 16  | Zweck im PE-Prozess               |   | Bewertung der<br>Eigenschaften<br>ermöglichen | Aufzeigen von<br>Wirkstrukturen                                  |

Tabelle 9-12: Ergänzung zu Tabelle 4-6 aus Kapitel 4.5: Strukturmerkmale und Ausprägungen Teil 2/3

| Nr. | Dokumente                         | Modulare Struktur  | Fertigungsplan  | Morphologischer Kasten  | Vorentwürfe   |
|-----|-----------------------------------|--|---|---|---|
|     | Strukturmerkmale                  |  |   |   |   |
| 1   | Aktualität                        |  |   |   |   |
| 2   | Anwendungsaufwand                 | Vorkenntnisse  | Vorbildung nötig  |   |   |
| 3   | Anwendungshäufigkeit              |  |   |   |   |
| 4   | Aufwand der Erstellung            |  |   |   |   |
| 5   | Darstellungsform                  |  |   | rechnerunterstützt,<br>papierbasiert auf Tafel  |   |
| 6   | Darstellungstypen                 | Konstruktions-, Montage-,<br>Wartungs-, Recycling-, Basis-,<br>Variationsmodule  |   |   |   |
| 7   | Ersteller                         |  |   |   |   |
| 8   | Funktion im Informationsfluss     |  |   |   |   |
| 9   | Informationsquelle                |  |   |   |   |
| 10  | Inhalt                            | Schnittstellen beschreiben   | Ablauf der Fertigung  | Lösungsideen  |   |
| 11  | Konkretisierungsgrad              | konkreter als Wirkstruktur   | geometrische Festlegung   |   | grob maßstäblich  |
| 12  | Phasenzugehörigkeit               |  |   | Planen, Konzipieren   | Entwerfen   |
| 13  | Relevanz                          |  | wichtig für Wettbewerbs-<br>vorteile, bereits in<br>Konzeptphase relevant,<br>Logistik und weitere<br>Abteilungen |   | Basis für den<br>Gesamtentwurf  |
| 14  | restlicher<br>Entwicklungsaufwand |  |   |   |   |
| 15  | Verständlichkeit                  |  |   |   |   |
| 16  | Zweck im PE-Prozess               | Gliederung der prinzipiellen<br>Lösungen, Reduktion von<br>Komplexität, Identifikation von<br>Entwicklungsschwerpunkten,<br>effiziente Aufteilung der<br>Konstruktionsarbeit | Fertigungszeiten, Kosten und<br>Qualität absichern  | Lösungsideen ordnen, einen<br>Überblick über Teilfunktionen<br>eines Systems schaffen,<br>Lösungsideen mit Funktionen<br>verknüpfen, Lösungsideen<br>dokumentieren, Informationen<br>verdichten | Konkretisierungsschritt,<br>Konkretisierungs- und<br>Vollständigkeitsgrad<br>vorantreiben, Vorgestalten |

Tabelle 9-13: Ergänzung zu Tabelle 4-6 aus Kapitel 4.5: Strukturmerkmale und Ausprägungen Teil 3/3



## 9.4 Interviewleitfaden für die Erfassung von Dokumenteneigenschaften

Im Rahmen der Erfassung von Eigenschaftsbeschreibungen der Dokumente (siehe Kapitel 4.4) wurden ein Kurzfragebogen und ein Interviewleitfaden entwickelt. Der Kurzfragebogen erfasst beispielsweise Ausbildungsstand und Betriebszugehörigkeit. Zur Anordnung der Parameter wird der gleiche Kurzfragebogen verwendet, ist aber aus Gründen der Übersichtlichkeit nur in diesem Kapitel dargestellt. Der Interviewleitfaden umfasst Fragen wie z. B. zum Prozessablauf oder welche Dokumente benutzt werden. Der verwendete Fragebogen ist im Folgenden dargestellt.

| Frage   | Präzisionshinweis   |
|---|---|
| Wie beschreiben Sie ihre Tätigkeit bei TU-fast?   | Präzisere Angaben/Erklärungen   |
| Wie waren Sie an der Entwicklung des aktuellen Modells beteiligt?   | Während des letzten halben Jahres oder länger   |
| Welche Prozessschritte haben Sie zur Konstruktion durchgeführt? Könnten Sie diese Arbeitsschritte mit einem Wort prägnant betiteln?   | Prozessschritte mitschreiben → anschließend überprüfen der Angaben  |
| Welche Dokumente haben Sie benutzt, um diese Schritte durchzuführen?  | Notizen: Zuordnung zu Prozessschritten; Zuordnung des Dokuments zu entweder dem Typus Abstrakt (Funktionsmodell) oder konkret (Anforderungsliste) |
| Welche Informationen aus den Dokumenten haben Sie verwendet? Wozu haben Sie diese Informationen benötigt?   |   |
| Wie haben Sie die Dokumente gefunden bzw. in welcher Form lagen Ihnen die benötigten Dokumente vor?   |   |
| Enthielten die von Ihnen genutzten Dokumente Informationen, die Sie zu andern Prozessschritten zuordnen würden? Welchen Prozessschritten würden Sie diese Informationen zuordnen? |   |
| Nehmen wir das Dokument, das sie als Erstes benutzten. Wie oft und zu welchen Anlässen haben Sie das Dokument erneut herangezogen?  | Zuordnung des Dokuments zu entweder dem Typus Abstrakt (Funktionsmodell) oder konkret (Anforderungsliste)   |

Tabelle 9-14: Interviewleitfaden Teil 1/2

|  |   |
|--|---|
| Wenn Sie den Dokumenten, die Sie benutzt haben, neue Namen geben könnten, welche wären das?                    |   |
| Welche Dokumente haben Sie während ihrer Zeit bei TUFast erstellt? Was für Informationen sind darin enthalten? | Zuordnung des Dokuments zu entweder dem Typus Abstrakt (Funktionsmodell) oder konkret (Anforderungsliste) |
| Wann/zu welchem Anlass wurden die Dokumente benutzt, von Ihnen oder anderen?                                   |   |
| Um eine Datei zu erstellen, haben Sie dafür andere Dateien/Dokumente herangezogen?                             | Bsp.: Erstellen eines Catia-Modells mit Hilfe einer Anforderungsliste                                     |

*Tabelle 9-15: Interviewleitfaden Teil 2/2 (Fortsetzung)*

## 9.5 Interviewleitfaden für die Anordnung der Parameterwerte

Der Interviewleitfaden zu Kapitel 4.8.1, der zur Anordnung der Parameterwerte der Parameter „Inhalt“ und „Verwendungszweck“ erstellt wurde, ist im Folgenden dargestellt. Die dort eingetragenen Werte sind Mittelwerte der von Befragten angegebenen Werte. Außerdem ist die sich aus allen Interviews ergebende Reihenfolge zusammenfassend aufgeführt. Insgesamt wurden drei Personen interviewt, um erste Anhaltspunkte für eine effektive Anordnung der Parameterwerte zu gewinnen.

Es wird eine neue Methode zur Informationsbereitstellung in der Produktentwicklung entwickelt, welche mittels Parametern Dokumente und Prozesse beschreibt. Die in dieser Methode definierten Begriffe zur Beschreibung müssen für eine nutzerorientierte Anwendung auf ihre allgemeine Verständlichkeit hin überprüft werden. Um die Robustheit der Methode gegenüber subjektiv geprägter Auffassungen von Begrifflichkeiten zu gewährleisten, sollen die beiden Beschreibungsparameter „Inhalt“ und „Verwendungszweck“ in eine nutzerverständliche Anordnung gebracht werden. Hauptaugenmerk bei diesen Interviews liegt also auf der Erfassung der Anordnung bzw. Reihenfolge und Codierung der Parameterwerte der beiden betrachteten Beschreibungsparameter aus Sicht des Nutzers. Die Interviews orientieren sich an folgender Vorgehensweise:

1. Erfassen persönlicher Daten
2. Informelle Erläuterung der beiden Beschreibungsparameter und deren Werte
3. Erläuterung des Ähnlichkeitsbegriffs
4. Fragen zur Anordnung der Parameterwerte der jeweiligen Beschreibungsparameter

Die Erfassung der persönlichen Daten dient als Anhaltspunkt für die Aussagekraft der Antworten eines Befragten. Vor einem Interview werden daher z. B. Fragen zu Geburtsjahr, Ge-

schlecht oder fachlicher Qualifikation gestellt (siehe Schritt 1). Die anschließende Erläuterung der beiden Beschreibungsparameter und des Ähnlichkeitsbegriffs erzeugen das nötige Verständnis für die anschließenden Fragen zur Anordnung der Parameterwerte (2,3). Diese Erläuterungen entsprechen den Beschreibungen von LAUER & LINDEMANN (2008, S. 6 ff.), (2009, S. 7) und sind nicht explizit im Interviewleitfaden dokumentiert. Die Beschreibung des Ähnlichkeitsbegriffs wird in Schritt 3 vorgenommen. Im abschließenden Schritt 4 werden die einzelnen Fragen aufgelistet.

### Schritt 1: Persönliche Daten

In welchem Jahr sind Sie geboren? 19\_\_\_\_\_

Bitte geben Sie Ihre Fachrichtung und Ihr Fachsemester an.

Fachrichtung:

Fachsemester:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an:

männlich

weiblich

Wie viele Stunden arbeiten Sie ca. in der Woche bei TUfast? \_\_\_\_\_

Wie lange sind Sie schon bei TUfast tätig?

< ½ Jahr

≤ 1 Jahr

≤ 2 Jahre

> 2 Jahre

In welchem Bereich sind Sie bei TUfast tätig?

Projektleitung

Team Chassis

Team Sponsoring

Team Motor

und Organisation

Haben Sie schon eine Vorlesung zu dem Thema Produktentwicklung besucht?

ja  nein

Wenn ja, welche?

Entwicklungsmanagement  Grundlagen der Entwicklung und Produktion  Qualitätsmanagement  
 Methoden der Produktentwicklung  Kostenmanagement in der Produktentwicklung  Produkt-Daten-Management und Engineering-Informationssysteme

Haben Sie schon anderweitig Erfahrungen im Bereich Entwicklungsprozesse im Maschinenbau gesammelt?

ja  nein

Falls ja, wie?

Selbst angeeignet  bei TUfast  Praktika  Werkstudententätigkeit

## **Schritt 2: Informelle Beschreibung der beiden Parameter**

Beschreibungen der Parameter können auch bei LAUER & LINDEMANN (2008, S. 6 ff.), (2009, S. 7) entnommen werden.

- Inhalt

Eine prozessorientierte Unterscheidung von Dokumenten lässt sich unter anderem über die Angabe des Inhalts erreichen, da für den Ingenieur abhängig vom aktuellen Prozessschritt bestimmte inhaltliche Informationen besonders wichtig sind. So kann ein Dokument wie z. B. „Wellenauslegung\_v1“ über den Parameter Inhalt durch „Berechnung“ beschrieben werden. Für einen Prozessschritt, welcher seinerseits Berechnungen zum Inhalt hat, kann das Beispieldokument also als relevant erkannt, zugewiesen werden.

- Verwendungszweck

Produktmodelle dienen verschiedenen Zwecken wie z. B. Informationen für die Fertigung bereitstellen. Dabei hat jedes Dokument einen priorisierten Zweck. Ebenso haben Prozessschritte im Sinne einer durchzuführenden Aufgabe einen vordergründigen Zweck. Dadurch lässt sich eine Verbindung zwischen Dokumenten und Prozessschritten herstellen, die für ihre Durchführung durch Dokumente mit einem ähnlichen Zweck unterstützt werden können. Im genannten Beispiel lässt sich dadurch ein Dokument zum Zweck der Eigenschaftsermittlung mit einem Prozess verknüpfen, der den Schritt von der Papierskizze zu einem computerbasierten virtuellen Modell der Konstruktion vollzieht, um die Eigenschaften des Produktes besser einschätzen zu können. In Ergänzung zum Parameter Inhalt, der sich bei der Verknüpfung zum Prozess auf den tatsächlichen Informationsinhalt bezieht, konzentriert sich der Parameter „Verwendungszweck“ auf den Verwendungszweck des Dokuments und erlaubt so eine weitere Differenzierung.

- Konkretisierungsgrad

Ein weiterer Parameter ist der Konkretisierungsgrad, der über 5 verschiedene Konkretisierungsebenen (Aufgabenklärung, Konzept, Entwurf, Detail und Freigabe) eine grobe Phasenzuordnung zum Prozess ermöglicht. Wird ein Dokument in eine niedrige Konkretisierungsebene eingeordnet, so bedeutet dies, dass das Dokument für ein frühes Entwicklungsstadium relevant ist. Mit dem Fortschritt des Prozesses werden nämlich das Produkt und damit auch die generierten Informationen in den Dokumenten immer konkreter und ändern ihre Relevanz für einzelne Prozessschritte. Ähnlich wie der Zweck eines Dokuments bewertet dieser Parameter den aktuellen Inhalt eines Dokuments und erlaubt so die bestehende Differenzierung durch den Parameter weiter zu detaillieren.

- Restlicher Entwicklungsaufwand

Der Parameter „restlicher Entwicklungsaufwand“ beschreibt den aktuellen Stand des Inhalts des Dokuments in Bezug auf die fertige Entwicklung des Produkts und wird in intuitiv verständlichen Prozentangaben von 100 % - 81 %, ..., bis 20 % - 0 % angegeben. In Ergänzung zum Parameter Inhalt wird die Zusatzinformation gegeben, wie viel Entwicklungsaufwand für die endgültige Festlegung der Konstruktion noch zu leisten ist. Dies lässt Rückschlüsse auf die Bedeutung von Dokumenten für einzelne Prozessschritte zu, die in ähnlichen Entwicklungsstadien des Prozesses durchgeführt werden. Die Angabe des Entwicklungsstandes ist eine für den Nutzer fassbare Größe, die von ihm angegeben werden kann, ohne die Zuordnung zum Prozess kennen zu müssen. Dies unterscheidet den Parameter von einer direkten Prozesszuordnung, die während der Durchführung eines Projektes nicht möglich wäre.

- Vernetzungsgrad

Als fünfter Parameter wird der „Vernetzungsgrad“ eingeführt und in einer abstrakten Abschätzung von 1-5 angegeben. Die Angabe des Vernetzungsgrades unterstützt bei der Berücksichtigung der steigenden Komplexität der Informationszusammenhänge

in einem Projekt. Dabei steigt der Vernetzungsgrad mit dem Fortschritt des Prozesses und erlaubt daher Rückschlüsse, ob ein Dokument für bestimmte Prozessschritte relevant ist. Der Parameter ergänzt vor allem den Parameter Entwicklungsstand für eine Prozesszuordnung. Er ermöglicht durch eine zusätzliche Art der Erfassung des Prozessfortschrittes, das Parametermodell und die daraus resultierenden Verknüpfungen robuster gegen unscharfe Angaben durch den Nutzer zu gestalten.

### Schritt 3: Ähnlichkeitsbegriff

Im Rahmen dieser Befragung können Begriffe auf zwei Arten als ähnlich definiert werden. Zum einen kann eine Ähnlichkeit festgestellt werden, wenn der Parameter eines zu beschreibenden Dokumentes durch unterschiedliche Nutzer der Methode mit zwei verschiedenen Parameterwerten beschrieben wird. Da der Inhalt des Dokuments aber gleich ist, sorgt dieses subjektive Verständnis der Begriffe zu zweideutigen Relevanzen. Zum anderen können Begriffe als ähnlich betrachtet werden, wenn ein Nutzer zwei Parameterwerte als austauschbar einschätzt bzw. große Überschneidungsanteile aufweisen.

### Schritt 4: Fragen

In diesem Schritt werden alle Parameterwerte der beiden Parameter Inhalt und Verwendungszweck auf ihre Ähnlichkeit hin bewertet und eine durch den Nutzer präferierte Reihenfolge angegeben. Dazu sollen in Frage 1 die paarweisen Ähnlichkeiten auf einer Skala von 1 (nicht ähnlich), 2 (kaum ähnlich), 3 (ähnlich) und 4 (sehr ähnlich) in einer Tabelle angegeben werden.

#### *Parameter 1: Inhalt*

1. Wie schätzen Sie die Ähnlichkeit der einzelnen Parameterwerte zueinander ein?

|                               | Eigenschafts-<br>beschreibung | Bewertung/<br>Berechnung | Geometr.<br>Darstellung | Anforde-<br>rungen | Lösungs-<br>ideen |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|
| Eigenschafts-<br>beschreibung | x                             | 2,67                     | 3,67                    | 1,33               | 3,00              |
| Bewertung/<br>Berechnung      | 2,67                          | x                        | 3,33                    | 1,00               | 1,33              |
| Geometr.<br>Darstellung       | 3,67                          | 3,33                     | x                       | 1,67               | 3,33              |
| Anforde-<br>rungen            | 1,33                          | 1,00                     | 1,67                    | x                  | 3,33              |
| Lösungs-<br>ideen             | 3,00                          | 1,33                     | 3,33                    | 3,33               | x                 |

Anmerkungen:

---



---



---

2. Welche Reihenfolge der Parameterwerte nach aufsteigender Ähnlichkeit ergibt sich daraus?

- 1. \_\_Anforderungen\_\_
- 2. \_\_Lösungsideen\_\_
- 3. \_\_Eigenschaftsbeschreibung\_\_
- 4. \_\_Geometrische Darstellung\_\_
- 5. \_\_Bewertung/Berechnung\_\_

**Parameter 2: Verwendungszweck**

3. Wie schätzen Sie die Ähnlichkeit der einzelnen Parameterwerte zueinander ein?

|                             | Fertigung | Frontloading | Absicherung | Eigenschafts-<br>ermittlung | Lösungs-<br>suche |
|-----------------------------|-----------|--------------|-------------|-----------------------------|-------------------|
| Fertigung                   | x         | 1,33         | 3,67        | 2,00                        | 1,00              |
| Frontloading                | 1,33      | x            | 1,67        | 3,00                        | 2,67              |
| Absicherung                 | 3,67      | 1,67         | x           | 3,67                        | 3,00              |
| Eigenschafts-<br>ermittlung | 2,00      | 3,00         | 3,67        | x                           | 3,67              |
| Lösungs-<br>suche           | 1,00      | 2,67         | 3,00        | 3,67                        | x                 |

Anmerkungen:

---



---



---

4. Welche Reihenfolge der Parameterwerte nach aufsteigender Ähnlichkeit ergibt sich daraus?

1. \_\_Frontloading\_\_

2. \_\_Eigenschaftsermittlung\_\_

3. \_\_Lösungssuche\_\_

4. \_\_Absicherung\_\_

5. \_\_Fertigung\_\_



## 9.6 Beschreibungstabelle der Dokumente

| Dokument   | Beschreibungsparameter |                       |                           |                          |                      |
|--|------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
|  | Inhalt                 | Verwendungs-<br>zweck | Konkretisie-<br>rungsgrad | Entwicklungs-<br>aufwand | Vernet-<br>zungsgrad |
| Änderungsdokument  | 3                      | 4                     | 3                         | 3                        | 5                    |
| Anforderungsliste  | 1                      | 1                     | 1                         | 1                        | 3                    |
| Baugruppenbeschreibung   | 3                      | 1                     | 3                         | 3                        | 4                    |
| Bedienungsanleitung  | 3                      | 4                     | 5                         | 5                        | 5                    |
| Berechnungsergebnisse  | 5                      | 2                     | 2                         | 2                        | 3                    |
| Betriebsdaten  | 3                      | 1                     | 5                         | 5                        | 5                    |
| Bewertungsergebnisse   | 5                      | 4                     | 3                         | 3                        | 4                    |
| CAD-Modell (v.a. 3D)   | 4                      | 3                     | 4                         | 4                        | 4                    |
| Design/Layout  | 4                      | 2                     | 4                         | 4                        | 2                    |
| Einflussmatrix   | 3                      | 2                     | 1                         | 1                        | 2                    |
| Fertigungsprozessplan  | 3                      | 5                     | 5                         | 5                        | 5                    |
| Fertigungszeichnung  | 4                      | 5                     | 5                         | 5                        | 5                    |
| FMEA-Dokument  | 3                      | 2                     | 4                         | 5                        | 5                    |
| Funktionsmodell / -struktur  | 3                      | 2                     | 1                         | 1                        | 3                    |
| Gesamtentwurf  | 4                      | 2                     | 3                         | 3                        | 5                    |
| Gestaltstudie  | 3                      | 5                     | 2                         | 3                        | 3                    |
| Ideenformular (6-3-5)  | 2                      | 3                     | 2                         | 3                        | 2                    |
| Interner Projektauftrag  | 1                      | 1                     | 1                         | 1                        | 1                    |
| Konzeptheft  | 3                      | 4                     | 2                         | 3                        | 3                    |
| Kostenabschätzung  | 3                      | 2                     | 2                         | 3                        | 2                    |
| Kundenauftrag  | 1                      | 1                     | 1                         | 1                        | 1                    |
| Lastenheft   | 1                      | 1                     | 1                         | 1                        | 3                    |
| Lieferantendatenblatt  | 3                      | 3                     | 2                         | 3                        | 1                    |
| Lösungsbeschreibungen / -prinzipien /<br>prinzipielle Lösung (Eigenschaften<br>Systemverhalten...) | 2                      | 2                     | 3                         | 3                        | 2                    |
| Machbarkeitsstudie   | 3                      | 4                     | 3                         | 3                        | 2                    |
| Marktanalyseergebnisse   | 1                      | 1                     | 1                         | 1                        | 1                    |
| Materialliste  | 3                      | 5                     | 5                         | 5                        | 5                    |
| Meilensteindokumentation   | 3                      | 5                     | 2                         | 2                        | 2                    |
| Messergebnisse   | 5                      | 4                     | 4                         | 5                        | 5                    |
| Mindmap  | 2                      | 3                     | 1                         | 1                        | 4                    |
| Modulare Struktur  | 3                      | 2                     | 2                         | 2                        | 2                    |
| Montageplan  | 4                      | 5                     | 5                         | 5                        | 4                    |
| Morphologischer Kasten   | 2                      | 3                     | 2                         | 2                        | 3                    |
| Nachweis Konzepttauglichkeit   | 5                      | 5                     | 2                         | 2                        | 1                    |
| Packaging  | 4                      | 3                     | 4                         | 3                        | 3                    |
| Patente  | 3                      | 1                     | 2                         | 1                        | 1                    |
| Pflichtenheft  | 3                      | 4                     | 4                         | 3                        | 3                    |
| Prinzipzeichnungen (Skizzen)   | 2                      | 3                     | 2                         | 2                        | 2                    |
| Produktlogik   | 3                      | 2                     | 2                         | 1                        | 2                    |
| Produktstruktur  | 3                      | 2                     | 2                         | 1                        | 3                    |
| Projektdokumentation   | 5                      | 4                     | 1                         | 1                        | 4                    |
| Prototyp   | 4                      | 5                     | 4                         | 4                        | 5                    |
| Prüfanweisung  | 5                      | 5                     | 5                         | 5                        | 4                    |
| Prüfplan   | 5                      | 5                     | 5                         | 5                        | 3                    |
| Qualitätsprüfungsdaten   | 3                      | 5                     | 5                         | 5                        | 4                    |
| Recyclingplan  | 1                      | 1                     | 2                         | 2                        | 2                    |
| Richtlinien/Normen/Gesetze/Vorschriften<br>(Unternehmens-, Umwelt-, Sicherheits-, ...)             | 1                      | 1                     | 1                         | 1                        | 3                    |
| Schaltpläne  | 5                      | 3                     | 3                         | 3                        | 3                    |
| Simulations- & Berechnungsergebnisse<br>(Reports)  | 5                      | 4                     | 4                         | 3                        | 4                    |
| Skizze/Entwurf   | 4                      | 3                     | 3                         | 2                        | 3                    |
| Stücklisten  | 3                      | 5                     | 5                         | 5                        | 4                    |
| Tatsächliches Leistungsprofil  | 3                      | 5                     | 5                         | 5                        | 2                    |
| Teilekataloge  | 2                      | 3                     | 2                         | 2                        | 1                    |
| Vertriebsunterlagen (kundenspezifisch)   | 1                      | 2                     | 1                         | 1                        | 1                    |
| Vorentwurf   | 4                      | 3                     | 3                         | 2                        | 3                    |
| Wartungsanleitung  | 3                      | 5                     | 5                         | 5                        | 3                    |
| Zusammenstellungszeichnung   | 4                      | 5                     | 5                         | 4                        | 5                    |

Tabelle 9-16: Vollständige Beschreibungstabelle der Dokumente für die Korrelationsanalyse  
(siehe Tabelle 4-11)

## 9.7 Referenzsystem

| Phase                     | Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung | Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen | Suche nach Lösungsansätzen | Gesamtkonzept entwickeln |                |                         |                         | Systemgestaltung |                   |                    |                        |                        |                          |                          |                | Produktionsstart |  |  |
|---------------------------|---|---|----------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|------------------|--|--|
|                           |   |   |                            | Modularisieren           | Großgestaltung | Eigenheiten analysieren | Gesamtkonzept auswählen | Bauaufstellung   | Bauweise-rechnung | Bauweise-sicherung | Teilsystem-integration | Teilsystem-absicherung | Gesamtsystem-integration | Gesamtsystem-absicherung | Vorselektieren |                  |  |  |
| Dokument                  | Klären der Anforderungen                    | Funktionsstruktur aufbauen                    | Lösungsansätze suchen      |                          |                |                         |                         |                  |                   |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Änderungsdokument         |   |   |                            |                          |                |                         |                         |                  |                   |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Anforderungsliste         | X   |   | X                          | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Baugruppenbeschreibung    |   | X   |                            | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Berechnungsanleitung      |   |   |                            |                          |                |                         |                         |                  |                   |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Berechnungsergebnisse     |   |   |                            | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Betriebsdaten             | X   |   |                            |                          |                |                         |                         |                  |                   |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Bewertungsergebnisse      |   | X   | X                          |                          |                |                         | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| CAD-Mockup (v.a. 3D)      |   |   |                            | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Design/Layout             |   |   | X                          | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Einflussmatrix            |   |   | X                          | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Fertigungsprozessplan     |   |   |                            |                          |                |                         |                         |                  |                   |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Fertigungsplanung         |   |   |                            |                          |                |                         |                         |                  |                   |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| FMEA-Dokument             |   |   |                            |                          |                |                         |                         |                  |                   |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Funktionsmodell/-struktur |   | X   | X                          | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Gesamtnurdf               |   |   |                            |                          |                |                         |                         |                  |                   |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Gestaltstudie             |   |   |                            | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Identifizierung (6-35)    | X   | X   | X                          | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Interner Projektantrag    |   |   | X                          | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |
| Konzept                   |   |   | X                          | X                        | X              | X                       | X                       | X                | X                 |                    |                        |                        |                          |                          |                |                  |  |  |

Tabelle 9-17: Teil 1/3 des Referenzsystems aus Kapitel 4.8.3

| Phase                        | Klären und Platzieren der Aufgabenstellung | Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen | Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen | Gesamtkonzept entwickeln |                |                           |                         |                     |                   |                  | Systemgestaltung      |                       |                         |                         |                      |  |  | Produktionsanlauf |
|------------------------------|--|---|---|--------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|--|--|-------------------|
|                              |  |   |   | Modularisieren           | Großgestaltung | Eigenschaften analysieren | Gesamtkonzept auswählen | Bauleistungsplanung | Bauteilberechnung | Bauteilsicherung | Teilsystemintegration | Teilsystemabsicherung | Gesamtsystemintegration | Gesamtsystemabsicherung | Verserie produzieren |  |  |                   |
| <b>Prozessschritt</b>        | Klären der Anforderungen                   | Funktionsstruktur aufbauen                    | Lösungsprinzipien suchen                          | Modularisieren           | Großgestaltung | Eigenschaften analysieren | Gesamtkonzept auswählen | Bauleistungsplanung | Bauteilberechnung | Bauteilsicherung | Teilsystemintegration | Teilsystemabsicherung | Gesamtsystemintegration | Gesamtsystemabsicherung | Verserie produzieren |  |  |                   |
| <b>Dokument</b>              |  |   |   |                          |                |                           |                         |                     |                   |                  |                       |                       |                         |                         |                      |  |  |                   |
| Kostenabschätzung            | X  |   | X   | X                        | X              | X                         | X                       | X                   |                   |                  |                       | X                     |                         | X                       | X                    |  |  |                   |
| Kundenanfrage                | X  | X   |   |                          |                |                           | X                       |                     |                   |                  |                       |                       |                         |                         |                      |  |  |                   |
| Lastenheft                   |  |   |   | X                        | X              | X                         | X                       | X                   | X                 |                  |                       |                       |                         |                         |                      |  |  |                   |
| Lieferant ermittelbar        |  |   | X   | X                        | X              | X                         | X                       | X                   | X                 |                  | X                     | X                     |                         |                         | X                    |  |  |                   |
| Lösungsbeschreibungen        |  |   | X   | X                        | X              | X                         | X                       | X                   |                   |                  | X                     |                       |                         |                         |                      |  |  |                   |
| Machbarkeitsstudie           |  |   | X   |                          | X              | X                         | X                       |                     |                   |                  |                       |                       |                         |                         |                      |  |  |                   |
| Markenabwägungsergebnisse    | X  |   |   |                          |                | X                         | X                       |                     |                   |                  |                       |                       |                         | X                       | X                    |  |  |                   |
| Materialliste                |  |   |   |                          |                |                           | X                       |                     |                   |                  |                       |                       |                         | X                       | X                    |  |  |                   |
| Melienstendokumentation      |  | X   |   | X                        |                |                           | X                       |                     |                   | X                |                       |                       |                         | X                       | X                    |  |  |                   |
| Messergebnisse               |  |   |   |                          |                |                           |                         |                     | X                 |                  |                       |                       |                         | X                       | X                    |  |  |                   |
| Minimap                      |  | X   | X   | X                        |                |                           |                         |                     |                   |                  |                       |                       |                         |                         |                      |  |  |                   |
| Modulare Struktur            | X  | X   | X   | X                        | X              |                           | X                       | X                   |                   |                  | X                     | X                     |                         | X                       | X                    |  |  |                   |
| Montageplan                  |  |   |   | X                        | X              |                           | X                       | X                   |                   | X                |                       |                       |                         |                         |                      |  |  |                   |
| Morphologischer Kasten       |  |   | X   | X                        | X              |                           | X                       | X                   |                   |                  |                       |                       |                         |                         |                      |  |  |                   |
| Nachweis Konzepttauglichkeit |  |   | X   | X                        | X              |                           | X                       | X                   |                   |                  |                       |                       |                         |                         |                      |  |  |                   |
| Packdiagramm                 |  |   |   | X                        | X              |                           | X                       | X                   |                   | X                |                       |                       |                         |                         |                      |  |  |                   |
| Patente                      | X  | X   | X   | X                        | X              |                           | X                       | X                   |                   |                  |                       |                       |                         | X                       | X                    |  |  |                   |
| Pflichtenheft                | X  | X   | X   | X                        | X              |                           | X                       | X                   |                   | X                |                       |                       |                         | X                       | X                    |  |  |                   |
| Prinzipzeichnung (Skizze)    |  | X   | X   | X                        | X              |                           | X                       | X                   |                   |                  |                       |                       |                         | X                       | X                    |  |  |                   |

Tabelle 9-18: Teil 2/3 des Referenzsystems aus Kapitel 4.8.3

| Phase          | Klienten und Plazieren der Aufgabeneinrichtung | Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen | Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen | Gesamtkonzept entwickeln |                 |                           |                           |                           |                     | Systemgestaltung     |                       |                       |                         |                         |                         | Produktionsanlauf    |
|----------------|--|---|---|--------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
|                |  |   |   | Modularisieren           | Grundgestaltung | Eigenschaften analysieren | Gesamtkonzept ausarbeiten | Baueinzelgestaltung       | Baueinzelrechnerung | Baueinzelabsicherung | Teilsystemintegration | Teilsystemabsicherung | Gesamtsystemintegration | Gesamtsystemabsicherung | Vorserie produzieren    |                      |
| Prozessschritt | Dokument                                       | Klienten der Anforderungen                    | Funktionsstruktur aufbauen                        | Lösungsprinzipien suchen | Modularisieren  | Grundgestaltung           | Eigenschaften analysieren | Gesamtkonzept ausarbeiten | Baueinzelgestaltung | Baueinzelrechnerung  | Baueinzelabsicherung  | Teilsystemintegration | Teilsystemabsicherung   | Gesamtsystemintegration | Gesamtsystemabsicherung | Vorserie produzieren |
|                | Produktlogik                                   |   | X   | X                        | X               | X                         | X                         |                           |                     |                      | X                     | X                     |                         |                         |                         |                      |
|                | Produktstruktur                                |   | X   | X                        | X               | X                         | X                         |                           | X                   |                      | X                     | X                     | X                       | X                       |                         | X                    |
|                | Projektdokumentation                           |   |   | X                        |                 |                           |                           |                           |                     | X                    |                       |                       |                         | X                       |                         | X                    |
|                | Prototyp (Dokumentation)                       |   |   |                          |                 |                           |                           |                           | X                   | X                    | X                     |                       | X                       | X                       |                         | X                    |
|                | Prüfanweisung                                  |   |   |                          |                 |                           |                           |                           |                     |                      | X                     |                       | X                       |                         |                         | X                    |
|                | Prüfplan                                       |   |   |                          |                 |                           |                           |                           |                     |                      | X                     |                       | X                       |                         |                         | X                    |
|                | Qualitätsprüfungsplan                          |   |   |                          |                 |                           |                           |                           |                     |                      |                       |                       | X                       |                         |                         | X                    |
|                | Rezeptplänen                                   | X   |   | X                        | X               | X                         |                           | X                         | X                   |                      |                       |                       | X                       |                         |                         |                      |
|                | Richtlinien/Normen/Gesetze,...                 | X   | X   | X                        | X               | X                         |                           | X                         |                     |                      |                       |                       | X                       |                         |                         |                      |
|                | Schulpläne                                     |   |   | X                        | X               |                           | X                         | X                         | X                   | X                    | X                     | X                     | X                       | X                       |                         | X                    |
|                | Simulations- & Berechnungsergebnis             |   |   |                          |                 |                           | X                         | X                         | X                   | X                    | X                     | X                     | X                       | X                       |                         | X                    |
|                | Skizzenentwurf                                 |   |   | X                        | X               | X                         | X                         | X                         |                     |                      |                       | X                     | X                       |                         |                         | X                    |
|                | Strukturen                                     |   |   |                          |                 |                           |                           |                           |                     |                      | X                     |                       | X                       |                         |                         | X                    |
|                | Lastungsprofil                                 |   |   |                          |                 |                           |                           |                           |                     | X                    |                       |                       |                         |                         |                         | X                    |
|                | Teilekataloge                                  |   |   | X                        | X               | X                         | X                         |                           |                     |                      |                       |                       |                         |                         |                         | X                    |
|                | Vertragsunterlagen                             | X   |   | X                        | X               | X                         | X                         | X                         | X                   |                      | X                     | X                     |                         |                         |                         |                      |
|                | Vorentwurf                                     |   |   | X                        | X               | X                         | X                         | X                         | X                   |                      | X                     | X                     |                         |                         |                         |                      |
|                | Wertungsschaltung                              |   |   |                          |                 |                           |                           |                           |                     |                      |                       |                       |                         |                         |                         |                      |
|                | Zusammenstellungszeichnung                     |   |   |                          |                 |                           |                           |                           |                     |                      |                       | X                     |                         | X                       |                         | X                    |

Tabelle 9-19: Teil 3/3 des Referenzsystems aus Kapitel 4.8.3

## 9.8 Ermittlung der Kennzahlen für die Methodenkalibrierung

In Kapitel 4.8.3 und 4.8.5 werden ein Referenzsystem mit den Ergebnissen der Methodenanwendung verglichen. Dazu werden insgesamt 15 Prozessschritte betrachtet. Die unterschiedlichen Werte der Kennzahlen werden anhand des Prozessschrittbeispiels „Lösungsprinzip suchen“ im Folgenden dargestellt. Die Werte der anderen Prozessschritte sind im Internet unter <http://www.pe.mw.tum.de/forschung/publikationen/dissertationen/lauer> abrufbar. Zusammenfassend werden hier auch die Kennzahlen für die einzelnen Prozessschritte vollständig aufgelistet sowie die Mittelwerte aller Kennzahlen für die verschiedenen Parameteranzahlen dargestellt.

| Dokumente  | Lösungsprinzipien suchen |       |                 |       |                 |       |                 |       |                 |       |
|--|--------------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|  | Referenzprozess          | n = 5 | Referenzprozess | n = 4 | Referenzprozess | n = 3 | Referenzprozess | n = 2 | Referenzprozess | n = 1 |
| Änderungsdokument  |                          | 4,00  |                 | 2,65  |                 | 2,45  |                 | 2,24  |                 | 1,00  |
| Anforderungsliste  | X                        | 2,24  | X               | 2,00  | X               | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,00  |
| Baugruppenbeschreibung   |                          | 2,83  |                 | 2,00  |                 | 1,73  |                 | 1,41  |                 | 1,00  |
| Bedienungsanleitung  |                          | 5,66  |                 | 4,80  |                 | 3,74  |                 | 2,24  |                 | 1,00  |
| Berechnungsergebnisse  |                          | 3,16  |                 | 3,00  |                 | 3,00  |                 | 3,00  |                 | 3,00  |
| Betriebsdaten  |                          | 4,58  |                 | 4,47  |                 | 3,32  |                 | 1,41  |                 | 1,00  |
| Bewertungsergebnisse   | X                        | 4,36  | X               | 3,87  | X               | 3,74  | X               | 3,61  | X               | 3,00  |
| CAD-Modell (v.a. 3D)   |                          | 4,12  |                 | 3,61  |                 | 3,00  |                 | 2,24  |                 | 2,00  |
| Design/Layout  | X                        | 3,46  | X               | 3,46  | X               | 2,83  | X               | 2,00  | X               | 2,00  |
| Einflussmatrix   | X                        | 1,73  | X               | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 1,00  |
| Fertigungsprozessplan  |                          | 6,08  |                 | 5,29  |                 | 4,36  |                 | 3,16  |                 | 1,00  |
| Fertigungszeichnung  |                          | 6,32  |                 | 5,57  |                 | 4,69  |                 | 3,61  |                 | 2,00  |
| FMEA-Dokument  |                          | 4,80  |                 | 3,74  |                 | 2,24  |                 | 1,00  |                 | 1,00  |
| Funktionsmodell / -struktur  | X                        | 2,00  | X               | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 1,00  |
| Gesamtentwurf  |                          | 3,87  |                 | 2,45  |                 | 2,24  |                 | 2,00  |                 | 2,00  |
| Gestaltstudie  |                          | 3,46  |                 | 3,32  |                 | 3,16  |                 | 3,16  |                 | 1,00  |
| Ideenformular (6-3-5)  | X                        | 1,41  | X               | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 0,00  |
| Interner Projektauftrag  | X                        | 2,24  | X               | 2,00  | X               | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,00  |
| Konzeptheft  | X                        | 2,65  | X               | 2,45  | X               | 2,24  | X               | 2,24  | X               | 1,00  |
| Kostenabschätzung  | X                        | 1,41  | X               | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 1,00  |
| Kundenauftrag  |                          | 2,24  |                 | 2,00  |                 | 1,73  |                 | 1,41  |                 | 1,00  |
| Lastenheft   | X                        | 2,24  | X               | 2,00  | X               | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,00  |
| Lieferantendatenblatt  | X                        | 2,00  | X               | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,41  | X               | 1,00  |
| Lösungsbeschreibungen / -prinzipien / prinzipielle Lösung (Eigenschaften Systemverhalten...) | X                        | 1,41  | X               | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 0,00  | X               | 0,00  |
| Machbarkeitsstudie   | X                        | 2,65  | X               | 2,65  | X               | 2,45  | X               | 2,24  | X               | 1,00  |
| Marktanalyseergebnisse   |                          | 2,24  |                 | 2,00  |                 | 1,73  |                 | 1,41  |                 | 1,00  |
| Materialliste  |                          | 6,08  |                 | 5,29  |                 | 4,36  |                 | 3,16  |                 | 1,00  |
| Meilensteindokumentation   |                          | 3,16  |                 | 3,16  |                 | 3,16  |                 | 3,16  |                 | 1,00  |
| Messergebnisse   |                          | 5,92  |                 | 5,10  |                 | 4,12  |                 | 3,61  |                 | 3,00  |
| Mindmap  | X                        | 2,65  | X               | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 0,00  |
| Modulare Struktur  | X                        | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 1,00  |
| Montageplan  |                          | 5,92  |                 | 5,57  |                 | 4,69  |                 | 3,61  |                 | 2,00  |
| Morphologischer Kasten   | X                        | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 0,00  |
| Nachweis Konzepttauglichkeit   | X                        | 4,36  | X               | 4,24  | X               | 4,24  | X               | 4,24  | X               | 3,00  |
| Packaging  |                          | 3,32  |                 | 3,16  |                 | 3,00  |                 | 2,24  |                 | 2,00  |
| Patente  | X                        | 2,00  | X               | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,41  | X               | 1,00  |
| Pflichtenheft  | X                        | 3,32  | X               | 3,16  | X               | 3,00  | X               | 2,24  | X               | 1,00  |
| Prinzipzeichnungen (Skizzen)   | X                        | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 0,00  |
| Produktlogik   | X                        | 1,41  | X               | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 1,00  |
| Produktstruktur  | X                        | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 1,00  |
| Projektdokumentation   | X                        | 4,36  | X               | 3,87  | X               | 3,74  | X               | 3,61  | X               | 3,00  |
| Prototyp   |                          | 5,48  |                 | 4,58  |                 | 4,12  |                 | 3,61  |                 | 2,00  |
| Prüfanweisung  |                          | 6,32  |                 | 6,00  |                 | 5,20  |                 | 4,24  |                 | 3,00  |
| Prüfplan   |                          | 6,08  |                 | 6,00  |                 | 5,20  |                 | 4,24  |                 | 3,00  |
| Qualitätsprüfungsdaten   |                          | 5,66  |                 | 5,29  |                 | 4,36  |                 | 3,16  |                 | 1,00  |
| Recyclingplan  | X                        | 1,41  | X               | 1,41  | X               | 1,41  | X               | 1,41  | X               | 1,00  |
| Richtlinien/Normen/Gesetze/Vorschriften (Unternehmens-, Umwelt-, Sicherheits-, ...)          | X                        | 2,24  | X               | 2,00  | X               | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,00  |
| Schaltpläne  | X                        | 3,61  | X               | 3,46  | X               | 3,32  | X               | 3,16  | X               | 3,00  |
| Simulations- & Berechnungsergebnisse (Reports)   |                          | 4,69  |                 | 4,24  |                 | 4,12  |                 | 3,61  |                 | 3,00  |
| Skizze/Entwurf   | X                        | 2,65  | X               | 2,45  | X               | 2,45  | X               | 2,24  | X               | 2,00  |
| Stücklisten  |                          | 5,66  |                 | 5,29  |                 | 4,36  |                 | 3,16  |                 | 1,00  |
| Tatsächliches Leistungsprofil  |                          | 5,29  |                 | 5,29  |                 | 4,36  |                 | 3,16  |                 | 1,00  |
| Teilekataloge  | X                        | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 1,00  | X               | 0,00  |
| Vertriebsunterlagen (kundenspezifisch)   | X                        | 2,00  | X               | 1,73  | X               | 1,41  | X               | 1,00  | X               | 1,00  |
| Vorentwurf   | X                        | 2,65  | X               | 2,45  | X               | 2,45  | X               | 2,24  | X               | 2,00  |
| Wartungsanleitung  |                          | 5,39  |                 | 5,29  |                 | 4,36  |                 | 3,16  |                 | 1,00  |
| Zusammenstellungszeichnung   |                          | 5,92  |                 | 5,10  |                 | 4,69  |                 | 3,61  |                 | 2,00  |

Relevanzgrenze = 2,5

Übereinstimmungen: Präzision

Trefferquote der Methode: Recall

|                             |     |          |      |     |          |          |     |          |          |
|-----------------------------|-----|----------|------|-----|----------|----------|-----|----------|----------|
| 0,904762                    | 19  | 0,851852 | 23   | 0,8 | 24       | 0,722222 | 26  | 0,541667 | 26       |
| 0,633333                    | 30  | 0,766667 | 30   | 0,8 | 30       | 0,866667 | 30  | 0,866667 | 30       |
| 0,366667                    | 11  | 0,233333 | 7    | 0,2 | 6        | 0,133333 | 4   | 0,133333 | 4        |
| positive neue Verknüpfungen | 0,5 | 1        | 0,25 | 1   | 0,166667 | 1        | 0,2 | 2        | 0,090909 |
| negative neue Verknüpfungen | 0,5 | 1        | 0,75 | 3   | 0,833333 | 5        | 0,8 | 8        | 0,909091 |

Tabelle 9-20: Ermittlung der Kennzahlen für den Prozessschritt „Lösungsprinzipien suchen“

| Kennzahlen<br>Prozessschritte | Präzision | Vollständigkeit | fehlende<br>Verknüpfungen | positive neue<br>Verknüpfungen | negative neue<br>Verknüpfungen |
|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Klären der Anforderungen      | 0,90      | 0,69            | 0,31                      | 1,00                           | 0,00                           |
| Funktionsstruktur aufbauen    | 0,33      | 0,46            | 0,54                      | 0,33                           | 0,67                           |
| Lösungsprinzipien suchen      | 0,90      | 0,63            | 0,37                      | 0,50                           | 0,50                           |
| Modularisieren                | 0,89      | 0,59            | 0,41                      | 0,00                           | 1,00                           |
| Grobgestaltung                | 1,00      | 0,66            | 0,34                      | 0,00                           | 0,00                           |
| Eigenschaftsanalyse           | 0,74      | 0,54            | 0,46                      | 0,80                           | 0,20                           |
| Konzeptauswahl                | 0,91      | 0,37            | 0,63                      | 1,00                           | 0,00                           |
| Bauteilgestaltung             | 0,91      | 0,80            | 0,20                      | 1,00                           | 0,00                           |
| Bauteilberechnung             | 0,60      | 0,55            | 0,45                      | 1,00                           | 0,00                           |
| Bauteilabsicherung            | 1,00      | 0,55            | 0,45                      | 0,00                           | 0,00                           |
| Teilsystemintegration         | 0,88      | 0,35            | 0,65                      | 1,00                           | 0,00                           |
| Teilsystemabsicherung         | 1,00      | 0,42            | 0,58                      | 0,00                           | 0,00                           |
| Gesamtsystemintegration       | 0,83      | 0,38            | 0,62                      | 1,00                           | 0,00                           |
| Gesamtsystemabsicherung       | 1,00      | 0,50            | 0,50                      | 0,00                           | 0,00                           |
| Vorserie produzieren          | 0,83      | 0,48            | 0,52                      | 1,00                           | 0,00                           |

Tabelle 9-21: Vollständige Liste der Kennzahlen zu Bild 4-10 für  $d = 2,5$ ,  $n = 5$ 

| Kennzahlen<br>Prozessschritte | Präzision | Vollständigkeit | fehlende<br>Verknüpfungen | positive neue<br>Verknüpfungen | negative neue<br>Verknüpfungen |
|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Klären der Anforderungen      | 0,71      | 0,77            | 0,23                      | 0,25                           | 0,75                           |
| Funktionsstruktur aufbauen    | 0,44      | 0,85            | 0,15                      | 0,43                           | 0,57                           |
| Lösungsprinzipien suchen      | 0,89      | 0,80            | 0,20                      | 0,33                           | 0,67                           |
| Modularisieren                | 0,86      | 0,83            | 0,17                      | 0,50                           | 0,50                           |
| Grobgestaltung                | 0,83      | 0,83            | 0,17                      | 0,60                           | 0,40                           |
| Eigenschaftsanalyse           | 0,64      | 0,69            | 0,31                      | 0,60                           | 0,40                           |
| Konzeptauswahl                | 0,87      | 0,48            | 0,52                      | 1,00                           | 0,00                           |
| Bauteilgestaltung             | 0,85      | 0,88            | 0,12                      | 0,75                           | 0,25                           |
| Bauteilberechnung             | 0,50      | 0,55            | 0,45                      | 1,00                           | 0,00                           |
| Bauteilabsicherung            | 0,76      | 0,73            | 0,27                      | 0,40                           | 0,60                           |
| Teilsystemintegration         | 0,73      | 0,55            | 0,45                      | 0,25                           | 0,75                           |
| Teilsystemabsicherung         | 0,87      | 0,65            | 0,35                      | 0,33                           | 0,67                           |
| Gesamtsystemintegration       | 0,73      | 0,62            | 0,38                      | 0,33                           | 0,67                           |
| Gesamtsystemabsicherung       | 1,00      | 0,62            | 0,38                      | 0,00                           | 0,00                           |
| Vorserie produzieren          | 0,86      | 0,57            | 0,43                      | 1,00                           | 0,00                           |

Tabelle 9-22: Vollständige Liste der Kennzahlen zu Bild 4-12 für  $d = 3$ ,  $n = 5$

| Kennzahlen \ Anzahl Dimensionen | 5    | 4    | 3    | 2    | 1    |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|
| Präzision                       | 0,85 | 0,75 | 0,64 | 0,54 | 0,44 |
| Vollständigkeit                 | 0,53 | 0,65 | 0,77 | 0,84 | 0,96 |
| fehlende Verknüpfungen          | 0,47 | 0,35 | 0,23 | 0,16 | 0,04 |
| positive neue Verknüpfungen     | 0,78 | 0,59 | 0,43 | 0,37 | 0,32 |
| negative neue Verknüpfungen     | 0,22 | 0,41 | 0,57 | 0,63 | 0,68 |

Tabelle 9-23: Mittelwerte der Kennzahlen aller Prozessschritte für die verschiedenen Anzahlen an Dimensionen  $n = 1-5$  und für  $d = 2,5$  (Kapitel 4.8.5)

| Kennzahlen \ Anzahl Dimensionen | 5    | 4    | 3    | 2    | 1    |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|
| Präzision                       | 0,77 | 0,68 | 0,62 | 0,52 | 0,44 |
| Vollständigkeit                 | 0,69 | 0,74 | 0,81 | 0,87 | 0,96 |
| fehlende Verknüpfungen          | 0,31 | 0,26 | 0,19 | 0,13 | 0,04 |
| positive neue Verknüpfungen     | 0,56 | 0,51 | 0,43 | 0,35 | 0,32 |
| negative neue Verknüpfungen     | 0,44 | 0,49 | 0,57 | 0,65 | 0,68 |

Tabelle 9-24: Mittelwerte der Kennzahlen aller Prozessschritte für die verschiedenen Anzahlen an Dimensionen  $n = 1-5$  und für  $d = 3$  (Kapitel 4.8.5)





# 10 Anhang B: Evaluation

Die Evaluation der Methodeneffektivität wird in Kapitel 6 beschrieben. Die erfassten Daten werden in mehreren Datentabellen hinterlegt, welche im Folgenden aufgrund des Umfangs nur ausschnittsweise dargestellt sind. Die vollständigen Tabellen sind unter <http://www.pe.mw.tum.de/forschung/publikationen/dissertationen/lauer> als PDF zum Download bereitgestellt.

| Name Prozessschritt                 | Inhalt | Verwendungszweck | Konkretisierungsgrad | restl. Entwicklungsaufwand | Vernetzungsgrad | Vektorbetrag (euklidisch) | Autor        |
|-------------------------------------|--------|------------------|----------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|--------------|
| Akkus vergleichen                   | 5      | 3                | 3                    | 2                          | 1               | 6,93                      | Lachner      |
| Analysis of Brake Technology        | 2      | 2                | 2                    | 2                          | 2               | 4,47                      | Lauer        |
| Anforderungen (ES) prüfen           | 1      | 2                | 3                    | 2                          | 2               | 4,69                      | Steinberger  |
| Anforderungen prüfen                | 1      | 1                | 1                    | 1                          | 1               | 2,24                      | Lauer        |
| Antriebstechnik auswählen           | 3      | 3                | 3                    | 3                          | 3               | 6,71                      | Lauer        |
| Bordnetz entwerfen                  | 3      | 2                | 4                    | 4                          | 5               | 8,37                      | Reichert     |
| Bremskraft herausfinden             | 1      | 1                | 2                    | 2                          | 2               | 3,74                      | Lauer        |
| Bremswirkung ermitteln              | 2      | 3                | 2                    | 2                          | 1               | 4,69                      | Karl         |
| Entscheidung herbeiführen           | 5      | 3                | 4                    | 4                          | 3               | 8,66                      | Notensteiner |
| Fertigungsunterlagen (ES) erstellen | 4      | 5                | 4                    | 5                          | 2               | 9,27                      | Lauer        |
| Gesamtkonzept ableiten              | 2      | 2                | 2                    | 3                          | 2               | 5,00                      | Lauer        |
| Konzepte darstellen                 | 3      | 4                | 2                    | 3                          | 2               | 6,48                      | Netter       |
| Konzepte für Anordnung erstellen    | 3      | 3                | 2                    | 1                          | 5               | 6,93                      | Notensteiner |
| Lösung recherchieren                | 2      | 3                | 2                    | 2                          | 4               | 6,08                      | Netter       |
| Lösungen ermitteln                  | 2      | 3                | 3                    | 3                          | 3               | 6,32                      | Steinberger  |
| Lenkwinkel festlegen                | 3      | 2                | 3                    | 3                          | 2               | 5,92                      | Lauer        |
| Motorigenschaften herausfinden      | 3      | 2                | 3                    | 2                          | 2               | 5,48                      | Notensteiner |
| Problem strukturieren               | 1      | 2                | 1                    | 1                          | 1               | 2,83                      | Lauer        |
| Teilsysteme gestalten               | 3      | 5                | 4                    | 5                          | 3               | 9,17                      | Steinberger  |
| Torsionsstabe Infos sammeln         | 2      | 3                | 3                    | 3                          | 3               | 6,32                      | Lachner      |
| Ziel analysieren                    | 1      | 1                | 1                    | 1                          | 1               | 2,24                      | Steinberger  |

Tabelle 10-1: Ausschnitt der Datentabelle „Prozesse“ (siehe auch Kapitel 6.2.7, S. 143)

| Name                                      | Autor         | Inhalt | Verwendungszweck | Konkretisierungsgrad | restl. Entwicklungsaufwand | Vernetzungsgrad | RelPath                      | Revision | Betrag |
|---|---------------|--------|------------------|----------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------|----------|--------|
| Bauteilliste_Trittblech.xlsx              | Nottensteiner | 3      | 5                | 4                    | 4                          | 2               | \\Team_Gesamtfahrzeug\04 - C | 536      | 8,37   |
| Bauteilliste_Überröllbügel.xlsx           | Nottensteiner | 3      | 5                | 4                    | 4                          | 1               | \\Team_Gesamtfahrzeug\04 - C | 536      | 8,19   |
| Bauteilliste_Verkleidung.xlsx             | Nottensteiner | 3      | 5                | 4                    | 4                          | 3               | \\Team_Gesamtfahrzeug\04 - C | 536      | 8,66   |
| Berechnung%20Gummi%20Puffer.pdf           | Nottensteiner | 3      | 2                | 3                    | 2                          | 1               | \\Team_Gesamtfahrzeug\03 - C | 492      | 5,20   |
| Berechnungen zum Drehzahlsensor (Teilung) | Lachner       | 1      | 2                | 2                    | 2                          | 2               | \\eKart\Team_Fahrstabilität\ | 411      | 4,12   |
| Berechnungen zum Drehzahlsensor (Tmin v)  | Lachner       | 5      | 2                | 3                    | 3                          | 2               | \\eKart\Team_Fahrstabilität\ | 343      | 7,14   |
| bes516_368_eo_c_03_de_A4.pdf              | Lachner       | 2      | 3                | 4                    | 4                          | 2               | \\eKart\Team_Fahrstabilität\ | 476      | 7,00   |
| Bestellliste.xls                          | Lachner       | 5      | 5                | 5                    | 5                          | 1               | \\eKart\Team_Fahrstabilität\ | 794      | 10,05  |
| Bewertung_Gesamtkonzepte.xlsx             | Nottensteiner | 5      | 3                | 2                    | 2                          | 3               | \\Team_Gesamtfahrzeug\03 - C | 490      | 7,14   |
| Bewertung_Gesamtkonzepte_Lauer.xlsx       | Nottensteiner | 5      | 3                | 2                    | 2                          | 3               | \\Team_Gesamtfahrzeug\03 - C | 490      | 7,14   |
| Bewertungsmatrix.xlsx                     | Blaimer       | 2      | 2                | 1                    | 1                          | 1               | \\Team_Fahrwerk\03_Lösung    | 211      | 3,32   |
| BG_Rundumschutz.CATProduct                | Nottensteiner | 4      | 3                | 3                    | 3                          | 1               | \\Team_Gesamtfahrzeug\04 - C | 566      | 6,63   |
| BG_Überröllbügel_SK.CATProduct            | Nottensteiner | 4      | 4                | 3                    | 3                          | 2               | \\Team_Gesamtfahrzeug\04 - C | 505      | 7,35   |
| Blech Abstandshalter.CATPart              | reichardt     | 4      | 5                | 4                    | 5                          | 2               | \\Team_Antriebsstrang\04 - C | 638      | 9,27   |
| BMS Blech.CATDrawing                      | reichardt     | 4      | 5                | 4                    | 5                          | 2               | \\Team_Antriebsstrang\04 - C | 618      | 9,27   |
| BMS Blech.CATPart                         | reichardt     | 4      | 5                | 4                    | 5                          | 2               | \\Team_Antriebsstrang\04 - C | 618      | 9,27   |

Tabelle 10-2: Ausschnitt der Datentabelle „Dokumente“ (siehe auch Kapitel 6.2.7, S. 143)

| Nutzer        | Bewertung | Relevanz-<br>abstand | Prozessschritt                    | Dokumente  |
|---------------|-----------|----------------------|-----------------------------------|--|
| Steinberger   | 3         | 1,41                 | Lenkungswinkel festlegen          | Abstimmungsprotokoll - Lenksystem- Michaela Blaimer.xlsx   |
| Steinberger   | 0         | 1,00                 | Motoreigenschaften herausfinden   | Abstimmungsprotokoll - Lenksystem- Michaela Blaimer.xlsx   |
| Steinberger   | 1         | 2,24                 | Antriebstechnik auswählen         | Abstimmungsprotokoll - Regelungen - Simon Steinberger.xlsx |
| Blaimer       | 1         | 2,24                 | Antriebstechnik auswählen         | Abstimmungsprotokoll - Regelungen - Simon Steinberger.xlsx |
| Reichardt     | 1         | 2,45                 | Bordnetz entwerfen                | Abstimmungsprotokoll - Regelungen - Simon Steinberger.xlsx |
| Reichardt     | 3         | 1,73                 | Schnittstellen abstimmen          | Abstimmungsprotokoll - Regelungen - Simon Steinberger.xlsx |
| Steinberger   | 1         | 2,45                 | Antriebstechnik auswählen         | Abstimmungsprotokolle.xlsx                                 |
| Nottensteiner | 1         | 2,24                 | Konzepte f4¼r Anordnung erstellen | Abstimmungsprotokolle.xlsx                                 |
| Reichardt     | 3         | 2,00                 | Schnittstellen abstimmen          | Abstimmungsprotokolle.xlsx                                 |
| Steinberger   | 0         | 2,00                 | Antriebstechnik auswählen         | AkkuRechner.xlsx   |
| Steinberger   | 0         | 1,73                 | Lenkungswinkel festlegen          | AkkuRechner.xlsx   |
| Steinberger   | 0         | 1,73                 | Lenkungswinkel festlegen          | AkkuRechner.xlsx   |
| Lachner       | 2         | 1,00                 | Problem strukturieren             | Anforderungsliste Bussystem.xls                            |
| Nottensteiner | 1         | 2,24                 | Motoreigenschaften herausfinden   | Baugruppentabelle_FUNNY_VOLT_GT2.pdf                       |
| Reichardt     | 1         | 2,24                 | Schnittstellen abstimmen          | Baugruppentabelle_FUNNY_VOLT_GT2.pdf                       |
| Nottensteiner | 2         | 1,73                 | Motoreigenschaften herausfinden   | Bauraum_EM.CATProduct                                      |
| Steinberger   | 3         | 1,73                 | Motoreigenschaften herausfinden   | Bauraum_EM.CATProduct                                      |
| Nottensteiner | 0         | 1,41                 | Motoreigenschaften herausfinden   | Bauraum_ES.CATProduct                                      |
| Nottensteiner | 2         | 1,73                 | Motoreigenschaften herausfinden   | Bauraum_FS.CATProduct                                      |
| Nottensteiner | 2         | 1,73                 | Motoreigenschaften herausfinden   | Bauraum_hinten_B.CATProduct                                |
| Nottensteiner | 2         | 1,73                 | Motoreigenschaften herausfinden   | Bauraum_hinten_RR.CATProduct                               |

Tabelle 10-3: Ausschnitt der Datentabelle „Bewertungen“ (siehe auch Kapitel 6.2.7, S. 143)

### Statistische Erhebung der Bewertungen

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Gesamt Bewertungen:</b>                   | <b>1960</b> |
| <b>Unbrauchbare Bewertungen:</b>             | <b>232</b>  |
| <b>Gesamt Bewertungen (bereinigt):</b>       | <b>1728</b> |
| <b>Anzahl 0-Bewertung (nicht hilfreich):</b> | <b>927</b>  |
| <b>Anzahl 1-Bewertung (wenig hilfreich):</b> | <b>355</b>  |
| <b>Anzahl 2-Bewertung (hilfreich):</b>       | <b>213</b>  |
| <b>Anzahl 3-Bewertung (sehr hilfreich):</b>  | <b>233</b>  |

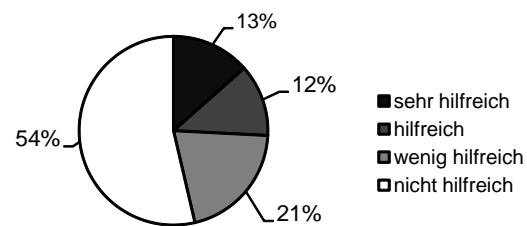


Bild 10-1: Übersicht der statistischen Erhebung der Bewertungen (siehe auch Kapitel 6.2.7, Bild 6-9)

# 11 Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung

Lehrstuhl für Produktentwicklung

Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching

Dissertationen betreut von

- Prof. Dr.-Ing. W. Rodenacker,
- Prof. Dr.-Ing. K. Ehrlenspiel und
- Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

- D1 COLLIN, H.:  
Entwicklung eines Einwalzenkalanders nach einer systematischen Konstruktionsmethode. München: TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:  
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.  
München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:  
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.  
München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:  
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.  
München: TU, Diss. 1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:  
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.  
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:  
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allgemeingültigen Methoden.  
München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:  
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.  
München: TU, Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:  
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleistungsschalter-Antriebs.  
München: TU, Diss. 1976.
- D9 SCHÄFER, J.:  
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.  
München: TU, Diss. 1977.
- D10 WEBER, J.:  
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1978.

- D11 HEISIG, R.:  
Längencodierer mit Hilfsbewegung.  
München: TU, Diss. 1979.
- D12 KIEWERT, A.:  
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1979.
- D13 LINDEMANN, U.:  
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.  
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60).  
Zugl. München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:  
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.  
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:  
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.  
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:  
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.  
München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:  
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:  
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.  
München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:  
Kostenanalyse von Stirnzahnrädern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung.  
München: TU, Diss. 1983.
- D20 AUGUSTIN, W.:  
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren.  
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985. Zugl. München: TU, Diss. 1984.
- D21 RUTZ, A.:  
Konstruieren als gedanklicher Prozess.  
München: TU, Diss. 1985.
- D22 SAUERMANN, H. J.:  
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues.  
München: TU, Diss. 1986.
- D23 HAFNER, J.:  
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gussgehäusen.  
München: TU, Diss. 1987.
- D24 JOHN, T.:  
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen.  
München: TU, Diss. 1987.
- D25 FIGEL, K.:  
Optimieren beim Konstruieren.  
München: Hanser 1988. Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Figel, K.: Integration automatisierter Optimierungungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozess.

Reihe Konstruktionstechnik München

- D26 TROPSCHUH, P. F.:  
Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems.  
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 1). Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Tropschuh, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe.
- D27 PICKEL, H.:  
Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren.  
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2). Zugl. München: TU, Diss. 1988.
- D28 KITTSCHNEIDER, H.-J.:  
Die Auswahl und Gestaltung von kostengünstigen Welle-Nabe-Verbindungen.  
München: Hanser 1990. (Konstruktionstechnik München, Band 3). Zugl. München: TU, Diss. 1989.
- D29 HILLEBRAND, A.:  
Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluss an ein CAD-System.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D30 DYLLA, N.:  
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 5). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D31 MÜLLER, R.  
Datenbankgestützte Teilverwaltung und Wiederholteilsuche.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 6). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D32 NEESE, J.:  
Methodik einer wissensbasierten Schadenanalyse am Beispiel Wälzlagerungen.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 7). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D33 SCHAAL, S.:  
Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – Am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation.  
München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München, Band 8). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D34 BRAUNSPERGER, M.:  
Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf – Konzept einer präventiven Qualitätssicherung für die Automobilindustrie.  
München: Hanser 1993. (Konstruktionstechnik München, Band 9). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D35 FEICHTER, E.:  
Systematischer Entwicklungsprozess am Beispiel von elastischen Radialversatzkupplungen.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 10). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D36 WEINBRENNER, V.:  
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D37 WACH, J. J.:  
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D38 LENK, E.:  
Zur Problematik der technischen Bewertung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D39 STUFFER, R.:  
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 14). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

- D40 SCHIEBELER, R.:  
Kostengünstig Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 15). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D41 BRUCKNER, J.:  
Kostengünstige Wärmebehandlung durch Entscheidungsunterstützung in Konstruktion und Härterei.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 16). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D42 WELLNIAK, R.:  
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D43 SCHLÜTER, A.:  
Gestaltung von Schnappverbindungen für montagegerechte Produkte.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 18). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D44 WOLFRAM, M.:  
Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 19). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D45 STOLZ, P.:  
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchives.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 20). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D46 STOLL, G.:  
Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 21). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D47 STEINER, J. M.:  
Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 22). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D48 HUBER, T.:  
Senken von Montagezeiten und -kosten im Getriebebau.  
München: Hanser 1995. (Konstruktionstechnik München, Band 23). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D49 DANNER, S.:  
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D50 MERAT, P.:  
Rechnergestützte Auftragsabwicklung an einem Praxisbeispiel.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 25). Zugl. München: TU, Diss. 1996 u. d. T.:  
MERAT, P.: Rechnergestütztes Produktleitsystem
- D51 AMBROSY, S.:  
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D52 GIAPOULIS, A.:  
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D53 STEINMEIER, E.:  
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der Pkw-Entwicklung  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 28). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D54 KLEEDÖRFER, R.:  
Prozess- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 29). Zugl. München: TU, Diss. 1998.



- D55 GÜNTHER, J.:  
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D56 BIERSACK, H.:  
Methode für Kraffteinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen.  
München: TU, Diss. 1998.
- D57 IRLINGER, R.:  
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D58 EILETZ, R.:  
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-Entwicklung.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D59 STÖSSER, R.:  
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D60 PHLEPS, U.:  
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D61 BERNARD, R.:  
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D62 ZANKER, W.:  
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

## Reihe Produktentwicklung München

- D63 ALLMANSBERGER, G.:  
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 37). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D64 ASSMANN, G.:  
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D65 BICHLMAIER, C.:  
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D66 DEMERS, M. T.  
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D67 STETTER, R.:  
Method Implementation in Integrated Product Development.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D68 VIERTLBÖCK, M.:  
Modell der Methoden- und Hilfsmittelführung im Bereich der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

- D69 COLLIN, H.:  
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D70 REISCHL, C.:  
Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 44). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D71 GAUL, H.-D.:  
Verteilte Produktentwicklung - Perspektiven und Modell zur Optimierung.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D72 GIERHARDT, H.:  
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 46). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D73 SCHOEN, S.:  
Gestaltung und Unterstützung von Community of Practice.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 47). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D74 BENDER, B.:  
Zielorientiertes Kooperationsmanagement.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 48). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D75 SCHWANKL, L.:  
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D76 WULF, J.:  
Elementarmethoden zur Lösungssuche.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 50). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D77 MÖRTL, M.:  
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 51). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D78 GERST, M.:  
Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 52). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D79 AMFT, M.:  
Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung.  
München: Dr. Hut 2003. (Produktentwicklung München, Band 53). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D80 FÖRSTER, M.:  
Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus.  
München: TU, Diss. 2003.
- D81 GRAMANN, J.:  
Problemmodelle und Bionik als Methode.  
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 55). Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D82 PULM, U.:  
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 56). Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D83 HUTTERER, P.:  
Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 57). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D84 FUCHS, D.:  
Konstruktionsprinzipien für die Problemanalyse in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 58). Zugl. München: TU, Diss. 2005.

- D85 PACHE, M.:  
Sketching for Conceptual Design.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 59). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D86 BRAUN, T.:  
Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 60). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D87 JUNG, C.:  
Anforderungskklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 61). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D88 HEBLING, T.:  
Einführung der Integrierten Produktpolitik in kleinen und mittelständischen Unternehmen.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 62). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D89 STRICKER, H.:  
Bionik in der Produktentwicklung unter der Berücksichtigung menschlichen Verhaltens.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 63). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D90 NIBL, A.:  
Modell zur Integration der Zielkostenverfolgung in den Produktentwicklungsprozess.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 64). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D91 MÜLLER, F.:  
Intuitive digitale Geometriemodellierung in frühen Entwicklungsphasen.  
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 65). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D92 ERDELL, E.:  
Methodenanwendung in der Hochbauplanung – Ergebnisse einer Schwachstellenanalyse.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 66). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D93 GAHR, A.:  
Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 67). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D94 RENNER, I.:  
Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D95 PONN, J.:  
Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D96 HERFELD, U.:  
Matrix-basierte Verknüpfung von Komponenten und Funktionen zur Integration von Konstruktion und numerischer Simulation.  
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 70). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D97 SCHNEIDER, S.:  
Model for the evaluation of engineering design methods.  
München: Dr. Hut 2008 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D98 FELGEN, L.:  
Systemorientierte Qualitätssicherung für mechatronische Produkte.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D99 GRIEB, J.:  
Auswahl von Werkzeugen und Methoden für verteilte Produktentwicklungsprozesse.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.

- D100 MAURER, M.:  
Structural Awareness in Complex Product Design.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D101 BAUMBERGER, C.:  
Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten .  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D102 KEIJZER, W.:  
Wandlungsfähigkeit von Entwicklungsnetzwerken – ein Modell am Beispiel der Automobilindustrie.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D103 LORENZ, M.:  
Handling of Strategic Uncertainties in Integrated Product Development.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2008.
- D104 KREIMEYER, M.:  
Structural Measurement System for Engineering Design Processes.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009
- D105 DIEHL, H.:  
Systemorientierte Visualisierung disziplinübergreifender Entwicklungsabhängigkeiten mechatronischer  
Automobilsysteme.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009
- D106 DICK, B.:  
Untersuchung und Modell zur Beschreibung des Einsatzes bildlicher Produktmodelle durch Entwickler-  
teams in der Lösungssuche.  
Zagl. München: TU, Diss. 2009
- D107 GAAG, A.:  
Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche in der Produktentwicklung.  
Zagl. München: TU, Diss. 2009
- D108 ZIRKLER, S.:  
Transdisziplinäres Zielkostenmanagement komplexer mechatronischer Produkte.  
Zagl. München: TU, Diss. 2010