

**Entwicklung eines Algorithmus
zur automatischen Kontrolle
von Konstruktionen**

Von der Fakultät Maschinenbau
der Technischen Universität Dortmund
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Florian Schleidgen

aus Hagen

| | |
|--------------------|---|
| Berichterstatter: | Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Künne |
| Mitberichter: | Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhlenkötter |
| Mündliche Prüfung: | 12.03.2013 |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 EINLEITUNG..... | 1 |
| 2 STAND DER TECHNIK..... | 6 |
| 2.1 ALLGEMEINER HINTERGRUND BEZÜGLICH DER ENTWICKLUNG EINES ALGORITHMUS ZUR AUTOMATISCHEN KONTROLLE VON KONSTRUKTIONEN | 6 |
| 2.1.1 Konstruktion | 6 |
| 2.1.2 Algorithmus | 11 |
| 2.1.3 Automatisierung..... | 11 |
| 2.1.4 Kontrolle..... | 12 |
| 2.2 KONSTRUKTIONSPHASE UND METHODEN | 14 |
| 2.2.1 Methoden in der Konstruktionsphase | 14 |
| 2.2.1.1 Präventives Analysieren | 14 |
| 2.2.1.2 Schwachstellenorientiertes Analysieren | 15 |
| 2.2.1.3 Bewertungsverfahren | 15 |
| 2.2.1.4 Rechnerunterstütztes Konstruieren | 16 |
| 2.2.2 Verwandte Methoden..... | 19 |
| 2.2.2.1 Schaltplananalyse | 19 |
| 2.2.2.2 Auswertung von Bauzeichnungen | 20 |
| 2.2.2.3 Geometriekonstruktionen erstellen..... | 20 |
| 2.3 KONSTRUKTIONSQLIFIKATION..... | 20 |
| 2.3.1 Qualifikation..... | 20 |
| 2.3.2 Erlangung von Qualifikation..... | 21 |
| 2.3.3 Nachweis der Qualifikation | 21 |
| 3 ZIELSETZUNG | 23 |
| 4 RAHMENBEDINGUNGEN DER KONTROLLE VON KONSTRUKTIONEN..... | 27 |
| 4.1 KONTROLLE VON KONSTRUKTIONEN ALS TEIL DER PROZESSKETTE | 27 |
| 4.2 BEHANDLUNG EINES BELIEBIG FORTGESCHRITTENEN KONSTRUKTIONSSTANDES | 28 |
| 4.2.1 Möglichkeiten im beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstand | 30 |
| 4.2.2 Informationsverfügbarkeit der Möglichkeiten | 33 |
| 4.2.3 Charakter des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes | 37 |
| 4.2.4 Konstruktionen außerhalb der Untersuchungsausgestaltung | 39 |
| 5 ANSATZPAKET | 41 |
| 5.1 DREI HAUPTANSÄTZE | 41 |
| 5.1.1 Informationsnutzung..... | 41 |
| 5.1.2 Anforderungserfüllungsgrad der Konstruktion | 44 |
| 5.1.3 Handhabungserleichterung eines komplexen Gesamtproblems durch Zergliederung | 51 |
| 5.2 DREI NEBENANSÄTZE | 57 |
| 5.2.1 Systemgrenzenmanagement..... | 57 |
| 5.2.2 Trennung von Algorithmus und System..... | 59 |
| 5.2.3 Maßnahmen zur Performancesteigerung..... | 60 |
| 5.3 ANSATZGEGENÜBERSTELLUNG | 63 |
| 6 LÖSUNG..... | 66 |
| 6.1 ALGORITHMUS MIT FÜNF HAUPTSCHRITTEN | 66 |
| 6.2 KONTEXTSENSITIVITÄT | 68 |
| 6.3 HAUPTSCHRITTE DES ALGORITHMUS | 70 |
| 6.3.1 Anforderungen | 71 |
| 6.3.1.1 Stellung im Algorithmus und System..... | 71 |
| 6.3.1.2 Voraussetzungen..... | 71 |

| | |
|--|------------|
| 6.3.1.3 Anforderungsvariable | 73 |
| 6.3.1.4 Analysevariable | 75 |
| 6.3.1.5 Funktionalität | 76 |
| 6.3.2 Lösungsvorschlag | 77 |
| 6.3.2.1 Stellung im Algorithmus und System | 77 |
| 6.3.2.2 Voraussetzungen | 77 |
| 6.3.2.3 Informationsträgervariable | 77 |
| 6.3.2.4 Funktionalität | 79 |
| 6.3.3 Lageerkennung | 83 |
| 6.3.3.1 Stellung im Algorithmus | 83 |
| 6.3.3.2 Voraussetzungen | 83 |
| 6.3.3.3 Funktionalität | 83 |
| 6.3.4 Abgleich | 89 |
| 6.3.4.1 Stellung im Algorithmus | 89 |
| 6.3.4.2 Voraussetzungen | 89 |
| 6.3.4.3 Funktionalität | 89 |
| 6.3.5 Qualifiziertes Feedback | 93 |
| 6.3.5.1 Stellung im Algorithmus und System | 93 |
| 6.3.5.2 Voraussetzungen | 93 |
| 6.3.5.3 Funktionalität | 93 |
| 6.4 STARTBEDINGUNGEN | 96 |
| 6.4.1 Grundfälle von Startbedingungen | 97 |
| 6.4.2 Anforderungsmanagement | 99 |
| 6.4.3 Anforderungen einlesen | 99 |
| 6.4.4 Konstruktion erstellen | 99 |
| 6.4.5 Lösungsvorschlag einlesen | 99 |
| 6.4.6 Voruntersuchung | 99 |
| 6.4.7 Element-/Gruppenbildung | 100 |
| 6.4.8 Zusammenwirken von Anforderungserfüllungspotenzial- und Anforderungserfüllungsuntersuchung | 102 |
| 6.4.9 Restmengenuntersuchung | 106 |
| 6.4.10 Lagedarstellung | 106 |
| 6.4.11 Leistungseinordnung | 108 |
| 6.4.12 Vorschläge | 108 |
| 6.5 ALLGEMEINE VORGEHENSWEISE BEIM HILFSMITTELBAU | 108 |
| 7 VALIDIERUNG | 110 |
| 7.1 VALIDIERUNGSKONTEXT | 110 |
| 7.2 TESTPROTOTYP | 114 |
| 7.2.1 Erlaubte Einschränkungen für den Testprototyp | 114 |
| 7.2.2 Anwendung der Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau | 115 |
| 7.2.3 Programmiertechnische Umsetzung | 115 |
| 7.2.3.1 Modulübersicht des Testprototyps | 115 |
| 7.2.3.2 Anforderungsmanagement | 116 |
| 7.2.3.3 Konstruktionsumgebung | 118 |
| 7.2.4 Algorithmus | 127 |
| 7.3 VALIDIERUNG DER ZIELE | 132 |
| 8 BEDEUTUNG | 136 |
| 9 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK | 140 |
| ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS | 144 |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 146 |
| LITERATURVERZEICHNIS | 149 |

1 Einleitung

Motivation

Für die unterschiedlichsten Produkte lässt sich der Produktlebenszyklus nach Abbildung 1 aufzeichnen.

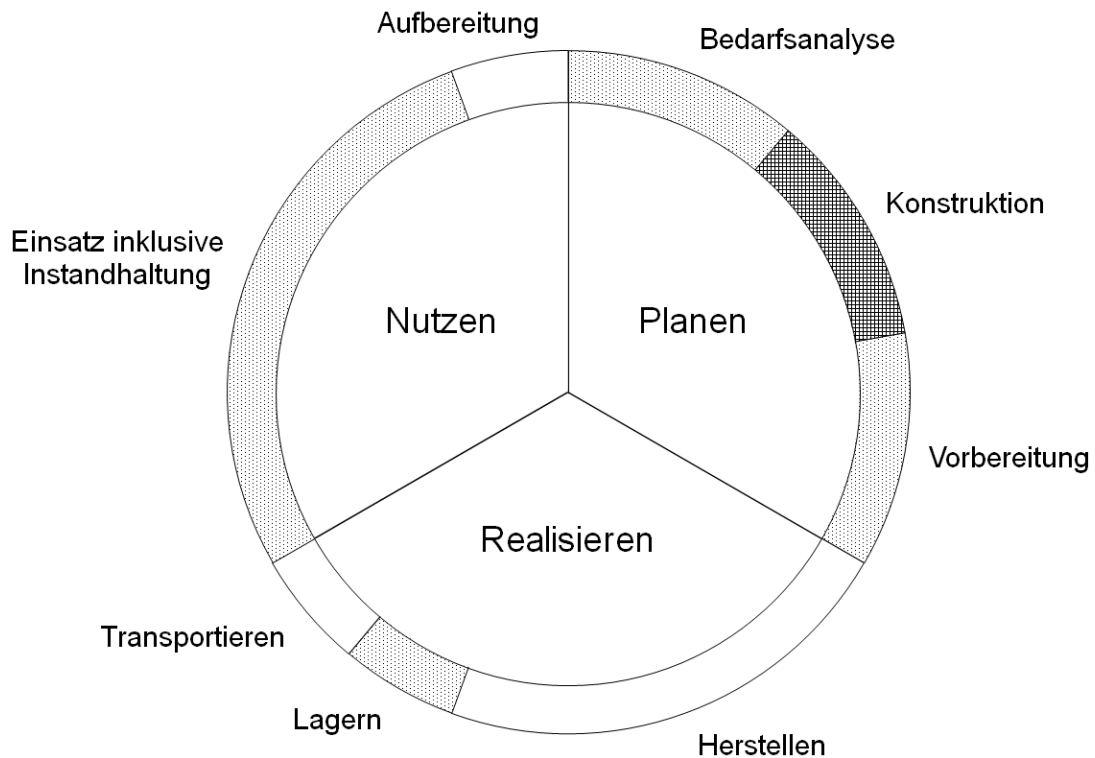


Abbildung 1: Produktlebenszyklus entsprechend des Qualitätskreises in Anlehnung an /MAS99/

Den Produkten ist gemeinsam, dass sie eine Reihe von Phasen durchlaufen. /MAS99/ gruppiert sie in die Hauptphasen Planen, Realisieren und Nutzen. Die in der Abbildung genannten Teilphasen sind an den Kontext des Konstruktionsprozesses, welcher im Schwerpunkt dieser Arbeit liegt, angepasst. Sie orientieren sich über die Hauptphasen an der klassischen Darstellung des Produktlebenszyklus entsprechend des Qualitätskreises. Während des Planens werden die Anforderungen an ein Produkt in der Bedarfsanalyse definiert. Anschließend arbeitet die Konstruktion einen Anforderungserfüllungs- und Realisierungsvorschlag aus. Die Anforderungserfüllung zielt dabei primär auf die Sicherstellung der Produkteigenschaften in der Nutzenphase. Als zentral darf dabei der zielgerichtete Produkteinsatz unter eingegrenzten Umweltbedingungen angesehen werden. Weitere Anforderungen betreffen beispielsweise das Produktverhalten im Rahmen der Instandhaltung, spezielle gesetzliche Bestimmungen im Zusammenhang mit der Produktverwendung in unterschiedlichen Ländern oder die Umsetzung von unternehmenspolitischen Fragestellungen bzw. Positionierungen hierzu. Neben diesen in erster Linie funktionsorientierten Inhalten einer Konstruktion dürfen ihre Auswirkungen auf die Realisierungsphase nicht übersehen werden. Als Realisierungsvorschlag setzt eine Konstruktion die Grenzen für die Produktrealisierung. Zusammen mit den Realisierungsmöglichkeiten einer Unternehmung wird an dieser Stelle mitbestimmt, ob zum einen die funktionserfüllenden Anforderungen einem Produkt im

gewünschten Toleranzbereich mitgegeben werden können. Zum anderen wird darauf Einfluss genommen, inwieweit weitere Anforderungen, wie Kostenanforderungen o. ä., gehandhabt werden.

Der Produktlebenszyklus wird in der Praxis durch eine Lieferkette abgebildet. Diese setzt sich aus einer Reihe von Prozessen zusammen. Gemeinsam bilden sie eine Prozesskette. Innerhalb der Prozesse werden von Ressourcen diverse Methoden angewandt. Durch das Abarbeiten von Aufgaben erfüllt der einzelne Prozess seine eigenen Prozessziele. Bezogen auf den Produktlebenszyklus tragen die Prozesse der Lieferkette zur Erfüllung der Gesamtziele, welche in den Anforderungen definiert sind, bei.

Im Zusammenspiel der einzelnen Teilziele der Prozesse ergibt sich der Erfüllungsgrad der Gesamtziele, d. h. jeder einzelne Prozess trägt zum Ganzen bei. Die Handhabung dieses komplexen Sachverhaltes wird dadurch erschwert, dass es zu einer unvollständigen Deckung von Verantwortungsbereichen und Beeinflussungsbereichen der Ziele innerhalb der Prozesskette kommen kann. Im Verantwortungsbereich erfolgt die Umsetzung eines Prozesses. Der Beeinflussungsbereich setzt jedoch dieser Umsetzung im Vorfeld gewisse Grenzen, die sich auf den Verantwortungsbereich auswirken, ohne dass dieser hierauf Einfluss nehmen kann. Das Gesamtergebnis schwankt, wenn der umsetzende Prozess deshalb nicht fähig ist, seine an ihn gestellten Ziele zu erfüllen. Der Ansatzpunkt einer Lösung findet sich auf der einen Seite im zieldefinierenden Prozess und auf der anderen Seite in dem Prozess, welcher den zielbeeinflussenden Prozess aussucht bzw. die Grenzen für diese Suche festlegt.

Bezogen auf den Konstruktionsprozess bedeutet dies das Folgende. Die aus der Bedarfsanalyse stammenden Anforderungen an das Produkt sind zu verarbeiten. Auf diese Anforderungen muss mit den Mitteln des Konstruktionsprozesses reagiert werden können. D. h. die Anforderungen müssen nicht nur allgemein erfüllbar sein, sondern auch mit den Ressourcen und Methoden der Konstruktion innerhalb einer bestimmten Prozesskette in einen Anforderungs- und Realisierungsvorschlag überführt werden können. Dabei berücksichtigt die Konstruktion die Möglichkeiten der technischen Produktfunktionalität, um den Einsatz des Produktes in gewünschter Form zu gewährleisten. Gleichzeitig setzt sie durch den Realisierungsvorschlag die Ziele für die nachfolgenden Prozesse.

Das Wissen über technisches Produktverhalten und die mögliche Prozesskette mit ihren Möglichkeiten sowie das Wissen innerhalb der Prozesskette über das Produkt und die weiteren beteiligten Prozesse ist an vielen Stellen im Produktlebenszyklus erforderlich, jedoch häufig nicht durchgängig verfügbar. Insbesondere ist dies der Fall, wenn Prozesse nicht im eigenen Haus stattfinden. Eine eingekaufte Konstruktionsleistung sei genauso angesprochen, wie die Beschaffung von Zukaufteilen. Bewusst eingeschränkter Wissenstransfer, schlechte Kommunikationswege und Alltagsgeschäft sind einige Gründe hierfür.

In einer konkreten Prozesskette ist der Konstruktionsprozess ein eigener oder ein zugekaufter. Die Ressourcen des Prozesses sind gegeben, das eingesetzte Wissen ist ebenfalls gegeben. Wird der Konstruktionsprozess aus der Prozesskette herausgelöst betrachtet, so lässt sich das von der Ressource mitgebrachte Wissen anpassen. Wissensvermittlung in Aus- und Weiterbildung qualifizieren die Ressource allgemein oder für eine spezielle Produkt- und

Prozesskettenumgebung. Eine Prüfung der vorhandenen Qualifikation ist in vielen Bereichen in Aus- und Weiterbildung, Assessment sowie Mitarbeiterbeurteilung gewünscht.

Nach /DIN9000/ ist Qualität definiert als die Erfüllung von Anforderungen. Wichtig für die Erfüllung von Anforderungen ist, dass die Anforderungen den Beteiligten gegenüber bekannt und vereinbart sind. Weiterhin sollen Anforderungen messbar, widerspruchsfrei und erreichbar sein. Dies sind die hier geltenden Voraussetzungen für die Erfüllbarkeit von Anforderungen. Die an dieser Stelle betrachtete Konstruktion soll die aus der Bedarfsanalyse stammenden Anforderungen in ihrem Anforderungserfüllungs- und Realisierungsvorschlag, d. h. der Konstruktionszeichnung, sicherstellen.

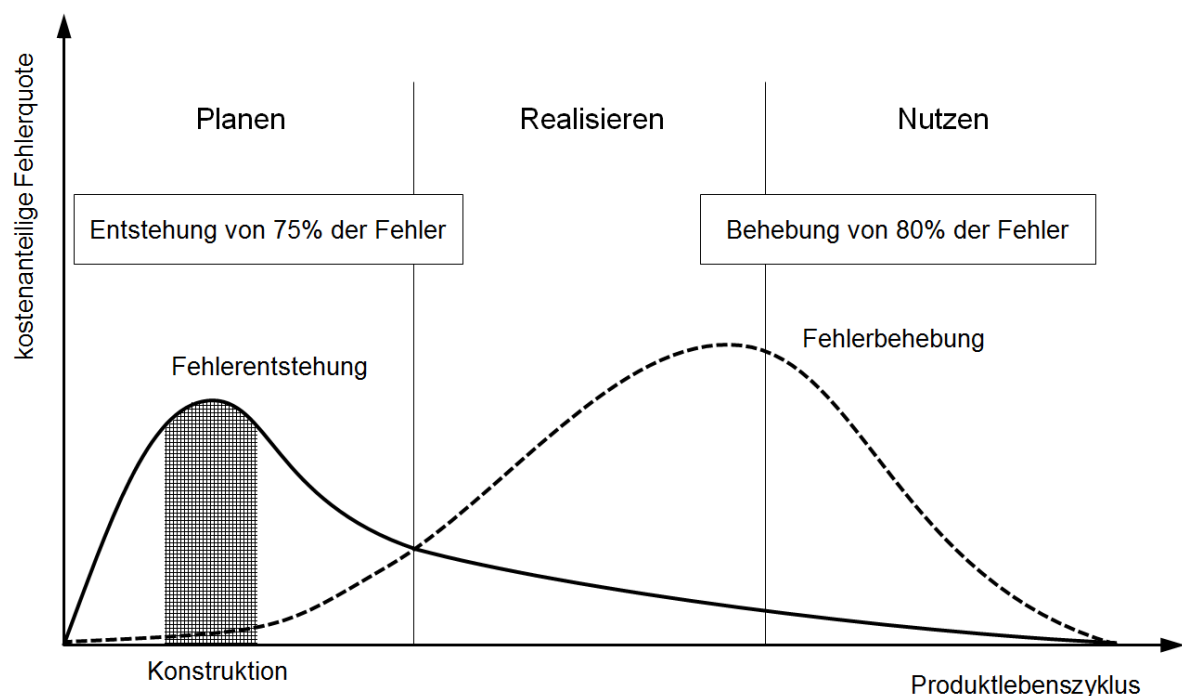


Abbildung 2: Fehlerentstehung und Fehlerbehebung – schematische Darstellung mit Schwerpunkt Konstruktion in Anlehnung an /PFE01/

Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang von Fehlerentstehung und Fehlerbehebung im Produktlebenszyklus /PFE01/. Es ist deutlich zu erkennen, dass Präventionsmaßnahmen in den Phasen des Planens das größte Potenzial bieten, die Qualität bei geringstem Kosteneinsatz sicherzustellen. Als Beispiele für die Folgen einer Anforderungsnichterfüllung lassen sich Aussagen zum Fehlerentdeckungszeitpunkt, der Wirtschaftsstabilität eines Unternehmens sowie der Sicherheit und Umwelt anführen. Je später ein Fehler entdeckt wird, desto höher werden die Fehlerbeseitigungskosten und desto weniger Lieferzeit bleibt erhalten, um den Liefertermin einzuhalten. Wird ein Fehler im Unternehmen vor der Auslieferung entdeckt, so lassen sich dort Korrekturen vornehmen. Wird der Fehler beim Kunden entdeckt, so wird zusätzlich das Kundenlieferantenverhältnis auf die Probe gestellt.

Die Wirtschaft unterliegt zyklischen Schwankungen. Fehler im Prozess führen während Krisen besonders zu Problemen mit Vorfinanzierungsprojekten /LIE09/, Folgeaufträgen sowie schwer kompensierbarer Kosten aufgrund möglicher Schäden an Maschinen und Anlagen.

Fehlerhaft konstruierte Produkte können schwere Personen- sowie Umweltschäden zur Folge haben. Die Auswirkungen auf die Verantwortlichen sind rechtlich und persönlich immens. Falsch konstruierte Produkte, d. h. Produkte, welche am Markt nicht abgesetzt werden können, stellen über deren gesamten Produktlebenszyklus hinweg umwelttechnisch eine Verschwendung dar (vgl. auch /SCH10/).

Aus den geschilderten Zusammenhängen von Produktlebenszyklus und Prozesskette lässt sich die Sicherstellung der Erfüllung von gegebenen Anforderungen an ein Produkt fordern. Die Aussagen über Verantwortungs-, Beeinflussungsbereich und Wissen zeigen, dass nur durch ein fehlerfreies Konstruktionsergebnis eine funktionierende Prozesskette geknüpft werden kann. Dies ist die prozessorientierte Motivation für die Entwicklung einer Lösung. Der von der Ressource abhängige Prozess stellt die Qualität dann sicher, wenn die Qualifikation der Ressource ausreichend ist. Hier liegt die ressourcenorientierte Motivation. Sollten dennoch Fehler auftreten, so muss der Prozess Methoden aufweisen, die zu einer Unterbrechung der fehlerhaften Prozesskette führen. Eine Methode dies zu gewährleisten, stellt die Anwendung des in dieser Arbeit beschriebenen Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen dar.

Lösungsidee

Die Lösungsidee liegt darin, dass in einer Konstruktion die erforderlichen Informationen enthalten sind, um eine inhaltliche Kontrolle, d. h. die Untersuchung der Anforderungserfüllung, vorzunehmen. Mit einem Algorithmus können diese Informationen verarbeitet werden. Dazu durchläuft die Konstruktion mehrere Schritte. Zuerst werden die Anforderungen sowie die Konstruktion eingelesen. In einer anschließenden Lageerkennung werden die zur Anforderungserfüllung konstruierten Elemente untersucht und in einem weiteren Schritt mit den Anforderungen abgeglichen. Das Ergebnis wird je nach Kontext aufbereitet und in einem qualifizierten Feedback ausgegeben.

Dieses Hilfsmittel zur Konstruktionskontrolle soll dabei in verschiedenen Kontexten einsetzbar sein. So lässt sich beim Einsatz in der Konstruktionsabteilung das eigene Ergebnis prozessbegleitend analysieren oder eine eingekaufte Leistung kontrollieren und ggf. eine Unterbrechung einer fehlerhaften Prozesskette herbeiführen. Die Qualifikation der Konstruierenden kann im Rahmen von Aus- und Weiterbildung sowie weiteren Beurteilungen neutral untersucht werden. Je nach Umfeld sollen Form, Inhalte, Berechtigungen etc. anpassbar sein.

Die Sicherstellung der Anforderungserfüllung mit dem Algorithmus soll automatisch erfolgen. Dies führt zu einer Aufwandsentlastung der Konstruierenden. Weiterhin gibt ihm die Hilfsmittelanwendung Sicherheit bei der eigenen Tätigkeit. Dies soll dadurch gewährleistet werden, dass prozessbegleitend eine Hilfestellung erfolgt, die es ermöglicht, den kreativen Konstruktionsraum frei auszunutzen, ohne ständig auf das Vermeiden von Anforderungsnichterfüllungen achten zu müssen. Korrekturvorschläge, welche im Falle ihrer Umsetzung die Prozesssicherheit auf einem konstanten Niveau halten, sollen in einer technisch sinnvollen und psychologisch umsetzungsfähigen Form dargeboten werden.

Überblick

Nach dieser Einleitung wird im folgenden Kapitel 2 Stand der Technik der allgemeine Hintergrund bezüglich der Entwicklung eines Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen beleuchtet. Die in diesem Zusammenhang wichtigen Punkte Konstruktion, Algorithmus, Automatisierung und Kontrolle werden dargestellt. Anschließend erfolgt die Vorstellung des Konstruktionsprozesses mit seinen Methoden sowie verwandter Methoden, welche zur Kontrolle von konstruktionsähnlichen Strukturen, z. B. in den Bereichen Elektrotechnik, Bauwesen oder Mathematik, eingesetzt werden. Abschließend wird auf das Thema Konstruktionsqualifikation eingegangen.

Kapitel 3 Zielsetzung leitet aus der Motivation die Ziele der Arbeit ab. Sie werden im Lösungsweg umgesetzt. Die Beschreibung des Lösungsweges erfolgt in Kapitel 4 Rahmenbedingungen der Kontrolle von Konstruktionen, Kapitel 5 Ansatzpaket, Kapitel 6 Lösung sowie Kapitel 7 Validierung. Mithilfe der Rahmenbedingungen und Ziele erfolgt die Erarbeitung eines mehrseitigen Ansatzes, aus dem eine Lösung abgeleitet wird. Die Umsetzung der Lösung, in deren Zentrum der Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen steht, wird hinsichtlich der Hauptschritte, der Kontextsensitivität und einer allgemeinen Vorgehensweise zur Erstellung des Hilfsmittels zur Konstruktionskontrolle ausführlich dargelegt. Hieran schließt sich die Validierung der Ziele an. Durch die Anwendung der zuvor entwickelten allgemeinen Vorgehensweise auf das Validierungsbeispiel einer Onlineklausur wird ein Testprototyp generiert. Mit diesem Testprototyp erfolgt die Validierung.

Aus dem Paket der validierten Ziele lassen sich Aussagen über verschiedene Nutzeneffekte beim Einsatz der Lösung ableiten. Dies geschieht in Kapitel 8 Bedeutung. Mit einer Zusammenfassung der geschilderten Inhalte sowie möglicher Weiterentwicklungen schließt Kapitel 9 diese Arbeit ab.

2 Stand der Technik

Das vorliegende Kapitel stellt den für diese Arbeit relevanten Stand der Technik in drei Abschnitten dar. Dabei werden zum einen begriffliche Vereinbarungen getroffen und zum anderen die Abgrenzung des Lösungsweges gegenüber den in der Konstruktionsphase sowie zu diesen inhaltlich verwandten, bereits vorliegenden Methoden durchgeführt.

Im ersten Abschnitt wird der allgemeine Hintergrund bezüglich der Entwicklung eines Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen beleuchtet. Konstruktion, Algorithmus, Automatisierung sowie Kontrolle stehen dabei im Vordergrund. Der zweite Abschnitt beschreibt die Konstruktionsphase anhand deren Methoden sowie inhaltlich verwandter Methoden. Schließlich wird im dritten Abschnitt die Konstruktionsqualifikation thematisiert. Die Qualifikation selbst, ihre Erlangung sowie deren Nachweis sind dort die zentralen Punkte.

2.1 Allgemeiner Hintergrund bezüglich der Entwicklung eines Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen

2.1.1 Konstruktion

Allgemeine Konstruktionsmethodik

Um eine Konstruktion zu erstellen, ist ein entsprechend ausgestalteter Prozess erforderlich. Aus konstruktionsmethodischer Sicht sind verschiedene Herangehensweisen möglich. Beispiele sind das Axiomatische Konstruieren, das Function-Behaviour-Structure-Model oder die Autogenetische Konstruktionstheorie /PAH07/. Zur Einordnung der Begriffe, welche im Zusammenhang mit dem zu entwickelnden Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen stehen, eignet sich insbesondere das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach /VDI 2221/. Das Vorgehen ist in Abbildung 3 wiedergegeben.

Abbildung 3 gliedert sich in drei Teile. Auf der linken Seite ist das Vorgehen mit seinen sieben Schritten aufgeführt. Jeder Schritt liefert ein Ergebnis. Diese Arbeitsergebnisse sind mittig aufgelistet. Zur besseren Orientierung lässt sich das Vorgehen in verschiedene Phasen einordnen. Eine prinzipielle Einordnung wird auf der rechten Seite vorgeschlagen.

Das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren besitzt zwei charakteristische Merkmale. Zum einen verläuft es ausgehend vom Finden einer prinziporientierten Basis mehrstufig in eine detaillierte Feingestaltung. Zum anderen ist das Vorgehen in Iterationsschleifen aufgebaut, welche die Wiederholung des aktuellen Schrittes oder ein Zurückspringen auf vorherige Schritte ermöglichen, um Korrekturen oder Verbesserungen zuzulassen. Dies trägt dem kreativ verlaufenden Konstruktionsprozess Rechnung.

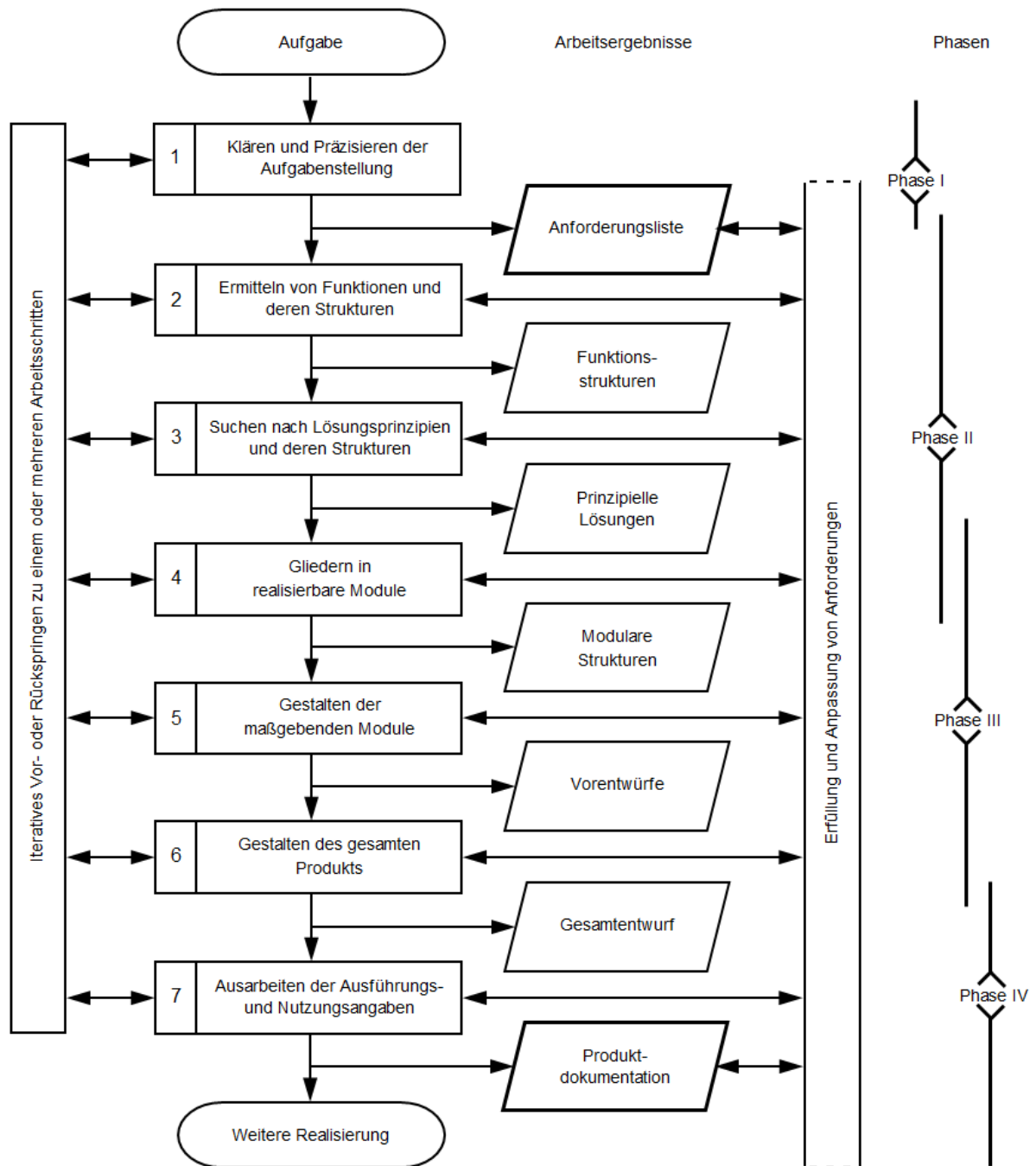


Abbildung 3: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren /VDI 2221/

/GRO11/ schlägt vor, nach den Schritten 5, 6 und 7 eine Kontrolle der Konstruktion vorzusehen. Weil mit dem Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen ein beliebiger Konstruktionsstand untersucht werden soll, werden hier weitere Kontrollstellen nicht ausgeschlossen. Mit den Ergebnissen von /RIC02/ lässt sich festhalten, dass ein später Kontrollzeitpunkt nur bei einer hohen Prozessfähigkeit sinnvoll ist.

Produktdarstellende Struktur

Die Arbeitsergebnisse lassen sich durch konkrete produktdarstellende Strukturen bzw. Modelle darstellen (vgl. /FRA76/). Beispiele für produktdarstellende Strukturen sind

- Allgemein: Skizzen, Funktionsschaubilder, Ablaufdiagramme
- Elektrotechnik: Schaltpläne
- Bauwesen: Bauzeichnungen
- Mathematik: Geometrie Konstruktionen
- Maschinenbau: Technische Zeichnungen

Im Maschinenbau gilt die Technische Zeichnung als etablierter Standard. Es gibt eine Vielzahl von Regeln bezüglich der Anwendung des Technischen Zeichnens, welche in Normen abgelegt sind /HOI09/, /KÜN10/. Eine große Zahl von Standardmaschinenelementen ist in diesem Zusammenhang ebenfalls normiert /KÜN04/, /ALE08/. Eine konkrete Erstellung der produktdarstellenden Struktur Technische Zeichnung ist sowohl manuell als auch rechnerunterstützt, insbesondere durch CAD-Programme (Computer Aided Design, /SPU84/), möglich. Bezogen auf das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren ist die Technische Zeichnung vorwiegend in den Ergebnissen der Schritte 5 bis 7 zu finden. Skizzen, Funktionsschaubilder und Ablaufdiagramme eignen sich für die vorgelagerten Schritte.

Die zu kontrollierende Konstruktion

Während des generellen Vorgehens beim Entwickeln und Konstruieren wird die zu kontrollierende Konstruktion erstellt. Sie darf im hier primär geltenden Rahmen beliebig fortgeschritten sein und als produktdarstellende Struktur die Technische Zeichnung verwenden. Es sind Konstruktionen von Einzelkomponenten und vor allem Baugruppen angesprochen, wenn sie Produkte aus dem Feld des Maschinenbaus darstellen. Die zu kontrollierende Konstruktion wird erstellt, um eine Aufgabenstellung zu lösen. Deshalb wird sie im Folgenden auch als konstruktiver Lösungsvorschlag bezeichnet.

Konstruktionswissen

Eine Übersicht über Wissen und Wissen im Zusammenhang des Konstruierens gibt /RIC09/. An dieser Stelle soll Wissen als das Vorhandensein von verknüpften Informationen bestimmter Sachverhalte aufgefasst werden. Damit gilt für den Sachverhalt des Konstruierens, dass Konstruktionswissen dem Vorhandensein von Informationen über Konstruktionssachverhalte entspricht.

Die Vermittlung von Wissen erfolgt in klassischen Präsenzveranstaltungen, mit modernen Verfahren des Distance Learnings, wie dem eLearning, oder einer Kombination beider, d. h. dem Blended Learning, unter einem möglichen Einsatz von Lernmanagementsystemen (LMS) /KLI11/. Das Wissen wird in der Ausbildung erworben und im Laufe der Zeit mit Erfahrungen angereichert. Zu den möglichen Vermittlern von Konstruktionswissen zählen Universitäten /BOR09/, Berufsschulen oder Seminaranbieter. Konstruktionswissen wird vor allem bei den Konstruierenden gespeichert. Daneben gibt es Normen (z. B. /DIN 3760/), Expertensysteme (z. B. /ARN92/), Herstellerkataloge (z. B. /DUR12/) usw. Für die ersten Schritte des generellen Vorgehens beim Entwickeln und Konstruieren sind insbesondere Konstruktionskataloge (z. B. /ROT00/, /ROT01/, /ROT96/ oder /KOL98/) interessant. Ab dem fünften Schritt liegt das Konstruktionswissen in Gestaltungsregeln vor. Die Abbildungen 4 und 5 listen eine entsprechende Literaturliste auf, welche Gestaltungsregeln für den Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen bereitstellt.

| | Wälzlagerungen | Gießen | Schweißen | Dichtungen | Fertigung | Oberfläche | Kosten | Sicherheit | Montage | Werkstoff | Kunststoffe | Getriebe | Welle-Nabe-Verbindung | Gehäuse |
|--------|----------------|--------|-----------|------------|-----------|------------|--------|------------|---------|-----------|-------------|----------|-----------------------|---------|
| ALB87 | x | | | | | | | | | | | | | |
| AMB92 | | x | | | | | | | | | | | | |
| ARN92 | x | | | | | | | | | | | | | |
| BAR03 | x | | | | | | | | | | | | | |
| BAR79 | x | | | | | | | | | | | | | |
| BÄß88 | | | | | | | | | x | | | | | |
| BOB55 | | | x | | | | | | | | | | | |
| BOD83 | | x | x | | | | | | | | | | | |
| DAH94 | x | | | | | | | | | | | | | |
| DEC09 | x | | x | x | | | | | | | | | | |
| EHR07 | | | | | | | x | | | | | | | |
| ESC78 | x | | | | | | | | | | | | | |
| FAH09 | | | x | | | | | | | | | | | |
| GLÄ90 | x | | | | | | | | | | | | | |
| GOH91 | | | | x | | | | | | | | | | |
| HAA95b | x | x | | x | x | | x | | x | | | | | x |
| HAA97 | | | | x | | | | | | | | | | |
| HAC96 | | | | | | | | | | | | | | x |
| HAL86 | x | | | | | | | | | | | | | |
| HAM71 | x | | | | | | | | | | | | | |
| HEN55 | | x | | | | | | | | | | | | |
| HEN69 | | x | | | | | | | | | | | | |
| HES94 | | | | | | | | | x | | | | | |
| HIN09 | x | | | | | | | | | | | | | |
| HIN89 | | x | x | | | | | | | | | | | |
| HOE07 | x | x | | x | | | | | | | | | | |
| HOR74 | | | x | | | | | | | | | | | |
| JUN91 | | | | | x | | | | | | | | | |
| KGB88 | | x | | | | | | | | | | | | |
| KGK93 | | | | | | | x | | | | | | | |
| KLE94 | | | | | | | | | | | | | x | |
| KLÖ97 | | | | x | | | | | | | | | | |
| KLU95 | x | | | | | | | | | | | | | |
| KNI61 | | x | | | | | | | | | | | | |
| KUB00 | | | | x | | | | | | | | | | x |
| KÜN01 | x | x | x | | | | | | | | | | | x |
| KÜN04 | x | | | | | | | | | | | | | |

Abbildung 4: Literatursauswahl für Gestaltungsregeln (Teil 1)

| | Wälzlagerungen | Gießen | Schweißen | Dichtungen | Fertigung | Oberfläche | Kosten | Sicherheit | Montage | Werkstoff | Kunststoffe | Getriebe | Welle-Nabe-Verbindung | Gehäuse |
|--------|----------------|--------|-----------|------------|-----------|------------|--------|------------|---------|-----------|-------------|----------|-----------------------|---------|
| KÜN07 | | x | x | | | | | | | | | | | |
| KÜN08a | x | | | | | | | | | | | | | |
| KUR95 | | | | | | | | | x | | | | | |
| KUR09 | | x | x | | x | | | | x | x | x | | | |
| LOO70 | | | | | | | | | | | | x | | |
| MÜL90 | | | | x | | | | | | | | | | |
| NEU78 | | | x | | | | | | | | | | | |
| NEU97 | | | x | | | | | | | | | | | |
| OSK82 | | | | | | x | | | | | | | | |
| PAH07 | | x | x | | x | | | | x | | | | | |
| RÄS91 | | x | | | | | | | | | | | | |
| RIC86 | | x | | | | | | | | | | | | |
| RIC91 | | | | | | | | | x | | | | | |
| ROT91 | | | | | x | | | | | | | | | |
| RUG85 | | | x | | | | | | | | | | | |
| SCH81 | | | | x | | | | | | | | | | |
| SEK87 | | | | | x | | | | | | | | | |
| SIM08 | | | | | | | | | | x | | | | |
| SOE96 | | x | | | | | | | | | | | | |
| STR92 | | | | | | | | x | | | | | | |
| TEM79 | | x | | | x | | | | | | x | | | |
| TIE03 | | | | x | | | | | | | | | | |
| WIM89 | | | | | | | | | | | x | | | |

Abbildung 5: Literatursauswahl für Gestaltungsregeln (Teil 2)

Konstruktionsarten

Konstruktionen lassen sich je nach Blickwinkel in unterschiedliche Konstruktionsarten einordnen. /VDI 2222/ führt z. B. zwei Betrachtungsweisen an. Zum einen gibt es die Unterscheidung von Konstruktionsarten nach dem Konstruktionsanlass bzw. dem Konstruktionsbereich mit der Entwicklungskonstruktion, der Auftragskonstruktion, der Angebotskonstruktion und der Betriebsmittelkonstruktion. Zum anderen gibt es die Unterscheidung von Konstruktionsarten nach dem Grad der Entwicklung und Änderung der Konstruktionsmerkmale mit der Neukonstruktion, der Anpassungskonstruktion und der Variantenkonstruktion. Diese Unterscheidungen nehmen auch /PAH07/ und /GRO11/ vor. Die Einordnung erfolgt dabei, wie in Abbildung 6 dargestellt, in Abhängigkeit der vorhandenen Informationen über den Inhalt der Konstruktion. Für die Neukonstruktion bedeutet dies, dass der Konstruktionsinhalt vor dem Konstruieren unbekannt ist und während des Konstruierens erst generiert wird. Bei der Variantenkonstruktion ist der Konstruktionsinhalt bereits vor dem Konstruieren bekannt,

denn es wird eine bereits vorhandene Konstruktion durch geänderte Parameter variiert. Eine Anpassungskonstruktion enthält sowohl Anteile einer Variantenkonstruktion als auch einer Neukonstruktion und besitzt deshalb vor dem Konstruieren bekannte sowie unbekannte Konstruktionsinhalte. Weil die Kontrolle von Konstruktionen, wie unten gezeigt wird, vom Konstruktionswissen, d. h. dem Vorhandensein von Informationen über den Konstruktionsinhalt, abhängig ist, wird die Unterscheidung von Konstruktionsarten nach dem Grad der Entwicklung und Änderung der Konstruktionsmerkmale im Folgenden für die Entwicklung des Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen verwendet.

| | | | |
|--------|-----------|-----------|-----------------------|
| Inhalt | bekannt | | Variantenkonstruktion |
| | bekannt | unbekannt | |
| | unbekannt | | Neukonstruktion |

Abbildung 6: Konstruktionsarten – Unterscheidung nach dem Grad der Entwicklung und Änderung der Konstruktionsmerkmale

2.1.2 Algorithmus

/VDI 2221/ definiert einen Algorithmus als eine Folge von Vorgehensschritten und Regeln, die festgelegt, eindeutig und endlich ist. Die schematische Befolgung dieser Folge führt zu einer eindeutigen Lösung einer Klasse von Aufgaben. Bezogen auf den in dieser Arbeit entwickelten Algorithmus stellt die Kontrolle von Konstruktionen diese Klasse dar. /FIS08/ ergänzt den Zusammenhang von Algorithmus und Programm. Danach liegt ein Programm vor, wenn ein Algorithmus in eine für Maschinen verständliche Folge von Anweisungen codiert wird. Für ein solches Programm, welches ein informationstechnisches Hilfsmittel ist, lässt sich die Struktur Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe anwenden.

2.1.3 Automatisierung

Eine Automatisierung erzielt eine Reihe von Effekten. Für den hier geltenden Kontext der Kontrolle von Konstruktionen sind in erster Linie die Einstellung eines konstanten Niveaus an Prozesssicherheit sowie die Rationalisierung zu nennen. Erkennen von Fehlern und Anbieten von definierten Korrekturvorschlägen stellen bei konsequenter Systemanwendung ein konstantes Niveau an Prozesssicherheit ein. Das Vermeiden von Fehlleistungen und Verhindern von Folgefehlern führt zu Rationalisierungen über den Gesamtprozess hinweg (vgl. Abbildung 2). Durch die Automatisierung erfährt der Kontrollprozess selbst eine Rationalisierung. Mit Blick auf die Kontrolle von Konstruktionen lässt sich dazu beispielsweise /NIE05/ anführen. Dort wird der Anteil der Kontrolle von Konstruktionen mit 7% des Gesamtkonstruktionsaufwandes angegeben. Dieser Anteil stellt das direkte Rationalisierungspotenzial des Prozesses Kontrolle von Konstruktionen dar. Die zu erzielende Automatisierung soll dabei nicht wie im Falle von Großserien bezüglich eines sich stets gleich verhaltenden und in einer sehr großen Anzahl von Wiederholungen präsentierenden Prozesses ausgestaltet werden, sondern muss auf beliebig fortgeschrittene Konstruktionsstände reagieren und an unterschiedliche Produkte anpassbar sein.

2.1.4 Kontrolle

Kontrolle

Im Rahmen der Kontrolle von Konstruktionen soll unter Kontrolle eine Untersuchung von Konstruktionen verstanden werden, deren Ergebnis zielorientiert verwendbar ist. Die Untersuchung analysiert sowohl die technische Korrektheit als auch die Anforderungserfüllung einer zu kontrollierenden Konstruktion. Das Ergebnis soll insbesondere zur Unterbrechung einer fehlerhaften Prozesskette und zur Leistungseinordnung bei Qualifikationsnachweisführungen verwendet werden können. /JUN93/ unterscheidet die Kontrollarten Zwischen- und Endkontrolle. Aufgrund des zu kontrollierenden beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes sind in diesem Kontext beide Kontrollarten erforderlich.

Fehler beim Konstruieren

Technische Abweichungen und eine ungeeignete Auswahl von Anforderungserfüllungsmitteln sind die Fehler beim Konstruieren. Fehlendes Konstruktionswissen sowie fehlerhafte Anwendung von Konstruktionswissen gelten als Fehlerursachen. Weiterhin zählen zu diesen u. a. Zeitmangel, Unsicherheit und Oberflächlichkeit. Zu den sich aus den Fehlern ergebenden Fehlerfolgen gehören beispielsweise Sicherheitslücken /KVE73/, Fehlerbehebungskosten (vgl. Abbildung 2) oder nicht bestandene Qualifikationsnachweisführungen.

Um aussagekräftige Qualifikationsnachweisführungen durchzuführen, muss der mit den vorliegenden Fehlern in Beziehung stehende Anforderungserfüllungsgrad einer zu kontrollierenden Konstruktion ermittelt werden. Dies gilt auch für Konstruktionen in der Prozesskette. In beiden Fällen hilft die Kontrolle von Konstruktionen weiter. Dazu ist die Trennung von Handlung und Kontrolle der Handlung erforderlich (vgl. Abbildung 7).

| Handlung | Kontrolle der Handlung |
|---------------------|------------------------------|
| Person ₁ | Person ₁ |
| Person ₁ | Person ₂ |
| Person ₁ | System |
| Person ₁ | Person ₁ + System |

Abbildung 7: Trennung von Handlung und Kontrolle der Handlung

Erfolgt die Kontrolle durch die Person, welche die Handlung durchgeführt hat, dann ergeben sich einige Vorteile, wie eine gesteigerte Motivation oder Einsparungen von weiteren Prüfenden. Allerdings besteht die Gefahr, dass aufgrund der Problematik des blinden Flecks (vgl. auch /BEC84/) nicht alle Fehler gefunden werden. Um diesen Nachteil auszuweichen, sollte eine Trennung von Handlung und Kontrolle der Handlung eingerichtet werden. Kontrolliert eine zweite Person, so ist die Trennung gegeben. Die ablauforganisatorische Wahl einer kontrollierenden Person geht ihrerseits mit dem Nachteil einher, dass das Kontrollergebnis von der kontrollierenden Person selbst abhängt /VDI 2223/, /BRE97/. D. h. es ist nicht zwangsläufig sichergestellt, dass eine vollständige Kontrolle erfolgt und eine Objektivität, welche im Falle einer Qualifikationsnachweisführung entscheidend ist /SCH95/.

gewährleistet wird. Durch die mangelnde Objektivität könnte eine Wertung der zu kontrollierenden Person erfolgen. Zudem ist diese Kontrolle nicht automatisiert. Wird anstatt einer Person ein automatisierungsfähiges kontrollierendes System gewählt, dann werden auch diese Nachteile umgangen. Eine vorgelagerte Selbstkontrolle mit systemdurchgeführter Endkontrolle stellt eine Variante dar, welche wieder einen Zugang zu den oben genannten Vorteilen eröffnet.

Damit in der Prozesskette keine Fehlerfolgen auftreten, ist im Falle vorliegender Fehler eine Korrektur erforderlich. Für eine erfolgreiche Korrektur sind das Vorhandensein von Vorschlägen sowie die tatsächliche Umsetzung der Vorschläge wichtig. Der Umgang mit Fehlern /GEI08/, /MAS99/ und die Annahme von Vorschlägen stellen einer Umsetzung von Vorschlägen psychologische Hindernisse entgegen. Der Annahme von Vorschlägen steht insbesondere die Reaktanz, d. h. das Bedürfnis nach Kontrolle und Selbstbestimmung über das eigene Verhalten im Sinne von Unabhängigkeit /PET07/, entgegen. Kommen Vorschläge von außen, so müssen sie entsprechend gestaltet werden, um nicht durch reaktantes Verhalten blockiert zu werden. /SCH10/ rät dazu, die Art der Rückmeldung zielorientiert auszugestalten. Beispielsweise ist die Neugier auf empfängerorientiertem Niveau anzusprechen, positive wie negative Elemente sollten ausbalanciert sein und es ist auf eine zeitnahe Rückmeldung, welche sich auf konkrete Situationen bezieht, zu achten, wobei keine moralische Bewertung stattfinden darf. /DOR11/ nennt mit Freundlichkeit, Bestimmtheit und Verzicht auf Maßregelung sowie Bevormundung weitere Parameter der Wortwahl. D. h. die Textbausteine, mit denen die Vorschläge unterbreitet werden, sollten diesen Ratschlägen entsprechen, um die Vorschläge psychologisch umsetzungsfähig zu halten. Zusammen mit der technischen Korrektheit lassen sich damit Fehlerfolgen vermeiden. Eine mögliche, weiterführende Variante des Feedbacks stellt die Besprechung des Systemergebnisses mit einer zweiten Person, z. B. Lehrende oder Vorgesetzte, dar. /BAS03/ beschreibt die Feedbackgestaltung für die dabei erforderliche interpersonelle Kommunikation.

Kontrolle in der Konstruktionsphase

Hinsichtlich der Kontrolle in der Konstruktionsphase darf das oben beschriebene generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren gemäß Abbildung 8 aufgefasst werden. Jeder Konstruktionsschritt beinhaltet dabei die Punkte Konzept, Umsetzung, Optimierung und Ergebnis. Für den Konstruktionsfortschritt wird ein Konzept erarbeitet, welches anschließend umzusetzen ist. Dies erfolgt in den Unterschritten Gestaltung und Berechnung. Die vorliegende Arbeit fokussiert auf die Gestaltung. Zur Berechnung sei z. B. auf /ROD77/, /DEC09/ oder /KÜN01/ verwiesen. Optional siedelt sich nach der Umsetzung eine Optimierung an. Am Ende steht das Ergebnis des aktuell betrachteten Konstruktionsschrittes. Bei allen Punkten sind verschiedene Kontrollen bzw. kontrollnahe Methoden anzuwenden. Das umgesetzte Konzept ist bezüglich der korrekten Ausführung zu kontrollieren. Dabei ist auch die korrekte Anwendung der verwendeten produkt darstellenden Struktur zu betrachten. Angestoßene Korrekturen betreffen den aktuellen Konstruktionsschritt. Das Ergebnis des aktuellen Konstruktionsschrittes wird im Zusammenhang der vorherigen Konstruktionsschritte reflektiert. Ist die Anforderungserfüllung des aktuellen Konstruktionsweges nicht mehr zu erreichen, so setzt die Korrektur bei den vorgelagerten Konstruktionsschritten an. Die beiden Korrekturschleifen, welche bei der Umsetzung und beim Ergebnis starten, weisen den

allgemeinen Iterationscharakter des generellen Vorgehens beim Entwickeln und Konstruieren aus. Die Methoden der Punkte Konzept und Optimierung gehen davon aus, dass die Umsetzung korrekt erfolgt. D. h. sie liefern Hinweise zur Anforderungserfüllung unter der Voraussetzung einer korrekten Umsetzung. Inwiefern diese gegeben ist wird in der Kontrolle der Umsetzung für den aktuellen Konstruktionsschritt festgestellt. Die Ergebniskontrolle zielt wieder auf die Anforderungserfüllung ab. Damit bilden die Kontrollen bei Umsetzung und Ergebnis die Ansatzstellen für die inhaltliche Konstruktionskontrolle. Die Methoden aus Konzept und Optimierung bieten eine Unterstützung der Anforderungserfüllungsuntersuchung. Die Untersuchung der korrekten, im Falle des Technischen Zeichnens normgerechten, Anwendung einer produktdarstellenden Struktur ist als ein Zusatz zur inhaltlichen Konstruktionskontrolle zu betrachten.

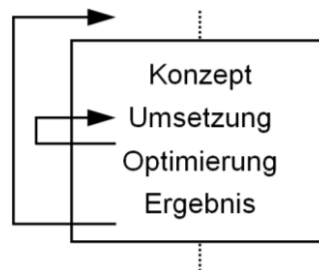


Abbildung 8: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren – Kontrolle in der Konstruktionsphase

2.2 Konstruktionsphase und Methoden

2.2.1 Methoden in der Konstruktionsphase

2.2.1.1 Präventives Analysieren

Aus den Ausführungen zu Abbildung 2 ist festzuhalten, dass die präventive Fehlervermeidung einen wichtigen Stellenwert besitzt. Die aus den Qualitätsmanagementmethoden bekannte FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse, /WER11/) eignet sich zur präventiven Fehlervermeidung /FRA89/. Mit ihrer Hilfe wird ein zu analysierender Sachverhalt wie folgt betrachtet. Zuerst werden alle potenziellen Fehler erarbeitet. Den einzelnen Fehlern werden danach Fehlerfolgen und Fehlerursachen zugeordnet. Diese Schritte zählen zur Fehleranalyse, der sich die Risikobeurteilung anschließt. Dort werden die Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache, die Bedeutung der Fehlerfolge und die Entdeckungswahrscheinlichkeit, d. h. die Güte der zur Fehlerentdeckung eingesetzten Kontrollmaßnahme, abgeschätzt. Die Einzelabschätzungen werden in eine Gesamtkenngröße, die Risikoprioritätszahl, überführt. Hohe Risikoprioritätszahlen erfordern Maßnahmen, welche in Form von Alternativvorschlägen zu erarbeiten sind. Diese Vorschläge werden in der Ergebnisbeurteilung erneut einer Risikoprioritätszahl zugeordnet, um die Güte der Verbesserung nachzuvollziehen.

Der analysierte Sachverhalt ist im Allgemeinen ein Systementwurf (System-FMEA), eine Konstruktion (Konstruktion-FMEA) oder eine Prozess (Prozess-FMEA). Im Zusammenhang mit dem Produktlebenszyklus bauen diese drei Analysen aufeinander auf. Es ist auch möglich,

andere Sachverhalte zu untersuchen. Beispiele sind die Human-FMEA /ALG01/ oder die ontologische FMEA /DIT07/. Für die Kontrolle von Konstruktionen sind die System-FMEA und vor allem die Konstruktion-FMEA interessant. Die Konstruktion-FMEA analysiert die Teil- und Gesamtfunktionalität einer Konstruktion in Richtung Schwachstellenvermeidung /FRA89/. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die einzelnen Konstruktionsteile zu potenziellen Fehlern führen. Dies liegt jedoch in der Auswahl der Konstruktionsteile und nicht an der fehlerhaften Ausgestaltung dieser. Die Kontrolle von Konstruktionen erfordert allerdings beide Punkte. Der Bezug von System-FMEA und Konstruktion-FMEA zur Zuverlässigkeit und damit zur Anforderungserfüllung von Systemkonzept bzw. Konstruktion liefern dahingegen Informationen, welche in der Kontrolle von Konstruktionen wieder aufgegriffen werden können.

2.2.1.2 Schwachstellenorientiertes Analysieren

Ähnlich wie die Konstruktion-FMEA untersucht die Zuverlässigkeitsanalyse (z. B. /WU92/, /VEI99/, /FRI01/, /LUO02/) ebenfalls die Teilfunktionen einer Konstruktion. Die fertige Konstruktion wird dazu zerlegt. Jedes Teil ist hinsichtlich des Ausfalls abzuschätzen. Anschließend erfolgt die Zusammenführung dieser Einzelwerte. Sie ist ein Maß für die zu erwartende Zuverlässigkeit. Diese Methode betrachtet wie die Konstruktion-FMEA eine Eigenschaft der analysierten Teile und nicht deren Grad an fehlerhafter Ausgestaltung. Zudem liegt die Betrachtung einer Endkonstruktion vor und nicht eines beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes. Das Kriterium für Zuverlässigkeit lässt sich als eine Anforderung aufbauen. Es deckt aber nicht den gesamten Anforderungssatz eines Lastenheftes ab.

2.2.1.3 Bewertungsverfahren

Technische Systeme sollen Anforderungen erfüllen. Inwieweit dies im Einzelfall gegeben ist, kann mittels der Verfahren zur Bewertung technischer Systeme /BRE97/ untersucht werden. /BRE97/ listet die bekanntesten Verfahren auf. Zu Ihnen zählen die Technisch-wirtschaftliche Bewertung, die Nutzwertanalyse, die Bewertung mittels Präferenzen, die Vorrangmethode, die anforderungsorientierte gewichtete Bewertung und die Kosten-Nutzen-Analyse. Die Konstruktion als technisches System wird bei der Bewertung einem Anforderungssatz gegenübergestellt. Zuerst erfolgt die Ermittlung der Einzelerfüllungen. Diese lassen sich entsprechend der Bedeutung der Einzelanforderungen zusätzlich gewichten. Anschließend ergibt sich ein Kennwert über alle Einzelergebnisse hinweg, die sogenannte technische Wertigkeit. Die Methode ist auf andere Kriterien, z. B. Wirtschaftlichkeit, übertragbar. Eine analysierte Konstruktion besitzt demnach mehrere Wertigkeiten. Wertigkeiten lassen sich auch für Alternativkonstruktionen ermitteln. Aus dem Vergleich der Wertigkeiten von Alternativen leitet sich eine Entscheidungsbasis zu Gunsten einer Alternative ab, falls die Wertigkeiten einem Mindestmaß entsprechen. Zudem sind über den Vergleich Verbesserungen von Altkonstruktionen belegbar. Der Grad an Anforderungserfüllung, welcher zwar manuell ermittelt wird und eventuelle Ausgestaltungsfehler nicht berücksichtigt, ist für die Kontrolle von Konstruktionen grundsätzlich verwendbar.

2.2.1.4 Rechnerunterstütztes Konstruieren

Neben dem klassischen manuellen Konstruieren mittels Freihandzeichnung und Zeichenbrett hat sich das rechnerunterstützte Konstruieren etabliert. Dabei werden in erster Linie Konstruktionen erstellt. Die erzeugten Daten lassen sich zudem auf vielfältige Art und Weise nutzen. Dazu zählt die Verwendung für weitere Konstruktionen, Analysen oder nachfolgende Prozessschritte. Die im Hinblick auf die Kontrolle von Konstruktionen interessanten Punkte stellen die folgenden Abschnitte vor.

Konstruktion erstellen

Im betrachteten Kontext sind zwei Wege der Konstruktionserstellung von Bedeutung. Der erste beschreibt das Konstruieren mit CAD-Systemen. Eine grafische Oberfläche bietet dazu Elemente wie Punkte, Linien usw. an, um von der Basis aufwärts konstruktiv tätig zu werden. Alternativ liegt der zweite Weg darin, die Konstruktionsabsichten einem für den Produktkontext vorbereiteten System über Grafikelemente oder Eingabemasken mitzuteilen. Diese Systeme berücksichtigen konstruktive Bedingungen und geben eine entsprechende Lösung aus. Während im ersten Fall Fehler in der Konstruktion möglich sind, gibt es im zweiten Fall diese Fehler nicht.

CAD-Systeme

CAD-Systeme werden als 2D- oder 3D-Systeme angeboten. Dabei lassen sich 2D-Systeme, z. B. AutoCAD, mit einem digitalen Zeichenbrett zur Generierung von Technischen Zeichnungen vergleichen. 3D-Systeme ermöglichen ein räumliches Konstruieren. Beispiele sind SolidWorks, Inventor, CATIA, Pro/ENGINEER oder SpaceClaim. Mit ihnen werden räumliche Modelle erstellt, aus denen Technische Zeichnungen in beliebigen Ansichten ableitbar sind. Die produktdarstellende Struktur von 3D-Systemen sind somit die Modelle oder Technische Zeichnungen. Beide Datenstrukturen eignen sich für die Kontrolle von Konstruktionen. Im Falle der Modelle besitzen diese selbst Datenstrukturen, in denen ihre Eigenschaften verwaltet werden, sogenannte Feature /GUS93/. Zu ihnen gehören beispielsweise Bohrungen mit Durchmesser- und Tiefenangaben. Eine Kontrolle von Konstruktionen kann diese Angabe direkt verwenden. Weiterhin wird mit dem Zugriff auf die Datenstruktur ein parametrisches Konstruieren von Variantenkonstruktionen möglich /EIG88/. Hinsichtlich der rechnerinternen Darstellung der Datenstrukturen sei z. B. auf /KOL89b/ verwiesen.

CAD-Systeme besitzen selbst eine Reihe von Kontrollfunktionen. /SOL12/ automatisiert die normgerechte Bemaßung von Technischen Zeichnungen. Die Funktionalitäten bzw. Module Q-Checker sowie Q-Doctor /TRA12/ für CATIA, DesignQA /NGS97/ für Pro/ENGINEER oder die integrierte Geometrieaufbereitungsfunktionalität /SPA09/ von SpaceClaim zeigen Fehler im Modell auf. Dazu gehören beispielsweise Lücken, die aus einem 3D-Volumenmodell eine 3D-Flächenkonstruktion entstehen lassen. Die Ursachen liegen nicht nur in der Erstellung, sondern auch beim Datenaustausch zwischen verschiedenen CAD-Systemen. Beispielsweise bietet SpaceClaim dafür Geometrieaufbereitungsmechanismen an, um die Daten korrekt verwenden zu können.

Bereitstellen von Konstruktionen durch Rechnerunterstützung

/FRA76/ untersucht die Algorithmisierbarkeit des Konstruierens im Allgemeinen. In diesem Bereich haben sich drei für das behandelte Thema der automatischen Kontrolle von Konstruktionen interessante Systeme entwickelt, welche das Bereitstellen von Konstruktionen durch Rechnerunterstützung ermöglichen. Dabei wird dem System das Ziel mitgeteilt, anschließend übernimmt das System das Auskonstruieren. Den einfachsten Fall stellen Katalogsysteme dar. Über eine Eingabemaske erfolgt die Auswahl des gewünschten Produktes. Plausibilitätskontrollen untersuchen die Eingabe auf Unstimmigkeiten. Stehen z. B. zwei Eingabefelder zur Verfügung, dann ist es möglich, dass die Eingabewerte eigentlich für das jeweils andere Eingabefeld vorgesehen waren, aber durch die Benutzenden verwechselt wurden. Einander ausschließende Parameter oder unvollständige Eingabe sind weitere Beispiele. /DUR12/ lässt sich als ein solches System aus dem Bereich Federn anführen. Ein Vorteil dieser Systeme liegt darin, dass auch konstruktiv ungeschulte Anwender das System nutzen können. Soll in einem detaillierten Grad eine konstruktive Lösung gefunden werden, dann sind mehr Eingangsdaten erforderlich. Dazu wird entweder beschrieben, welche Anforderungen bzw. Parameter von der Konstruktion zu erfüllen sind (Wellengenerator der Software Inventor /AUT11/), oder es erfolgt in wissensbasierten Assistenzsystemen ein Lösungseinstieg mit konstruktiven Elementen /ROS92/. Mit diesen Daten verarbeitet das System abgelegte Regeln und liefert als Ergebnis die Konstruktion. Dabei wird Konstruktionswissen ausgewertet, welches beispielsweise bei /KOP98/ in semantischen Netzen abgelegt wird. Semantische Netze repräsentieren dabei Konstruktionswissen in einer netzartigen Struktur. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Constraints, d. h. der Abbildung von Beziehungen und Randbedingungen. /MAR98/ realisiert damit, dass am Ende nur fehlerfreie Ausgaben unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der Eingabedaten vorliegen. Somit ist ein schnelles, automatisiertes und fehlerfreies Konstruieren möglich.

Hinsichtlich der Eignung dieser Systeme für die Kontrolle von Konstruktionen sind die nachstehenden Punkte zu berücksichtigen. Das zentrale Ziel der Systeme ist das Geben von Hilfestellungen beim Konstruieren. Dies erfolgt insbesondere durch die Einschränkung der Konstruktionsmöglichkeiten. Dazu werden unter Berücksichtigung bereits getätigter Eingaben nicht zielführende bzw. aufgrund von Bedingungen nicht zulässige Konstruktionslösungen nicht zugelassen, indem diese Möglichkeiten erst gar nicht ausgewählt werden dürfen. Diese Funktionalität ist dort erwünscht und deshalb systembedingt vorhanden. Bei einer Qualifikationsnachweisführung, bei der Fehler möglich sein müssen, ist eine solche Funktionalität jedoch nicht erwünscht. Neben der Kontextverwendbarkeit ist zu prüfen, inwieweit eine zu kontrollierende Konstruktion in eines dieser Systeme eingegeben werden kann. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Assistenzsysteme. Diese Systeme untersuchen allerdings auch bereits die Eingabe, deshalb ist die Eingabe fehlerhafter Konstruktionen ausgeschlossen. Liegen Fehler an unterschiedlichen Stellen vor, dann wird direkt beim ersten Fehler die Eingabe abgebrochen. Aufeinander aufbauende Fehler bereiten dieselbe Eingabeproblematik. Damit lassen sich nur korrekte Konstruktionen mit Assistenzsystemen vollständig untersuchen. Eine Eingabe vollständiger Konstruktionen widerspricht jedoch dem eigentlichen Einsatzzweck der Assistenzsysteme, d. h. dem automatischen Auskonstruieren. Dahingegen sind die für diese Gruppe von Systemen bereits herausgearbeiteten Konstruktionsregeln als Konstruktionswissen für die Kontrolle von Konstruktionen verwendbar.

Datenverwendung für weitere Konstruktionen

Einmal mittels Rechnerunterstützung konstruierte Daten liegen digital vor. Somit ist eine Wiederverwendung möglich. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der erneuten Verwendung von Modellbereichen und ganzen Modellen. Inventor bietet z. B. an, Modellbereiche als sogenannte iFeature abzuspeichern /AUT11/. Dies sind in der Regel häufig wiederkehrende Merkmale des Produktspektrums, deren Konstruktionsschritte durch die Verwendung der iFeature-Technologie im Sinne von Schablonen vereinfacht wird. Das Zurückgreifen auf bereits fertige Modelle ist mit einem Wiederholteilmanagementsystem zu realisieren /KAI95/. Ein Auffinden dieser Wiederholteile im System reduziert die Konstruktionsarbeit, stellt nachfolgende, bereits erprobte Prozesse sicher und eignet sich in Verbindung mit der Parametrik von CAD-Daten für Variantenkonstruktionen.

Analysen

Für die unterschiedlichsten Zielsetzungen stehen Analysen von CAD-Daten zur Verfügung. Ein wichtiges Ziel stellt die Verwendung der richtigen Daten für einen Prozess dar. Organisatorisch leisten dafür Produktdatenmanagementsysteme einen Verwaltungsbeitrag mit Speicherung, Berechtigungsmanagement, Änderungsverfolgung und Freigabemanagement. Eine grafische Unterstützung bieten Mock-Up-Verfahren. Sie zeigen den Vergleich zweier Varianten oder zweier Änderungsstände. Zusätzliche Flächen, geänderte Merkmalspositionen oder gelöschte Elemente werden dazu farblich hervorgehoben /SPA09/.

Im Zusammenhang mit Baugruppen, d. h. dem Vorhandensein mehrerer Modelle in einer Datei, analysieren verschiedene Systeme die Kinematik der Konstruktion oder lassen eine Montierbarkeitsuntersuchung zu, beispielsweise /SOL12/. FEM-Analysen (Finite Elemente Methode) ermöglichen eine rechnerunterstützte Dimensionierung der CAD-Konstruktion.

Nachfolgende Prozesse

Optimierung

Nach der Dimensionierung einer korrekten Konstruktion ist häufig eine Optimierung der Geometrie gewünscht. Die Evolutionären Algorithmen lassen sich dazu beispielhaft anführen. /RIC03/ stellt ein System vor, welches die Parameter einer Konstruktion mittels Evolutionärer Algorithmen an gegebene Zielgrößen anpasst. Eine Optimierung für Wellen und Achsen gibt bereits /ROD77/ an. Dickwandige, massive Bauteile optimiert /SPR94/.

CIM

Unter CIM (Computer Integrated Manufacturing, /SCH94/) wird die durchgehende Datennutzung in der Prozesskette verstanden. Drei wichtige Elemente im Zusammenhang mit der Kontrolle von Konstruktionen sind das bereits beschriebene CAD sowie das CAM (Computer Aided Manufacturing, /LÖN87/) und das CAQ (Computer Aided Quality Assurance, /SCH94/).

CAM nutzt die Daten aus den CAD-Systemen und überführt sie in Maschinensteuerungsdaten, um CNC-Prozesse zu ermöglichen. CAM-Systeme lesen die CAD-Daten des zu bearbeitenden Werkstücks sowie des Rohmaterials ein. Optional werden zudem Maschinen- und Spannmittel verwendet. Die Erstellung der Bearbeitungsbahnen ist automatisierbar /PLA09/. Dazu werden die Bearbeitungsfeature, d. h. die einzelnen Bearbeitungsmerkmale eines Werkstückes wie Bohrungen oder Taschen, vom CAM-System erkannt. In Abhängigkeit der Featureeigenschaften, wie Durchmesser, Tiefe oder Eckenradien, erfolgt eine passende Werkzeugauswahl und eine Bearbeitungsstrategie. Dazu sind zuvor entsprechende Regeln festzulegen, welche auf die Featureeigenschaften reagieren. Steht die Bearbeitung, dann ist eine Ergebniskontrolle mittels Simulation möglich. Diese zeigt Auf- und Untermaße, unbearbeitete Bereiche, Kollisionen und Bearbeitungsdaten, wie die Fertigungszeit. Ändern sich die Werkstückdaten konstruktionsseitig, so ist eine Anpassung der Bearbeitung aus Sicht des CAM-Systems ein Austauschen von Eingabedaten und Regenerieren der Bearbeitung. Für den Prozess der Kontrolle von Konstruktionen ist die Vorgehensweise Konstruktionsdaten einlesen, Erkennen wichtiger Bereiche, Auswertung dieser Bereiche mit definierten Regeln und Ausgabe eines Simulationsergebnisses grundsätzlich ebenfalls erforderlich.

/HAA93/ zeigt eine Kopplung von CAD und CAM. Dabei integriert er eine Kontrolle des CAD-Ergebnisses. Diese basiert auf der Abbildung von speziellen Gestaltungsregeln, insbesondere bezüglich der Gussgestaltung. Verletzt das CAD-Ergebnis, welches bei /HAA95a/ ein fertiges Gussbauteil ist, diese Regeln, so wird der Regelverstoß ausgegeben. Eine Berücksichtigung des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes oder der Erfüllung eines Anforderungssatzes durch die Konstruktion findet nicht statt. Die Regelabbildung, welche auf einer Featureauswertung beruht, ist jedoch für den Prozess der Kontrolle von Konstruktionen interessant.

Abschließend soll auf das CAQ eingegangen werden. Es ist eine Querschnittsfunktion im CIM /MIS88/. Einen wichtigen Bereich stellt dabei die rechnerunterstützte Prüfplanung dar, d. h. die Ableitung von Kontrollunterlagen für die Fertigung aus CAD-Daten. Es handelt sich demnach nicht um die Kontrolle von Konstruktionen, sondern von Fertigungsschritten. Gelangt eine fehlerhafte Konstruktion ins CAQ, dann ist die Auslieferung eines fehlerhaft konstruierten Produktes sehr wahrscheinlich. Dies zeigt noch einmal die Bedeutung der Kontrolle von Konstruktionen.

2.2.2 Verwandte Methoden

2.2.2.1 Schaltplananalyse

Technische Gebilde werden im Rahmen der Elektrotechnik mit Schaltplänen beschrieben. Innerhalb dieser produkt darstellenden Struktur gibt es vorwiegend Funktionsbausteine, welche über Leitungen miteinander verbunden werden. Fehler liegen beispielsweise dann vor, wenn Eingangs- und Ausgangsseite der Funktionsbausteine bezüglich der Verbindungen vertauscht sind oder Leistungen ins Leere laufen. Solche Fehler lassen sich automatisch kontrollieren /EPL98/. Diese Analysen sind für die Kontrolle von Konstruktionen jedoch nicht verwendbar, weil sie eine andere produkt darstellende Struktur einsetzen und nicht auf die Besonderheiten von Maschinenbaukonstruktionen mit ihren Anforderungserfüllungs-

potenzialen eingehen. Sie besitzen allerdings das Potenzial, auf die Kontrolle von Ablaufdiagrammen übertragen zu werden.

2.2.2.2 Auswertung von Bauzeichnungen

Das Bauwesen verwendet als produktdarstellende Strukturen die Bauzeichnung. Eine in Bezug zur Kontrolle von Konstruktionen interessante Untersuchung ist mit /KRU11/ möglich. Dabei werden vorhandene Bauzeichnungen kompletter Etagen eingelesen und der Flächeninhalt definierter Bereiche, wie Küche, Bad oder Wohnraum, ermittelt. Diese Daten werden dann mit Grenzen verglichen. Daraus ergibt sich die Eignung der vorhandenen Wohnflächen für den sozialen Wohnungsbau und die zu erwartenden Mieteinnahmen des analysierten Objektes. Die Ermittlung definierter Strukturen aus einer Bauzeichnung, welche große Ähnlichkeit mit der Technischen Zeichnung besitzt, wäre ggf. für die Kontrolle von Konstruktionen nutzbar. Allerdings liegen in den Bauzeichnungen der beschriebenen Analyse nur vollständige Strukturen vor. Bei der Kontrolle von Konstruktionen sind aufgrund des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes auch unvollständige Strukturen zu untersuchen.

2.2.2.3 Geometrie Konstruktionen erstellen

Für die Anwendung in der Mathematikdidaktik gibt es grafische Systeme, mit denen Geometrie Konstruktionen erstellt werden. Eine Auswahl ist bei /LEH12/ zu finden. Zu diesen Geometrie Konstruktionen zählt beispielsweise, das Lot von einem Punkt auf eine Gerade zu fällen. /SCH05/ gibt interaktive Hinweise zum Lösen der Aufgabenstellung. Bei der Erstellung von Technischen Zeichnungen ist die Nutzung von Hilfskonstruktionen ein gängiges Verfahren, welches auf einfache Geometrie Konstruktionen zurückgreift. Diese werden jedoch zu großen Teilen wieder gelöscht, weil sie nur Vorstufen für technische Strukturen darstellen. Die Kontrolle von Konstruktionen kontrolliert anschließend diese technischen Strukturen und nicht die Hilfskonstruktionen.

2.3 Konstruktionsqualifikation

2.3.1 Qualifikation

Bezüglich des in dieser Arbeit geltenden Sachverhaltes soll vereinbart werden, dass Qualifikation die Fähigkeit beschreibt, zugehöriges Wissen zielorientiert anzuwenden. Damit stellt das Wissen eine Voraussetzung für die Qualifikation dar. Unter Konstruktionsqualifikation wird somit die Fähigkeit verstanden, Konstruktionswissen zielorientiert, d. h. vor allem anforderungserfüllend, anzuwenden. Neben dem Konstruktionswissen gibt es eine zweite Voraussetzung. Das Konstruktionsergebnis wird mit der produktdarstellenden Struktur Technische Zeichnung abgebildet. Dieses Abbilden erfolgt beispielsweise mittels Freihandzeichnen oder CAD-Systemen. Die Qualifikation diese Abbildungshilfsmittel anzuwenden stellt die zweite Voraussetzung dar. Sie wird im Folgenden als Anwendungsqualifikation bezeichnet. Im Falle von CAD-Systemen verbirgt sich dahinter die Softwareanwendung, welche durch Softwareergonomie unterstützbar ist /HER05/, sowie das Erstellen von

geometrischen Hilfskonstruktionen, wobei es dabei meistens mehrere Wege gibt. Konstruktionsqualifikation und Anwendungsqualifikation bauen wechselseitig aufeinander auf. Abbildung 9 verdeutlicht dies in Form einer Spirale. Diese gestaltet es für einen Konstruktionseinsteiger als schwierig, direkt am Anfang der Ausbildung ein CAD-System zu erlernen, weil ihm die für den Hintergrund der Anwendungsqualifikation erforderliche Konstruktionsqualifikation, insbesondere Normen und Gestaltungsgrundlagen, nicht umfassend genug zur Verfügung steht. Eine Qualifikationsnachweisführung muss den Anteil der Anwendungsqualifikation genau bemessen, obwohl eigentlich nur die Konstruktionsqualifikation festgestellt werden soll. Auf einer frühen Ausbildungsstufe darf sich die für eine Qualifikationsnachweisführung erforderliche Anwendungsqualifikation nicht als eine unüberwindbare Hürde für den Geprüften erweisen.

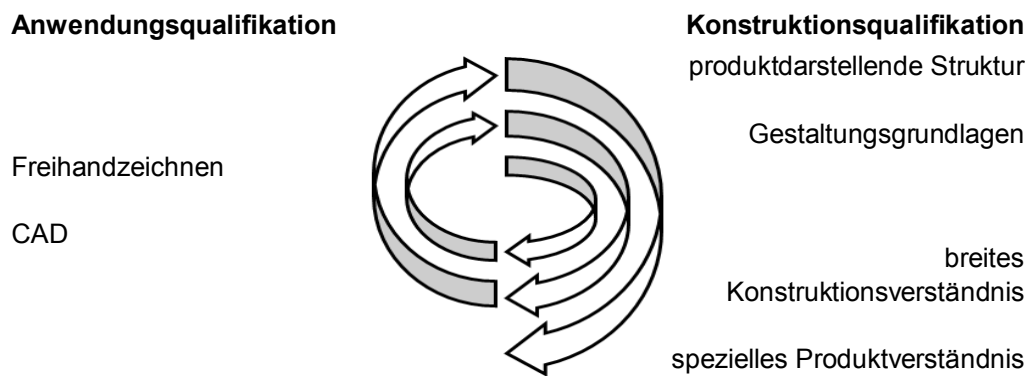


Abbildung 9: Anwendungsqualifikation und Konstruktionsqualifikation

2.3.2 Erlangung von Qualifikation

Allgemein wird Qualifikation dort erlangt, wo zum einen Wissen vermittelt wird (vgl. Konstruktionswissen) und zum anderen Erfahrung durch das Arbeiten an konkreten Aufträgen gesammelt wird. Während die klassische Konstrukteurausbildung mit Vorlesung, Übung und Literatur (z. B. /KÜN10/, /KÜN01/, /VIE09/) auf eine langjährige Anwendung zurückblickt, gibt es auch neue Verfahren wie das eLearning. Diese macht sich insbesondere die breite Durchdringung des Internets und der entsprechenden Technologien zunutze. Beispiele sind in der eLearningplattform des Fachgebietes Maschinenelemente der TU Dortmund /MFM12/ oder den funktionalitätsbeschreibenden Lernvideos der Software SpaceClaim /SPA11/ zu finden. Neben der breiten Zugänglichkeit sind auch die frei wählbare Ausbildungszeit sowie das beliebige Wiederholen /HTT04/ weitere Vorteile des eLearnings.

2.3.3 Nachweis der Qualifikation

Liegt die Bearbeitung einer gestellten Aufgabe vor, dann lässt sich das Ergebnis hinsichtlich der dabei verwendeten Qualifikation analysieren und somit der Nachweis dieser Qualifikation führen. Die erbrachte Leistung wird an dieser Stelle eingeordnet, denn der Begriff Bewertung ist durch die oben genannten Methoden aus konstruktionssystematischer Sicht bereits belegt. Einsatzfelder von Qualifikationsnachweisführungen im Fall der Konstruktionsqualifikation

liegen im Rahmen der Ingenieurausbildung oder bei Assessments. Die Durchführung von Qualifikationsnachweisführungen erfolgt im Allgemeinen klassisch mit einer manuellen Auswertung. Bestrebungen im wachsenden Bereich eLearning zielen auf eine rechnerunterstützte Durchführung ab. Dabei zeigt sich, dass Wissen mittels der Aufgabentypen Multiple-Choice-Fragen, Single-Choice-Fragen, Richtig-Falsch-Auswahl und Lückentext bereits automatisch kontrolliert werden kann /HTT11/. /E-T10/ weist zudem darauf hin, dass dabei nur das Endergebnis, nicht aber der Rechenweg berücksichtigt wird. Abfragen von Zwischenergebnissen sind somit erforderlich. Eine automatische Kontrolle von Qualifikationen, d. h. der Anwendung von Wissen, ist insbesondere im Bereich des Maschinenbaus nicht gegeben. Sie würde die Aufgabentypen deutlich erweitern. /KÜN08b/ fragt diesen Aufgabentyp sehr positiv nach.

Zu den Besonderheiten der Qualifikationsnachweisführung von Konstruktionsqualifikation gehört der Anteil der Anwendungsqualifikation. Die gezielte Gewichtung des Anwendungsqualifikationsanteils ist bei der Gestaltung der Qualifikationsnachweisführung einzustellen. Weitere Besonderheiten sind die Zulassungsbeschränkung, das Berechtigungsmanagement, die Begrenzung der Aufgabenbearbeitungszeit und Hilfsmittel, die Sicherstellung des Leistens eigener Lösungen sowie Verwaltungsanforderungen. Diese Besonderheiten sind in einem übergeordneten System zu berücksichtigen.

Der untersuchte Stand der Technik weist eine Unterdeckung von Methoden zur Bedarfsdeckung gemäß Kapitel 1 aus, deshalb ist eine den Stand der Technik erweiternde Entwicklung des in dieser Arbeit beschriebenen Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen erforderlich.

3 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Hilfsmittels, um Konstruktionen zu kontrollieren (vgl. Abbildung 10). Es soll ein präventives Werkzeug darstellen, welches maßgeblich die Sicherstellung einer fehlerfreien Prozesskette unterstützt.

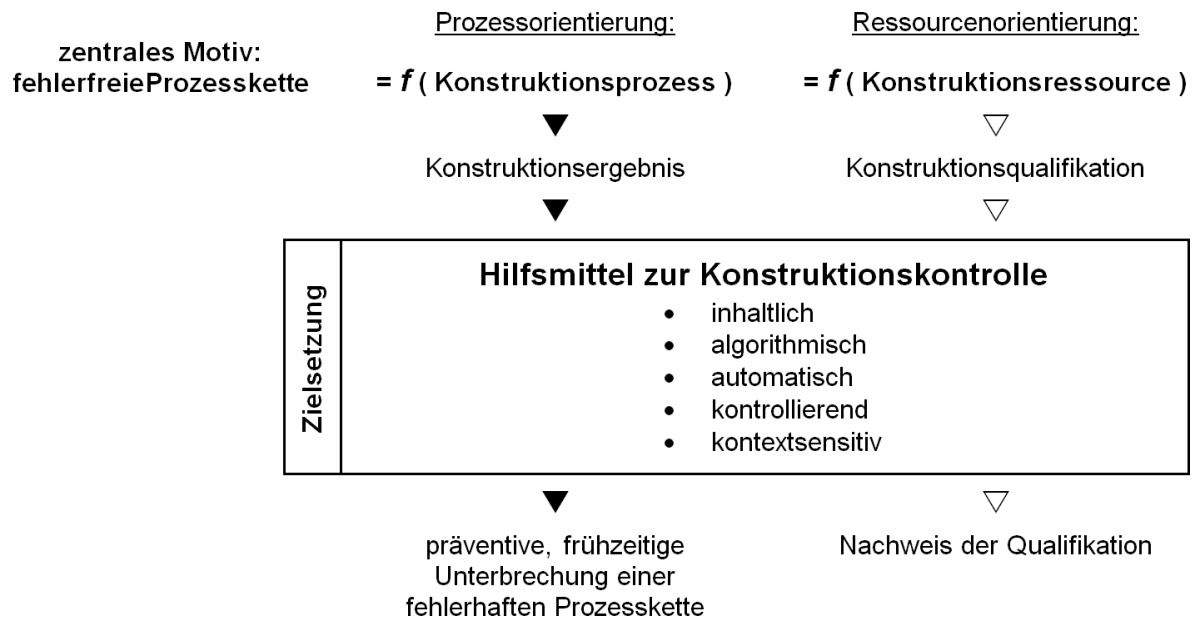


Abbildung 10: Ziel der Arbeit – Hilfsmittel zur Konstruktionskontrolle

Gefordert wird eine inhaltliche Kontrolle, d. h. die Konstruktion wird auf ihre Anforderungserfüllung hin untersucht. Dies erfolgt im Rahmen einer Kontrolle, so dass der Inhalt und die Form des Untersuchungsergebnisses selbst bestimmten Zielsetzungen unterworfen sind. Dabei wird berücksichtigt, aus welchem Kontext die Konstruktion stammt. Wie in Kapitel 1 Einleitung beschrieben, beziehen sich die Kontexte auf der einen Seite auf den Konstruktionsprozess in der Prozesskette. Hier stehen vor allem die Unterstützung der eigenen Konstruktionstätigkeit sowie die Kontrolle von konstruktiven Fremdleistungen im Vordergrund, um eine ggf. fehlerhafte Prozesskette frühzeitig zu unterbrechen. Auf der anderen Seite werden die Konstruierenden als die zentrale Ressource des Konstruktionsprozesses angesprochen. Ihre Qualifikation ist der Grundstein für die anforderungserfüllende Konstruktion. Ganz zu Anfang wird sie den Konstruierenden in deren Ausbildung vermittelt. Lernmanagementsysteme und klassische Ausbildungsverfahren sind das Feld, diese Qualifikation zu erlangen. Kenntnistests geben zum einen die Möglichkeit, das eigene Wissen zu zeigen, und zum anderen, vergleichbare Leistungseinordnungen sowie Zertifikate hierüber auszustellen. Im weiteren Verlauf seiner beruflichen Tätigkeit erfährt die Konstruktionsqualifikation durch Weiterbildung und Erfahrung mehr Breite und Tiefe. Im Rahmen von Assessments und Mitarbeiterbeurteilungen wird die Qualifikation ebenfalls getestet. Die Untersuchung von erbrachten Konstruktionsleistungen gibt Aufschluss bezüglich der Qualifikation der Konstruierenden, indem sie eine Aussage zur Anforderungserfüllung der Konstruktion selbst trifft.

Im Kern des Hilfsmittels steht der Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen. Die Konstruktionskontrolle soll inhaltlich, algorithmisch, automatisch, kontrollierend und kontextsensitiv gestaltet werden. In den nachfolgenden Abschnitten wird auf diese fünf Punkte eingegangen.

Inhaltliche Konstruktionskontrolle

An erster Stelle steht die inhaltliche Kontrolle von Konstruktionen. Die in der Konstruktion enthaltenen Bauteile und Baugruppen, im Folgenden als Informationsträger bezeichnet, können bestimmte Anforderungen erfüllen. Dies ist dann in vollem Umfang gegeben, wenn die Informationsträger funktionsgerecht auskonstruiert, d. h. angewendet werden. Für die inhaltliche Kontrolle bedeutet dies, dass die Informationsträger identifiziert, hinsichtlich ihrer funktionsgerechten Ausgestaltung beurteilt und schließlich nach bestimmten Anforderungen auf ihre Anforderungserfüllung untersucht werden müssen. Die Anforderungserfüllung bezieht sich dabei auf die Anforderungen aus dem Lastenheft bzw. der Aufgabenstellung. Mit diesen Informationen ist dann die inhaltliche Kontrolle von Konstruktionen möglich. Für das Hilfsmittel ergibt sich daraus, dass diese Schritte abgebildet werden müssen. Es ist das Setzen der Anforderungen, das Einlesen und Interpretieren der Konstruktionsinformationen, die Untersuchung auf korrekte Anwendung dieser sowie schließlich die mögliche Erfüllung der Anforderungen durch die Informationsträger abzubilden.

Die Darstellung der Konstruktion soll sich an gängigen produktdarstellenden Strukturen orientieren. Mit der Technischen Zeichnung als allgemein angewandte produktdarstellende Struktur im Maschinenbau kann ein sinnvolles Ziel gefordert werden. Desweiteren soll das Hilfsmittel mit allen drei Konstruktionsarten, d. h. Variantenkonstruktion, Anpassungskonstruktion und Neukonstruktion, umgehen können, um auf eine breite Eingabevielfalt zu reagieren. Die abzubildende Struktur der Regeln muss in der Lage sein, die konstruktions-technischen Gegebenheiten einer allgemeinen Konstruktion zu verwerten. In Abgrenzung zu den Möglichkeiten aktueller CAD-Software benötigt das Hilfsmittel zur inhaltlichen Kontrolle von Konstruktionen keine Funktionalität, die eine normgerechte Zeichnung gewährleistet oder die korrekte CAD-Aufbereitung sicherstellt. Diese dürfen unterstützend vorhanden sein, stehen aber nicht im Zentrum der Untersuchung.

Algorithmisierung

Die algorithmische Abbildung der Kontrolle ist eine Festforderung an das Hilfsmittel, mit der die Informationsverarbeitung realisiert und eine Automatisierung ermöglicht werden soll. Der Algorithmus ist vollständig, eindeutig, stabil und erweiterbar zu gestalten. Es sind, falls erforderlich, Abbruchkriterien einzubauen, und auf eine angemessene Performance ist zu achten. Ein programmierter Algorithmus besteht allgemein aus den Schritten Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe. Die Lösungsidee aus Kapitel 1 besagt, dass die zur Verarbeitung erforderlichen Informationen bereits in der Konstruktion enthalten sind. Neben den Informationen aus der Konstruktion müssen die Anforderungen über die Eingabe in die Verarbeitung des Algorithmus gelangen. In der Verarbeitung ist festzulegen, wie die Analyse durchgeführt werden soll. Wichtige Punkte sind die kontrolltechnisch ausgerichtete Interpretation der Eingabedaten, die Abbildung der Untersuchung hinsichtlich Anforderungs-

erfüllung und ein Systemgrenzenmanagement. Dieses Systemgrenzenmanagement legt den Rahmen des Hilfsmittels fest, beispielsweise welche Fehler vorliegen dürfen, d. h. vom Algorithmus verarbeitet werden. Es ist ggf. eine Voruntersuchung der Konstruktion bezüglich ihrer Untersuchbarkeit durchzuführen. Nach der Analyse soll die Güte der Analyse selbst kritisch vom Hilfsmittel eingeschätzt werden können. Insbesondere im Hinblick auf Minderleistungen bei Qualifikationsnachweisführungen ist dieser Punkt von Bedeutung. Weiterhin ist ein Kompromiss zu finden, welcher die gewollte Automatisierungstiefe im Sinne der Investitionsentscheidung gegen die aus technischer Sicht mögliche Automatisierungstiefe abwägt. In der Ausgabe sollen eine übersichtliche Darstellung der Analyseergebnisse, eine Leistungseinordnung zur Einschätzung der Konstruktionsqualifikation sowie mögliche Vorschläge enthalten sein.

Automatischer Ablauf

Ein automatischer Ablauf führt zu einem konstanten Niveau an Prozesssicherheit sowie zu Rationalisierung, Objektivität und Nachvollziehbarkeit. Im Hinblick auf eine Konstruktionskontrolle sind diese Punkte wichtig, um dem Einsatzzweck der Untersuchung im Konstruktionsumfeld gerecht zu werden.

Durch die Automatisierung wird ein Fundament für eine Gesamtsystemzuverlässigkeit gelegt. Das dadurch erreichte Niveau an Prozesssicherheit ist unabhängig von dessen Höhe konstant. Diese Konstanz bietet die Möglichkeit, ein gerechtfertigtes Vertrauen in das System aufzubauen. Voraussetzungen hierfür sind die Gewährleistung der Systemstabilität und eine organisatorisch durchgängige Systemanwendung. Die Niveauhöhe lässt sich durch die sinnvolle Abbildung der Realität mit vernünftigen Regeln erreichen. Das Hilfsmittel soll deshalb automatisierungsfähig sein und entsprechende Regeln enthalten können.

Eine Rationalisierung wird allgemein durch eine Automatisierung erleichtert. Im Zusammenhang der Konstruktionskontrolle gibt es zum einen primäre Effekte bezogen auf die Untersuchung selbst und zum anderen sekundäre Effekte durch die Verbesserung der Prozesse bei Einsatz des Hilfsmittels. Unterstützt wird die Rationalisierung des Analyseaufwandes, wenn der Aufwand an die Maschine abgegeben und der übrige Anwendungsaufwand klein gehalten wird. Beides ist vom Hilfsmittel zu erfüllen. Durch eine erleichterte Systemintegration in die Prozesskette sollen Schranken umgangen werden, was für einen konkreten Systemeinsatz zuträglich ist.

Ähnlich wie die erleichterte Systemintegration oder das vertrauensbildende konstante Niveau an Prozesssicherheit ist die Forderung nach Objektivität der Kontrolle zu sehen. Alle diese Punkte tragen allgemein zu einem gesteigerten Systemeinsatz bei. Besonders der nachstehend beschriebene Kontrollcharakter bei Qualifikationsnachweisführungen erfordert Objektivität. D. h. unabhängig vom Anwender muss bei gleichen Eingaben ein gleiches Ergebnis ausgegeben werden. Es ist eine Leistungseinordnung und keine Wertung der Person gewollt. Die Möglichkeiten zur Anforderungserfüllung sollen gegeben sein, deshalb müssen im Sinne der Aufgabenstellung sinnvolle Daten als konstruktiver Lösungsvorschlag einpflegbar sein.

Die Analyse soll nachvollziehbar sein. Dazu tragen eine Dokumentation und eine verständliche Rückmeldung bei. Zu dieser gehören die empfängerorientierte Gestaltung der Formulierungen sowie die angemessene Menge und Tiefe an Details. Empfänger sind entweder Kunden und Lieferanten im Fall der Prozesskette oder Prüfende und Geprüfte im Fall von Qualifikationsnachweisführungen.

Kontrollcharakter

Die Untersuchung ist als Kontrolle auszugestalten, d. h. aufgrund der Analyseergebnisse soll eine Unterbrechung einer fehlerhaften Prozesskette oder eine Leistungseinordnung möglich sein. Weitere Maßnahmen können sich daraufhin anschließen. Die Darlegung von Qualität und Qualifikation soll deshalb zu den Grundfunktionen des Hilfsmittels gehören.

Zur Sicherstellung der Qualität ist neben der Unterbrechung der Prozesskette das Unterbreiten von Vorschlägen zu nennen. Zur Sicherstellung der erforderlichen Qualifikation der Ressource für den Prozess eignen sich die Auswahl der Ressource mit den Daten der Leistungseinordnung oder das Aufzeigen des Qualifikationsbedarfs. Die Verwertbarkeit der Analyseergebnisse ist an den Umfang und den Inhalt der Ergebnisausgabe gebunden. Deshalb sollen sich die Vorschläge zur Korrektur an den erkannten Fehlern, den gestellten Anforderungen sowie dem Lösungsansatz der untersuchten Konstruktion orientieren. Der Hilfsmittel-einsatz soll derart sein, dass die Konstruktionsunterstützung ein sicheres Prozessergebnis bietet und gleichzeitig einen erhöhten Freiraum für Kreativität durch die Entlastung der Konstruierenden schafft. Diese Entlastung soll zum einen durch die Reduzierung des Untersuchungsaufwandes und zum anderen durch die unterbreiteten Vorschläge erreicht werden.

Das Hilfsmittel kann die Umsetzung der Analyseergebnisse positiv beeinflussen, wenn die Art der Rückmeldung empfängerorientiert erfolgt. Entsprechend ausgewählte Textbausteine können dabei helfen. Psychologische Aspekte der Rückmeldungsausgestaltung sind deshalb zu beachten. Der organisatorische Auslöser für die Umsetzung von Vorschlägen stellt einen ersten möglichen Folgeprozess nach der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Konstruktionskontrolle dar.

Kontextsensitivität

Die bis hierhin angesprochenen Hauptkontexte für den Einsatz des Hilfsmittels sind das Konstruieren in der Prozesskette und die Qualifikationsnachweisführung. Es ist zu erkennen, dass die Kontexte hinsichtlich der Kontrolle von Konstruktionen eine breite gemeinsame Basis besitzen und gleichzeitig spezielle Erfordernisse mitbringen. Für die Forderungen an das Hilfsmittel bedeutet dies, dass es in unterschiedlichen Kontexten im Rahmen des Konstruierens zur Anwendung kommen soll. Diese Flexibilität hinsichtlich Einzelfallabweichung ist mit einem breiten Einsatzfeld, dessen Grundlage das Vorhandensein von Konstruktionen aus dem Maschinenbau in Form der Technischen Zeichnung ist, zu vereinen.

4 Rahmenbedingungen der Kontrolle von Konstruktionen

In den folgenden vier Kapiteln wird der Lösungsweg aufgezeigt. Dabei werden die entwickelten Ergebnisse der Arbeit vorgestellt. Zu ihnen gehören der Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen, die allgemeine Vorgehensweise zur Erstellung des Hilfsmittels und der Testprototyp. Das vorliegende Kapitel 4 ergänzt die Ziele aus dem vorherigen Kapitel um die Rahmenbedingungen der Kontrolle von Konstruktionen. Zusammen bilden sie die Grundlage auf der das Ansatzpaket eine Lösung ableitet. Im sich anschließenden Kapitel 5 werden die Überlegungen zum Ansatzpaket aufgezeigt. Die Lösung wird in Kapitel 6 vorgestellt. Dort werden der Algorithmus und die allgemeine Vorgehensweise zur Erstellung des Hilfsmittels beschrieben. Schließlich wendet Kapitel 7 die allgemeine Vorgehensweise auf das Validierungsbeispiel einer Onlineklausur an. Dabei wird der Testprototyp erstellt. Mit seiner Hilfe erfolgt die Validierung der Ziele. Nachstehend werden die Rahmenbedingungen der Kontrolle von Konstruktionen erörtert. Es werden die Bedingungen aufgezeigt, welche die Konstruktion selbst sowie ihre Kontrolle mit sich bringen. Sie müssen in der Lösung ihre Berücksichtigung finden.

4.1 Kontrolle von Konstruktionen als Teil der Prozesskette

Allgemein stellt die Kontrolle von Konstruktionen einen Prozess dar, welcher sich in die Prozesskette von Abbildung 1 innerhalb der Planungsphase einordnet. Er besitzt mehrere Schritte. Sie dienen der Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe. Dabei gewährleisten Eingabe und Ausgabe die Kopplung an andere Prozesse der Prozesskette. Für die Prozesse, welche /VDI 2221/ beschreibt, lässt sich die Kontrolle von Konstruktionen nach den Schritten 5 bis 7, je nach Fortschritt des Konstruktionsstandes, einfügen. In diesem Ablauf von Grob nach Fein besitzt sie primär eine Position nahe der Gestaltungsfestlegung. Weil ein Großteil der Fehler beim gestaltenden Konstruieren entsteht, eignet sich diese Position mit Blick auf die Präventionsforderung nach den Ausführungen zu Abbildung 2 optimal.

Es soll ein beliebig fortgeschrittener Konstruktionsstand kontrollierbar sein. Je nach Kontext sind verschiedene Prozesspfade erforderlich. Im Falle einer Qualifikationsnachweisführung ist mit der Ergebnisausgabe der Ablauf abgeschlossen. Für den Fall eines Konstruktionsprozesses gilt gleiches, wenn das Ergebnis zufriedenstellend ausfällt. Ist das Ergebnis verbesserungsbedürftig, dann lässt sich der Ablauf iterativ fortsetzen. In der Ergebnisausgabe sollen deshalb Verbesserungsansätze vorhanden sein können.

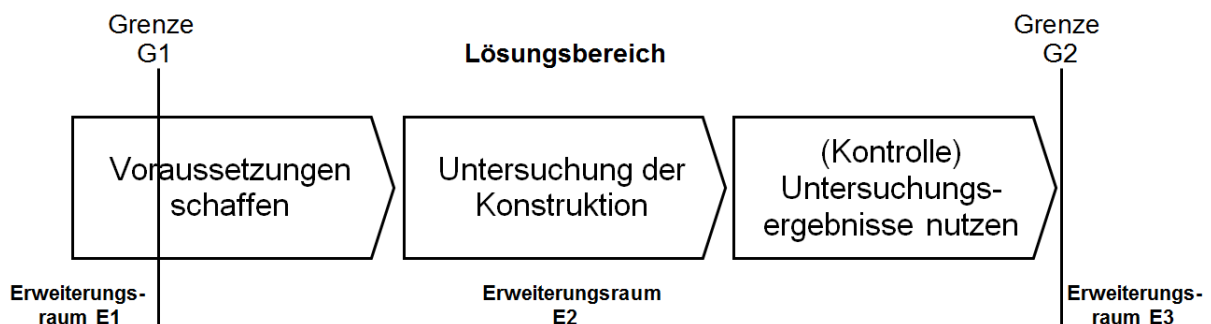


Abbildung 11: Prozess Kontrolle von Konstruktionen

Abbildung 11 stellt den Prozess Kontrolle von Konstruktionen vor. Zu seinen Prozessschritten gehören Voraussetzung schaffen, Untersuchung der Konstruktion und (Kontrolle) Untersuchungsergebnisse nutzen. Voraussetzung schaffen bedeutet in erster Linie die Eingabedaten aufzunehmen. Diese sind die Referenz der Kontrolle in Form der Anforderungen an die Konstruktion sowie des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes, der einen konstruktiven Lösungsvorschlag darstellt. Der Verarbeitungsschritt läuft zweistufig ab. Dazu wird bei der Untersuchung der Konstruktion zuerst gefragt, woraus der beliebig fortgeschrittene Konstruktionsstand besteht, so dass sein anforderungserfüllendes Potenzial offenliegt. Anschließend erfolgt ein Abgleich der Anforderungen mit diesem Potenzial. Im dritten Prozessschritt, der Nutzung der Untersuchungsergebnisse, erfolgt die Darlegung des Zielerfüllungsgrades, eine Leistungseinordnung sowie der Vorschlag möglicher Verbesserungen. Somit sind die Ergebnisse im Sinne einer Kontrolle nutzbar. Je nach Ergebnis lassen sich gezielt die Unterbrechung einer fehlerhaften Prozesskette oder Iterationsschritte einleiten. Die Umsetzung der Vorschläge wäre an dieser Stelle eine weitere Option.

Zur Erfüllung der in Kapitel 3 gesteckten Ziele soll in den folgenden Abschnitten eine Lösung vorgestellt werden. Diese orientiert sich bezüglich ihrer Rahmenbedingungen am Prozess Kontrolle von Konstruktionen. Um eine geeignete Abstimmung mit den Zielen zu erreichen, positioniert sich die Lösung zwischen den eingezeichneten Grenzen G1 und G2. Damit wird der Schwerpunkt der Kontrolle von Konstruktionen, die Untersuchung der Konstruktion, auch in den Mittelpunkt der Lösung gestellt. Die Anforderungen müssen als Referenz vorhanden sein. Dazu ist es wichtig, dass sie bestimmte Voraussetzungen erfüllen und eingelesen werden können. Hier liegt die Grenze G1. Ein Anforderungsmanagement, welches das Setzen der Anforderungen unterstützt, ist eine Zusatzoption für die Lösung. Ebenso verhält es sich mit der Erstellung der Konstruktion. An der Grenze G1 wird eine Konstruktion vorausgesetzt, welche die Grundbedingung, d. h. dass die für die Untersuchung erforderlichen Informationen bereits in der Konstruktion vorliegen, erfüllt und eingelesen werden kann. Auf der gegenüberliegenden Prozessseite liegt die Grenze G2 dort, wo die Folgemaßnahmen aufgrund des Kontrollergebnisses eingeleitet werden. Aus der Lage der Grenzen lassen sich drei Erweiterungsräume für die Lösung ausweisen. Es sind die Erweiterungsräume E1 vor G1, E2 zwischen den Grenzen und E3 nach G2. Sie stellen den Bezug für die Ansätze des Ausblicks am Ende dieser Arbeit dar.

4.2 Behandlung eines beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes

Im Prozess Kontrolle von Konstruktionen soll ein beliebig fortgeschrittener Konstruktionsstand mit der Lösung inhaltlich kontrolliert werden. Um die Lösung auf einem möglichst breiten Feld anwenden zu können, ist die Einschränkung an den Konstruktionsstand gering zu halten. Deshalb darf der Lösungsvorschlag auf der einen Seite wenig bis viel Inhalt aufweisen und auf der anderen Seite im Konstruktionsablauf zu Beginn, in der Mitte oder an dessen Ende zu finden sein. Innerhalb des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes sind unterschiedliche Möglichkeiten nachzuweisen, welche richtige (Teil-)Lösungen bzw. Fehler darstellen. Sie treten in beliebigen Variationen auf und bilden für eine Untersuchung sinnvolle Kombinationen. Die konkreten Kombinationen sollen ebenfalls einschränkungsfrei auftreten dürfen.

| Möglichkeiten innerhalb des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes | | | |
|---|--|---|--|
| technische Ebene | | Anforderungsebene | |
| Möglichkeiten _{technisch} | Fälle _{technisch} | Fälle _{Anforderungen} | Möglichkeiten _{Anforderungen} |
| technisch korrekt (richtige Gestaltung) | Fall T1: korrekt → funktions- erfüllend | Fall A1: voll geeignet → anforderungs- erfüllend | vollständig geeignete Wahl oder geeignete Alternative |
| zu viel/überbestimmt* | | | |
| zu wenig/unvollständig* | | | |
| falsche Zusammenstellung* | Fall T2: fehlerhaft → eingeschränkt funktionserfüllend | Fall A2: eingeschränkt geeignet → eingeschränkt anforderungserfüllend | nicht vollständig geeignete Alternative* |
| ungenau* | | | keine Lösung oder nur unabhängige Lösung* |
| unverträglich* | | | |
| Extrema* | Fall T3: grob falsch → nicht funktions- erfüllend | Fall A3: nicht geeignet → nicht anforderungs- erfüllend | falsche Wahl eine Lösung* |
| Zusatz: fehlerhafte Umsetzung* | | | *: Ansatzpunkte für Vorschläge |

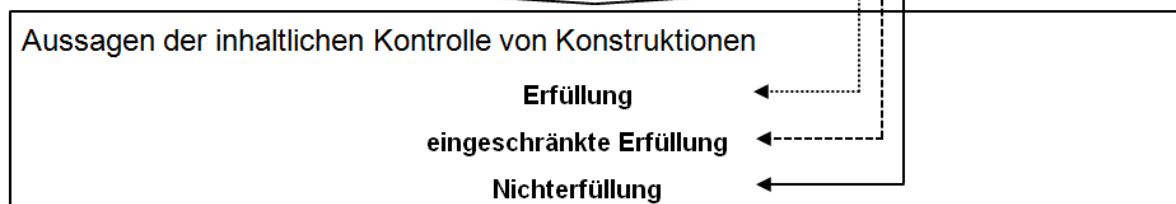
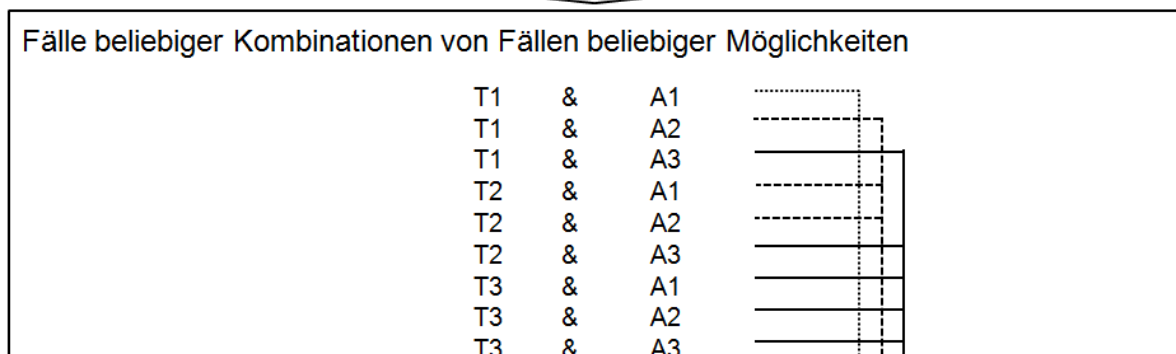


Abbildung 12: Möglichkeiten

Qualität ist definiert als die Erfüllung von Anforderungen /DIN9000/. Bei der geforderten inhaltlichen Konstruktionskontrolle muss deshalb untersucht werden, ob der Lösungsvorschlag, d. h. im Einzelnen die darin vorkommenden Möglichkeiten, die Anforderungen an die Konstruktion erfüllt. Mit der Betrachtungsweise aus Abbildung 12 wird dies ermöglicht. Zunächst lassen sich die Möglichkeiten innerhalb eines beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes in eine technische Ebene und eine Anforderungsebene unterteilen. In der technischen Ebene sammeln sich die Fälle T1, T2 und T3, welche je nach konkret vorliegender Möglichkeit gegeben sind. T1 steht für eine technisch korrekte Teillösung, bei T2 weist diese bereits Fehler auf und bei T3 sind die Fehler so groß, dass durch sie die angestrebte Lösung technisch nicht funktionsfähig ist. Im Zusammenhang mit der Anforderungsebene sind die Fälle A1, A2 und A3 wichtig. Analog zu den technischen Fällen geben sie die Umsetzung bezüglich der Anforderungseignung wieder. Aus beiden Fallgruppen sind ihre Kombinationen abzuleiten. Der entscheidende Schritt zur Untersuchung des Lösungsvor-

schlages hinsichtlich der inhaltlichen Kontrolle von Konstruktionen besteht darin, mit diesen Kombinationen zu Aussagen bezüglich der Anforderungserfüllung zu gelangen. Es sind dabei eine Erfüllung, eine eingeschränkte Erfüllung und eine Nichterfüllung möglich, welche die Qualität widerspiegeln. Eine Erfüllung liegt nur vor, wenn sowohl die technische Ebene als auch die Anforderungsebene geeignet sind. Besteht auf mindestens einer Ebene eine grobe Störung, dann gilt dies auch für die Kombination. Es liegt eine Nichterfüllung vor. Neben diesen beiden Extrempositionen gibt es die eingeschränkte Erfüllung, dabei resultiert die Gesamteinschränkung aus Einschränkungen auf zumindest einer Ebene. Konkret lässt sich damit zeigen, inwieweit die Anforderungen aus dem Lastenheft erfüllt sind oder die Konstruierenden eine hinreichende Konstruktionsqualifikation besitzen. Die Möglichkeiten, welche zu den Fällen 2 und 3 auf beiden Ebenen führen, stellen Ansatzpunkte für Vorschläge dar.

4.2.1 Möglichkeiten im beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstand

Wenn die Möglichkeiten des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes bekannt sind, dann ergeben sich die Fälle der beliebigen Kombinationen dieser Möglichkeiten. Die Einteilung hinsichtlich Erfüllung, eingeschränkte Erfüllung und Nichterfüllung folgt aufgrund der eindeutigen Zuordnung ebenfalls. Der Ausgangspunkt dieser Kette, die Möglichkeiten, sollen im Folgenden deshalb näher vorgestellt werden.

Grundannahme

Zunächst ist zu definieren, wie sich das Auftreten der einzelnen Möglichkeiten generell verhält. Deshalb soll als Grundannahme gelten, dass ein vollständig konstruktionstechnisch korrekter und anforderungsgerechter Lösungsvorschlag der Grenzfall ist. Alle Möglichkeiten dürfen im beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstand uneingeschränkt auftreten. Damit ist der Regelfall die Kontrolle fehlerhafter Lösungsvorschläge, bei dessen Untersuchung auf alle Möglichkeiten, deren Varianten sowie Kombinationen zu reagieren ist. Zudem ist die Behandlung von gleichwertigen Lösungsalternativen zu berücksichtigen.

Abbildung 13 unterstützt die Grundannahme. Es ist die Fehlerhäufigkeit von Konstruktionsklausuren (Gestaltungsaufgabe) am Fachgebiet Maschinenelemente der TU Dortmund für 624 ausgewählte Klausuren im Zeitraum zwischen 2005 und 2011 gezeigt. Daraus ist zu erkennen, dass die Grenze von 90%-Anforderungserfüllung von nur sehr wenigen Teilnehmern erreicht wurde. Diese Lösungen sind sehr nahe der Musterlösung und deshalb mit einer solchen als Kontrollbezug leicht zu untersuchen. Dies gilt jedoch nicht für die Ergebnisse, welche zwischen 20% und 90% liegen. D. h. diese weisen den Regelfall aus. Sie stehen auch für den Hauptaufwand, der bei der Kontrolle der Klausur zu leisten ist. Für alle Klausuren zusammen ist er mit mehreren Mannwochen anzugeben, weshalb das Ziel der Automatisierung von entscheidender Bedeutung ist.

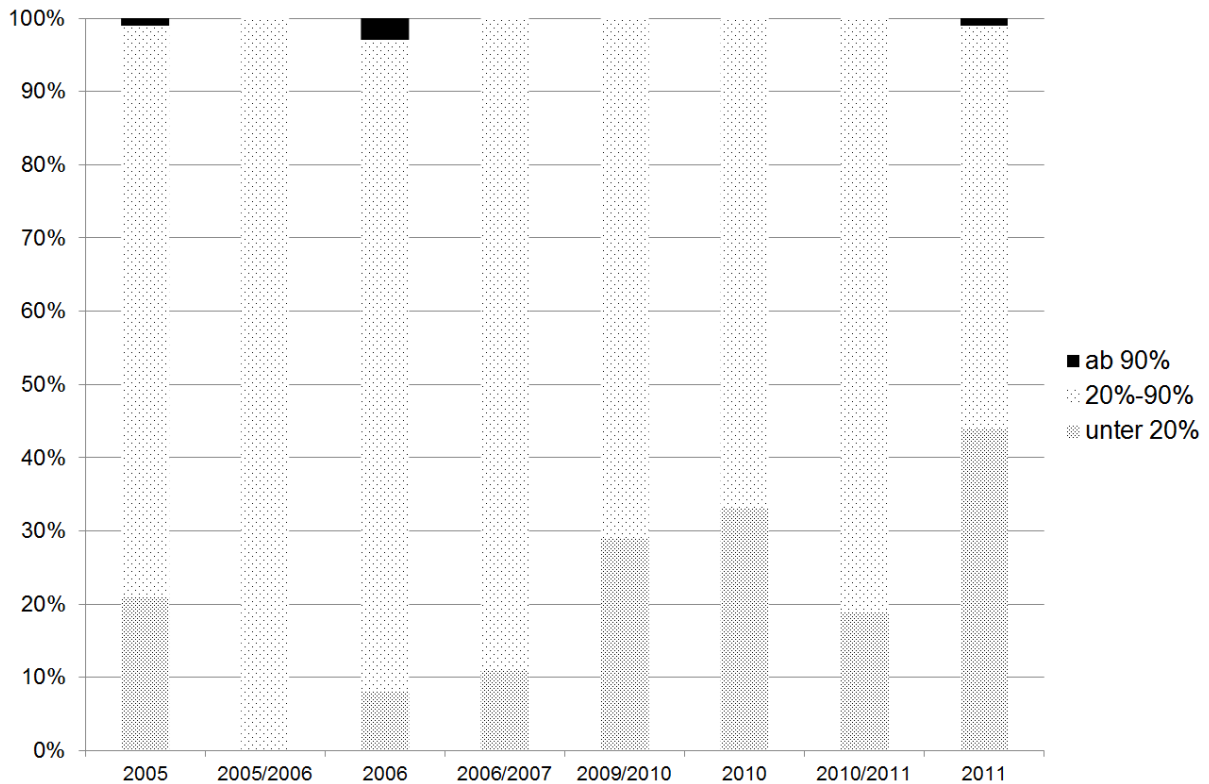


Abbildung 13: Fehlerhäufigkeit am Beispiel von Konstruktionsklausuren (Anzahl_{gesamt} = 624)

Die einzelnen Möglichkeiten der technischen Ebene sowie der Anforderungsebene werden in den Abbildungen 14 und 15 mit Beispielen aufgelistet. Zusätzlich sind Vorschläge aufgeführt. Es ist zu beachten, dass diese Möglichkeiten beliebig feinen Varianten unterliegen dürfen. D. h. beispielsweise für die Möglichkeit „ungenau“, dass die Abweichungen in sinnvollen Intervallgrenzen beliebige Werte annehmen. Ein weiteres Beispiel ist die fehlerhafte Festlagerstelle. Dort ist die Fehlstelle an allen vier Ecken zu erwarten.

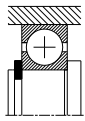
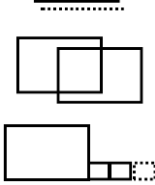
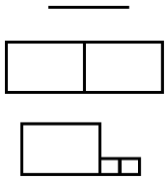




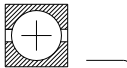



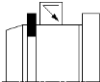

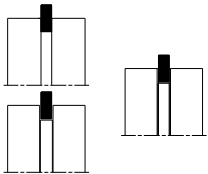
| Möglichkeiten _{technisch} | Beispiel _{T2} | Beispiel _{T3} | Beispiel _{Vorschlag} |
|--|---|---|---|
| technisch korrekt | hier T1:  | | - |
| zu viel/überbestimmt |  | |  |
| zu wenig/unvollständig | Fest  Einführschräge zu kurz | Los  (Teil)Lösung fehlt Einführschräge fehlt | Fest  Standard (teil)lösung vorschlagen Einführschräge anpassen bzw. hinzufügen |
| falsche Zusammenstellung | |   |  Nut entfernen |
| ungenau |  |  | Lücke schließen <ul style="list-style-type: none"> • Position verschieben • Längen anpassen Lücke schließen oder Zusatzteil einbauen |
| unverträglich Verträglichkeit | |  Sonderfall, z. B. Doppelpassung | Sicherungsring entfernen |
| Extrema | | 3 IT _{gesamt} 10.000 IT _{gesamt} bei LV _{sinnvoll} mit 40-100 IT _{gesamt} | - (Abbruch) |
| Zusatz: fehlerhafte Umsetzung Darstellung (TZ) |  | | Längen anpassen |
| Alternativenmischung | |  | auf eine Alternative reduzieren und diese ggf. verbessern |

Abbildung 14: Möglichkeiten auf der technischen Ebene

Die Fälle T1 bis T3 bzw. A1 bis A3 liegen auch vor, wenn mehrere Möglichkeiten innerhalb einer Einheit der Konstruktion zusammenwirken. Für den Fall T1 gibt es nur technisch korrekte Möglichkeiten. Bei T2 gibt es mindestens eine technische Möglichkeit, welche technisch nicht korrekt ist. Weitere Möglichkeiten dürfen vorhanden sein. Alle technischen Möglichkeiten dürfen innerhalb zulässiger Toleranzen variieren. T3 zeigt sich analog zu T2, jedoch mit der Erweiterung, dass mindestens eine Möglichkeit außerhalb des Toleranzbereiches liegt. T3 ist auch gegeben, wenn es zu unzulässigen Fehlerkombinationen kommt. Um die Art der Umsetzung des Konstruierens mit zu untersuchen, gibt es technische Zusatzmöglichkeiten. Sie gehen auf die Handhabung des Technischen Zeichnens und die dabei zu berücksichtigenden Regeln ein.

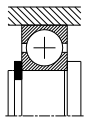
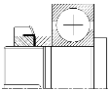

| MöglichkeitenAnforderungen | Fall | Beispiel | Beispielvorschlag |
|---|------|--|---|
| vollständig geeignete Wahl oder geeignete Alternative | A1 |  | - |
| nicht vollständig geeignete Alternative | A2 |  |  |
| keine Lösung oder nur unabhängige Lösung | A3 | Anforderung nicht bedient: <ul style="list-style-type: none"> keine Lösung ($Menge_{T=0}$) nur unabhängige Versuche ($Menge_{T \neq 0}$) | Standardlösung vorschlagen |
| falsche Wahl einer Lösung | A3 | Trag-Stütz-Lagerung statt Fest-Los-Lagerung | Lagerstellen gemäß Fest-Los-Lagerung austauschen |

Abbildung 15: Möglichkeiten auf der Anforderungsebene

Der Fall A1 weist sich durch eine vollständig geeignete konstruktive Wahl oder geeignete Alternativen aus. Sollten diese Alternativen nicht vollständig geeignet sein, dann handelt es sich um A2. Bei A3 gibt es keine Teillösung oder nur solche, welche hinsichtlich der aktuell untersuchten Anforderung unabhängig sind. Ferner liegt A3 vor, wenn eine falsche Wahl getroffen wurde.

4.2.2 Informationsverfügbarkeit der Möglichkeiten

Der in Abbildung 12 zuvor beschriebene Weg von den einzelnen Möglichkeiten bis zur Anforderungserfüllungsaussage ist dann beschreibbar, wenn eine Informationsnutzung stattfindet, wie sie in der Lösungsidee aus Kapitel 1 angedacht ist. Die Grundvoraussetzung hierfür bildet die Verfügbarkeit der entsprechenden Informationen. Im Folgenden wird diese Informationsverfügbarkeit behandelt.

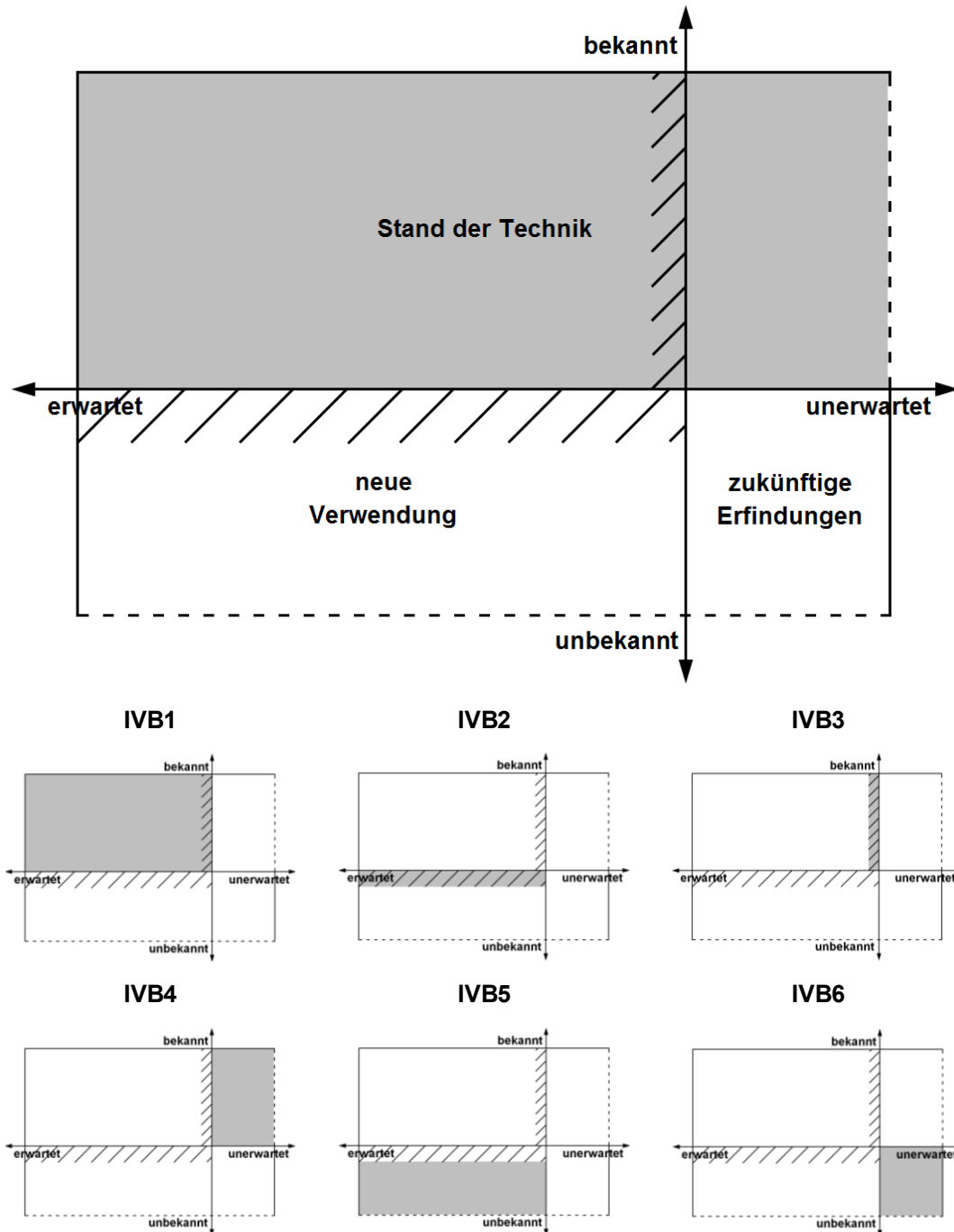


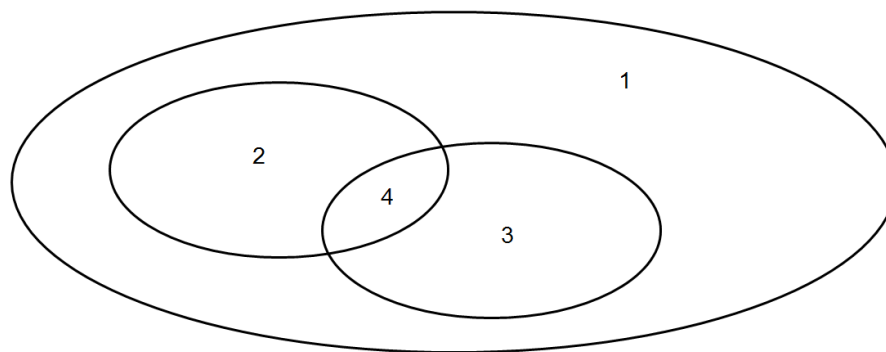
Abbildung 16: Informationsverfügbarkeit mit Informationsverfügbarkeitsbereichen (IVB)

Im gesamten Rechteck von Abbildung 16 sind die Informationen für eine Kontrolle von Konstruktionen zu finden. Die Verfügbarkeit dieser Informationen erfährt eine Einschränkung. Sie ist abhängig von der Bekanntheit und der Erwartung der Informationen. Mithilfe der Bekanntheit lässt sich das Verhalten von Konstruktionen bzw. Konstruktionsteilen beschreiben. Sie wird aufgrund des vorhandenen Konstruktionswissens in bekannt oder unbekannt eingeteilt. Zusätzlich ist die Erwartung für die Kontrolle wichtig, welche ihrerseits die Information in erwartet oder unerwartet einteilt. Dadurch wird es möglich, die betrachtete Informationsmenge gezielt einzuschränken. Diese Einteilungen spiegeln die Achsen in Abbildung 16 wider.

Damit ergeben sich oberhalb der horizontalen Achse, d. h. für den bekannten Teil der Informationen, die Felder bekannt/erwartet und bekannt/unerwartet. Während beide zusammen den Stand der Technik verkörpern, stellt das linke Feld den Informationsverfügbarkeitsbereich IVB1 und das rechte den IVB4 dar. In IVB1 sind die Informationen voll verfügbar. Für IVB4 gilt dies nicht. Sie sind dort nicht verfügbar, weil sie nicht hinterlegt wurden. Allerdings bleiben sie hinterlegbar, so dass die Automatisierungstiefe gezielt in Abhängigkeit des Kontextes eingestellt werden kann. Unterhalb der horizontalen Achse, im unbekanntem Bereich, finden sich die Felder unbekannt/erwartet mit dem IVB5 und unbekannt/unerwartet mit dem IVB6. Ohne zu beschaffende Zusatzinformationen sind die Informationen in IVB5 nicht vollständig handzuhaben. IVB6 besitzt keine verfügbaren Informationen, welche auch nicht hinterlegbar wären. Durch unbekannt/erwartet lassen sich bekannte Konstruktionen in neuer und damit unbekannter Verwendung beschreiben. Erfindungen hingegen besitzen neue, unbekannte Konstruktionseinheiten in unbekannter Verwendung. Weil über diese keine Informationen vorliegen, kann die Information auch nicht erwartet werden. Im Grenzbereich zwischen bekannt/erwartet und bekannt/unerwartet findet sich der IVB3, welche die Grenze aufgrund der gewählten Automatisierungstiefe ausweist. Am rechten Rand des IVB4 liegt die Grenze des aktuellen Standes der Technik. Der Grenzbereich zwischen den Informationsverfügbarkeitsbereichen IVB1 und IVB5 ist mit IVB2 gekennzeichnet. Hier befinden sich Teilinformationen, welche einer Sonderuntersuchung zugeführt werden können. Die Information ist dabei zumindest in Teilen verfügbar und damit interpretierbar. Das gesamte Informationsrechteck ist unten offen dargestellt, um den freien, zukünftigen Entwicklungsraum wiederzugeben.

Automatisierungstiefe und vermitteltes Wissen

Oberhalb der erwartet/unerwartet-Achse entspricht die Information dem Stand der Technik. Die Position der Achse bekannt/unbekannt ist vom gewählten Automatisierungstiefengrad abhängig. Bei der Qualifikationsnachweisführung im Rahmen der Ausbildung ist die gewählte Automatisierungstiefe gemäß des vermittelten Wissens einzustellen. Die Zusammenhänge sind in Abbildung 17 dargestellt.



- 1 = Konstruktionswissen_{Stand der Technik}
- 2 = Konstruktionswissen_{In der Ausbildung vermittelt}
- 3 = Konstruktionswissen_{In der Untersuchungsmethodik hinterlegt}
- 4 = Schwerpunkt_{konkrete Qualifikationsnachweisführung}

Abbildung 17: Automatisierungstiefe und vermitteltes Wissen bei Qualifikationsnachweisführungen

Im Feld des gesamten Konstruktionswissens gibt es zwei Bereiche. Es sind das in der Ausbildung vermittelte Wissen, d. h. das prüfungsrelevant vorgetragene Wissen sowie das in der Untersuchung hinterlegte Wissen. Ihre Schnittmenge stellt das maximale Wissen dar, welches in der zugehörigen Qualifikationsnachweisführung abgeprüft werden sollte. Je nach Schwerpunktsetzung sind weitere Einschränkungen innerhalb der Schnittmenge sinnvoll.

Kontroll- und Konstruktionsarten

Mit den Informationsverfügbarkeitsbereichen lassen sich die Informationsverfügbarkeit bezüglich der verschiedenen Kontroll- und Konstruktionsarten sowie deren Zusammenspiel beschreiben. Es wird dadurch ersichtlich, unter welchen Bedingungen und wie tief eine Konstruktionskontrolle erfolgen kann.

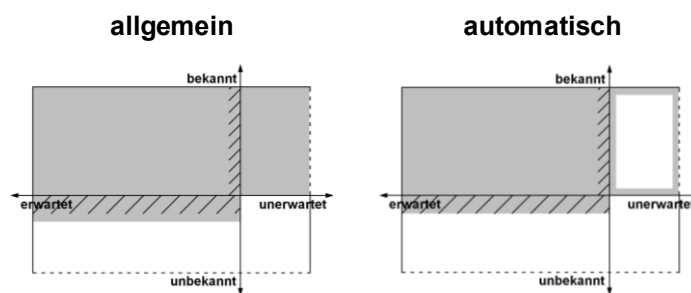


Abbildung 18: Informationsverfügbarkeit – Kontrollarten

Zu den Kontrollarten zählen an dieser Stelle die allgemeine Kontrolle und die automatische Kontrolle. Abbildung 18 zeigt die Informationsverfügbarkeitsbereiche, welche jeweils abgedeckt werden. In Abhängigkeit der gewählten Automatisierungstiefe entzieht sich der IVB4 der automatischen Kontrolle. Während beide Kontrollarten definitionsgemäß nicht in der Lage sind den IVB6 zu untersuchen, liefern sie jedoch Aussagen im Fall IVB2. Bei der allgemeinen Kontrolle besteht die Option Zusatzinformationen zu beschaffen, so dass dadurch ein Teil von IVB5 gegenüber der automatischen Kontrolle der Untersuchung zugeführt werden kann.

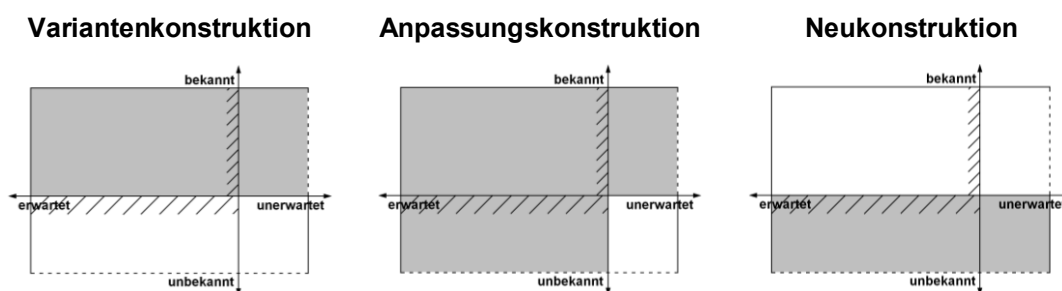


Abbildung 19: Informationsverfügbarkeit – Konstruktionsarten

Bei der Variantenkonstruktion darf der gesamte Stand der Technik vorliegen (vgl. Abbildung 19). Die Anpassungskonstruktion zeichnet sich dadurch aus, dass zusätzlich zum Stand der Technik auch neue Verwendungen von Konstruktionseinheiten auftreten. Im Fall der Neukonstruktion trägt die gesamte untere Hälfte des Informationsrechtecks den Konstruktions-

tionsinhalt. Anteile von Varianten- bzw. Anpassungskonstruktion innerhalb von Neukonstruktionen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht berücksichtigt. Sie würden sich zu den Aussagen der Neukonstruktion hinzuaddieren.

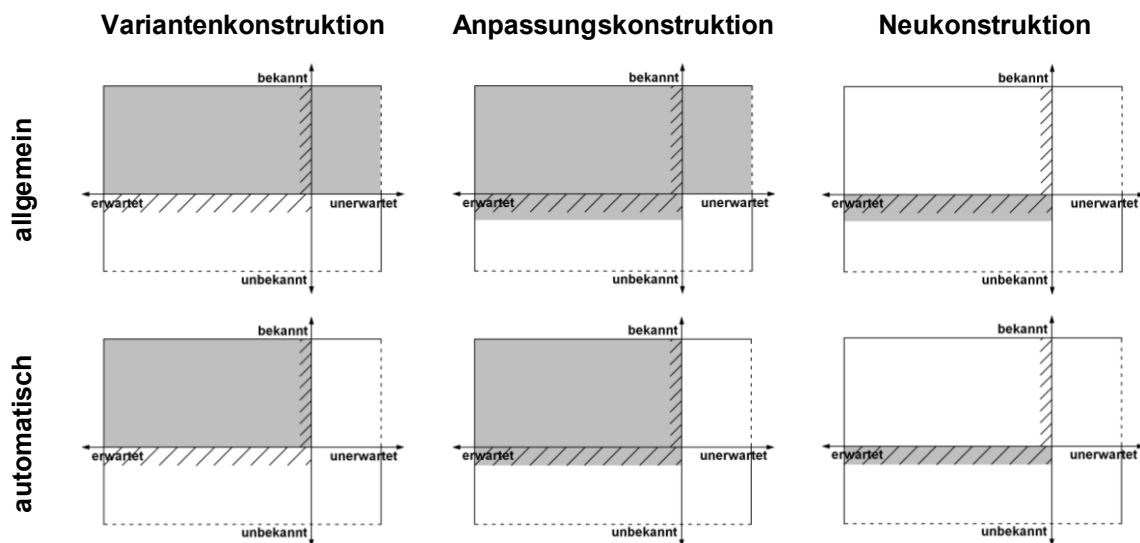


Abbildung 20: Informationsverfügbarkeit – Zusammenspiel von Kontroll- und Konstruktionsarten

Im Zusammenspiel von Kontroll- und Konstruktionsarten zeigen sich die Schnittmengen nach Abbildung 20. Während bei der Variantenkonstruktion im allgemeinen Fall die Informationsverfügbarkeitsbereiche IVB1, IVB3 und IVB4 untersuchbar sind, gibt es im Fall der automatischen Kontrolle eine Einschränkung durch die Automatisierungstiefe. Analog gilt dies für die Anpassungskonstruktion, so dass der IVB4 nur bei der allgemeinen Kontrolle analysiert werden kann. Weiterhin sind hier mit Teilinformationen und Zusatzinformationen die IVB2 und IVB5 abgedeckt, wobei nur IVB2 bei der automatischen Kontrolle von Anpassungskonstruktionen möglich ist. Eine allgemeine Kontrolle von Neukonstruktionen spielt sich im Bereich von IVB5 und IVB2 ab. Die automatische Kontrollvariante untersucht ausschließlich IVB2.

4.2.3 Charakter des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes

Der beliebig fortgeschrittene Konstruktionsstand weist eine Reihe von charakteristischen Eigenschaften, welche bestimmt oder unbestimmt sind, auf. Abbildung 21 stellt die Ausführungen der Eigenschaften für beide Fälle zusammen.

Weil die gewählte Automatisierungstiefe je nach Umsetzung unterschiedlich ausfällt und die folgenden Ausführungen für jeden Automatisierungstiefengrad zutreffen, soll die Variation der Automatisierungstiefe an dieser Stelle nicht weiter bei jeder Einzeleigenschaft betrachtet werden. Eine Eigenschaft ist bestimmt, wenn sie innerhalb und außerhalb der durch die Automatisierungstiefe gegebenen Grenzen definierte Einschränkungen erfährt. Sie nimmt z. B. nur gestufte, feste Werte an. Dahingegen liegt Unbestimmtheit vor, wenn die Eigenschaft innerhalb der Grenzen durch die Automatisierungstiefe in einer beliebigen Ausführung auftritt. Dabei darf sie die Option einer hinsichtlich der Automatisierungstiefe gezielten Ausführungsreduktion besitzen. Sind die Eigenschaften bestimmt, dann gibt es

ausschließlich nur eine eingeschränkte Menge von Möglichkeiten, mit eingeschränkten Variantenoptionen, in ausgewählten Kombinationen.

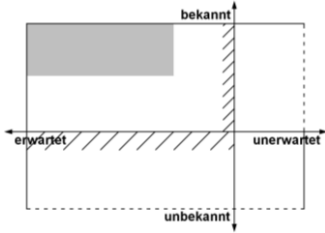
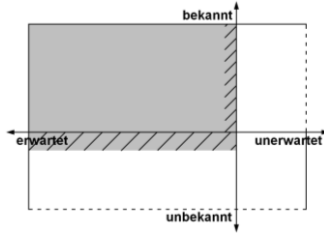
| Eigenschaften | Bestimmtheit | Unbestimmtheit |
|---|--|--|
| Möglichkeiten innerhalb von Konstruktionen | nur bestimmte Möglichkeiten | beliebige Möglichkeiten |
| Variationen von Möglichkeiten | nur bestimmte Variationen | beliebige Variationen |
| Kombinationen der Möglichkeiten | nur bestimmte Kombinationen | beliebige Kombinationen |
| Menge der Möglichkeiten | nur bestimmte Menge | beliebige Menge |
| | $Menge_{\text{bestimmt}} < Menge_{\text{unbestimmt}}$, mit $Menge_{\text{unbestimmt}}$ gegen unendlich bei entsprechender Feinheit der Möglichkeiten | |
| Menge gleichwertiger Kombinationen | nur bestimmte Menge an Kombinationen | beliebige Menge an Kombinationen |
| Art der Konstruktionserstellung | nur bestimmte Konstruktionseinheiten | freies Konstruieren |
| Informationsverfügbarkeit |  |  |
| Kenntnis über das Auftreten der Einzelfälle vor der Kontrolle | muss vor der Untersuchung bekannt sein | muss vor der Untersuchung nicht bekannt sein |

Abbildung 21: Charakteristische Eigenschaften des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes hinsichtlich Bestimmtheit und Unbestimmtheit

Bei der Konstruktionserstellung im Rahmen der Bestimmtheit ist kein Freiraum gegeben, um Alternativen zuzulassen. Demgegenüber verhält sich der Fall der Unbestimmtheit ohne Einschränkung. Die Konstruktionserstellung ist uneingeschränkt, so dass die Möglichkeiten in verschiedenen Arten beliebig vorhanden sein dürfen. Es gibt beliebige Kombinationen ihrer Ausprägungen und sämtliche Ausprägungen sind erlaubt. In Bezug auf die Informationsverfügbarkeit sind die IVB1, IVB2 und IVB3 entsprechend der automatischen Kontrolle gegeben. Die Bestimmtheit reduziert sich auf den IVB1, wobei dieser zusätzlich eingeschränkt werden kann. Die Resultate der Einschränkung führen zu einer festen Menge an Informationen, welche vor der Kontrolle bekannt ist bzw. zur Hinterlegung der Kontrolle bekannt sein muss. Flexibilität ist somit nicht möglich. Bei der Unbestimmtheit braucht diese Informationsmenge nicht vor der Kontrolle bekannt zu sein. Die Menge an kontrollierbaren Informationen ist somit flexibler und insbesondere größer als die Menge bei Bestimmtheit aufgrund der Einschränkungen bei den Möglichkeiten, ihren Varianten und Kombinationen sowie dem Wegfall von IVB2 bei der Bestimmtheit. Weil vor der Kontrolle die Menge an Informationen bekannt ist, wäre auch IVB2 bekannt. Dies ist jedoch bei Bestimmtheit nicht möglich, denn die Einzelfälle, welche zu IVB2 führen, sind noch nicht konstruiert. D. h. für den in der Kontrolle von Konstruktionen betrachteten beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstand, dass die charakteristischen Eigenschaften des beliebig fortgeschrittenen

Konstruktionstandes auch den Ausführungen im Falle der Unbestimmtheit in konsequenter Weise entsprechen müssen. Damit liegt bei der Konstruktionskontrolle eine Untersuchung eines beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes unter Unbestimmtheit vor. Der Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen muss demnach eine Untersuchung unter Unbestimmtheit abbilden.

4.2.4 Konstruktionen außerhalb der Untersuchungsgestaltung

Weiterhin gibt es Lösungen, deren Inhalt bezogen auf die hinterlegten Untersuchungsmöglichkeiten derart extrem sind, so dass eine Untersuchung kaum sinnvoll ist. Dazu zählen umfangreiche Neukonstruktionen oder nicht hinterlegte Sonderkonstruktionen. Das Kriterium der tatsächlichen Hinterlegung von Analysebedingungen in einem Algorithmus entscheidet, ob die Untersuchung eine umfassende Anwendung findet. Ein Untersuchungsalgorithmus ist dann zufriedenstellend, wenn er auf die verschiedenen Lösungsvorschlagsinhalte reagiert, die in einem konkreten Kontext mit dem Algorithmus analysiert werden. D. h. der Algorithmus muss zum einen eine entsprechende Struktur aufweisen, um verschiedene Lösungsvorschläge zu behandeln. Zum anderen ist eine ausreichende Hinterlegung von Analysebedingungen für den entsprechenden Einsatzkontext in den Algorithmus einzupflegen. Abbildung 22 zeigt eine geeignete Struktur hierfür, in der die Untersuchung verschiedene Phasen durchläuft.

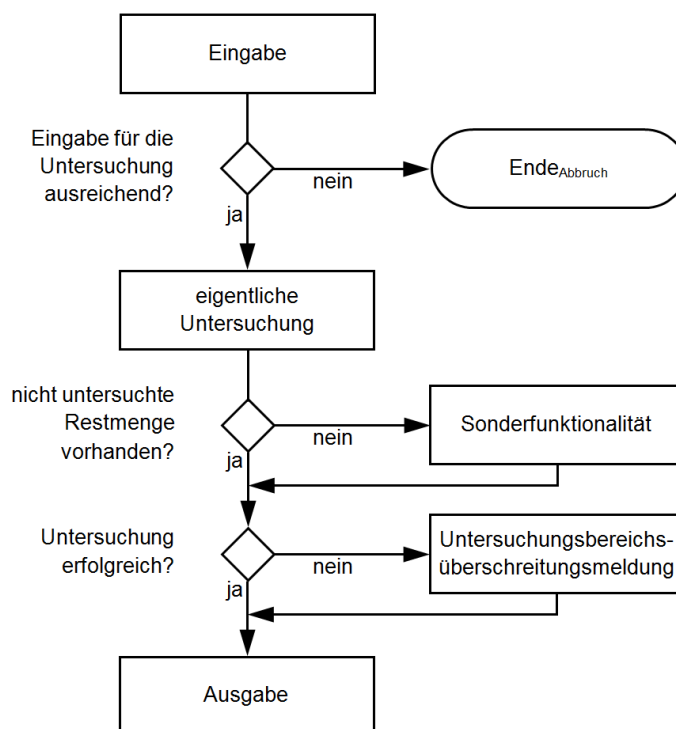


Abbildung 22: Phasen der Untersuchung

Dabei gibt es auf der einen Seite Phasen, welche zur eigentlichen Untersuchung auf Anforderungserfüllung gehören. Diese sind nach Abbildung 22 Eingabe, eigentliche Untersuchung und Ausgabe. Auf der anderen Seite gibt es Phasen im Algorithmus, die die Eingabe und das Ergebnis dahingehend untersuchen, ob die Untersuchung im hinterlegten Untersuchungsbereich stattgefunden hat. Die zweite Gruppe wird nachfolgend beschrieben.

Die Eingabedaten werden daraufhin getestet, ob der Lösungsvorschlag für die eigentliche Untersuchung ausreichend ist. Sind die dafür erforderlichen Voraussetzungen nicht gegeben, z. B. weil der Lösungsvorschlag keine Elemente enthält, dann erfolgt eine Beendigung der Untersuchung mit entsprechender Rückmeldung. Für den Fall, dass im Lösungsvorschlag grobe Fehler, wie doppelte und überlagerte Konstruktionselemente o. ä. vorliegen, lassen sich Maßnahmen einbinden, welche z. B. Dopplungen bereinigen. Diese Beseitigung solcher grober Fehler ermöglicht schließlich die Durchführung der eigentlichen Untersuchung und wird bei der Leistungseinordnung berücksichtigt.

Im Anschluss an die eigentliche Untersuchung kann eine Liste nicht berücksichtigter Konstruktionselemente ausgegeben werden. Hiermit lassen sich Sonderfunktionalitäten abbilden. Sie können erforderlich werden, um einen Ansatzpunkt zur Handhabung nicht im System eingepflegter Inhalte bzw. von Neukonstruktionen oder wenn das Qualifikationsnachweisuntersuchungsniveau kleiner ist als das Lösungsvorschlagsniveau zu liefern.

Weist das Untersuchungsergebnis eine geringe Anforderungserfüllung nach, so könnten zu wenige Eingabedaten vorhanden sein, um eine genaue Analyse durchgeführt zu haben, und damit eine nicht ganz korrekte Leistungseinordnung vorliegen. Weil die Darlegung der Untersuchungskorrektheit bei Geringleistungen häufig ein Problem ist, soll die Konstruktionskontrolle in solchen Fällen einen Hinweis diesbezüglich in der Ergebnisausgabe liefern. Dann ist organisatorisch zu entscheiden, ob eine zusätzliche manuelle Analyse das Ergebnis unterstützen soll. Beim durch die Kontrolle unterstützten, experimentellen Konstruieren wird somit zu Beginn des Konstruierens ein Hinweis darauf gegeben, dass der Lösungsvorschlag etwas weiter ausgearbeitet werden sollte, um ein besseres Feedback zu erhalten. Die Menge an Fehlern wäre ansonsten zu groß und die Vorschläge zu allgemein.

5 Ansatzpaket

Ziele und Rahmenbedingungen bilden das Feld, auf dem sich die Lösung bewegen soll. Um die Vielzahl an Einflussgrößen handhaben zu können, ist ein Paket aus verschiedenen Ansätzen erforderlich. Sie werden in diesem Kapitel vorgestellt. Hinsichtlich ihrer Gewichtung werden sie in Haupt- und Nebenansätze unterteilt (vgl. Abbildung 23).

| Hauptansätze | Nebenansätze |
|---|---|
| Informationsnutzung Anforderungserfüllungsgrad der Konstruktion Handhabungserleichterung eines komplexen Gesamtproblems durch Zergliederung | Systemgrenzenmanagement Trennung von Algorithmus und System Maßnahmen zur Performancesteigerung |

Abbildung 23: Ansatzpaket

5.1 Drei Hauptansätze

5.1.1 Informationsnutzung

In der Abbildung 24 werden die drei grundsätzlichen Informationen im Rahmen der Konstruktionskontrolle zusammen vorgestellt. Der Prozess der Konstruktionskontrolle wird dabei als eingangsseitig offener Prozess verstanden, um die Grenze G1 (vgl. Abbildung 11) abzubilden. Zum einen fließen in ihn die Information I1 in Form der expliziten Anforderungen aus der Aufgabenstellung bzw. dem Lastenheft und zum anderen die Information I2, d. h. die Information aus der Konstruktion. Sie verkörpern die konkret vorliegenden Möglichkeiten eines gegebenen beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes. Verwertbar sind dabei alle Informationsverfügbarkeitsbereiche, außer wie oben gezeigt der IVB6. Wird die Analysezugänglichkeit für beide Informationen sichergestellt, dann lassen sie sich nutzen, um eine Reihe von aufeinander aufbauenden Untersuchungen zu durchlaufen. Diese Untersuchungen erzeugen die Information I3, mit deren Hilfe die Schlussfolgerungen der Kontrolle getroffen werden können.

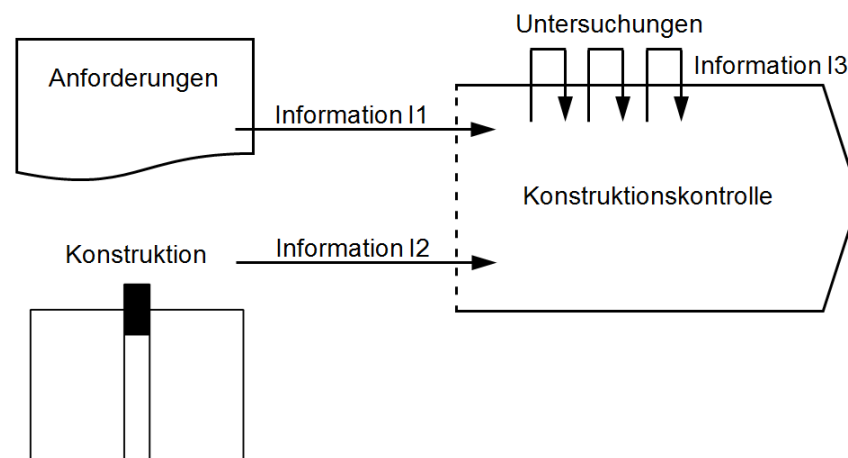


Abbildung 24: Informationen im Rahmen der Konstruktionskontrolle

Prinzip

Wie bereits in der Lösungsidee angedacht, lassen sich die Aussagen zu den Informationen im Rahmen der Konstruktionskontrolle folgendermaßen einsetzen. Mit der Information I1 und der Information I2 sind für den Prozess Kontrolle von Konstruktionen im Allgemeinen ausreichende, bekannte Basisinformationen vorhanden, um sie in einer hier erforderlichen Untersuchung unter Unbestimmtheit eines beliebigen Konstruktionsstandes zu nutzen und damit eine inhaltliche Konstruktionskontrolle durchzuführen.

Die Basisinformationen stoßen die Untersuchung unter Unbestimmtheit an. In der Information I1 wird das Soll beschrieben. Das Ist wird in der Information I2 in Form der Grundbestandteile der Konstruktion und deren Eigenschaften (z. B. Typ, Lage, etc.) abgelegt. Während der Untersuchungen wird die Information I3 erzeugt. Zu ihr zählen das vollständige Identifizieren aller relevanten Konstruktionsbestandteile sowie das Untersuchen des Verhaltens dieser, d. h. die Ermittlung des Sollerfüllungspotenzials. Schließlich führt der Abgleich von Soll und Ist zum tatsächlichen Sollerfüllungsgrad des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes. Somit liegt eine Aussage einer inhaltlichen Konstruktionskontrolle vor, welche die Information I1, Information I2 und Information I3 verwendet. Der Ansatz liegt darin, die Information entsprechend dieser Beschreibung gezielt zu nutzen.

Die konkrete Verwendbarkeit der Basisinformation ist die Grundbedingung für das Funktionieren der umgesetzten Lösung. Dazu sind verschiedene, aufeinander abzustimmende Maßnahmen während der Konstruktionserstellung und des Einlesens in den Algorithmus zu treffen, welche unten an geeigneter Stelle vorgestellt werden. Ihnen ist gemeinsam, dass ihr Bestreben darin besteht, die Analysezugänglichkeit der Basisinformationen herbeizuführen. Darunter wird verstanden, dass die Basisinformationen auf der einen Seite verfügbar und auf der anderen Seite technisch nutzbar sind.

Die Verfügbarkeit ist gegeben, wenn das erforderliche Konstruktionswissen bekannt ist und durch die vorhandene Automatisierungstiefe entsprechend abgebildet wird. Wichtig ist in diesem Zusammenhang ebenfalls, dass seitens der Erstellungsmöglichkeiten ausreichende Mittel zur Anwendung zur Verfügung gestellt werden, um die Anforderungen auch erfüllen zu können. Diese Mindestmenge ist auch von der Analyse vollständig abzubilden. Technisch nutzbar werden die Basisinformationen beispielsweise durch den Einsatz von informationstechnischen Mitteln, wie Variablen als Träger der Information. Die Anwendbarkeit für die Benutzenden, als Aufgabenstellende oder Konstruierende, muss gleichzeitig berücksichtigt werden und lässt sich durch die Umsetzung der Schnittstelle Mensch-Maschine als Text oder in Form des Technischen Zeichnens erzielen. Es ist weiterhin festzuhalten, dass die Erfüllung der Grundbedingung grundsätzlich für die Informationsverfügbarkeitsbereiche IVB1 bis IVB5 möglich ist.

Im Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen sollen die Informationen in Form von Variablen gehandhabt werden. Die Information I1 wird durch die Anforderungsvariablen verkörpert. Als Mittel der Wahl, um die Information I2 und Information I3 im Algorithmus zu nutzen, bietet sich eine Variable Informationsträger an. Sie bildet die Elemente der Konstruktion ab, in dem es drei Informationsträgerarten gibt. Es sind die

Basiselemente, Elemente und Gruppen. Linien stellen z. B. Basiselemente dar, Lager geben Elemente wieder und Lagerstellen werden durch Gruppen abgebildet. Dabei werden je nach Verwendungszweck passende Listen dieser Variablen geführt.

Anwendung

Zur Erläuterung der Anwendung der Informationsnutzung wird der Informationsfluss in Abbildung 25 mit den entsprechenden Zusammenhängen vorgestellt.

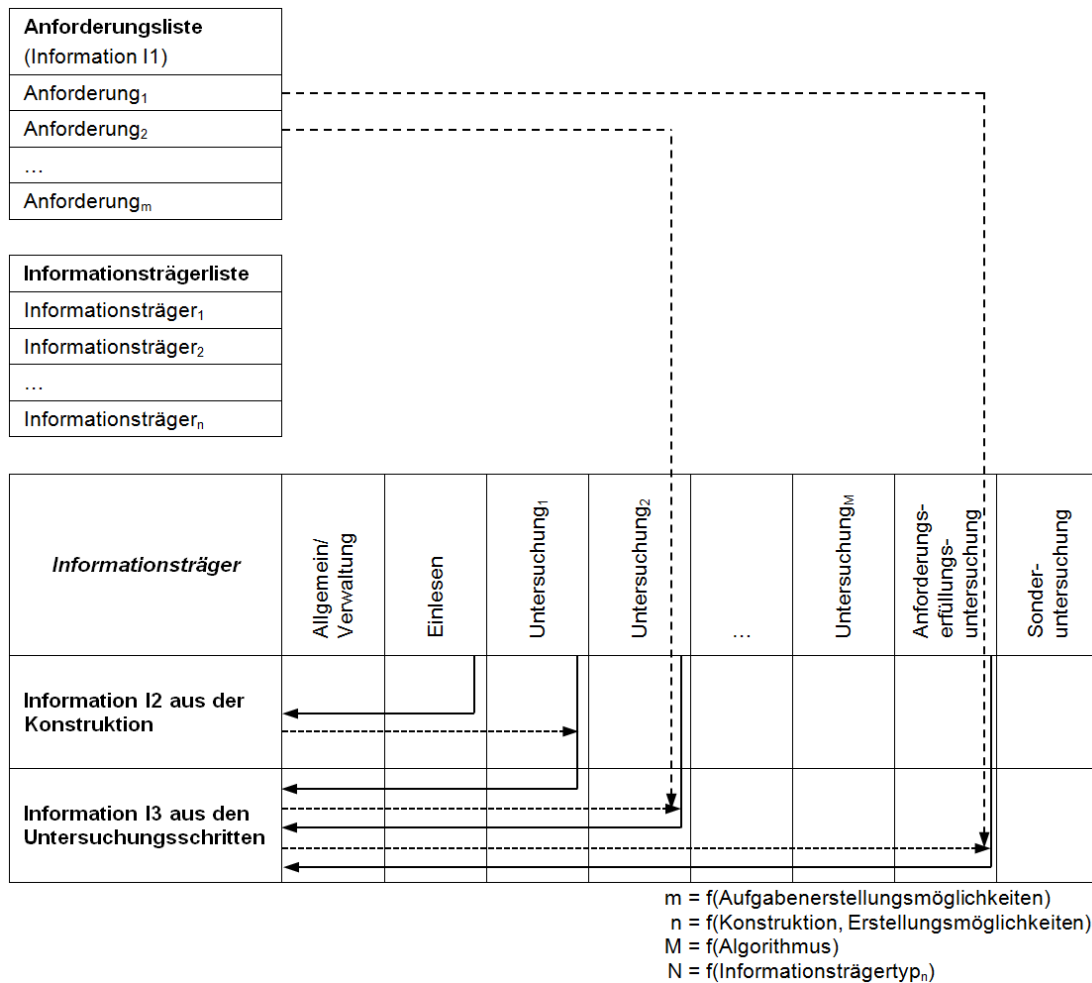


Abbildung 25: Anwendung der Informationsnutzung – Informationsfluss

Am Anfang stehen bei erfüllter Grundbedingung die Basisinformationen zur Verfügung. In der Anforderungsliste wird die Menge der gesetzten Anforderungen verwaltet. Sie enthält die Information I1. Eine zweite Liste beinhaltet die Informationsträger, deren Anzahl von der zu kontrollierenden Konstruktion abhängt, und damit die Information I2 sowie die Information I3. Sie enthalten eine Reihe von Informationen, welche vom speziellen Informationsträgertyp abhängig ist. Die Werte dieser Informationen werden durch die einzelnen Schritte gesetzt, die Datenfelder selbst, d. h. die Eigenschaften, sind fest an den Typ gebunden. Nach dem Einlesen steht die Information I2 bereit für die Untersuchungsschritte. Während der aufeinanderfolgenden Untersuchungen wird die Information I3 herausgearbeitet. Dazu werden zu Beginn vor allem die Information I2 und im weiteren Verlauf die durch vorherige Untersuchungen bereits gewonnene Information I3 genutzt. Die Anzahl der Untersuchungen

hängt von der Algorithmusausgestaltung ab. Es kann auch erforderlich werden, die Information I1 einzusetzen. Dies erfolgt z. B. bei der weiter unten beschriebenen Indikatorregel. Sie nutzt die Information I1 als Zusatzinformation und erweitert damit die Untersuchungsmöglichkeiten. Die Anforderungserfüllungsuntersuchung gleicht die Information I1 mit der vorbereiteten Information I3 ab und trifft eine Aussage im Sinne einer inhaltlichen Konstruktionskontrolle. Sonderuntersuchungen können ergänzt werden.

5.1.2 Anforderungserfüllungsgrad der Konstruktion

Mit den gesteckten Zielen und dem vorgestellten Rahmenbedingungen ergibt sich die Forderung nach einer inhaltlichen Konstruktionskontrolle in Form einer Untersuchung unter Unbestimmtheit für einen beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstand. Diese Überlegungen münden in den Ansatz einer Anforderungserfüllungsuntersuchung, welche den Erfüllungsgrad der Anforderungen durch die Inhalte der Konstruktion feststellt. Durch die Einbeziehung des ersten Hauptansatzes Informationsnutzung sollen die erforderlichen Voraussetzungen hierfür gegeben sein.

Bei der Betrachtung der verschiedenen Möglichkeiten ist zunächst auf der Anforderungsebene die Möglichkeit geeignete Wahl anzuführen. Denn dort liegen die Informationen in der Regel direkt vor, z. B. ist in den Anforderungen ein Rillenkugellager gefordert und in der Konstruktion befindet sich ein abweichender Lagertyp. Wegen des stets möglichen Auftretens der anderen Möglichkeiten bzw. einer beliebigen Kombination dieser, ist vor der Anforderungserfüllungsuntersuchung eine Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung erforderlich. Sie ergänzt die Basisinformationen um den Istanforderungserfüllungspotenzialgrad und gewährleistet dadurch die Anforderungserfüllungsuntersuchung. Damit besteht die Untersuchung unter Unbestimmtheit im Wesentlichen aus den drei Schritten Information bereitstellen, Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung (vgl. Abbildung 26), deren zusammenhängende Struktur im Folgenden beschrieben wird.

Untersuchung unter Unbestimmtheit

 Informationen bereitstellen
 Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung
 Anforderungserfüllungsuntersuchung

Abbildung 26: Hauptelemente der Untersuchung unter Unbestimmtheit

Information bereitstellen

Je nach Konstruktionserstellungsvariante ist eine unterschiedliche Anzahl von Untersuchungsschritten erforderlich, um eine ausreichende Menge an Basisinformationen zu erhalten. Diese Basisinformationen werden über die Informationsträger verfügbar. Zu ihnen zählen Basiselemente, Elemente und Gruppen. Die Basiselemente sind stets fertig, d. h. bei der Konstruktionserstellung direkt verwendbar. Elemente bestehen aus Basiselementen, welche über eine Stückliste des Elementes verwaltet werden, oder sind ebenfalls bereits fertig. Ähnlich verhalten sich die Gruppen. Sie bestehen aus Elementen oder anderen Gruppen bzw.

werden auch fertig verwendbar zum Konstruieren bereitgestellt. Mit Abbildung 27 ist daraus abzuleiten, dass es zwei Grundtypen von Informationsträgern gibt. Zum einen sind sie fertig und zum anderen bestehen sie aus Stücklistenelementen. Liegen Informationsträger aus Stücklistenelementen vor, dann müssen sie vor dem Beginn weiterer Analyseschritte aus den entsprechenden Stücklistenelementen gebildet werden. Im Hinblick auf das Validierungsbeispiel werden aus diesen beiden Grundtypen nur fertige Elemente, Gruppen aus Elementen und Gruppen aus anderen Gruppen weiter betrachtet. Weil diese Auswahl beide Grundtypen abbildet, ist die Einschränkung zulässig.



Abbildung 27: Informationsträger (links) und deren Grundtypen (rechts)

Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung

Die Informationsträger besitzen ein Verhalten, welches durch Eigenschaften und spezielle eigene Anforderungen bestimmt wird. Von den zuvor bereitgestellten Informationen werden die Werte für die Eigenschaften geliefert. In der Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung erfolgt nun eine Untersuchung, welche den Erfüllungsgrad der speziellen Anforderungen der Informationsträger unter Beachtung aller in der Konstruktion vorliegenden Informationsträger, d. h. des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes und seinen beliebigen Kombinationen von Möglichkeiten, ermittelt. Damit wird das Verhalten der Informationsträger vollständig bekannt. Es besitzt ein Potenzial, um die Anforderungen an die Konstruktion zu erfüllen. Inwiefern dies gegeben ist ermittelt die im nächsten Abschnitt beschriebene Anforderungserfüllungsuntersuchung. Abbildung 28 erläutert die Zusammenhänge.

Ein Informationsträger besitzt auf der Seite der Eigenschaften Verträglichkeits- (VEig) und Funktionseigenschaften (FEig). Die Verträglichkeitseigenschaften beschreiben das Verhalten des Informationsträgers gegenüber anderen Informationsträgern. Dahingegen lassen sich aus den Funktionseigenschaften Aussagen bezüglich des Informationsträgers selbst treffen. Auf der Seite seiner eigenen Anforderung sind die Gestaltungs- (GAnf), Verträglichkeits- (VAnf) und Funktionsanforderungen (FAnf) zu finden. Mit den Gestaltungsanforderungen ist die konstruktive Gestaltung des Informationsträgers zu untersuchen. Eine solche ist von den eigenen Funktionseigenschaften des Informationsträgers sowie dem Erfüllungsgrad der Funktionsanforderungen seiner, falls vorhandenen, Stücklistenelemente abhängig. Die Verträglichkeitsanforderungen eines Informationsträgers sind von allen anderen Verträglichkeitseigenschaften der in der Konstruktion verwendeten Informationsträger potenziell abhängig, jedoch nicht von den eigenen Verträglichkeitseigenschaften des Informationsträgers. Sie beschreiben eventuell vorhandene Störungen des eigenen Verhaltens aufgrund anderer Informationsträger. Im Verbund mit den Gestaltungsanforderungserfüllungsgrade bestimmen die Verträglichkeitsanforderungserfüllungsgrade den Erfüllungsgrad der Funktionsanforderungen des Informationsträgers und damit dessen Anforderungserfüllungspotenzial.

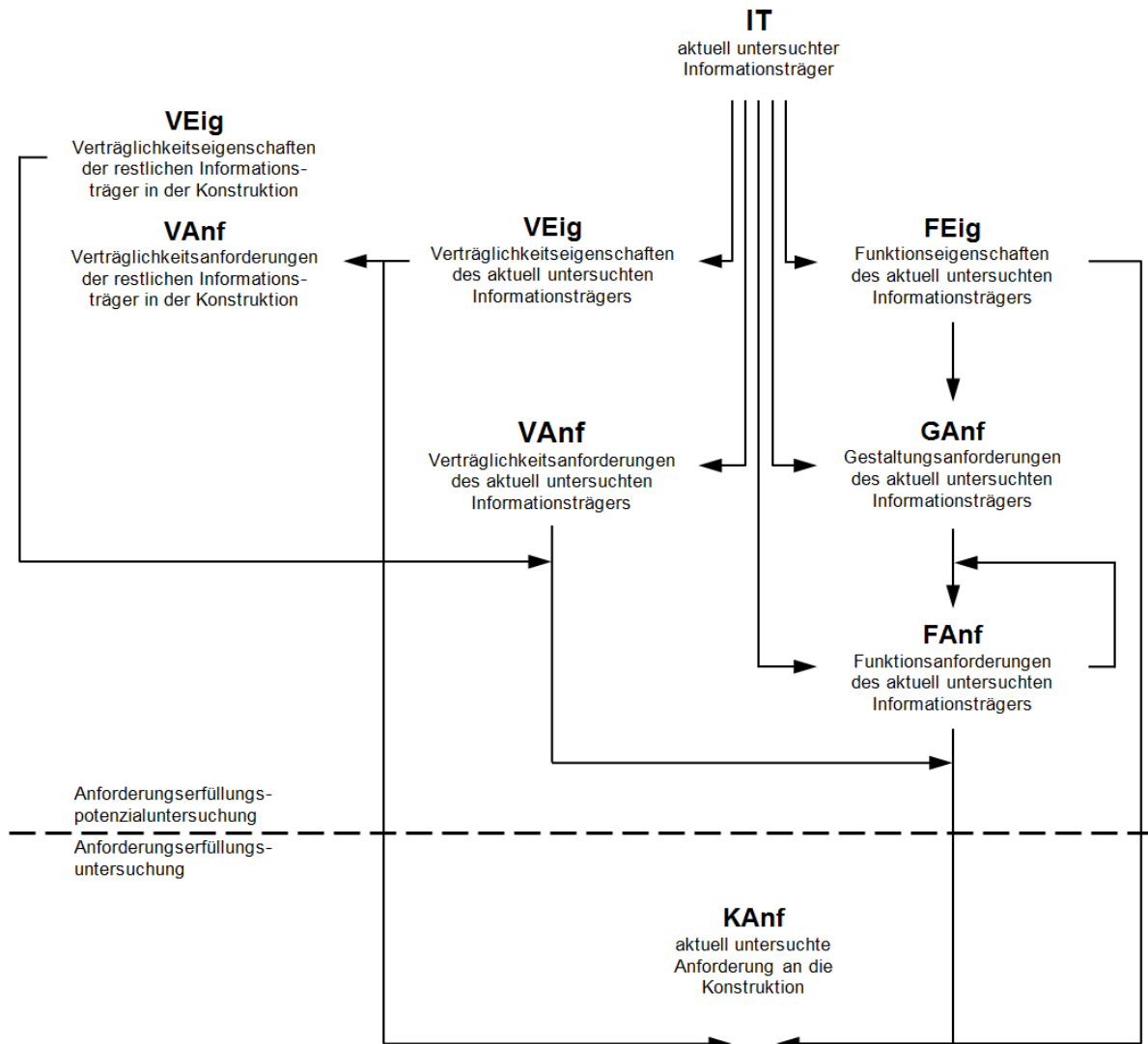


Abbildung 28: Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Informationen bezüglich des Verhaltens der Informationsträger an verschiedenen Stellen vorliegen. In Form der Verträglichkeitseigenschaften ist dies der Fall, sobald der Typ des Informationsträgers bekannt ist, d. h. beim Einlesen. Die Funktionseigenschaften sind zum gleichen Zeitpunkt verfügbar. Sie enthalten neben festen, typspezifischen Informationen auch Informationen über die konkrete Verwendung in der Konstruktion, z. B. Längen und Positionen. Die Gestaltungs-, Verträglichkeits- und Funktionsanforderungserfüllungsgrade werden in dieser Reihenfolge durch die Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung verfügbar.

Anforderungserfüllungsuntersuchung

Im dritten Hauptelement der Untersuchung unter Unbestimmtheit erfolgt die Untersuchung der Erfüllung der Anforderungen aus dem Lastenheft bzw. der Aufgabenstellung. Dadurch wird die inhaltliche Konstruktionskontrolle umgesetzt. Dies erfolgt in Form eines Abgleiches der Anforderungen an die Konstruktion mit dem Anforderungserfüllungspotenzial, d. h. des unter Unbestimmtheit untersuchten Verhaltens des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes. Jede Anforderung wird dabei gegen jeden Informationsträger, der ein Element oder

eine Gruppe verkörpert, untersucht. Für den Regelfall des Informationsverfügbarkeitsbereichs IVB1 sind dabei die Eingangsgrößen die Verträglichkeitseigenschaften und der Erfüllungsgrad der Funktionsanforderungen der Informationsträger. Einen Sonderfall bildet der IVB2. Hier liegt eine Untersuchung unter Unbestimmtheit bei eingeschränkten Ausgangsinformationen vor. D. h. es sind nicht genug Informationen vorhanden, um das Verhalten hinsichtlich Gestaltungs-, Verträglichkeits- und Funktionsanforderungen zu ermitteln, aber es gibt die Funktionseigenschaften. Sie ermöglichen zwar keine umfassende Analyse, erlauben allerdings eine tendenzielle Aussage. Konkret bedeutet dies, dass nur mit den Funktionseigenschaften untersucht wird. Die Ergebnisse lassen sich anschließend protokollieren, in eine Leistungseinordnung überführen und bei eingeschränkter Anforderungserfüllung bzw. Nichterfüllung mit Vorschlägen versehen.

Bestimmung des Anforderungserfüllungsgrades einer Einzelanforderung

Nach der Vorstellung der Zusammenhänge hinsichtlich Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung erfolgt nun die Beschreibung der Bestimmung des Anforderungserfüllungsgrades einer Einzelanforderung. Dieses Vorgehen, welches auf die Untersuchung unter Unbestimmtheit abgestimmt ist, gilt für die Anforderungen an die Konstruktion sowie die verhaltensbeschreibenden Gestaltungs-, Verträglichkeits- und Funktionsanforderungen. Während die Methode im Kern gleich bleibt, gibt es Besonderheiten bezüglich der Eingangsdaten, Auswertebedingungen und Aussagen. Hierauf wird im Einzelnen eingegangen.

Zunächst ist zu klären, wie viele Einzelanforderungen vorliegen. Bei den Anforderungen an die Konstruktion werden für die Anforderungserfüllungsuntersuchung viele explizite Einzelanforderungen benötigt, damit die Aufgabenstellung vollständig abgebildet werden kann. Diese Aussage ist für eine Aufgabenstellung gültig. Sollen verschiedene Aufgabenstellungen mit dem Algorithmus kontrollierbar sein, dann erfordert dies die Abbildung weiterer Anforderungen, auf welche der Einzelfall einer Konstruktionskontrolle nicht einzugehen braucht. Für die verhaltensbeschreibenden Anforderungen orientiert sich die Menge der Einzelanforderungen an den Informationsträgern. Dabei besitzen die Informationsträger eine entsprechend ihres konstruktiven Verhaltens feststehende Anzahl von Einzelanforderungen, welche sich im Algorithmus noch durch die umgesetzte Automatisierungstiefe beeinflussen lässt. Die Aufgabenstellung sowie die Gestaltungs-, Verträglichkeits- und Funktionsanforderungen der einzelnen Informationsträger besitzen demnach jeweils einen Satz von Einzelanforderungen.

Für jede Einzelanforderung aus diesen Anforderungssätzen ist der jeweilige Anforderungserfüllungsgrad zu bestimmen. Mit Abbildung 29 erfolgt dies in vier Schritten. Zuerst ist die Einzelanforderung in eine Reihe von kontrollierbaren Bedingungen zu zerlegen. Dadurch wird es ermöglicht, die beliebige Kombinationsvielfalt in einzelne, voneinander unabhängige Betrachtungsfälle aufzuteilen und gezielt zu untersuchen. Jeder Betrachtungsfall erhält eine informationstechnisch auswertbare Bedingung. Im zweiten Schritt werden die Bedingungen mit Daten gefüllt und ausgewertet. Die Eingangsdaten stammen dabei aus dem Verhalten der Informationsträger, deren Verträglichkeits- und Funktionseigenschaften sowie deren ggf. bereits analysierten Gestaltungs-, Verträglichkeits- und Funktionsanforderungserfüllungsgrad,

gemäß der Struktur der Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung. Der dritte Schritt führt zu einer Aussage, inwiefern die Bedingungs-ergebnisse einen Beitrag zum Erfüllungsgrad der aktuell untersuchten Einzelanforderung besitzen. Ein abschließender Schritt bilanziert diese Beiträge nach bestimmten Regeln. Dabei entspricht das Bilanzierungsergebnis dem Erfüllungsgrad der Einzelanforderung.

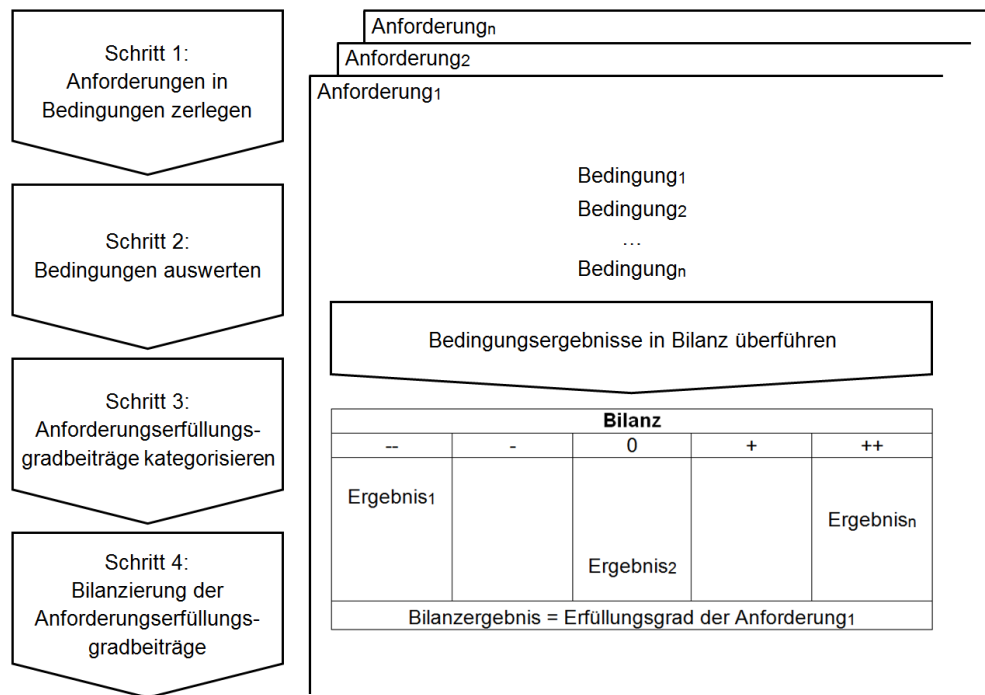


Abbildung 29: Bestimmung des Anforderungserfüllungsgrades einer Einzelanforderung

Schritt 1: Anforderungen in Bedingungen zerlegen

Bei den verhaltensbeschreibenden Anforderungen, d. h. während der Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung, ist zu berücksichtigen, dass die Informationsträger von anderen Informationsträgern abhängig sind. Es ist jedoch im Vorfeld der Untersuchung nicht bekannt, welche Kombination vorliegt. Deshalb werden alle Informationsträger in 1:1-Tests gegen alle anderen Informationsträger untersucht. Weil hinsichtlich des Produktspektrums nur bestimmte Abhängigkeiten auftreten können, lässt sich die Untersuchungsmenge kontextabhängig einschränken. In der Anforderungserfüllungsuntersuchung ist bezüglich der Anforderungen an die Konstruktion analog vorzugehen, wobei die Einzelanforderungen in 1:1-Tests gegenüber allen Informationsträgern, d. h. deren Anforderungserfüllungspotenzial, untersucht werden. Diese 1:1-Tests entsprechen den Beziehungen des aktuell untersuchten Informationsträgers, d. h. dessen verhaltensbeschreibenden Anforderungen, oder einer Anforderung an die Konstruktion mit einem anderen Informationsträger. Liegt eine solche Kombination in der Konstruktion vor, dann kann sie vorerst unabhängig von anderen Informationsträgern untersucht werden. Gibt es die Kombination in der Konstruktion nicht, dann stört sie durch ihr Fehlen auch nicht die Tests der vorliegenden Kombinationen. Ab Schritt 3 werden die Zusammenhänge und Abhängigkeiten zu den anderen Informationsträgern wieder beleuchtet, so dass die Untersuchung unter Unbestimmtheit des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes möglich ist, ohne die Gesamtbetrachtung zu behindern oder zu verlieren. Die Unbestimmtheit wird handhabbar.

Eine Sonderstellung nimmt die Untersuchung der Gestaltungsanforderungen bei Informationsträgern aus Stücklistenelementen ein. Dabei ist der aktuell untersuchte Informationsträger von seinen Stücklistenelementen abhängig. Er kann auch von mehreren Stücklisten gleichzeitig abhängig sein. Dies wäre eine 1:n-Beziehung. Die n Stücklistenelemente lassen sich in eine Gruppe überführen und bilden dann wieder eine 1:1-Beziehung gemäß obigem Schema. Weil die Gruppenbildung an dieser Stelle schwierig wird, falls zu viele Elemente fehlen, die Verwaltung dieser Gruppen nur für diesen Untersuchungsteil erforderlich wäre und alternative feste 1:n-Beziehungen möglich sind, wird hier eine Ausnahme von der Regel 1:1-Beziehungen zu bilden erlaubt. Die Ersatzgruppen sollen als Folgen bezeichnet werden. Weiterhin sind einige Anforderungen neben diesen 1:1-Beziehungen auch von den eigenen Eigenschaften abhängig bzw. nur von diesen (vgl. Abbildung 30).

| Anforderungen | | IT Grundtypen | IT-Verhalten in Bedingungen | | | Bedingungen | Menge an Anforderungen | Menge an Bedingungen je Anforderung |
|-------------------------|------|----------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---|
| | | | IT _{selbst} | IT _{SE} | IT _{Gesamt ohne selbst} | | | |
| aktuell untersuchter IT | GAnf | IT _{fertig} | X | | | FEig i. O.? | n: je nach IT | 0/1 nur IT _{selbst} |
| | | IT _{aus SE} | X | X | | | | n: - 0/1 nur IT _{selbst} - 0/1 pro Folge bei IT _{SE} |
| | VAnf | IT _{fertig} | | | X | VEig störend? | | n: alle anderen IT → 0/1 pro Kombination |
| | | IT _{aus SE} | | | X | | | |
| | FAnf | IT _{fertig} | X | | | GAnf i. O. & VAnf störend? | | n: je nach G/VAnf → 0/1 pro G/VAnf |
| | | IT _{aus SE} | X | X | | | | |
| Anforderungssatz | KAnf | IT _{fertig} | X | | | FAnf i. O. & VEig störend? | n: je nach Anforderungssatz | n: alle IT → 0/1 pro IT _{aktuell untersucht} |
| | | IT _{aus SE} | X | | | | | |

Abbildung 30: Abhängigkeiten von Einzelanforderungen (SE = Stücklistenelement)

Nach der Diskussion bezüglich der Anforderungsanzahl ist die Frage nach der Bedingungsanzahl pro Einzelanforderung zu stellen. Je nach Anforderung ist sie vom Informationsträgergrundtyp, den eigenen Eigenschaften und Anforderungen sowie dem möglichen Vorliegen verträglichkeitsbeeinflussender weiterer Informationsträger in der Konstruktion im Falle der verhaltensbeschreibenden Anforderungen abhängig. Bei den Anforderungen an die Konstruktion gibt es pro beeinflussenden Informationsträger eines speziellen Produktspektrums eine eigene Bedingung. Inwiefern dies tatsächlich umgesetzt wird, hängt von der Automatisierungstiefe ab.

Die Bedingungen unterscheiden sich je nach Anforderung. Abbildung 30 zeigt dies in der Spalte Bedingungen. Daraus ist zu erkennen, dass die Untersuchungsreihenfolge, d. h. vollständige Informationsträgererkennung, GAnf-, VAnf-, FAnf-Untersuchung, einzuhalten ist, um den aufeinander aufbauenden Charakter der Informationen gerecht zu werden.

Schritt 2: Bedingungen auswerten

In den Bedingungen werden die zuvor erhaltenen Informationen weiterverarbeitet. Die Bedingungen orientieren sich inhaltlich an dem Typ der aktuell untersuchten Anforderung. In der Regel kann eine Bedingungen je nach Eingabedaten unterschiedliche Ergebnisse liefern. Dieses Ergebnis trägt somit mehr oder weniger zur Anforderungserfüllung bei.

Schritt 3: Anforderungserfüllungsgradbeiträge kategorisieren

Die Ergebnisse der Einzelbedingungen sind mit allen anderen Einzelbedingungsergebnissen zusammenzuführen. Deshalb werden die Bedingungsergebnisse, d. h. die Beiträge zum Erfüllungsgrad der aktuell untersuchten Anforderung, in die Kategorien --, -, 0, + und ++ eingeordnet. Dabei bedeutet -- eine Anforderungsnichterfüllung und - eine Anforderungsschwächung. Mit 0 wird Unabhängigkeit ausgedrückt. Durch + wird eine Anforderungsunterstützung und durch ++ eine Anforderungserfüllung abgebildet. Pro Anforderung gibt es eine Bilanz, welche dieselben Kategorien verwendet. In diese werden so viele Einzelergebnisse übertragen, wie sie aufgrund der tatsächlichen vorliegenden Kombination von Informationsträgern erforderlich sind. Die Methode bietet damit den Vorteil, dass die Kombinationsvielfalt beliebig sein darf, und eignet sich deshalb für die Untersuchung unter Unbestimmtheit.

Schritt 4: Bilanzierung der Beiträge

Schließlich erfolgt eine Bilanzierung der Einträge gemäß den nachstehenden Regeln.

| | | Bilanz | | | | | | |
|---|--|----------------|------------|----------------|---------------|-----------|--|--|
| Einordnung der Bedingungsergebnisse in die Bilanz der aktuell untersuchten Anforderung | | Nichterfüllung | Schwächung | Unabhängigkeit | Unterstützung | Erfüllung | Bilanzierung aller Bedingungsergebnisse | |
| Ergebniskombinationen: | | -- | - | 0 | + | ++ | | |
| mindestens 1 mal ++ ggf. 0 | | | | (x) | | x | Erfüllung | |
| | | | | | | (x) | | |
| mindestens 1 mal - oder + ggf. 0, ++ | | | x | (x) | (x) | (x) | eingeschränkte Erfüllung | |
| | | | (x) | (x) | x | (x) | | |
| mindestens 1 mal -- ggf. -, 0, +, ++ | | x | (x) | (x) | (x) | (x) | Nichterfüllung | |
| Sonderfall: nur 0 | | | | x | | | | |
| Sonderfall: keine Einträge | | | | (x) | | | | |
| | | - | - | - | - | - | | |

Abbildung 31: Bilanzierung – schematische Darstellung

Mit Abbildung 31 weist ein Bilanzierungsergebnis die Fälle Erfüllung, eingeschränkte Erfüllung oder Nichterfüllung einer Anforderung aus. Eine Erfüllung liegt vor, wenn mindestens ein Bedingungsergebnis in die Kategorie ++ einzuordnen ist und ggf. Unabhängigkeitseinträge aufgeführt werden sowie ansonsten keine Einträge in den anderen Kategorien auszumachen sind. Anforderungsschwächung und Anforderungsunterstützung verkörpern Fälle, welche eine tendenzielle Aussage zulassen. Der Fall der eingeschränkten Erfüllung ist gegeben, wenn mindestens ein Bilanzeintrag in der Spalte Anforderungsschwächung oder in der Spalte Anforderungsunterstützung zu finden ist. Dabei dürfen Einträge bei der Unabhängigkeit sowie der Anforderungserfüllung zusätzlich vorliegen. Eine Nichterfüllung

lässt sich durch drei Wege erreichen. Im ersten ist mindestens ein Eintrag in der Spalte Anforderungsnichterfüllung. Alle anderen Spalten können zusätzlich mit Einträgen versehen sein. Beim zweiten gibt es nur Eintragungen in der Spalte Unabhängigkeit und beim dritten überhaupt keine Einträge in der Bilanz.

Damit ist festzuhalten, dass das Bilanzierungsprinzip und das Zusammenspiel der Bilanzierungsergebnisse in Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung die Hauptmethode darstellen, um eine beliebige Kombinationsvielfalt innerhalb der Untersuchung unter Unbestimmtheit mittels Informationsnutzung handhaben zu können.

5.1.3 Handhabungserleichterung eines komplexen Gesamtproblems durch Zergliederung

Es wird hier, analog zur Methode der Faktorisierung /PAH07/, angenommen, dass ein System, welches ein komplexes Gesamtproblem in einem großen Schritt als Ganzes erfasst und behandelt, sich entsprechend seiner eigenen Komplexität an der Komplexität des Problems orientiert. Eine demnach komplexe Lösungsmethode schränkt die Nachvollziehbarkeit ein. Sollte das komplexe Gesamtproblem einen speziellen Charakter besitzen, so wird die komplexe Lösungsmethode nur eine reduzierte Allgemeingültigkeit aufweisen können.

Wie oben festgestellt liegt bei der Kontrolle von Konstruktionen eine Untersuchung unter Unbestimmtheit vor. D. h. die zu kontrollierende Konstruktion darf eine beliebige Kombination von Möglichkeiten beinhalten, welche zusätzlich beliebig umfangreich sein können. Damit wird die Kontrolle von Konstruktionen zu einem komplexen Gesamtproblem, dessen Lösungsmethode auf wechselnde Komplexitätsniveaus reagieren muss. Um diesen Rahmenbedingungen hinreichend zu begegnen, bietet es sich an, das komplexe und im Einzelfall spezielle Gesamtproblem der Kontrolle von Konstruktionen in nachvollziehbare und allgemein wiederverwendbare Teilprobleme zu zerlegen. Die Teilprobleme entsprechen der somit gezielt vereinfachten Handhabung der einzelnen, tatsächlich vorliegenden Möglichkeiten. Diese Möglichkeiten lassen sich nun fokussiert untersuchen.

Prinzip

Die Konstruktion wird in Teile zergliedert, um mit deren Hilfe eine Anforderungserfüllungsuntersuchung gemäß dem zweiten Hauptansatz durchzuführen. In der Konstruktion können die Teile als Basiselemente (z. B. Linien), Elemente (z. B. Lager) sowie Gruppen (z. B. Lagerstelle) vorliegen und werden im Algorithmus als Informationsträger abgelegt. Sie beinhalten die für die einzelnen Untersuchungsschritte erforderlichen Informationen, insbesondere zum Anforderungserfüllungspotenzial. Die Anforderungserfüllungsuntersuchung läuft in Einzeluntersuchungen der Informationsträger ab. Zur Berücksichtigung der wechselseitigen Abhängigkeiten der Informationsträger erfolgt die Analyse in einem Satz von paarweisen Untersuchungen, deren Ergebnisse anschließend bilanziert werden. Das paarweise Vorgehen vereinfacht die Analyse und die Bilanzierung berücksichtigt den Umstand des beliebigen Umfangs der im Einzelfall vorliegenden Möglichkeiten. Beides miteinander schafft die Handhabung des komplexen Gesamtproblems in einer nachvollziehbaren Art und

Weise, ohne auf die Gesamtbetrachtung verzichten zu müssen. Hierdurch ist der Standardfall der vorliegenden Möglichkeiten bei der Kontrolle von Konstruktionen handhabbar. Das beschriebene Prinzip eignet sich, um die Möglichkeiten des Informationsverfügbarkeitsbereichs IVB1 zu untersuchen. Abbildung 32 zeigt, welche weiteren Maßnahmen erforderlich sind.

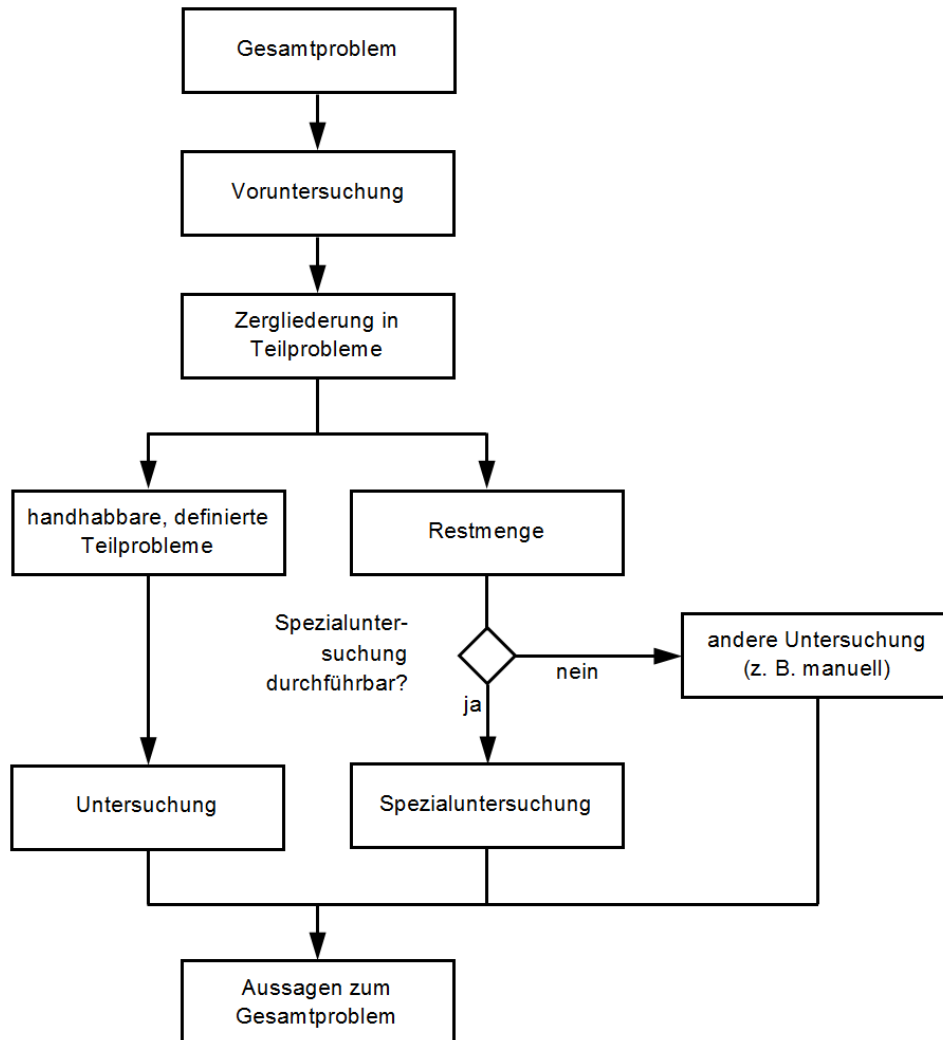


Abbildung 32: Bereiche zur Untersuchung des Gesamtproblems Kontrolle von Konstruktionen mit dem Ansatz „Zergliederung in Teilprobleme“

Zuerst erfolgt eine Voruntersuchung. Sie hat zum Ziel, den Nachweis zu erbringen, dass der Lösungsvorschlag grundsätzlich eine gültige, d. h. in der hier geforderten Art kontrollierbare Konstruktion darstellt. Dazu wird nach Extremfällen gesucht, welche die Nachweisführung negativ ausfallen lassen. Liegen sie vor, dann stellen sie ein Abbruchkriterium für den Algorithmus dar. Im Kontext einer Onlineklausur ist beispielsweise der Fall anzuführen, bei dem die Aufgabe überhaupt nicht oder extrem lückenhaft bearbeitet wurde. Zudem ist an dieser Stelle ein Reinigungsschritt vorgesehen. Für den Fall, dass die Konstruierenden mehrere gleiche Informationsträger an derselben Stelle übereinander anordnen, werden diese auf eine Anzahl von eins reduziert. Nach der Voruntersuchung erfolgt die Zergliederung. Im Falle des Informationsverfügbarkeitsbereichs IVB1 werden die handhabbaren, definierten Teilprobleme untersucht.

Neben dem IVB1 lassen sich durch die Zergliederung auch die IVB2 sowie IVB4 bis IVB6 in einer Restmengenuntersuchung identifizieren und einer Analyse zuführen. Für den Fall des IVB2 ist eine Spezialuntersuchung möglich, welche eine Anforderungserfüllungsuntersuchung unter verminderten Informationen darstellt. Die IVB4 bis IVB6 sind bei einer gegebenen Automatisierungstiefe, wie oben gezeigt, nicht mehr automatisch zu untersuchen, so dass an dieser Stelle eine Übergabe an eine manuelle Untersuchung stattfindet. Alle drei Untersuchungsfälle liefern schließlich Aussagen zum Gesamtproblem in Form der Summe ihrer Teilergebnisse.

Vorbereitung – Analyse

Das Gesamtproblem in Teilprobleme zu zergliedern, entspricht bei der Kontrolle von Konstruktionen, die Konstruktion in Teilbereiche zu zergliedern, mit deren Hilfe eine Anforderungserfüllungsuntersuchung möglich ist. Solche Teilbereiche werden hier durch die Informationsträger verkörpert. Je nach Erstellung der Konstruktion liegen die Informationsträger, d. h. die interessierenden, vereinfacht lösbaren Teilprobleme, direkt oder indirekt vor. Dabei stehen sie direkt für die Analyse bereit, wenn mit ihnen konkrete Aussagen bezüglich ihres Beitrages zur Anforderungserfüllung bestimmter Anforderungen gewährleistet werden. Diese Informationsträger sind ohne weitere Vorbereitung analysefähig. Anders verhält es sich, wenn die Informationsträger keine direkten Anforderungserfüllungsaussagen ermöglichen. In diesem Fall sind sie analyseunterstützend, wenn sie in Informationsträger auf einer höheren Ebene überführt werden können, insbesondere Basiselemente in Elemente, welche dann eine Anforderungserfüllungsaussage zulassen.

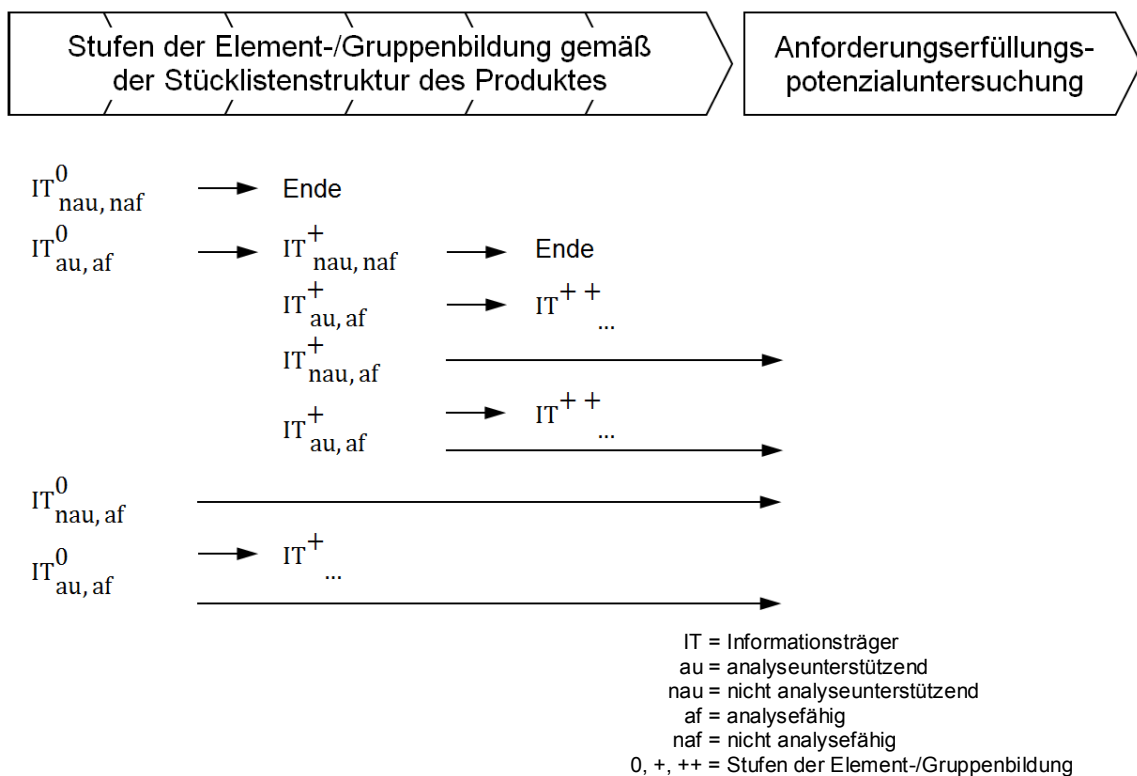


Abbildung 33: Vorbereitung der Informationsträger durch Element-/Gruppenbildung für die Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung

Abbildung 33 zeigt diese Zusammenhänge. In der Regel werden Basiselemente in Elemente überführt oder mehrere Elemente in Gruppen. Es kann auch erforderlich werden, aus Gruppen weitere Gruppen zu bilden. Eine Bildung von Gruppen aus Basiselementen ist nur über den Weg einer vorgeschalteten Elementbildung sinnvoll. Denn dadurch werden Probleme erkennbar, die beim Übergang von Basiselementen in ein Element sowie von Elementen in eine Gruppe auftreten können, jedoch bei der verkürzten Betrachtung von Basiselementen in eine Gruppe nicht auffallen würden. Dieser in der Analyse selbst, d. h. im Algorithmus, stattfindende Schritt wird im Folgenden als Element-/Gruppenbildung bezeichnet. Eine Mischform stellen Informationsträger dar, welche bezüglich einer Anforderung analyseunterstützend und bezüglich einer anderen analysefähig sind. Diese erfordern für den ersten Fall eine Elemente-/Gruppenbildung. Im zweiten Fall lassen sie sich direkt nutzen.

Aus der Abbildung ist weiterhin zu erkennen, dass Informationsträger, welche weder über eine analyseunterstützende noch eine analysefähige Form eine Aussage zu einer Anforderung aus dem Lastenheft bzw. der Aufgabenstellung ermöglichen, weil sie für andere konstruktive Zwecke vorgesehen sind, einen Sonderfall darstellen. Passen sie grundsätzlich nicht in das untersuchte Feld eines speziellen Kontextes, dann ist es nicht erforderlich, sie in der Lösungsmethode abzubilden. Werden sie dennoch implementiert, dann sind sie für den Algorithmus nicht kritisch, weil sie auf die weitere Analyse nicht störend wirken und über die Behandlung der Restmenge (vgl. Abbildung 32) gehandhabt werden können. Dieses grundsätzliche Verhalten ist beispielsweise dann wichtig, wenn eine Implementierung von Informationsträgern für einen bestimmten Kontext erforderlich ist, jedoch nicht für jede spezielle Aufgabenstellung innerhalb dieses Kontextes.

Vorbereitung – Erstellung

Durch die Erstellung der Konstruktion wird sichergestellt, dass Informationsträger für die Untersuchung bereitstehen. Von den Basiselementen bis zu den fertigen Gruppen wird ein Feld von Konstruktionserstellungsalternativen aufgespannt, aus dem Informationsträger abgeleitet werden können. Als Mindestvoraussetzung für den Algorithmus gilt dabei, dass Informationsträger zur Anwendung kommen, welche sich im einfachsten Fall als analyseunterstützend interpretieren und dabei in analysefähige Informationsträger überführen lassen.

Vorbereitung – Bau

Beim Bau des Hilfsmittels ist die Konstruktion als Produkt aufzufassen, welches unterschiedlich gestaltet sein kann. Anschließend werden für dieses Produkt alle möglichen und zu kontrollierenden Anforderungen zusammengetragen. Dann wird die Konstruktion in analysefähige Informationsträger zergliedert, welche einen direkten Einfluss auf eine oder mehrere der zusammengetragenen Anforderungen besitzen. Für die Erstellung bedeutet dies die Erfordernis einer Bereitstellung von fertigen Elementen und fertigen Gruppen. Hinsichtlich der Analyse sind Elemente und Gruppen als Informationsträger anzulegen, für die eine Anforderungserfüllungsuntersuchung einzurichten ist. Im anschließenden Schritt werden diese Informationsträger selbst zerlegt. Dabei entstehen analyseunterstützende Informationsträger. Dieser Schritt ist nur dann erforderlich, wenn diese Informationsträger auch während der Erstellung angeboten werden sollen. Seitens der Erstellung müssen Basis-

elemente zur Bildung von Elementen, Elemente zur Bildung von Gruppen sowie Gruppen zur Bildung von Gruppen bereitgestellt werden. Seitens der Analyse sind Basiselemente, Elemente und Gruppen als Informationsträger anzulegen. Für die Elemente aus Basiselementen und die Gruppen aus Elementen oder Gruppen ist eine entsprechende Element-/Gruppenbildung einzurichten. Bei der Mischform von Informationsträger, d. h. teilweise analyseunterstützte und analysefähige, sind die beiden letzten Schritte gemeinsam anzuwenden. Es ist zum einen auf die Einhaltung der Eindeutigkeit und zum anderen auf die vollständige Behandlung von gleichwertigen Alternativen zu achten. Eindeutigkeit heißt in diesem Zusammenhang, dass eine Anforderung nicht mehrdeutig bzw. doppelt beeinflusst werden darf. Dies wäre der Fall, wenn eine Anforderung direkt von einer Gruppe und gleichzeitig von einem Element, welches in der Stückliste dieser Gruppe steht, in ein und demselben Aspekt beeinflusst wird. Die Eindeutigkeit bezüglich eines bestimmten Aspektes wird dann erreicht, wenn das Anforderungserfüllungspotenzial der Gruppe von den Elementen in der Stückliste abhängt und dabei die Anforderungserfüllungspotenziale von den Elementen (niedrige Ebene) und der Gruppe (höhere Ebene) unterschiedlich sind, d. h. nicht dieselbe Anforderung an die Konstruktion beeinflussen dürfen.

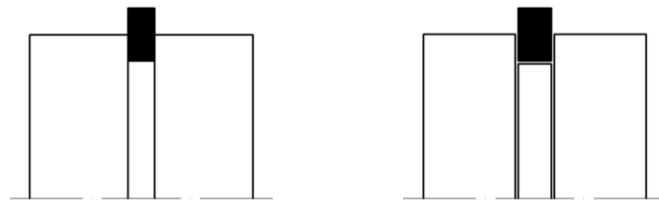


Abbildung 34: Gleichwertige Alternativen für den Informationsträger „Sicherungsring auf Wellenabsatz“

Abbildung 34 zeigt ein Beispiel für gleichwertige Alternativen. Aufgrund der Erstellmöglichkeiten ist ein Sicherungsring auf einem Wellenabsatz auf zwei Arten ausgeführt. Wird der Sicherungsring auf einem Wellenabsatz als Gruppe aufgefasst, dann ist er in beiden Erstellungsvarianten abzubilden. Für jeden Informationsträger sind jeweils eine geeignete Element-/Gruppenbildung sowie eine Anforderungserfüllungsuntersuchung einzurichten. Mischformen können in Doppeldeutigkeiten münden und sind deshalb nicht zulässig. Sie müssen in eindeutige Alternativen überführt werden.

Verfahren

Element-/Gruppenbildung

Die Informationsträger besitzen Eigenschaften, welche dazu genutzt werden, die Gruppen zu bilden sowie die Anforderungserfüllung zu bestimmen bzw. dabei gemachte Fehler zu erkennen. Aufgrund der Untersuchung fehlerhafter Lösungsvorschläge müssen bei der Identifikation der Informationsträger Algorithmusschritte eingeplant werden, die trotz Fehler in der Konstruktion die Untergruppen und Gruppen vollständig erkennen. Hierzu zählen die Festlegung einer Erkennungstolerierung und die Indikatorregel. Handelt es sich um Elemente, die aus Basiselementen erkannt werden müssen, so erfolgen diese Punkte bereits in der Voruntersuchung. Sie sind in erster Linie dazu bestimmt, (un)vollständige und (un)genaue Lösungsvorschläge zu verarbeiten. Trotz solcher Fehler sollen die Gruppen erkannt werden können.

Indikatorregel

Fehlen derart viele Elemente in einer Gruppe, dass aus den vorhandenen Elementen bei gleichwertiger Entscheidung unterschiedliche Gruppen möglich wären, hilft die Indikatorregel. Dazu nutzt sie die gestellten Anforderungen und gibt dadurch einen Entscheidungshinweis zu Gunsten einer anforderungsorientierten Variante. Die Ungenauigkeit wird protokolliert und kann im weiteren Algorithmusverlauf wieder aufgegriffen werden.

Beispiel: Lagerung

Eine Konstruktion beinhaltet mehrere größere Funktionsteile. Beispielhaft lässt sich die Lagerung einer Welle nennen. Mit Abbildung 35 folgt aus der Zergliederung der Konstruktion, dass es eine Ebene der größeren Funktionsteile gibt und auch tiefere Ebenen. Im Sinne der Anforderungen an die Konstruktion gibt z. B. eine Lagerung an, ob der geforderte Lagerungstyp erfüllt wird. Auf einer tieferen Ebene trifft die Ausgestaltung der einzelnen Lagerstellen, welche die Lagerung bilden, eine Aussage, inwieweit weitere Anforderungen an die Konstruktion bedient werden. Dies gilt beispielsweise für die Eignung der Lagerstellen für hohe Drehzahlen.

| | | |
|--|--|--|
| Zergliederung für die Anforderungserfüllungsuntersuchung | <p style="text-align: center;">Informationsträger</p> <p style="text-align: center;">Lagerung</p> <p style="text-align: center;">Lagerstelle₁ Lagerstelle₂ Lagerstelle_n</p> | <p style="text-align: center;">KAnf</p> <p style="text-align: center;">Fest-Los-Lagerung</p> <p style="text-align: center;">hohe Drehzahlen</p> |
| Zergliederung für die Erstellung des Lösungsvorschlages | <p style="text-align: center;">Informationsträger</p> <p style="text-align: center;">Lagerung</p> <p style="text-align: center;">Lagerstelle₁ Lagerstelle₂ Lagerstelle_n</p> <p style="text-align: center;">Lager Sicherungsring Wellenmutter</p> <p style="text-align: center;">Linie Kreisbogen</p> | <p style="text-align: center;">Element-/Gruppenbildung</p> <p style="text-align: center;">Gruppe aus Gruppe</p> <p style="text-align: center;">Gruppe aus Elementen</p> <p style="text-align: center;">Element aus Basiselementen</p> |

Abbildung 35: Lagerung als Beispiel für die Zergliederung

Aus Abbildung 35 geht weiterhin hervor, wie die Lagerung für die Erstellung zergliedert werden kann, so dass für die Konstruierenden in der Konstruktionsumgebung die Informationsträger auf der implementierten Zergliederungsebene zur Verfügung stehen. Die Element-/Gruppenbildung setzt aus den einzelnen Informationsträgern die für die Untersuchung erforderlichen Gruppen zusammen. Abbildung 36 zeigt die Gruppenbildung. Es werden alle Informationsträger betrachtet und dabei nach Informationsträgern gesucht, welche

eine Gruppenbildung einleiten können. Diese Informationsträger sind für jede Gruppe eindeutig festzulegen. Sie werden im Folgenden Leitelemente (LE) genannt. Ist der aktuell untersuchte Informationsträger ein Leitelement, dann beginnt die Gruppenbildung des entsprechenden Gruppengrundtyps. Dieser weist eine Reihe von Folgen auf. In Abhängigkeit von Informationsträgertyp und dessen Position in der Zeichnung werden passende Informationsträger diesen Folgen zugeordnet. Die Position liegt in einem definierbaren Toleranzfeld. Das Leitelement und alle Folgeelemente bilden die Stückliste einer Gruppe. Anschließend bestimmen die ermittelten Folgeelemente jeweils den Folgentyp. Die Folgentypen bestimmen im nächsten Schritt gemeinsam den Gruppentyp. Sind einige Folgen unvollständig oder fehlerhaft ausgestaltet, so stellt die Indikatorregel einen tolerierten Raum zur Verfügung. Mit Bezug auf die aktuell geltenden Anforderungen an die Konstruktion lässt sich innerhalb dieses Raumes der Gruppentyp trotz Mangelinformationen interpretieren. Nach der Bestimmung des Gruppentyps wird der nächste Suchlauf gestartet.

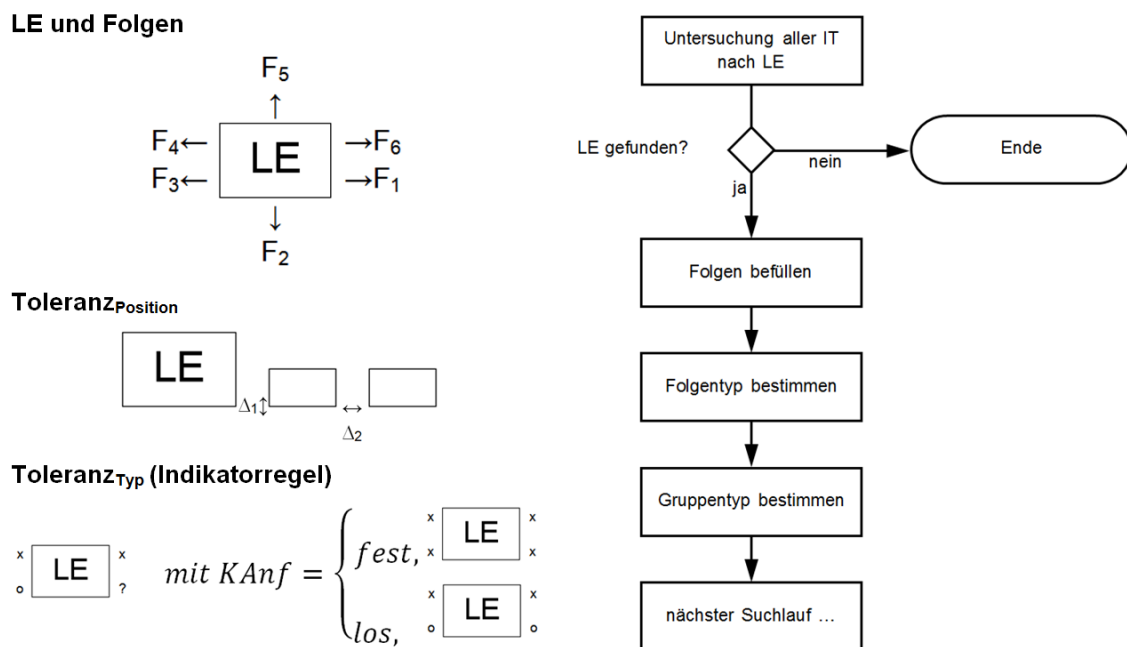


Abbildung 36: Gruppenbildung mit Leitelement (LE)

5.2 Drei Nebenansätze

Zu den Nebenansätzen zählen das Systemgrenzenmanagement, die Trennung von Algorithmus und System sowie die Maßnahmen zur Performancesteigerung. Sie werden im Folgenden vorgestellt.

5.2.1 Systemgrenzenmanagement

Bezüglich der Untersuchung unter Unbestimmtheit eines beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes sind bisher verschiedene zu berücksichtigende Punkte beleuchtet worden. Um ihnen zielorientiert zu begegnen, werden die Hauptansätze vorgeschlagen. Zusätzlich müssen weitere Punkte geklärt werden. Einer davon ist die Gestaltung des Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen an den betrachteten Grenzen.

Dabei lassen sich folgende wichtige Gruppen von Grenzen aufzählen. Es gibt die Grenzen des Prozesses G1 und G2 (vgl. Abbildung 11). Von größerer Bedeutung sind an dieser Stelle diejenigen Grenzen, welche die Informationsverfügbarkeit der verschiedenen Informationsverfügbarkeitsbereiche bilden. Dies gilt insbesondere für den IVB6. Hinzu kommen noch kontextabhängige, optionale Grenz betrachtungen. Ein Beispiel stellt die Qualifikationsnachweisführung dar. Als Ergebnis können dabei Leistungseinordnungen am unteren Ende der Skala auftreten. Dies liegt meist an der Leistung des Geprüften. Eine unzureichende Automatisierungstiefe und Aufgabengestaltung in Kombination mit Konstruktionen, welche die zur Erstellung bereitgestellten Informationsträger in unvorhergesehener bzw. nicht erwarteter Art und Weise anwenden, führen zu ähnlichen Leistungseinordnungen. Deshalb zählt das Hinterfragen des Kontrollergebnisses ebenfalls zu den Grenz betrachtungen. Für diese Fälle werden verschiedene Maßnahmen in den Algorithmus eingebaut. Läuft die Untersuchung in Richtung ihrer Grenzen, dann regeln diese Maßnahmen das weitere Vorgehen durch den Algorithmus oder geben den nicht mehr mit dem Algorithmus handhabbaren Rest definiert aus. Die Summe dieser Maßnahmen wird im Folgenden als Systemgrenzenmanagement bezeichnet.

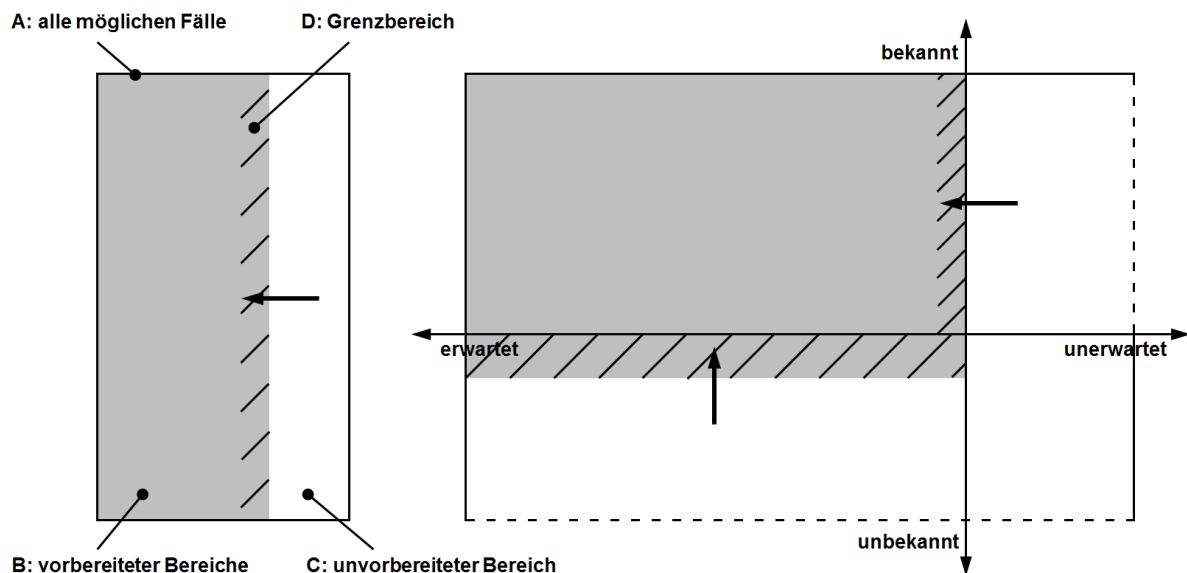


Abbildung 37: Systemgrenzenmanagement – allgemeine Sichtweise sowie IVB mit Grenzbereichen

In Abbildung 37 wird die hier geltende Sichtweise bezüglich des Systemgrenzenmanagement vorgestellt. Dabei kennzeichnet der Bereich A das gesamte Feld aller möglichen Fälle. Er lässt sich in die Bereiche B und C unterteilen, d. h. in einen Teil, auf welchen die abgebildete Untersuchung vorbereitet ist, und einen Teil, dem die Untersuchung unvorbereitet gegenübersteht. Dabei ist es unwichtig, ob eine vollständige Vorbereitung möglich ist oder nicht. Im vorbereiteten und deshalb handhabbaren Bereich B gibt es einen Grenzbereich D zu C. Die Idee beim Systemgrenzenmanagement liegt darin, einen Übergang von C in D zu schaffen, d. h. Nichtvorbereitetes mittels Systemgrenzenmanagementmaßnahmen am Grenzbereich des Vorbereiteten abzufangen und damit schließlich handhabbar zu machen. Sonderverfahren, welche die aus den Hauptansätzen abgeleiteten Standardmaßnahmen des sonstigen Algorithmus ergänzen, behandeln die Untersuchungsmenge von C innerhalb von D oder weisen sie zumindest definiert aus, damit andere Untersuchungsmethoden angestoßen werden können. Hier wird zur Behandlung der Restmenge die manuelle Untersuchung, vor allem

aufgrund ihrer Flexibilität und Vielseitigkeit, vorgeschlagen. Aus der Abbildung 37 ist weiterhin zu erkennen, an welchen Stellen das Systemgrenzenmanagement in die Informationsverfügbarkeitsbereiche eingeordnet wird. Dabei bleibt festzuhalten, dass der IVB6 zumindest als Restmenge ausgegeben werden sollte. Definitionsgemäß verschließt sie sich jedoch auch gegenüber anderen Untersuchungsmethoden.

Die Idee des Systemgrenzenmanagement lässt sich in ein Prinzip überführen, welches in Abbildung 38 abgebildet ist. Zuerst wird im Hauptteil der beliebig fortgeschrittene Konstruktionsstand mit den Hauptansätzen untersucht. Bleiben Untersuchungsmengen übrig, so erfolgt die Anwendung des Systemgrenzenmanagement. Sollte immer noch eine Restmenge vorliegen, dann ist seitens des Algorithmus nur ihre definierte Feststellung möglich. Andere Untersuchungen werden erforderlich. Falls auch dabei Mengen nicht zu untersuchen sind, dann liegt die IVB6 vor. Der Algorithmus weist eine Schnittstelle zu den anderen Untersuchungen auf, so dass der Bereich der hier erarbeiteten Lösung wie abgebildet ausgewiesen werden kann.

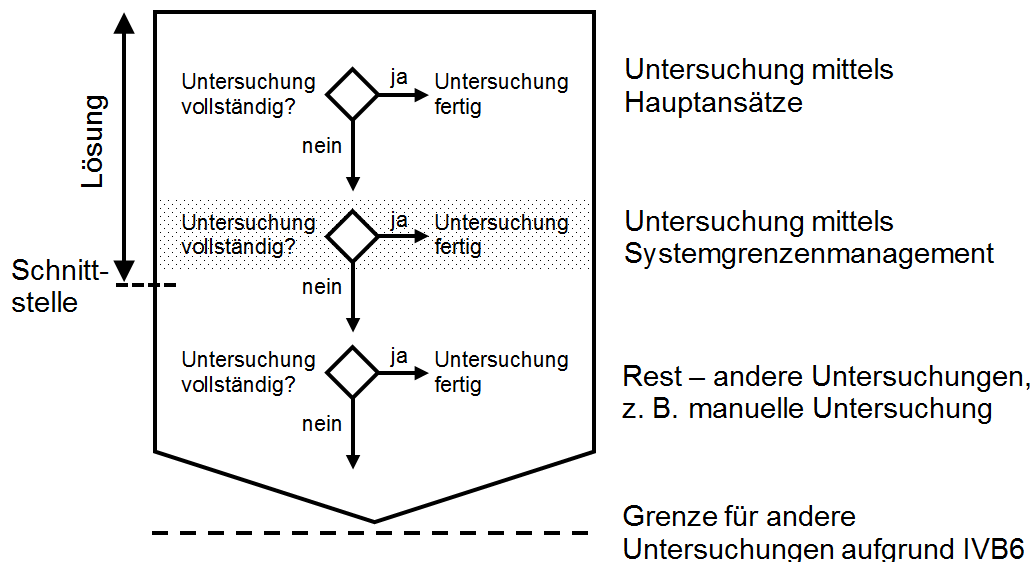


Abbildung 38: Systemgrenzenmanagement – Prinzip

5.2.2 Trennung von Algorithmus und System

Der Algorithmus fokussiert auf den Teil der Prozesskette, welcher durch die Grenzen G1 und G2 herausgestellt wird. Wegen des Zieles der Kontextsensitivität ist dabei zusätzlich die Anwendung des Algorithmus in verschiedenen Kontexten, z. B. in der Prozesskette oder bei Qualifikationsnachweisführungen, zu ermöglichen. Neben dem explizit gesteckten Ziel ist die Anwendbarkeit in bestimmten Kontexten auch für die Validierung von Bedeutung. Denn dadurch lässt sich ein definierter, praxisorientierter Testrahmen schaffen, mit dem die Erfüllung der Ziele einerseits sowie die Darlegung der theoretischen Überlegungen andererseits belegt werden kann, anstatt ausschließlich nur die theoretischen Grundzüge der Lösung zu validieren.

Die Kontextsensitivität wird im Wesentlichen durch zwei Aspekte erreicht. Erstens ist die Anpassung des Algorithmus selbst, z. B. hinsichtlich des Produktes, der Automatisierungstiefe etc., zu nennen. Zweitens ist die Berücksichtigung der vor- und nachgelagerten Prozesse, insbesondere das Anforderungsmanagement, die Konstruktionserstellung sowie die Verwendung der Kontrollergebnisse, aufzuführen. Je nach Kontext können unterschiedlich viele und auch durchaus andere Prozesse benötigt werden. Aufgrund des ersten Aspektes werden vergleichsweise kleinere Anpassungen an dem Algorithmus, unter Beibehaltung der Algorithmusstruktur zur Handhabung der Untersuchung unter Unbestimmtheit, erforderlich werden. Der zweite Aspekt fordert von Kontext zu Kontext größere, durchaus vollständig unterschiedliche Vorgaben und Anpassungen, welche aber nicht unmittelbar den Algorithmus und damit den Kern der Lösung betreffen.

Um beide Aspekte gleichzeitig hinreichend zu berücksichtigen, ist es günstig, ein Hilfsmittel zu erstellen, welches erstens aus dem Algorithmus und zweitens einem System besteht. Der erste Aspekt betrifft nur den Algorithmus und bleibt durch die Trennung von Algorithmus und System unabhängig gegenüber dem System. Im Algorithmus wird die allgemeine Lösung zur Handhabung einer Untersuchung unter Unbestimmtheit eines beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes abgebildet. Er kann automatisch ablaufen und damit eine automatische Kontrolle ermöglichen, welche gemäß dem ersten Hauptansatz die vorhandenen Informationen nutzt. Als Zusatz zum Kern der Lösung stellt das System die Funktionalität innerhalb des Hilfsmittels zur Verfügung, um die Erfordernisse des zweiten Aspektes zu berücksichtigen. Das System trägt dabei den Algorithmus, so dass kontextspezifische Anpassungen hinsichtlich Analysezugänglichkeit, Analyseunterstützung, Analysefähigkeit und Analyse-nutzbarkeit an gezielter Stelle im Hilfsmittel möglich werden. Abbildung 39, welche Abbildung 11 erweitert, zeigt diese Zusammenhänge, wobei drei mögliche Kontexte dargestellt sind.

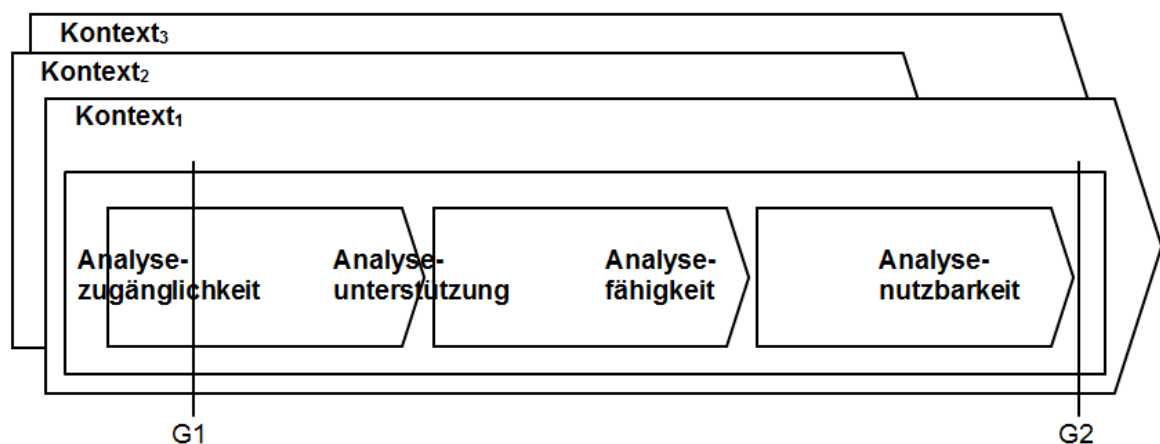


Abbildung 39: Trennung von Algorithmus (Bereich zwischen G1 und G2) und System (Rechteck)

5.2.3 Maßnahmen zur Performancesteigerung

In den bisherigen Ansätzen wird auf die Untersuchung unter Unbestimmtheit eingegangen, um einen Weg zur Erreichung des Zieles inhaltliche Konstruktionskontrolle aufzuzeigen. Neben dem Erfüllen des Hauptzieles sollen alle weiteren in Kapitel 3 aufgeführten Ziele erreicht werden. An dieser Stelle wird dazu auf die Ziele Algorithmisierung und automati-

scher Ablauf besonders eingegangen. Die Ansätze zur Leistungssteigerung können je nach Kontext variieren oder allgemeiner Natur sein. Sie modifizieren hauptsächlich die anderen Ansätze in Richtung Leistungssteigerung und besitzen somit im Vergleich zu diesen einen ergänzenden Charakter.

Bei der Algorithmisierung sind in diesem Zusammenhang zwei Punkte wichtig. Zum einen wird eine angemessene Performance für den Algorithmus gefordert und zum anderen der Kompromiss zwischen gewollter Automatisierungstiefe im Sinne der Investitionsentscheidung und der technisch möglichen Automatisierungstiefe gesucht. Je geringer die Automatisierungstiefe ist, desto höher ist die Restmenge, welche mit anderen als der hier entwickelten automatischen Untersuchung zu analysieren ist. D. h. der angesprochene Kompromiss hat auch Auswirkungen auf die Leistung. Mit dem Ziel des automatischen Ablaufes soll eine Rationalisierung einhergehen. Diese wird auf der einen Seite durch Effekte in der Analyse selbst und auf der anderen Seite durch den Einsatz der Kontrolle im Konstruktionsprozess begünstigt. Dabei erfordert die Einbindung in den Konstruktionsprozess eine Reihe von Voraussetzungen, welche durch eine erleichterte Systemintegration unterstützt werden sollen. Weiterhin geht mit der Automatisierung die gezielte Einstellung eines konstanten Niveaus an Prozesssicherheit einher. Bezogen auf die Leistungssteigerung ist es dabei von Bedeutung, die Automatisierungstiefe derart einzustellen, dass die Niveauhöhe für den konkreten Kontext ausreichend ist. Damit lassen sich drei Stellen für eine Leistungssteigerungsbeeinflussung festhalten. In Abhängigkeit der Automatisierungstiefe gibt es eine leistungsmindernde zu analysierende Untersuchungsrestmenge. Sie ist klein zu halten. Der automatisch ablaufende Algorithmus soll innerhalb der jeweiligen Automatisierungstiefe leistungsfördernd gestaltet sein. Die Anwendung der Kontrolle im Konstruktionsprozess steuert die dritte Stelle bei.

Abbildung 40 zeigt die drei Stellen auf. Dazu werden dem allgemeinen Fall zwei spezielle Kontextgruppen gegenübergestellt. Daraus ist zu erkennen, dass die Stellen zur Erzielung der Leistungssteigerung kontextabhängig sind.

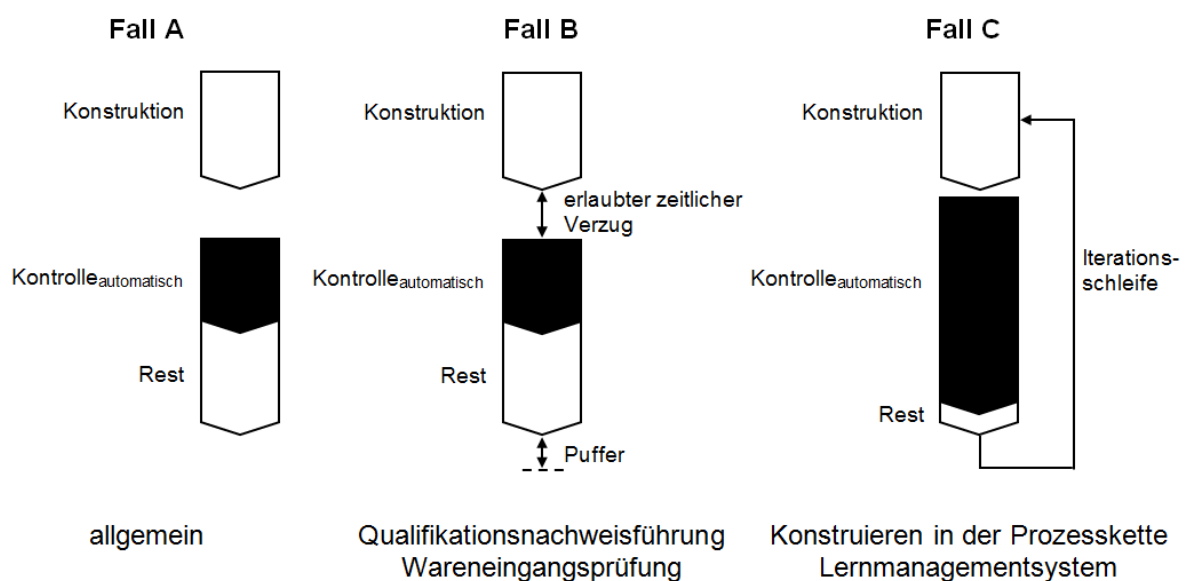


Abbildung 40: Stellen für eine Leistungssteigerungsbeeinflussung

In Fall A wird die allgemeine Situation betrachtet. Nach der Konstruktion erfolgt die Kontrolle. Sie besitzt zwei Teile. Der erste stellt die in Abhängigkeit der Automatisierungstiefe mögliche automatische Untersuchung dar. Daran schließt sich der Teil an, welcher die nicht automatisch analysierbare Restmenge behandelt. Die umgesetzte Automatisierungstiefe ist damit immer für die Leistung mitverantwortlich. Weitere Punkte sind kontextabhängig einzusetzen. Fall B steht für Kontexte wie Qualifikationsnachweisführungen oder Wareneingangsprüfungen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass zwischen der Konstruktion und der Kontrolle eine Zeitspanne vorhanden sein darf. Für den Zeitpunkt, an dem das Kontrollergebnis vorliegen muss, gibt es eine feste Vorstellung. Allerdings gibt es zwischen der schnellst möglichen Ergebnisfeststellung und dem Endtermin in der Regel einen größeren Puffer. Hier liegt der Hauptunterschied zu Fall C vor. Denn dort wird konstruiert und unmittelbar kontrolliert, um ggf. vorhandene Abweichungen zeitnah auszugleichen. Dieser die Konstruktion unterstützende Iterationsprozess ist beispielsweise bei Lernmanagementsystemen oder dem Konstruieren in der Prozesskette zu finden. Es zeigt sich, dass die Behandlung einer Restmenge in Fall B weniger kritisch ist als in Fall C. Während ein hoher automatischer Anteil die Kapazitätserfordernis zur Restmengenuntersuchung und die Durchlaufzeit des Gesamtprozesses senkt, ist im Fall C zusätzlich eine leistungsstarke automatische Untersuchung erforderlich, um zeitnah Rückmeldungen zu erhalten. Ist die Art und Weise der Rückmeldung technisch sinnvoll und psychologisch umsetzungsfördernd gestaltet, dann beschleunigen sich die Korrekturen der Konstruktion. Die Anzahl der Iterationsschritte sinkt und führt somit zu einer zusätzlichen Reduktion der Durchlaufzeit des Gesamtprozesses.

Die drei Stellen und die Diskussion der Einsatzfälle weisen auf eine Reihe von Leistungssteigerungsmöglichkeiten des Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen. Eine leistungsfördernde Automatisierungstiefe ist durch die oben beschriebenen Ansätze zu gewährleisten. Ihre Umsetzung ist vom Anwender der Entwicklung abhängig. Der Algorithmus sorgt für eine eindeutige Ausgabe von Restmengen, d. h. der Menge der nicht verwendeten Informationsträger. Durch den speziellen Kontext und die Algorithmusanwendung wird die Prozessgestaltung beeinflusst. Die Integration des Algorithmus in den Prozess wird durch flexible Anpassungen der Algorithmenteile gezielt unterstützt. Mit der Gestaltung der Rückmeldung ist die Leistung des Gesamtprozesses ebenfalls zu steigern. Im Zentrum dieses Ansatzes steht die Steigerung der Leistung des automatischen Untersuchungsanteils. Eine angepasste Programmierung, die Voruntersuchung sowie die Ausnutzung von kontextspezifischen Besonderheiten münden in entsprechende Maßnahmen. Im Einzelfall können zusätzliche Informationen und Zusammenhänge vorliegen, welche durch eine Anpassung der Struktur der Lösung zur Leistungssteigerung führen. Dies wird als Kompromiss betrachtet, der bei der Anwendung des Algorithmus von Kontext zu Kontext neu einzugehen ist. Es ist ein Kompromiss, weil die allgemeine Struktur der Lösung nicht verletzt, sondern nur modifiziert wird und damit dem Ziel der Kontextsensitivität gedient wird.

Programmierung

Dieser Punkt trägt zur Vorbereitung der Beschreibung des Validierungsbeispiels bei. Eine Leistungssteigerung wird möglich durch die Anpassung der allgemeinen Lösungsstruktur an die spezifischen Erfordernisse der verwendeten Programmiersprache. So werden im Validierungsbeispiel die vollständigen Informationen des Informationsträgers nicht bereits

bereitgestellt, wenn sie zugänglich sind, sondern erst, wenn sie benötigt werden. Dies spart Abfrageschleifen und senkt damit die Programmlaufzeit. Weiterhin trägt die Programmierung zur Systemintegrationserleichterung bei.

Voruntersuchung

Aus den Ausführungen zur Abbildung 32 ist die Voruntersuchung bekannt. Zu ihr zählen der Abbruch bei Extrema und das Reinigen. Ein Abbruchkriterium liegt vor, wenn zu wenige oder zu viele Informationsträger in der Konstruktion vorhanden sind und somit eine sinnvolle Konstruktion ausgeschlossen werden kann. Eine weitere Untersuchung wäre nicht sinnvoll. Die Leistungssteigerung liegt darin, diese Untersuchung auf ein Minimum, d. h. bis zur Voruntersuchung, zu reduzieren und damit die Restschritte einzusparen. Bereinigt werden muss eine Konstruktion, bei der gleiche Informationsträger übereinanderliegen. Hierdurch wird ebenfalls nicht sinnvoller Untersuchungsaufwand in Form der Reduktion der Menge unwichtiger Informationsträger eingespart.

Ausnutzung kontextspezifischer Besonderheiten

Der Gedanke an dieser Stelle ist der, nur Bereiche von Interesse zu untersuchen und dabei diese Bereiche effizient handzuhaben. Um nur die Bereiche von Interesse zu untersuchen, müssen sie vom Ganzen getrennt werden. Die dafür erforderlichen Informationen liefern kontextspezifische Besonderheiten. D. h. die bei der Untersuchung unter Unbestimmtheit durchzuführenden Schritte gehen davon aus, die betrachteten Informationsträger mit allen anderen Informationsträgern der Konstruktion zu untersuchen. Je nach Kontext sind jedoch nur bestimmte Kombinationen von Informationsträgern von Interesse. Es bietet sich somit an, hierüber Hilfslisten zu führen, in welche die Informationsträger beim Einlesen bzw. bei der Gruppenbildung vorgefiltert werden. Die Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und die Anforderungserfüllungsuntersuchung operieren dann nicht mehr ausschließlich mit einer großen Liste über alle Informationsträger, sondern je nach zu untersuchendem Informationsträger mit diesen Hilfslisten in den Einzeluntersuchungen. Dies führt zu einer Reduktion der Untersuchungen bei aus dem Kontext bekannter Unabhängigkeit, welche aufgrund des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstands, insbesondere bei großen Informationsträgermengen innerhalb einer Konstruktion, sehr hoch sein kann.

5.3 Ansatzgegenüberstellung

Das dargelegte Ansatzpaket berücksichtigt die gesteckten Ziele sowie die Rahmenbedingungen der Kontrolle von Konstruktionen. Im Folgenden wird hinterfragt, inwiefern sich potenzielle Alternativansätze als belastbare Alternativen zum Ansatzpaket eignen.

Vergleichende Untersuchung mit Mustern

Eine vergleichende Untersuchung mit Mustern stellt eine potenzielle Ansatzalternative dar. Dazu ist mindestens eine Musterlösung für jede zu kontrollierende Aufgabenstellung zu generieren. Diese starre Schablone dient als Vergleichsbasis gegenüber dem Lösungsvorschlag. Lässt sich die Aufgabe auf verschiedene Art und Weisen lösen, dann sind sie zu

ermitteln und jeweils als Musterlösungen zu hinterlegen. Werden nicht alle Muster bei der Untersuchungsvorbereitung gefunden oder sollen einige gezielt ausgeschlossen werden, wird das Anbieten von passenden Lösungsvorschlägen ansatzbedingt erschwert. Variationen innerhalb der Muster müssen ebenfalls ihre Berücksichtigung finden. Sollen auch Korrekturvorschläge zu vorliegenden Fehlern angeboten werden, dann ist eine Vielzahl an Musterfehlern zu hinterlegen. Dabei ist zu beachten, dass die Musterlösungen und Musterfehler nur für einen Anforderungssatz gelten.

Ein kreativer Konstruktionsprozess wird in diesem Fall auf das Finden einer eigentlich bereits bekannten Variantenkonstruktion, d. h. der Musterlösung, reduziert. Ein Konstruktionsprozess aus dem Produktlebenszyklus würde hier ohnehin bereits die Musterlösung in die Prozesskette übergeben. Die nun eigentlich folgende Kontrolle wäre dabei durch die Kontrollmechanismen der Untersuchungsvorbereitung ersetzt. Verbesserungsvorschläge wären aufgrund der Variationsmenge kaum noch handhabbar.

Anforderungserfüllung statt Fehler

Konstruktionen sollen Anforderungen erfüllen. Über alle Anforderungen hinweg gibt es eine große Anzahl an Anforderungen, wobei viele Anforderungen häufig gestellt werden und sich damit wiederholen. Ein Beispiel bietet das Temperaturintervall, innerhalb dessen eine Konstruktion funktionieren soll. Durch diese Wiederholungen reduziert sich die relative Anzahl an Anforderungen. Für den Kontext einer bestimmten Klasse von Konstruktionen verringert sich die Anzahl erneut. Schließlich ist für eine konkrete Konstruktion die Anzahl der Anforderungen die Summe der Einträge im Lastenheft. Bei der Untersuchung der Anforderungserfüllung bestimmt diese Summe den Analyseaufwand. Jede dieser Anforderungen ist für die Untersuchung vorzubereiten. Wird das Lastenheft variiert, indem beispielsweise das Temperaturintervall verändert wird, dann lässt sich die Untersuchungsvorbereitung aufwandsarm anpassen. Ändert sich die Funktionsfähigkeit der zu kontrollierenden Konstruktion, so ist entweder eine begrenzte Anzahl an untersuchbaren Anforderungen hinzuzufügen oder einige Anforderungen sind zu streichen.

Die Anzahl an Konstruktionsfehlern übersteigt um ein Vielfaches die Anzahl an Konstruktionsanforderungen. Durch die Betrachtung der Toleranzfeinheit steigert sich die Fehleranzahl im kaum handhabbaren Ausmaß. Wenn der Ansatz der Untersuchung des Vorhandenseins tatsächlich vorliegender Fehler verfolgt wird, dann müssen wegen der Untersuchung unter Unbestimmtheit alle potenziellen Fehler in der Untersuchungsvorbereitung abgebildet werden. Der zugehörige Aufwand ist wesentlich höher als bei der Anforderungserfüllungsuntersuchung. Zudem ist bei einer solchen Untersuchung nicht geklärt, ob die Aufgabenstellung mit der kontrollierten Konstruktion auch gelöst wird. Dies wäre der Fall, wenn die Nichterfüllung von Anforderungen auch als jeweilige Fehler hinterlegt würde. Dazu bietet es sich jedoch an, direkt den Anforderungserfüllungsansatz zu verfolgen. Sollen für Zwecke der gesteigerten Nachvollziehbarkeit, z. B. im Bereich der Ausbildung, definierte Fehler hinterlegt werden, dann ist dies durch eine Anpassung der Verträglichkeitsanforderungen möglich. Beispielsweise sind somit Doppelpassungen durch Anpassung der Unverträglichkeitsbedingungen, d. h. im Falle von definierten Informationsträgertypkombinationen, festzustellen.

Manuelle Kontrolle

Die manuelle Kontrolle weist eine sehr hohe Flexibilität bezüglich der Informationsverfügbarkeitsbereiche aus. Deshalb eignet sie sich, wenn die Grenzen der Automatisierung erreicht sind. Innerhalb dieser Grenzen ist die manuelle Kontrolle für den Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen nicht geeignet, weil das Ziel der Automatisierung nicht erreicht wird. Weitere Nachteile sind, wie im Stand der Technik gezeigt, die Problematik des blinden Flecks bei Selbstkontrollen und die Abhängigkeit des Kontrollergebnisses von der kontrollierenden Person im Allgemeinen.

Mit den Ausführungen dieses Abschnittes sowie der Abgrenzung in Kapitel 2 bleibt festzuhalten, dass weder die vorgestellten potenziellen Ansatzalternativen noch die Methoden aus dem Stand der Technik eine umfassend belastbare Alternative zum Ansatzpaket liefern. In Bezug auf die Erfüllung der gestellten Ziele sowie die Berücksichtigung gegebener Rahmenbedingungen eignet sich das Ansatzpaket, um einen Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen zu gestalten.

6 Lösung

Die im vorliegenden Kapitel dargestellten Inhalte bilden den Kern dieser Arbeit. Sie beschreiben die Lösung zur Erreichung der Ziele unter Berücksichtigung der geschilderten Rahmenbedingungen sowie der Anwendung des Ansatzpaketes. Zuerst wird der entwickelte Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen als Ganzes vorgestellt. Die Abbildung der Art der Kontextsensitivität erfolgt in einem weiteren Unterabschnitt. Dort werden auch Ansatzstellen für potenzielle Erweiterungen angesprochen. Vor diesem Hintergrund schließt sich die detaillierte Beschreibung der einzelnen Hauptschritte des Algorithmus an. Danach reiht sich die Darlegung einer allgemeinen Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau in die Lösungsvorstellung ein. Abschließend wird die Validierung mithilfe eines Testprototypen beschreiben.

6.1 Algorithmus mit fünf Hauptschritten

Aus den Zielen ist zu entnehmen, dass die Lösung in Form eines Algorithmus ausgestaltet werden soll. Zur Umsetzung aller Ziele mit Berücksichtigung der Rahmenbedingungen und der Anwendung der Ansätze ergibt sich ein Algorithmus mit den fünf Hauptschritten Anforderungen, Lösungsvorschlag, Lageerkennung, Abgleich und qualifiziertes Feedback. Ihnen ist gemeinsam, dass sie zwischen den Grenzen G1 und G2 liegen. Für die Handhabung der Informationen ist die Struktur Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe geeignet. Dabei übernehmen Anforderungen und Lösungsvorschlag die Eingabe. Die Verarbeitung erfolgt in der Lageerkennung sowie im anschließenden Abgleich. Durch das qualifizierte Feedback wird die Ausgabe realisiert. Dieser Algorithmus ist für den automatischen Ablauf ausgelegt. Seine Hauptschritte sind in Abbildung 41 dargestellt.

Anforderungen

Die Anforderungen an die Konstruktion stammen aus dem Lastenheft oder der Aufgabenstellung. Sie dürfen bei Anschlusskonstruktionen o. ä. aus gegebenen Einstiegspunkten, im Weiteren als Startbedingungen bezeichnet, bestehen. Hinsichtlich der inhaltlichen Kontrolle von Konstruktionen stellen sie die Referenz, das Soll, dar. Zudem können Zusatzanforderungen vorhanden sein, welche die konkrete Darstellungsform der Informationsträger im Lösungsvorschlag, d. h. die Anwendung des Technischen Zeichnens, untersuchen. An der Grenze G1 zum Anforderungsmanagement bildet der erste Algorithmushauptschritt eine Schnittstelle aus. Durch diese dürfen nur Anforderungen eingelesen werden, welche die bereits in Kapitel 1 angesprochenen Voraussetzungen erfüllen und damit zu einer sinnvollen Kontrolle von Konstruktionen beitragen. Dies erfolgt aus informationstechnischen Gründen mithilfe von Variablen. Mit den Ansätzen wird an dieser Stelle die Information I1 behandelt.

Lösungsvorschlag

Aus Sicht des Prozesses Kontrolle von Konstruktionen zählen die ersten beiden Algorithmushauptschritte zum Prozessschritt Voraussetzung schaffen. Analog zu den Anforderungen wird nun der konstruktive Lösungsvorschlag eingelesen. Dazu werden die Informationsträger verwendet. Mit ihnen werden die Möglichkeiten des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes über die Schnittstelle zwischen Konstruktionserstellung und Algorithmus eingegeben. Es liegt somit die Information I2 vor.

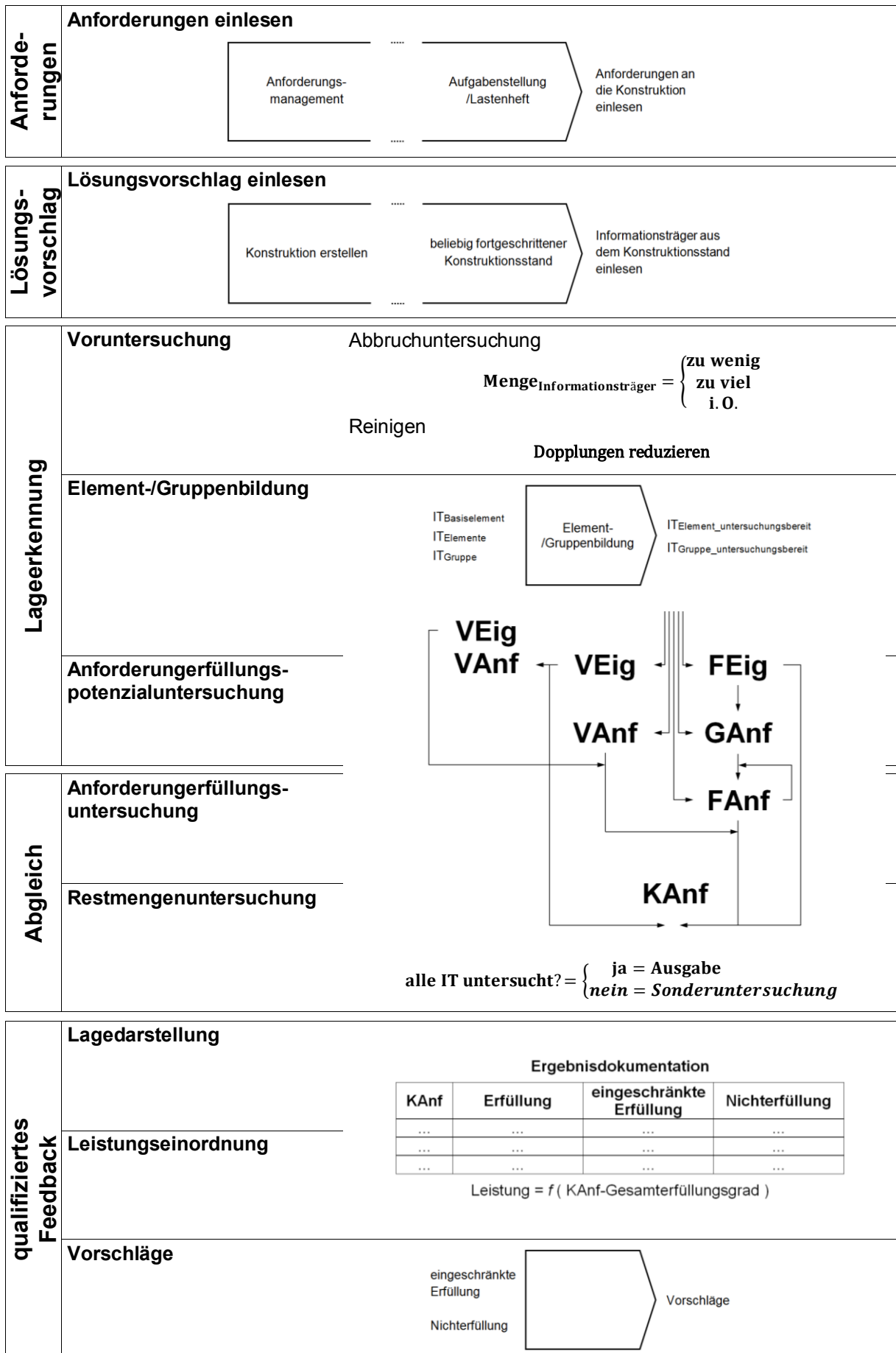


Abbildung 41: Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen mit fünf Hauptschritten

Lageerkennung

Mit der Lageerkennung beginnen die Untersuchung der Konstruktion und das Generieren der Information I3. Die Lageerkennung bereitet die eingelesenen Informationen für die inhaltliche Kontrolle von Konstruktionen vor. Sie gehört damit zu den Verarbeitungsschritten des Algorithmus und setzt sich aus den Unterschritten Voruntersuchung, Element-/Gruppenbildung und Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung zusammen. In der Voruntersuchung wird die Untersuchbarkeit des Lösungsvorschlages betrachtet. Liegen Extrembedingungen vor, dann wird die Analyse abgebrochen. Gibt es doppelte bzw. mehrfache Informationsträger an gleicher Stelle, so erfolgt eine entsprechende Reduzierung der Informationsträgermenge. Mit der Element-/Gruppenbildung werden die zur Anforderungserfüllung interessierenden Informationsträger aus der eingelesenen Basismenge erarbeitet. Ist dieser Unterschritt vollständig durchlaufen, beginnt die Analyse des Anforderungserfüllungspotenzials aller nun vorliegenden Informationsträger. Die dazu verwendete Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung mit deren Bilanzierungsschritt überführt die Unbestimmtheit in verwertbare, normierte Aussagen, welche die inhaltliche Kontrolle von Konstruktionen ermöglichen.

Abgleich

Die Informationsnutzung ist an dieser Stelle derart fortgeschritten, dass die inhaltliche Kontrolle von Konstruktionen in Form eines Abgleiches von Soll und Ist, d. h. Anforderungen an die Konstruktion und Anforderungserfüllungspotenzial der Informationsträger, erfolgen kann. Die Anforderungserfüllungsuntersuchung stellt deshalb die zentrale Stelle im Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen dar. Bleiben aufgrund der Informationsverfügbarkeitsbedingungen Informationsträger unberücksichtigt, so schließt sich eine Restmengenuntersuchung an, damit die Betrachtung aller Informationsträger sichergestellt ist.

Qualifiziertes Feedback

Im abschließenden Hauptschritt vollzieht sich die Ausgabe und damit die Nutzung der Ergebnisse. Mit den Ergebnissen lassen sich an der Grenze G2 weitere Folgeprozesse anstoßen, um einen weiteren Nutzen zu erzielen. Die Art der Rückmeldung ist als Ziel klar definiert. Deshalb wird der Algorithmusschritt qualifiziertes Feedback genannt. Es umfasst die Lagedarstellung, die Leistungseinordnung und die Vorschläge. Während die Lagedarstellung alle Ergebnisse dokumentiert, gibt die Leistungseinordnung die Konstruktionsqualifikation der Konstruierenden wieder. Liegt sie unterhalb eines Grenzwertes, so wird die Analyse selbst einer Kontrolle unterzogen. Eine Umsetzung der Vorschläge sorgt für ein konstantes Niveau an Prozesssicherheit. Die Umsetzung ist dabei von der Art der Ausgabe abhängig, deshalb ist sie psychologisch umsetzungsfähig und technisch sinnvoll gestaltet.

6.2 Kontextsensitivität

Kontextsensitivität ist ein Ziel aus Kapitel 3 und steht für die Anpassbarkeit der Lösung an verschiedene Kontexte. Die Qualifikationsnachweisführung und das Konstruieren in der Prozesskette stellen die Hauptkontexte für diese Arbeit dar. Verwandte Kontexte sind die Waren-

eingangsprüfung oder Lernmanagementsysteme. Weitere Kontexte bleiben möglich. Allen ist gemeinsam, dass sie jeweils in Variationen auftreten dürfen. D. h. für die Kontextsensitivität, dass zum einen verschiedene Kontexte abzubilden sind und zum anderen innerhalb dieser Variationen zulässig sind.

Im hier behandelten Sinn sollen diese Kontexte durch eine Beschreibung von Produkt und Organisationsrahmen charakterisiert werden. Produkt steht dabei auch für ein Teilespektrum. Es umfasst das technische Gebilde mit seinen Variationen, welches für eine gegebene, zum Teilespektrum passende Gruppe von Anforderungen zu konstruieren ist. Das Umfeld, in dem die Konstruktionserstellung und Konstruktionskontrolle abläuft, ist der Organisationsrahmen. Er besitzt eigene Ziele und Randbedingungen, die sich in entsprechend gestalteten Prozessen umgesetzt wiederfinden. Die Kontexte weisen untereinander Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede auf. Damit liegt eine Struktur von allgemeinen und speziellen Bereichen vor, welche bei der Kontextsensitivität zu berücksichtigen ist.

Zur Umsetzung der Kontextsensitivität eignet sich der Ansatz Trennung von Algorithmus und System. Die Kontextsensitivität des Algorithmus steht dabei im Mittelpunkt. Sie ist in jedem der fünf Hauptschritte zu realisieren. Hinsichtlich des Systems fokussiert die Kontextsensitivität auf die vor- und nachgelagerten Prozesse sowie die Anpassung der Schnittstellen zu diesen. Abbildung 42 zeigt die Zusammenhänge und spannt dazu um den Kontext ein Achsenkreuz auf. Die eine Achse steht für die Struktur von allgemeinen und speziellen Bereichen, die andere für die Trennung von Algorithmus und System.

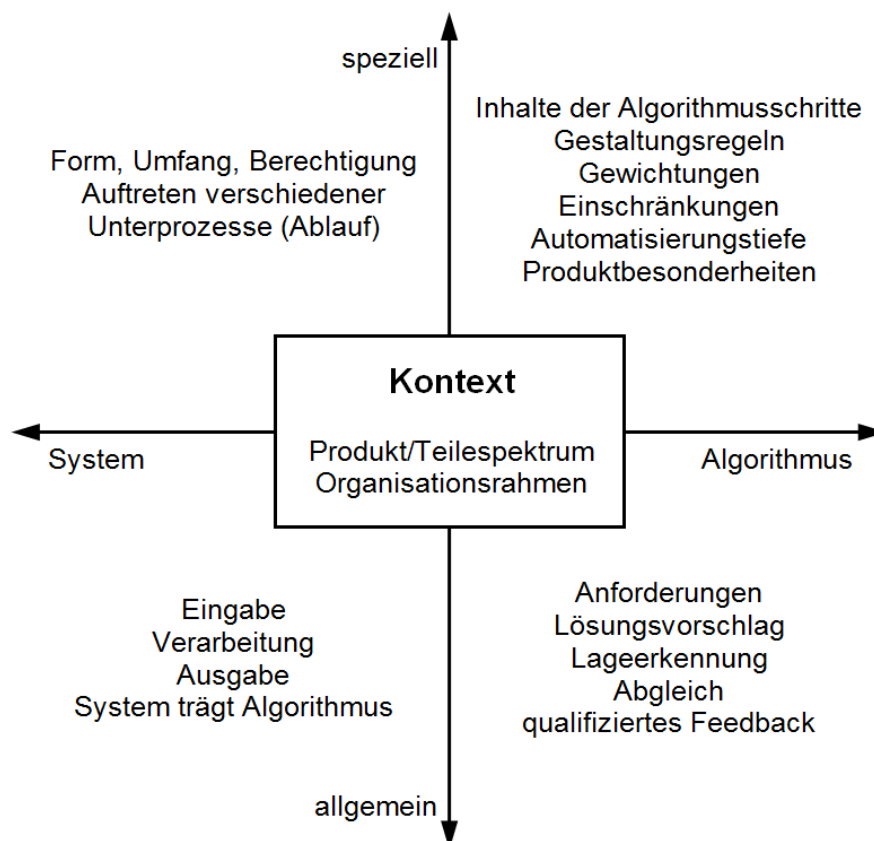


Abbildung 42: Kontextsensitivität – Trennung von Algorithmus und System

Aus der Betrachtung der Kontextsensitivität von Abbildung 42 geht hervor, dass im allgemeinen Bereich auf die Struktur und im speziellen Bereich auf die Inhalte abgestellt wird. Die Struktur des Algorithmus besteht aus seinen fünf Hauptschritten. Das System ist gemäß Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe aufgebaut. Es trägt den Algorithmus, indem es ihn hauptsächlich in die Verarbeitung einbettet. Bei den Inhalten ist festzuhalten, dass der Schwerpunkt seitens des Algorithmus beim Produkt liegt. Auf der Seite des Systems findet sich vor allem die Berücksichtigung des Organisationsrahmens. Dabei ergibt sich die in Abbildung 43 umgesetzte Form der Trennung von Algorithmus und System.

Abbildung 43 gibt auch die unmittelbar vorgelagerten Prozessschritte von Anforderungen und Lösungsvorschlag einlesen an. Das Anforderungsmanagement und die Konstruktionserstellung bringen Besonderheiten mit, welche direkte Auswirkungen auf die Hauptschritte des Algorithmus haben. Dies wird bei der Beschreibung der einzelnen Hauptschritte in den nun folgenden Anschnitten thematisiert. Dies gilt entsprechend für die Prozesse, welche durch die Untersuchungsergebnisse angestoßen werden. Auf sie geht insbesondere der Ausblick ein.



Abbildung 43: Algorithmus und System – Schnittstellen

6.3 Hauptschritte des Algorithmus

Nach den Zielen, den Rahmenbedingungen, dem Ansatzpaket und dem Lösungsüberblick werden im Folgenden die konkreten Ausgestaltungen der einzelnen Lösungsschritte beschrieben.

6.3.1 Anforderungen

6.3.1.1 Stellung im Algorithmus und System

Innerhalb des Systems werden die Anforderungen an die Konstruktion im Anforderungsmanagement gesetzt. Über eine Schnittstelle gelangen diese in den Algorithmus als Referenz für die Anforderungserfüllungsuntersuchung. Dazu ist der Schritt Anforderungen einlesen bestimmt. Für den Kontext der Qualifikationsnachweisführung, wie er im Validierungsbeispiel aufgefasst ist, werden die Anforderungen auch an die Konstruktionsumgebung übergeben, um dort die Aufgabenstellung anzuzeigen.

Die Anforderungen an die Konstruktion werden an weiteren Stellen im Algorithmus verwendet. Zu ihnen gehört die Element-/Gruppenbildung, wenn die Indikatorregel bei unvollständigen Gruppen auf die Anforderungen an die Konstruktion zurückgreift, um eine Gruppentypbestimmung dennoch durchzuführen. Bei der Anforderungserfüllungsuntersuchung stellen die Anforderungen an die Konstruktion die Referenz dar. Sind zu dieser Referenz Abweichungen festzustellen, so werden u. a. Vorschläge angeboten. Bei Vorschlagsalternativen helfen die aktuell geltenden Anforderungen an die Konstruktion, um eine Präferenz geben zu können.

6.3.1.2 Voraussetzungen

Eine Konstruktionsaufgabe ist nur dann sinnvoll, wenn sie erfüllbare Anforderungen stellt. Entsprechend gilt für eine inhaltliche Kontrolle von Konstruktionen, d. h. eine Untersuchung auf Erfüllung von Anforderungen, dass sie nur dann sinnvoll ist, wenn die Anforderungen an die zu kontrollierende Konstruktion erfüllbar sind. Wie bereits in Kapitel 1 Einleitung erwähnt, ist die Erfüllbarkeit von Anforderungen an einige Voraussetzungen gebunden. D. h. Anforderungen müssen bekannt, vereinbart, messbar, widerspruchsfrei und erreichbar sein. Diese Punkte werden nachfolgend beschrieben.

Bekannte Anforderungen

Anforderungen stammen bei Konstruktionen aus dem Produktlebenszyklus aus dem Lastenheft oder bei Qualifikationsnachweisführungen aus der Aufgabenstellung. Sie sollen verständlich und eindeutig, d. h. nachvollziehbar sein. Es ist wichtig, dass die Anforderungen nachvollziehbar sind. Dies gilt sowohl für die Prüfenden, welche die Anforderungen im Algorithmus setzen, als auch für die Geprüften, welche die von ihnen interpretierten Anforderungen in Form seines Lösungsvorschlages in den Algorithmus eingeben. Falls es eine Einteilung der Anforderungen in Pflicht- und Wunschanforderungen gibt, so muss dies ebenfalls bekannt sein. Von zentraler Bedeutung, insbesondere im Zusammenhang mit der Widerspruchsfreiheit, ist die vollständige Kenntnis aller Anforderungen.

Vereinbarte Anforderungen

Vereinbarte Anforderungen erleichtern die Akzeptanz ihrer Umsetzung. Während des Vereinbarungsprozesses können Unklarheiten beseitigt werden, damit eine zielgerichtete Lösungsvorschlagserarbeitung stattfinden kann.

Messbare Anforderungen

Die Untersuchung auf Erfüllung von Anforderungen besitzt ihre Berechtigung nur im Falle von messbaren Anforderungen. Messbar sind Anforderungen, wenn es eindeutige Kriterien gibt. Klar beschriebene Anforderungen, wie „es ist eine Fest-Los-Lagerung zu konstruieren“, eignen sich besonders, um eindeutig eine Anforderungserfüllung bzw. Anforderungsnichterfüllung zu identifizieren. Bei grob umrissenen Anforderungen, wie „möglichst kostengünstig“, wird ein Grenzbereich erreicht. Durch die Gegenüberstellung von Anforderungserfüllungsalternativen, z. B. Sicherungsring im Vergleich zu einer Wellenmutter mit Buchse, kann der Algorithmus wegen des unpräzisen Zieles zwar keine konkrete Aussage mehr treffen, aber es ist eine Tendenz nachweisbar. Im ersten Fall ist eine Anforderungsunterstützung, im zweiten eine Anforderungsschwächung festzustellen. Fehlt die Messbarkeit einer Anforderung, so ist eine Untersuchung der Anforderungserfüllung derart eingeschränkt, dass die Untersuchung an sich entfallen sollte.

Gemessen wird die Anforderungserfüllung mit Hilfe des Algorithmus. Zur Bestimmung der Anforderungserfüllung werden im Abgleich die Anforderungen und das Anforderungserfüllungspotenzial der Lösungskomponenten verglichen. Aus diesem Grund muss der Algorithmus gewährleisten, dass die Anforderungen eingelesen werden können und die Datenformate beider Vergleichsseiten miteinander kompatibel sind. D. h. die Anforderungen müssen informationstechnisch zu verarbeiten sein. Dies wird möglich, wenn die Anforderungen für den Algorithmus in expliziter Form vorliegen. Die Aufgabenstellung für die Konstruierenden darf dahingegen implizite Anforderungen enthalten, welche durch sie zu interpretieren sind und danach auch für die Konstruierenden explizit vorliegen.

Widerspruchsfreie Anforderungen

An eine Konstruktion wird in der Regel ein Satz von Anforderungen gestellt. Diese besitzen das Potenzial, sich gegenseitig zu beeinflussen. Dabei verstärken sich einige Anforderungen untereinander. Andere sind voneinander losgelöst. Es gibt Anforderungen, welche zu einigen Anforderungen unabhängig sind und sich mit anderen verstärken. Wenn sich jedoch Anforderungen widersprechen, so wird die Gesamtaufgabe nur zu einem Teil gelöst werden können. Deshalb ist es für eine sinnvolle Konstruktionsaufgabe erforderlich, die Widerspruchsfreiheit aller Anforderungen sicherzustellen. Eine wichtige Voraussetzung dafür stellt die vollständige Kenntnis sämtlicher zu erfüllender Anforderungen dar.

Erreichbare Anforderungen

Sowohl in rein technischer Hinsicht als auch bezogen auf das vorhandene Konstruktionswissen können Anforderungen erreichbar sein. Die technische Erreichbarkeit ist vom den Konstruierenden unabhängig und folgt im Allgemeinen den Gesetzen der Technik. Ggf. ist eine technische Erreichbarkeit durch spezielle Einschränkungen nicht gegeben. Ein Beispiel wäre das Fehlen von technischen Realisierungshilfsmitteln, z. B. Präzisionsmaschinen etc. Solche Einschränkungen sind im Rahmen der konkreten Kontextsensitivitätsberücksichtigung bei der Kontrolle von Konstruktionen zu berücksichtigen.

Zur Umsetzung von Anforderungen ist ein entsprechendes Konstruktionswissen erforderlich. Dieses kann bereits bekannt sein oder muss noch entwickelt werden. Zusätzlich ist zu klären, ob die Konstruierenden dieses Wissen bereits besitzen. Für die Anforderungen, welche in den Algorithmus eingegeben werden, folgt daraus, dass sie technisch erreichbar sein müssen und von einem beliebigen Konstruierenden potenziell erfüllt werden können.

Abhängigkeiten der Voraussetzungen

Abschließend soll auf die wichtigsten Abhängigkeiten der Voraussetzungen untereinander eingegangen werden. Messbar ist eine Anforderung, wenn sie zuvor bekannt, d. h. eindeutig in den Algorithmus eingegeben wurde. Widerspruchsfreiheit lässt sich nur für einen vollständig bekannten Satz von Anforderungen erzielen. Denn die einzelne Anforderung kann erreichbar sein, zusammen mit der gleichzeitigen Erfüllung von anderen Anforderungen ist sie es unter Umständen nicht mehr.

6.3.1.3 Anforderungsvariable

Zur Handhabung der Anforderungen wird die Anforderungsvariable eingeführt. Sie besitzt eine Darstellungs- und eine Variablenform (vgl. Abbildung 44). Dabei ist die Darstellungsform für die Schnittstelle Mensch-Maschine vorgesehen. Mit der Variablenform erfolgt maschinenseitig die informationstechnische Nutzung der Daten.

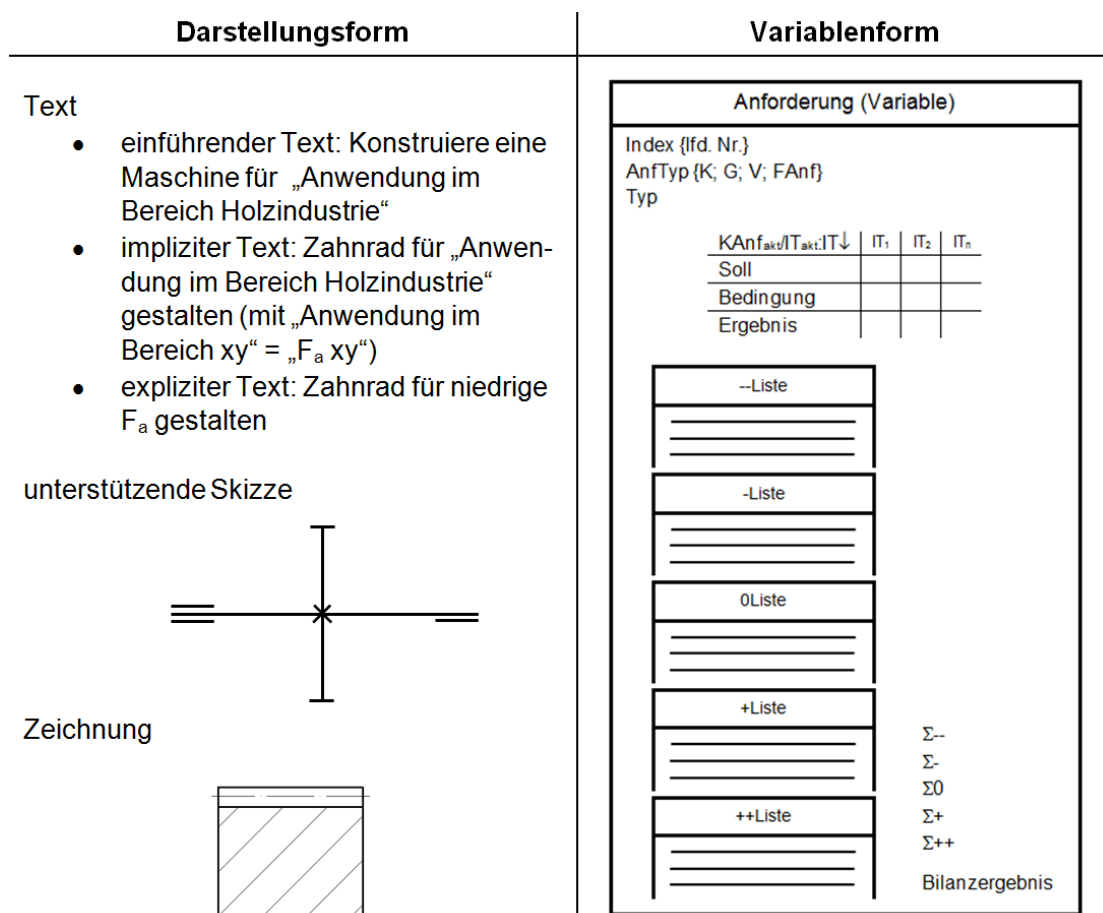


Abbildung 44: Anforderungsvariable (Darstellung- und Variablenform)

Darstellungsform

Die Darstellungsform lässt sich als Text, unterstützende Skizze oder Technische Zeichnung ausführen. Beim Text gibt es optional einen einführenden Text. Die einzelne Anforderung selbst wird in expliziter oder impliziter Form, je nach Aufgabenniveau, angegeben. Eine unterstützende Skizze hilft die Aufgabenstellung zu erklären. In Bezug zu den Startbedingungen werden entsprechende Informationsträger in der Technischen Zeichnung vorgegeben.

Variablenform

Mit der Variablenform orientiert sich die Anforderungsvariable an der Gewährleistung der informationstechnischen Nutzbarkeit. Die Anforderungsvariable dabei ist in erster Linie zur Handhabung der Anforderungen an die Konstruktion bestimmt. Weil verhaltensbeschreibenden Gestaltungs-, Verträglichkeit- und Funktionsanforderungen im Sinne der Untersuchung eine analoge Grundstruktur zu den Anforderungen an die Konstruktion aufweisen, gibt es die Anforderungsvariable für alle Anforderungen. Vor allem ist ihnen gemeinsam, dass sie Bedingungen für die Erfüllungsgradbestimmung liefern und zu deren Auswertung die Bilanzierung aufgrund der Untersuchung unter Unbestimmtheit einsetzen. Die Anforderungsvariable wird in den Phasen Aufgabenstellungsgestaltung, Aufgabenbearbeitung und Untersuchung der Ergebnisse der Aufgabenbearbeitung, d. h. der Analysephase, benötigt. Dabei ist die Form der Anforderungsvariablen entsprechend den folgenden zwei Kriterien aufzubereiten. Zum einen soll der Anwender die Anforderungsvariable verstehen und zum anderen soll sie eine informationstechnische Verwendung finden können. Im Algorithmus werden die Anforderungen an die Konstruktion in der Liste über alle Anforderungen an die Konstruktion (KANfListe) verwaltet, die verhaltensbeschreibenden Anforderungen bei den entsprechenden Informationsträgern.

Aufgabenstellungsgestaltung

In der Aufgabengestaltung erfolgt das Setzen der Anforderungen an die Konstruktion. Gemäß der Darstellungsform der Anforderungsvariablen ist folgendes festzuhalten. Der Text ist explizit oder implizit formuliert. Im impliziten Fall ist es die Aufgabe der Konstruierenden die Angaben in explizite Anforderungen umzuformulieren. Es ist somit wichtig, die Texte aufgabenniveauangemessen und empfängerorientiert zu verfassen. Die unterstützende Skizze fungiert als Zusatz für die Verständlichkeit der Aufgabenstellung. Sie wird wie der einführende Text nicht in die Variablenform überführt. Die Startbedingungen in der Zeichnung liegen explizit, vollständig und entsprechend den Regeln der verwendeten produkt-darstellenden Struktur, d. h. dem Technischen Zeichnen, vor. Die als Startbedingungen verwendeten Informationsträger besitzen ihrerseits auch verhaltensbeschreibende Anforderungen. Hinsichtlich der Variablenform liegen die Anforderungen an die Konstruktion stets in expliziter Form vor.

Aufgabenbearbeitung

Während der Aufgabenbearbeitung lesen und interpretieren die Konstruierenden die Aufgabenstellung. Sie gestalten eine Lösung mithilfe von Informationsträgern, welche ihrerseits verhaltensbeschreibende Anforderungen aufweisen und damit entsprechende Anforderungsvariablen besitzen.

Untersuchung der Ergebnisse der Aufgabebearbeitung

An dieser Stelle erfolgt das Auslesen und Untersuchen der Informationsträger des Lösungsvorschlags. Dabei werden deren verhaltensbeschreibende Anforderungen, d. h. konkret deren Anforderungsvariablen, zur Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung verwendet. Mit den daraus erhaltenen Ergebnissen werden die eingelesenen Anforderungen an die Konstruktion in der Anforderungserfüllungsuntersuchung abgeglichen.

6.3.1.4 Analysevariable

Die KAnf-Variablen werden in der KAnfListe verwaltet. Diese Liste wiederum muss ebenfalls verwaltet werden. Dazu dient die Analysevariable. Sie besitzt nur die Variablenform und ist in Abbildung 45 dargestellt. Die Analysevariable ermöglicht die Ablage weiterer Daten durch die Bereitstellung der Listen LVGesamtListe, THLListen, VorschlagListe, TeilergebnisListe, n.v.it.Liste sowie Grenzwerte für die einzelnen Untersuchungsschritte.

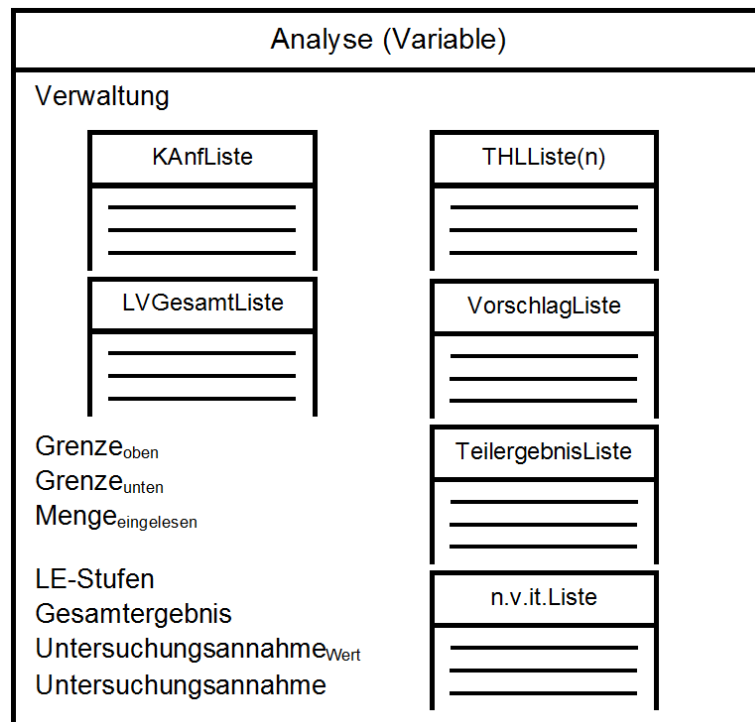


Abbildung 45: Analysevariable (Variablenform)

6.3.1.5 Funktionalität

Abbildung 46 stellt schematisch die Schritte Anforderungsmanagement und Anforderungen einlesen dar.

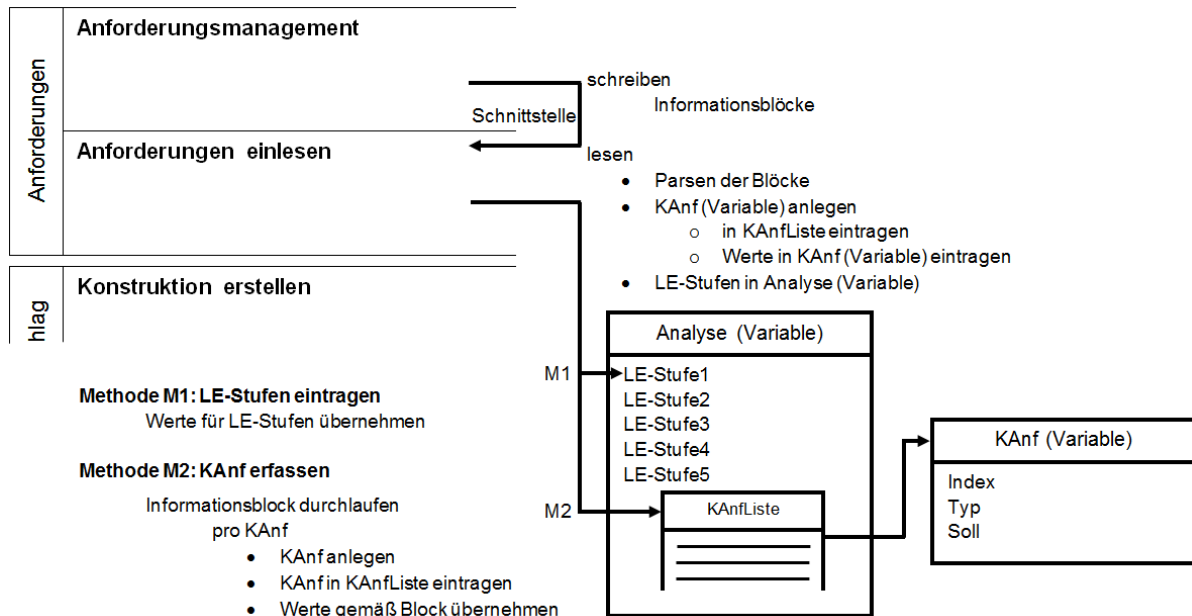


Abbildung 46: Anforderungen – Funktionalität

Anforderungsmanagement (System)

Dieser Schritt gehört zum System. Dort wird eine Aufgabenstellung, d. h. ein Satz von Anforderungen, zusammengestellt. Es ist sinnvoll, im Anforderungsmanagement ein Verfahren zu besitzen, welches das Sicherstellen der Voraussetzungen an den Anforderungssatz unterstützt. Im weiter unten beschriebenen Testprototyp ist ein solches Verfahren beispielhaft implementiert. Weiterhin sind die Stufen der Leistungseinordnung sowie Verwaltungsinformationen einzupflegen. Die Daten werden in inhaltlich zusammengehörige Blöcke gefasst und in eine Datei geschrieben.

Anforderungen einlesen (Algorithmus)

Im ersten Schritt des Algorithmus werden die zuvor ausgegebenen Informationsblöcke über die Austauschdatei in den Algorithmus eingelesen. Dazu werden die einzelnen Blöcke identifiziert, die Leistungsstufen übernommen (Methode M1) und die entsprechenden Anforderungsvariablen erstellt (Methode M2). Die Anforderungen an die Konstruktion werden, sobald ein entsprechender Informationsblock eingelesen ist, angelegt, in die Liste über alle Anforderungen an die Konstruktion (KAnfListe) eingetragen und mit den speziellen Werten gemäß der Aufgabenstellung beschrieben. Damit stehen sie für die weiteren Untersuchungsschritte als Information I1 zur Verfügung.

6.3.2 Lösungsvorschlag

6.3.2.1 Stellung im Algorithmus und System

Die zu kontrollierende Konstruktion ist nach der Erstellung in den Algorithmus einzugeben. Zur Erstellung ist von Seiten des Systems eine Konstruktionserstellungsumgebung erforderlich. Dort wird mit Hilfe von Informationsträgern ein beliebig fortgeschrittener Konstruktionsstand erstellt. Die dabei verwendeten Informationsträger werden über eine Schnittstelle, welche der Algorithmusschritt Lösungsvorschlag einlesen darstellt, an den Algorithmus und dessen Untersuchungsschritte übergeben. Diese Informationsträger werden in allen Algorithmusschritten genutzt, um die Untersuchung unter Unbestimmtheit durchzuführen. Zuerst werden sie in die Liste über alle Informationsträger (LVGesamtListe) eingelesen. Diese Liste wird in der Element-/Gruppenbildung ergänzt. Zur Performancesteigerung werden Hilfslisten erstellt, in denen die Informationsträger einem schnelleren und gezielteren Zugriff unterliegen. Weil die Informationsträger dabei typabhängig abgelegt werden, heißen die Listen Typhilfslisten (THL).

6.3.2.2 Voraussetzungen

Die Information in Form des Informationsträgers muss grundsätzlich ein Anforderungserfüllungspotenzial besitzen. Dabei dürfen bestimmte Anforderungen durch bestimmte Informationsträger erfüllt werden. Deshalb ist das Vorhandensein solcher hinsichtlich konkreter Anforderungen passender Informationsträger im Algorithmus wichtig. Die Verwendungsmöglichkeit der Informationsträger im Lösungsvorschlag muss ebenfalls gegeben sein. Dieses Bereitstellen von Informationsträgern muss in der Konstruktionsumgebung verwirklicht sein und der Algorithmus muss sie einlesen können. Sollen Informationsträger zergliedert werden, dann sind ihre Stücklistenelemente in der Konstruktionsumgebung anzubieten und die Element-/Gruppenbildung entsprechend zu gestalten. Für den Hauptansatz Informationsnutzung sind bereits in der Konstruktionsumgebung geeignete Informationen in den Informationsträgern abzulegen.

6.3.2.3 Informationsträgervariable

Analog zur Anforderungsvariablen besitzt auch die Informationsträgervariable eine Darstellungs- und eine Variablenform (vgl. Abbildung 47).

Darstellungsform

Die Darstellung erfolgt als eine Variante von produktdarstellenden Strukturen. Abbildung 48 gibt eine Übersicht über einige Beispiele. Für das vorliegende Thema sind vor allem die Skizze und das Technische Zeichnen von Bedeutung.

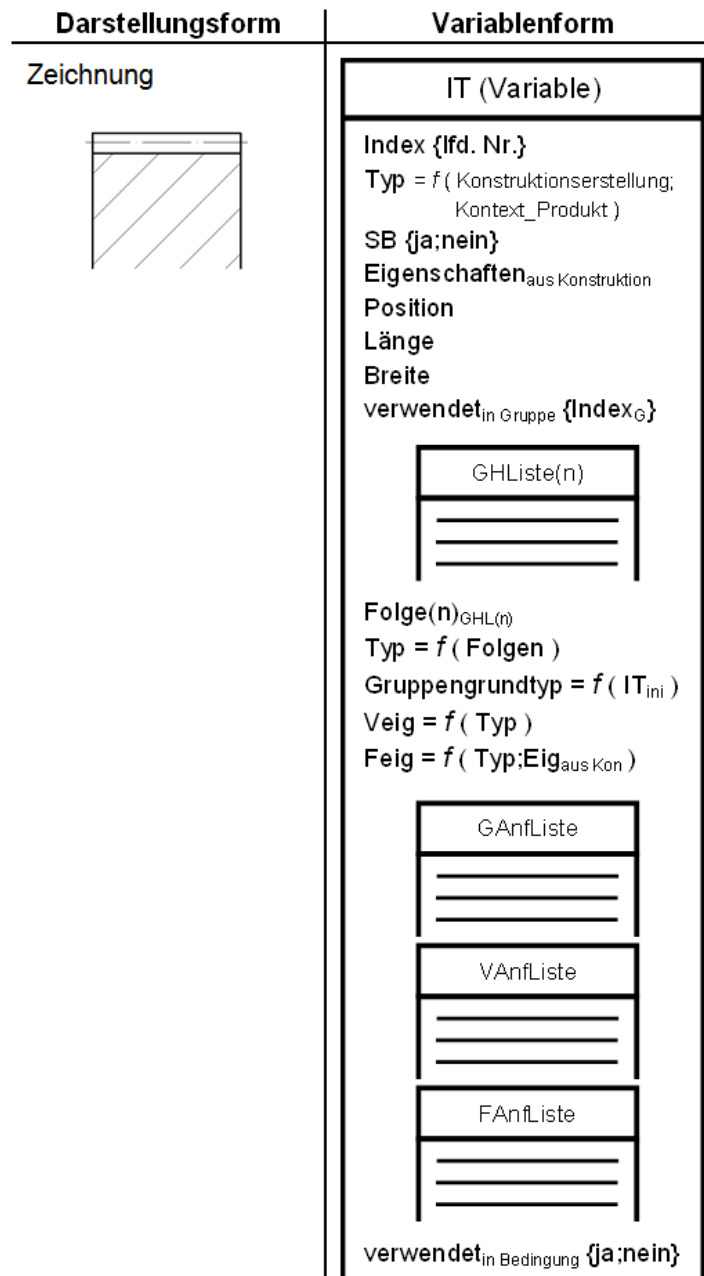


Abbildung 47: Informationsträgervariable (Darstellung- und Variablenform)

An produktdarstellende Strukturen lassen sich bezüglich des Algorithmus Forderungen stellen. Inhaltlich, d. h. im Kontext der Konstruktion, sollen sie die dort übliche Darstellungsart wenn möglich übernehmen. Skizzen und das Technische Zeichnen, in 2D oder 3D, erfüllen dies. Damit bleibt die Nachvollziehbarkeit erhalten, weil bekannte Regeln und Eindeutigkeiten zum Einsatz kommen, welche sowohl den Prüfenden als auch den Geprüften bekannt sind. Aus Sicht der Eigenschaften der Informationsträger ist es wichtig, dass die Positionierung der Informationsträger im Raum sowie logische Anbindungen aus der produktdarstellenden Struktur gemäß dem Lösungsvorschlag in die Variable übernommen werden können. Dadurch lässt sich insbesondere die Bildung von Elementen aus Basiselementen und Gruppen aus Elementen bewerkstelligen.

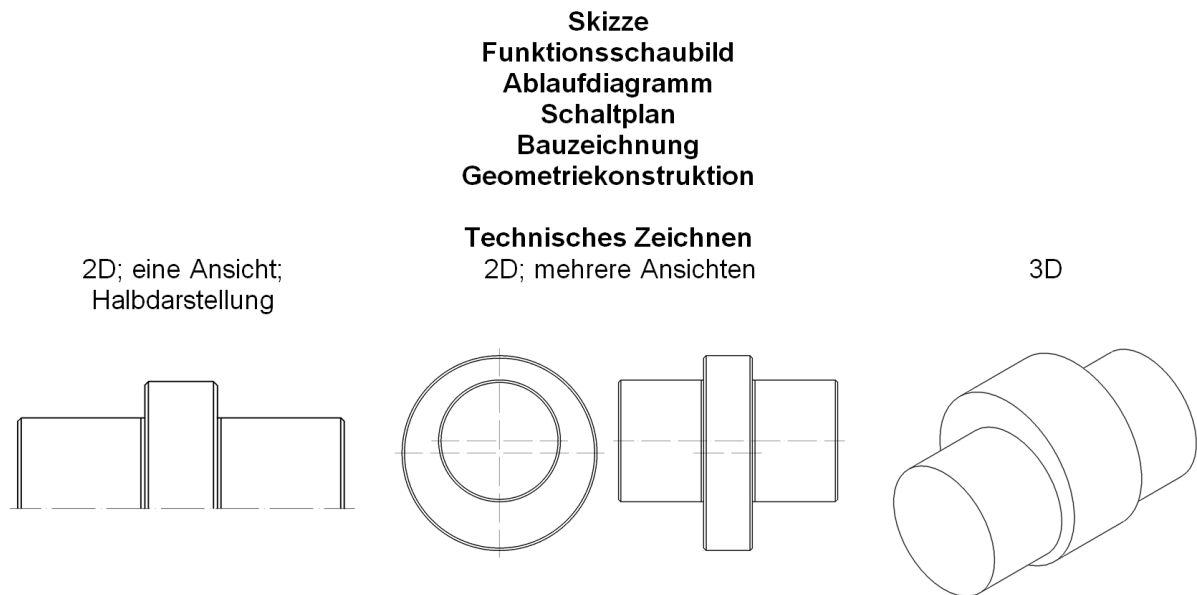


Abbildung 48: Produktdarstellende Strukturen – Auswahl einer Variante des Technischen Zeichnens

Vor diesem Hintergrund und der Zielsetzung aus Kapitel 3 wird das Technische Zeichnen gewählt. Um die Eindeutigkeit zu gewährleisten sei vereinbart, dass, wenn eine Ansicht ausreichend ist, eine 2D-Darstellung genommen wird, ansonsten stets eine 3D-Darstellung. Denn mehrere Ansichten können über- oder unterbestimmt sowie fehlerhaft ausgeführt sein, eine Korrektur wäre hier ggf. nicht mehr möglich und damit wären die für die Kontrolle erforderlichen Informationen nicht in der Konstruktion und somit der Algorithmus nicht anwendbar. Sind die Forderungen hinsichtlich der 2D-Darstellung und den logischen Anbindungen erfüllt, dann lassen sich auch andere produktdarstellende Strukturen verwenden, z. B. die Skizze oder eine Alternative aus den weiteren aufgelisteten Bereichen.

Variablenform

In der Variablenform gestaltet sich der Informationsträger als Datenspeicher. Es werden Verwaltungsdaten abgelegt. Weiterhin gibt es die Funktions- und Verträglichkeitseigenschaften. Zur Unterstützung der Element-/Gruppenbildung dienen bei Gruppen die Gruppenstücklisten, in denen die Stücklistenelemente aufgenommen werden. Ist ein Informationsträger selbst ein Stücklistenelement, dann erhält es einen entsprechenden Vermerk. Die verhaltensbeschreibenden Anforderungen werden ebenfalls in eigenen Listen verwaltet. Wird ein Informationsträger in der Anforderungserfüllungsuntersuchung verwendet, dann wird dies protokolliert. Damit wird die Menge derjenigen Informationsträger auffindbar, welche in der Restmengenuntersuchung betrachtet werden sollen. Die Variablen selbst werden in Listen der Analysevariablen gespeichert. Zu ihnen zählen die LVGesamtListe, die verschiedenen THL und die Liste nicht verwendeter Informationsträger (n.v.it.Liste).

6.3.2.4 Funktionalität

In Abbildung 49 sind die Zusammenhänge von Konstruktion erstellen und Lösungsvorschlag einlesen wiedergeben.

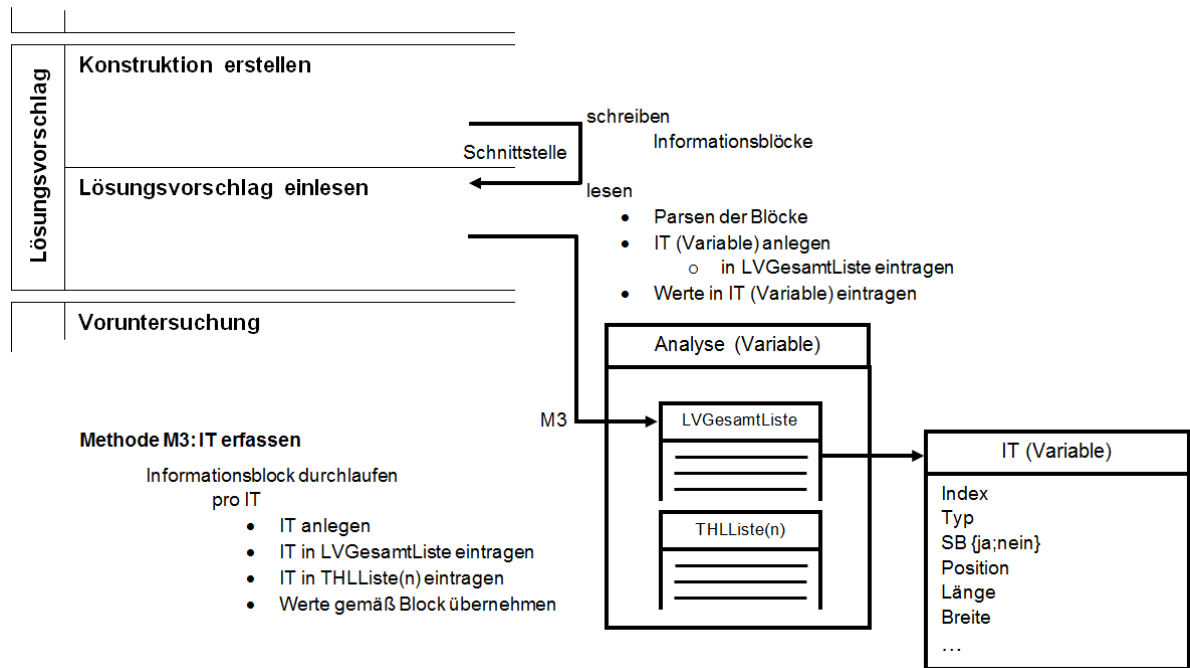


Abbildung 49: Lösungsvorschlag – Funktionalität

Konstruktionserstellung (System)

Freies Konstruieren oder Baukasten

Die Erstellung der Konstruktion erfolgt durch freies Konstruieren mit Basiselementen, mithilfe eines Baukastens, in welchem Elemente und Gruppen abgelegt werden können oder einer Kombinationen von freiem und baukastenorientierten Konstruieren. Im Folgenden werden die Alternativen gegenübergestellt.

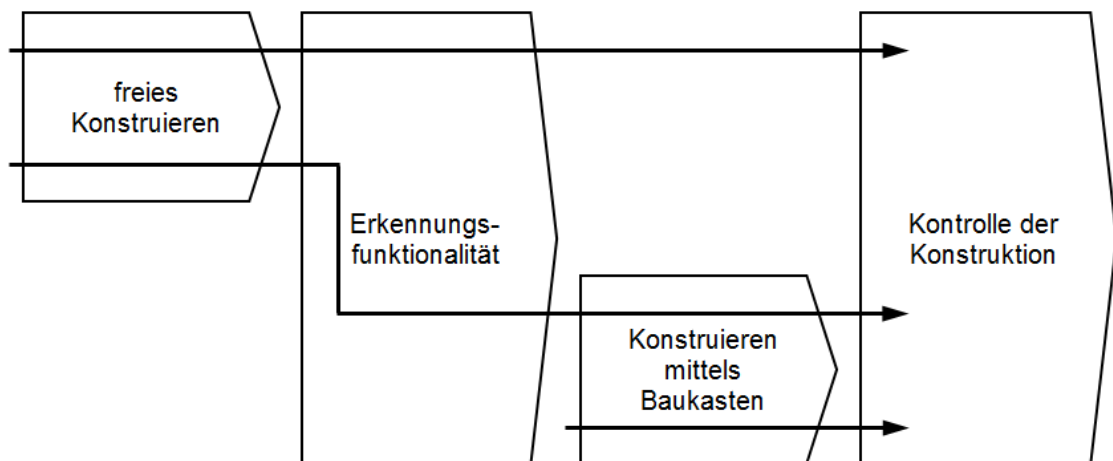


Abbildung 50: Informationsfluss in Abhängigkeit der Erstellung

Abbildung 50 zeigt den Informationsfluss in Abhängigkeit der Erstellung. Neben den Alternativen freies Konstruieren und Konstruieren mit Baukasten ist eine Kombination dieser ebenfalls möglich. Während beim Konstruieren mit Baukasten die Information direkt in die

Untersuchung übergeben werden kann, ist bei den anderen Möglichkeiten der frei konstruierte Anteil zuvor mit einer Erkennungsfunktion zu analysieren.

Das freie Konstruieren ist nicht nur gefordert, wenn ein Maximum an Kreativität gewünscht ist, sondern auch wenn Daten kontrolliert werden sollen, welche nicht mittels passendem Baukasten erstellt wurden. Alte Firmen- bzw. Produktdaten, Fremdkatalogdaten und Kundendaten sind klassische Beispiele. Einen schwierigen Umstand beschreiben diejenigen Unternehmen, welche mit mehreren CAD-Systemen arbeiten. Ursachen sind dort z. B. gewachsene Strukturen oder Kundenanforderungen. Welche Alternative favorisiert wird entscheidet der jeweilige Kontext.

Vorteile und Nachteile des Baukastens

Zu den Vorteilen des Konstruierens mit Baukasten gehört in erster Linie, dass die Konstruktionselementmenge und -inhalte nach eigenen, d. h. kontextspezifischen, Vorstellungen eingrenzbar sind. Ein Beispiel stellt die Anpassung an die Stufe der Ausbildung dar. Weil die Baukastenelemente bekannt sind, ist keine Erkennungsfunktionalität erforderlich. Es entstehen keine Fehler beim Auskonstruieren, weil die Baukastenelemente nicht mehr auskonstruiert werden müssen. Diese würden eine Voruntersuchung hinsichtlich der Erkennung, inklusive vorbereitender Korrekturschritte, erfordern. Weiterhin gäbe es mögliche Ungenauigkeiten in der Lösungsinterpretation, insbesondere bei einer Untersuchung unter Unbestimmtheit. Beim Arbeiten mit Basiselementen sind viele Wege möglich; Unvollständigkeiten korrigierend auszugleichen, würde diese Wege abdecken müssen. Falsche Layerzuordnungen, fragliche Hilfslinien und vor allem kaum nachvollziehbare, weil nicht zugängliche, on-the-fly-Hilfskonstruktionen müssten speziell behandelt werden. Ein Vorschlag wäre eine Kombination aus Reinigen (vgl. Voruntersuchung) und Anpassung der Indikatorregel. An dieser Stelle werden die Überlegungen hierzu abgebrochen, weil sie das Thema verlassen und die Baukastenlösung eine Alternative bietet. Die Handhabung der Informationen soll vollständig und korrekt erfolgen, dies wird mit Baukastenelementen gewährleistet. Es besteht die Möglichkeit, eine Bibliothek aus Baukastenelementen anzulegen. Nutzenbeispiele sind z. B. Lernmanagementsysteme oder Dokumentationen innerhalb von Qualitätsmanagementsystemen.

Mit dem baukastenorientierten Konstruieren gehen einige Nachteile einher. Die Eingrenzbarkeit der Elemente durch den Baukasten wird mit einer Einschränkung des Kreativitätsfrei- raumes erkaufte. Es ist deshalb im Einzelfall abzuklären, ob mit der automatischen Kontrolle standardisierte Alltagsaufgaben oder Spezialfallsonderlösungen betrachtet werden sollen. Ein Ziel des Algorithmus ist die Automatisierung. Dementsprechend sollte auch der Kontext ausgelegt sein. Standardisierungsmöglichkeiten von Produkten spielen dabei eine wichtige Rolle. Der Systemeinsatz im Rahmen stets wechselnder Neukonstruktionen stellt im betrachteten Zusammenhang einen Grenzfall dar. Der Baukasten selbst muss erstellt und laufend gepflegt werden. Die Pflege umfasst das Hinzufügen und Entfernen von Baukastenelementen. Hinzugefügt werden neue oder weiterentwickelte Elemente. Zu entfernen sind veraltete, ersetzte, nicht mehr beschaffbare oder nicht mehr einer Norm, z. B. Werksnorm, DIN-Norm oder Gesetz, entsprechende Elemente. Insbesondere im Fall der Wareneingangsprüfung von Lieferantendaten entsteht durch die Wahl der Baukastenalternative eine eingeschränkte Schnittstelle zu Fremddaten, wenn diese nicht mittels Baukasten konstruiert

sind oder die Baukastenpflege nicht sauber umgesetzt ist. Ohne Erkennungsfunktionalität muss der Baukasten zur Verfügung gestellt werden, Einarbeitungen sind erforderlich und der Baukasten muss auf dem aktuellen Stand gehalten werden. Definierte Absprachen und bewusster Wissenstransfer sind an dieser Stelle erforderlich.

Vorgreifend auf das Validierungsbeispiel einer Onlineklausur wird an dieser Stelle die Baukastenalternative gewählt. Mit diesem Baukasten lässt sich der zu kontrollierende Lehrinhalt definiert abbilden. Das System ermöglicht es, den Lösungsvorschlag im System zu konstruieren, wobei kontextbedingt keine Iteration erlaubt ist. Eine potenzielle Erweiterung Richtung Lernmanagementsystem bleibt weiterhin möglich.

Mit Blick auf Abbildung 49 ist es für die Konstruktionserstellung, als Bestandteil des Systems, entscheidend, dass die Information nach der Erstellung über eine Schnittstelle den Untersuchungsergebnissen zugeführt wird. D. h. die erstellten Informationen werden in inhaltlich zusammenhängende Blöcke gefasst und in eine Datei geschrieben. Der Algorithmusschritt Lösungsvorschlag einlesen interpretiert anschließend diese Blöcke. Sie stellen einen beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstand dar. Die Konstruktionsumgebung bietet Optionen zur Erstellung der in der Aufgabe verwendeten Startbedingungen und zur Erstellung des Lösungsvorschlages. Dort ist es zudem möglich, die Untersuchung zu starten.

Lösungsvorschlag einlesen (Algorithmus)

Das Einlesen der Information ist mit der Frage verknüpft, in welcher Umgebung der Lösungsvorschlag erstellt ist. Abbildung 51 stellt die Alternativen zusammen mit System und Algorithmus dar.

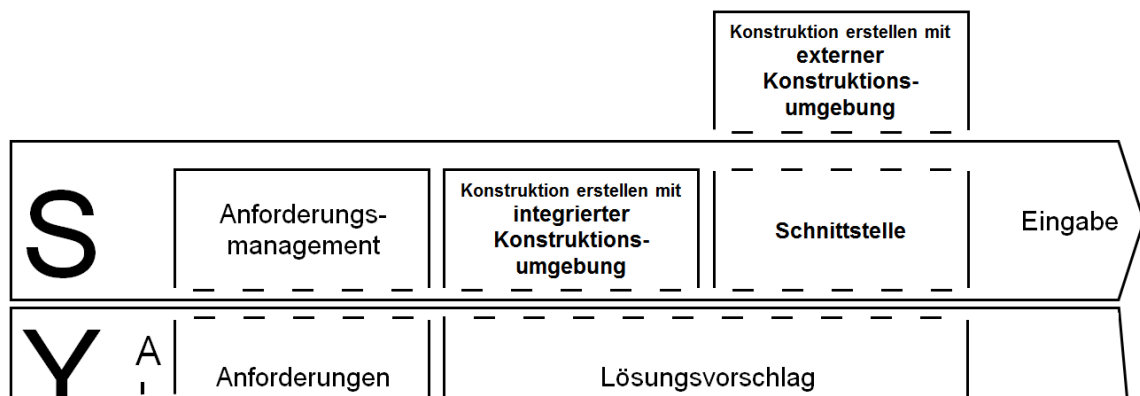


Abbildung 51: Erstellungsumgebungsalternativen und Algorithmeingabe

Wird der Lösungsvorschlag in einer externen Konstruktionsumgebung erstellt, d. h. im Allgemeinen in einem CAD-System, so ist eine Schnittstelle zu diesem erforderlich, welche die Daten für den Algorithmus zugänglich gestaltet. Bei der Alternative einer im System integrierten Konstruktionsumgebung entfällt diese Schnittstelle. Sie wird durch die Schnittstelle zwischen integrierter Konstruktionsumgebung und Algorithmus ersetzt. Der Vorteil dieser Variante ist die erhöhte Abstimmbarkeit an die Erfordernisse der Lösung durch den eigenen Gestaltungsfreiraum. Dies gilt sowohl für den reinen Datentransfer als auch für die Gestaltung der Informationsträger in der Konstruktion und der anschließenden Untersuchung.

Die integrierte Konstruktionsumgebung bietet sich ebenfalls an, wenn Aufgabenstellungen oder Anschlusskonstruktionen im Rahmen der Anforderungen eingegeben werden müssen. In Bezug auf die Darstellung der Funktionalität nach Abbildung 49 zeigt sich, dass der Algorithusschritt Lösungsvorschlag einlesen die Informationsblöcke aus der Ausgabedatei der Konstruktionsumgebung ausliest und die Daten an entsprechender Stelle ablegt. Die Informationsträger werden zu diesem Zeitpunkt der Untersuchung im Algorithmus angelegt. Es werden dabei die bis hierhin zur Verfügung stehenden Daten aus den Informationsblöcken übernommen. Verwaltet werden alle Informationsträger in der LVGesamtListe. Je nach Typ werden sie zusätzlich in eine THL geschrieben. Damit steht die Information I2 zur Verfügung.

6.3.3 Lageerkennung

6.3.3.1 Stellung im Algorithmus

Dieser Teil des Algorithmus läuft in drei Stufen ab. Es sind die Voruntersuchung, die Element-/Gruppenbildung und die Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung (AnferfpotU). Der eingelesene Lösungsvorschlag stellt die Informationsträger für diese bereit. Extrema hierbei führen zu einem Abbruch durch die Voruntersuchung. Mit der Element-/Gruppenbildung werden, ggf. durch Ausnutzung von Informationen aus den Anforderungen an die Konstruktion durch die Indikatorregel, die eingelesenen Informationsträger ergänzt. Diese nun vollständige Informationsträgerliste bildet den Ausgangspunkt für die Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung, deren Ergebnisse in der Anforderungserfüllungsuntersuchung weiterverwendet werden. Werden während der Lageerkennung Abweichungen festgestellt, dann werden diese in der Teilergebnisliste protokolliert und stehen dort für die Vorschlagsgenerierung zur Verfügung. Die Teilergebnisse werden ebenfalls der Lagedarstellung und der Leistungseinordnung bereitgestellt.

6.3.3.2 Voraussetzungen

Aus dem beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstand sind die Informationsträger in die Analyse überführt. Diejenigen Informationsträger, welche ein Anforderungserfüllungspotenzial hinsichtlich des zu untersuchenden Produktspektrums besitzen, müssen im weiteren Verlauf der Untersuchung analysiert werden. D. h. es müssen für diese Informationsträger angepasste, spezielle Regeln im Rahmen der folgenden Untersuchungsschritte hinterlegt werden.

6.3.3.3 Funktionalität

Voruntersuchung (Algorithmus)

Zuerst erfolgt die Voruntersuchung. Sie hat in der hier geforderten Art zum Ziel, den Nachweis zu erbringen, dass der Lösungsvorschlag grundsätzlich eine gültige, d. h. kontrollierbare Konstruktion darstellt. Es wird nach Extremfällen gesucht, welche ein Abbruchkriterium für den Algorithmus darstellen. Im Kontext einer Onlineklausur ist z. B. der Fall anzuführen, bei dem die Aufgabe überhaupt nicht oder nur extrem lückenhaft bearbeitet wurde. Zudem ist an dieser Stelle ein Reinigungsschritt vorgesehen. Für den Fall, dass der Anwender mehrere gleiche Elemente an gleicher Stelle übereinander angeordnet hat, werden diese auf eine Anzahl von eins reduziert. Ein solcher Fehler wird protokolliert.

Abbruchuntersuchung

Abbildung 52 schildert den Ablauf der Abbruchuntersuchung. In der Analysevariablen ist bis zu diesem Untersuchungszeitpunkt die Liste mit allen eingelesenen Informationsträgern zu finden. Die Menge der Einträge in der LVGesamtListe gibt die Anzahl der interessierenden Informationsträger wieder. Je nach Kontext ist eine Konstruktion mit einer sinnvollen Menge an Informationsträgern zu erwarten. Ein einfaches Produkt kann aus wenigen Bauteilen bestehen, wohingegen die sinnvolle Grenze bei Werkzeugmaschinen, Fahrzeugen, etc. sehr weit nach oben verschoben werden muss. Liegt die eingelesene Informationsträgermenge nicht innerhalb des erwarteten Bereichs, so liegt das Abbruchkriterium vor und die Untersuchung ist bereits zu beenden. Optional ist eine entsprechende Leistungseinordnung auszustellen.

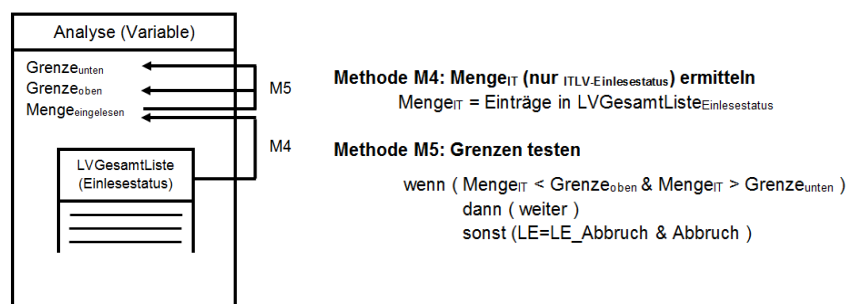


Abbildung 52: Abbruchuntersuchung – Funktionalität

Reinigen

Der Ablauf der Methoden M6 bis M8 in Abbildung 53 stellt eine mögliche Variante des Reinigens vor. Zuerst werden die Informationsträger des Einlesestatus typabhängig in entsprechende Typhilfslisten zusammengefasst. Anschließend erfolgt ein Sortieren innerhalb dieser Listen. Dabei wird für jeden Informationsträger nach allgemeinen sowie typabhängigen Daten sortiert. Durch Vergleiche der sortierten Informationsträger zeigen sich Dopplungen, welche zu löschen sind. Damit sind die eingelesenen Daten für die Element-/Gruppenbildung vorbereitet.

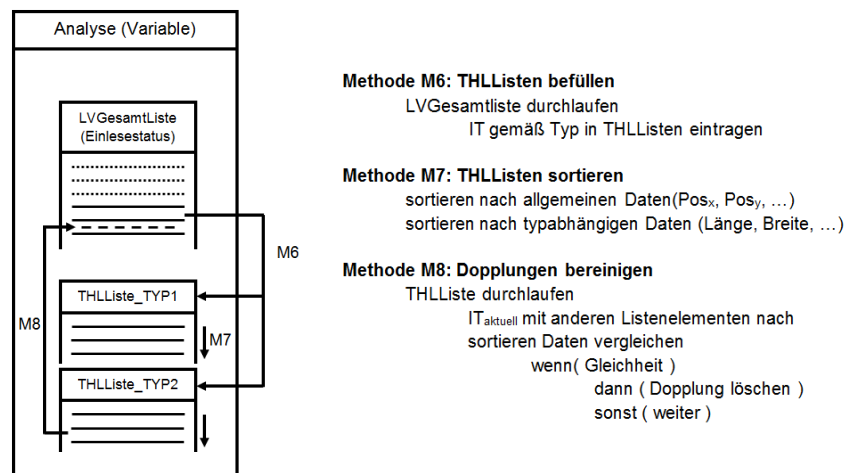


Abbildung 53: Reinigen – Funktionalität

Element-/Gruppenbildung (Algorithmus)

Die in Abbildung 54 schematisch wiedergegebene Element-/Gruppenbildung umfasst mehrere Schritte. In ihnen zählen die Gruppe initiieren, die Gruppenstücklisten füllen, die Gruppenstücklisten auswerten, um den Gruppentyp zu bestimmen, und schließlich das Eintragen der neuen Gruppe in die entsprechenden Listen.

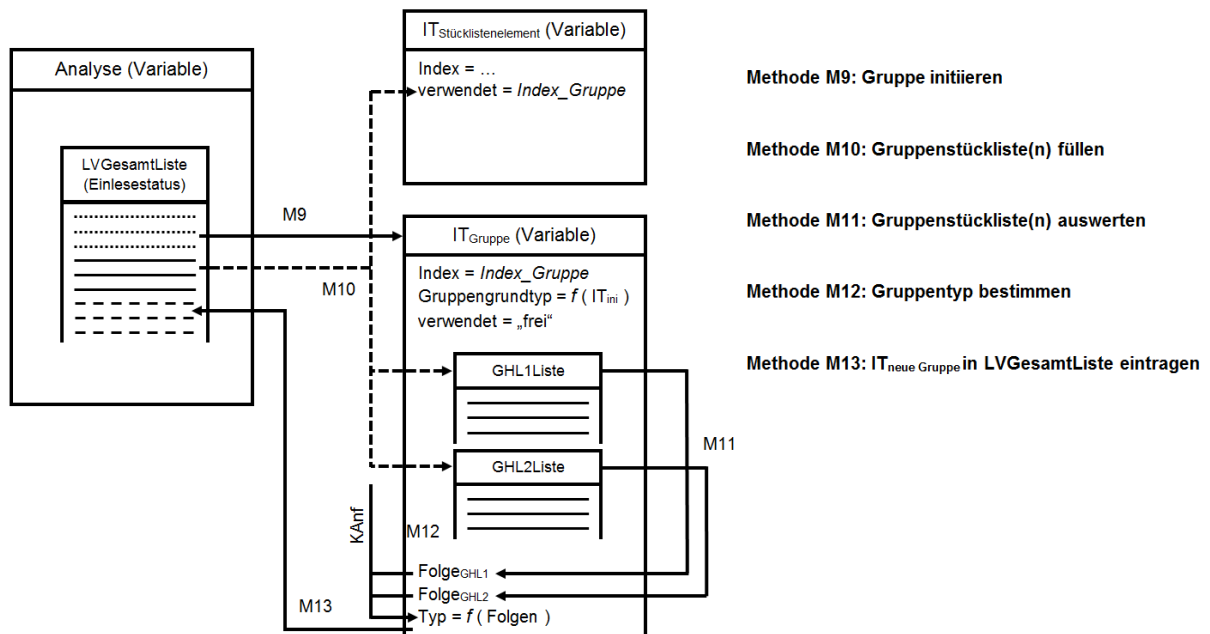


Abbildung 54: Element-/Gruppenbildung – Funktionalität

Eine Gruppe lässt sich unterschiedlich gestalten, so dass mehrere Gruppentypen zu erwarten sind. Der konkrete Typ dieser Gruppe hängt von den verwendeten Gruppenstücklistenelementen ab. Diese liegen jedoch bei fehlerhafter Ausführung nicht zwangsläufig vor. Unabhängig vom Gruppentyp ist deshalb ein Informationsträger für jede Gruppenart, d. h. für jeden Gruppengrundtyp, zu finden, der bei jedem Gruppentyp gegeben ist und damit die Fähigkeit besitzt als Einstiegspunkt zu dienen. Es bietet sich demnach an, die LVGesamtListe nach diesen Einstiegsinformationsträgern zu durchsuchen. Wird ein solcher gefunden, dann wird die zugehörige Gruppenart initiiert. Danach werden weitere Stücklistenelemente dieser Gruppe gesucht. Je nach Anzahl der Folgen einer Gruppe gibt es entsprechend viele Gruppenhilfslisten (GHL), in welche die Stücklistenelemente geschrieben werden. Je nach Inhalt einer Folge ist der zugehörige Folgentyp festzulegen. Die Kombination aller Folgentypen bestimmt den Typ der Gruppe. Sollten dabei Unstimmigkeiten vorliegen, weil z. B. eine Folge nicht ausgestaltet ist, so hilft ggf. die Indikatorregel weiter, indem sie als Zusatzinformation die aktuell geltenden Anforderungen an die Konstruktion heranzieht und damit die Information des fehlenden Folgentyps kompensiert. Alle Stücklistenelemente erhalten einen Verwendungsvermerk hinsichtlich ihrer direkten Gruppenverwendung. Abschließend wird die typisierte Gruppe in die LVGesamtListe und die zugehörige Typhilfsliste übernommen. Weil Gruppen von ihren Stücklistenelementen abhängen und diese selbst Gruppen sein dürfen, ist die Reihenfolge der Gruppenbildung im Kontext des Produktes festzulegen.

Überbestimmtheit bei der Element-/Gruppenbildung

Liegen gleiche Informationsträger übereinander, dann werden die überflüssigen Informationsträger mit dem Schritt Reinigen behandelt. Bei einer Situation wie in Abbildung 55 ist dies nicht möglich. Dort gibt es mehrere Gruppen, welche die gleichen Stücklistenelemente beanspruchen. Je nach Toleranzeinstellung ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse.

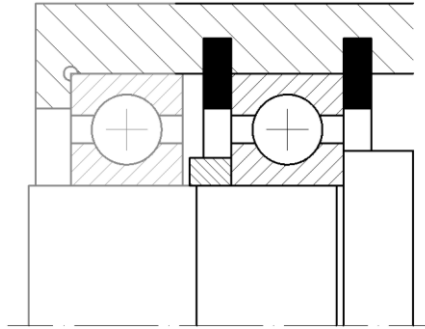


Abbildung 55: Überbestimmtheit bei der Element-/Gruppenbildung

Es kann dabei vorkommen, dass eine Gruppe richtig gestaltet ist und direkt daneben eine fehlerhafte Gruppe liegt, wobei sich die Gruppen einige Stücklistenelemente teilen müssen. Der Algorithmus favorisiert in diesem Fall keine Gruppe, sondern behandelt alle Informationsträger gleichwertig. Weil eine zu kontrollierende Konstruktion aus richtigen und fehlerhaften Gruppen mit gleichem Gruppentyp fehlerhaft bleibt, ist diese Vorgehensweise bewusst hinterlegt. Konkret wird dabei die erste gefundene Gruppe analysiert und danach die zweite Gruppe. Bei dieser sind die für die erste Gruppe verwendeten Stücklistenelemente nicht mehr verfügbar. Auch wenn die erste Gruppe fehlerhaft ist und der überbestimmte Rest eine korrekte Gruppe darstellt, wird der Fehler der Überbestimmtheit erkannt und die erste Gruppe nicht gelöscht.

Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung (Algorithmus)

Nach Abschluss der Element-/Gruppenbildung liegen alle Informationsträger vor, so dass deren Anforderungserfüllungspotenzial gemäß Abbildung 56 bestimmt werden kann. Das Anforderungserfüllungspotenzial eines Informationsträgers leitet sich aus dessen Verträglichkeitseigenschaften und Funktionsanforderungserfüllungsgrad ab. Während die Verträglichkeitseigenschaften bekannt sind, ist der Funktionsanforderungserfüllungsgrad zunächst zu untersuchen. Dies erfolgt in der Funktionsanforderungsuntersuchung, welche die zugehörigen Gestaltungsanforderungserfüllungsgrade und die Verträglichkeitsanforderungserfüllungsgrade analysiert. Die Gestaltungsanforderungsuntersuchung und die Verträglichkeitsanforderungsuntersuchung stehen demnach am Anfang der Untersuchungskette. Diese Untersuchungskette nutzt die bisherigen Informationen und erzeugt ihrerseits Informationen vom Typ I3.

Die Verträglichkeitsanforderungen des aktuell untersuchten Informationsträgers hängen von den Verträglichkeitseigenschaften aller anderen Informationsträger ab. Diese Verträglichkeitseigenschaften liegen nach der Element-/Gruppenbildung bereits vor. Die Gestaltungsanforderungen einer Gruppe können aber von den Funktionsanforderungserfüllungsgrad ihrer Stücklistenelemente abhängig sein. Deshalb ist die Reihenfolge der Informationsträger innerhalb der Untersuchungskette nach dem Prinzip „Stücklistenelement vor Gruppe“ festzulegen.

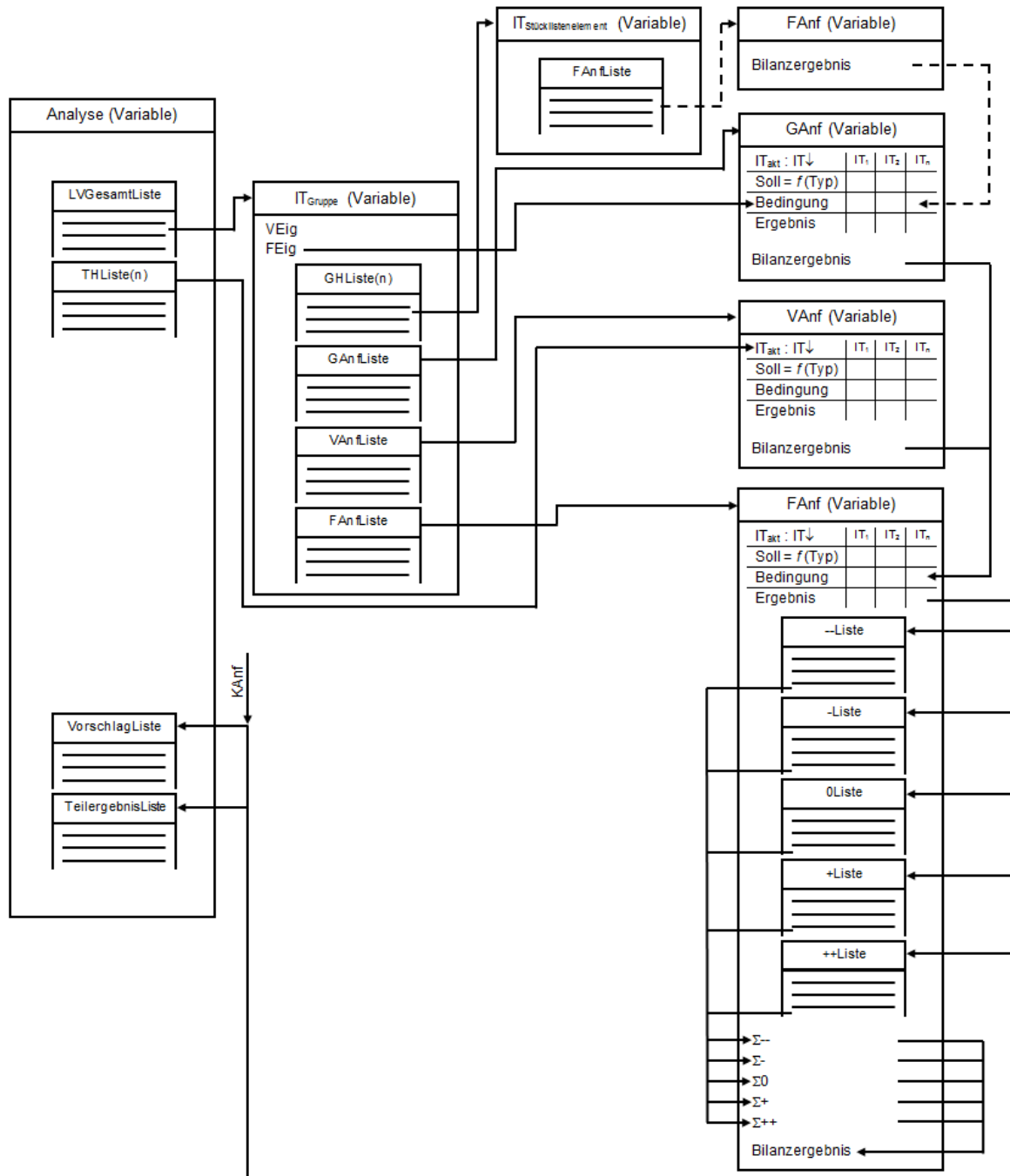


Abbildung 56: Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung – Funktionalität

Bei einem nach dieser Reihenfolge aktuell zu untersuchenden Informationsträger werden zuerst alle seine Gestaltungsanforderungen untersucht. Dazu trägt er selbst mit seinen Funktionseigenschaften bei. Über seine Gruppenhilfslisten werden die zuvor erhaltenen Ergebnisse der Funktionsanforderungsuntersuchung der Stücklistenelemente zugänglich. Sind alle Bedingungen für eine spezielle Gestaltungsanforderung ausgewertet und dabei alle im Lösungsvorschlag enthaltenen Informationsträger berücksichtigt, dann erfolgt die Bilanzierung der Gestaltungsanforderung. Teilergebnisse und eventuelle Vorschläge werden protokolliert, wobei Vorschläge bei gleichwertigen Alternativen in Abhängigkeit des Anforderungssatzes priorisiert werden. Liegen keine weiteren Gestaltungsanforderungen vor, so schließt sich die Verträglichkeitsuntersuchung an. Diese Untersuchung läuft als Anforderungsuntersuchung

analog zur Gestaltungsanforderungsuntersuchung ab, wobei die Daten für die aus den anderen Informationsträgern des Lösungsvorschlages stammen. Weil nur bestimmte Informationsträgerkombinationen zu analysieren sind, werden die datenliefernden Informationsträger über die Typhilfslisten angesprochen. Ferner lassen sich mithilfe der Verträglichkeitsanforderungsuntersuchung optional definierte Fehler erkennen (vgl. Ansatzgegenüberstellung). Sind alle Gestaltungs- und Verträglichkeitsanforderungen untersucht, dann ist die Voraussetzung für die Funktionsanforderungsuntersuchung des aktuell untersuchten Informationsträgers erfüllt. Nachdem alle Funktionsanforderungen getestet sind, wiederholt sich die Untersuchungskette für den nächsten Informationsträger.

| | | IT _{Typ1} | | | IT _{Typ2} | | | IT _{Typ3} | | | IT _{Typ4} | | |
|--------------------|---|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | | VEig ₁ | VEig ₂ | VEig ₃ | VEig ₁ | VEig ₂ | VEig ₃ | VEig ₁ | VEig ₂ | VEig ₃ | VEig ₁ | VEig ₂ | VEig ₃ |
| IT _{Typ1} | VAnf ₁ VAnf ₂ VAnf ₃ | | | | | x | | x | x | | | x | |
| IT _{Typ2} | VAnf ₁ VAnf ₂ VAnf ₃ | | | | | | | | x | | | | x |
| IT _{Typ3} | VAnf ₁ VAnf ₂ VAnf ₃ | | x | | x | | | | | | | | x |
| IT _{Typ4} | VAnf ₁ VAnf ₂ VAnf ₃ | | | x | | | | | x | | | | |

| | | IT _{Typ1} | | | IT _{Typ2} | | | IT _{Typ3} | | | IT _{Typ4} | | |
|--------------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | GAnfgrad ₁ | GAnfgrad ₂ | VAnfgrad ₁ | GAnfgrad ₁ | GAnfgrad ₂ | VAnfgrad ₁ | GAnfgrad ₁ | GAnfgrad ₂ | VAnfgrad ₁ | GAnfgrad ₁ | GAnfgrad ₂ | VAnfgrad ₁ |
| IT _{Typ1} | FAnf ₁ FAnf ₂ FAnf ₃ | x | | | | | | | | | | | |
| IT _{Typ2} | FAnf ₁ FAnf ₂ FAnf ₃ | | | | | | x | | | | | | |
| IT _{Typ3} | FAnf ₁ FAnf ₂ FAnf ₃ | | | | | | | x | | | | x | |
| IT _{Typ4} | FAnf ₁ FAnf ₂ FAnf ₃ | | | | | | | | | | | | x |

Abbildung 57: Zulässige Informationsträgerkombinationen bei Verträglichkeits- und Funktionsanforderungsuntersuchung

Abbildung 57 verdeutlicht abschließend, welche Informationsträgerkombinationen bei der Verträglichkeits- und der Funktionsanforderungsuntersuchung zulässig sind. Dabei ist festzuhalten, dass bei der Verträglichkeitsanforderungsuntersuchung alle Verträglichkeitseigenschaften aller anderen außer der des aktuell untersuchten Informationsträgers zu verwenden sind. Bei der Funktionsanforderungsuntersuchung werden dahingegen nur die Daten aus dem aktuell untersuchten Informationsträger selbst in den Bedingungen untersucht. Damit steht für den Fall einer gültigen Konstruktion als Ergebnis der Lageerkennung fest, welche Informationsträger vorliegen und welches Anforderungserfüllungspotenzial diese besitzen.

6.3.4 Abgleich

6.3.4.1 Stellung im Algorithmus

Der Abgleich beinhaltet die Punkte Anforderungserfüllungsuntersuchung und Restmengenuntersuchung. Als zentraler Punkt des Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen verarbeitet die Anforderungserfüllungsuntersuchung die in den Informationsträgern abgelegten Informationen mit den Anforderungen an die Konstruktion. Die Ergebnisse werden dem qualifizierten Feedback übergeben. Bleiben Informationsträgerrestmengen vorhanden, welche keine Aussage zur inhaltlichen Kontrolle von Konstruktionen zugelassen haben, dann werden diese in die Liste nicht verwendeter Informationsträger (n.v.it.Liste) eingetragen. Diese Liste ist die Basis für die Restmengenuntersuchung.

6.3.4.2 Voraussetzungen

Die entscheidende Voraussetzung an dieser Stelle ist, dass aus den bisherigen Untersuchungsschritten eine ausreichende Menge an nutzbaren Informationen zusammengetragen wurde. Konkret sollen alle Informationsträger des Lösungsvorschlages mit ihrem Anforderungserfüllungspotenzialgrad vorliegen. Ebenso müssen die Anforderungen an die Konstruktion gegeben sein. Um diese untersuchen zu können, müssen für die einzelnen Informationsträger des aktuellen Kontextes geeignete Regeln innerhalb der Anforderungserfüllungsuntersuchungsstruktur abgelegt sein, so dass die Automatisierungstiefe ausreichend abgebildet ist.

6.3.4.3 Funktionalität

Anforderungserfüllungsuntersuchung (Algorithmus)

Es wird der Frage nachgegangen, ob die Qualität der untersuchten Konstruktion stimmt. Dies erfolgt durch die Untersuchung, inwieweit eine Anforderung durch ein passendes Anforderungserfüllungspotenzial erfüllt ist. Der Ablauf dieser Untersuchung und die zugehörigen Informationen sind in Abbildung 58 dargestellt. Je nach den zur Verfügung stehenden Informationen läuft der zentrale Untersuchungsschritt auf zwei Arten ab.

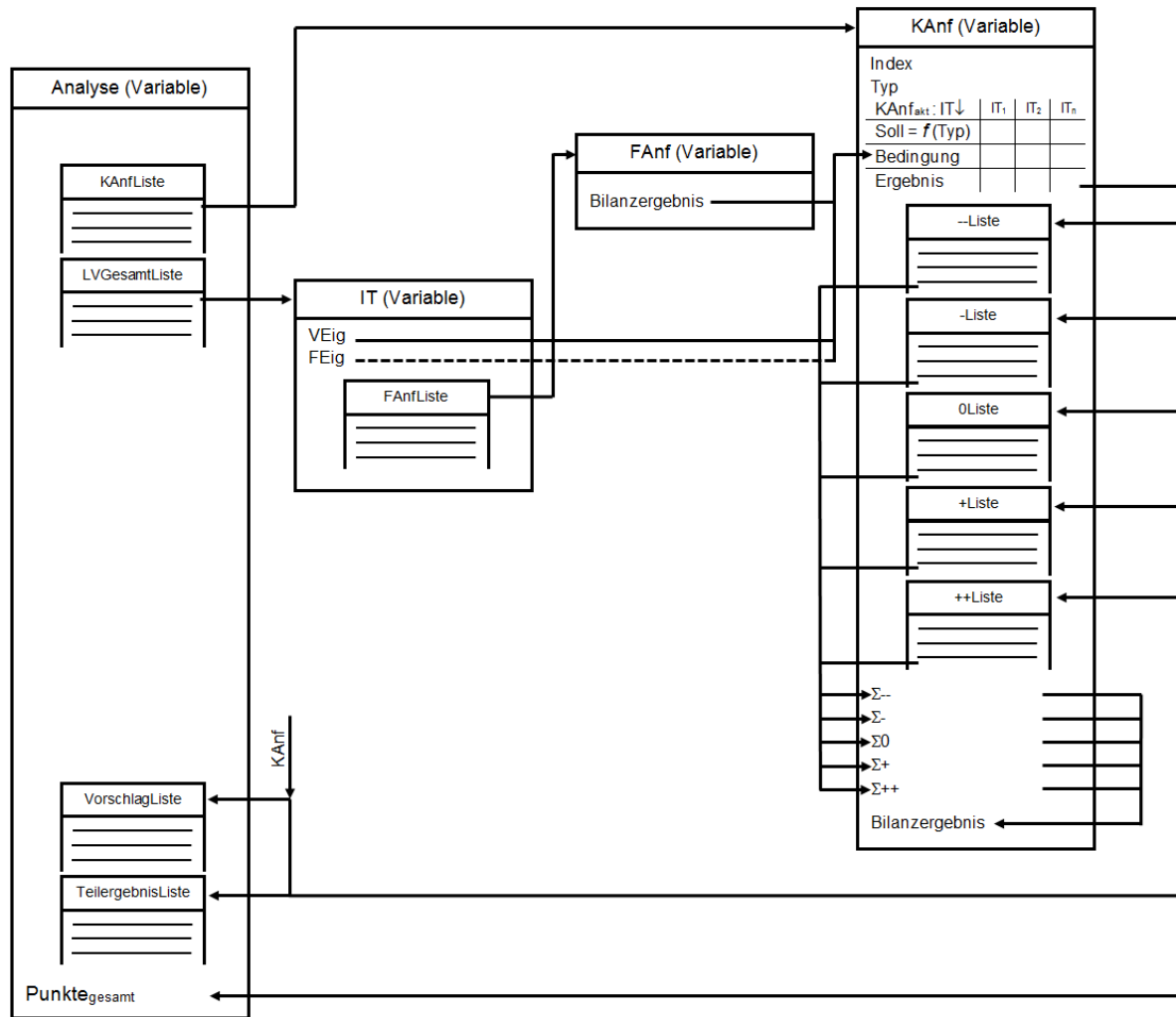


Abbildung 58: Anforderungserfüllungsuntersuchung – Funktionalität

Anforderungserfüllungsuntersuchung bei IVB1

Beim Informationsverfügbarkeitsbereich IVB1 sind alle Informationen gegeben. Dies soll als Standardfall der Lösung gelten. Dabei wird die Liste über alle Anforderungen an die Konstruktion durchlaufen und nacheinander jede einzelne Anforderung an die Konstruktion untersucht. Allgemein gleicht die Anforderungserfüllungsuntersuchung den Anforderungserfüllungspotenzialgrad eines Informationsträgers mit einer Anforderung an die Konstruktion ab. Das bedeutet für eine konkrete Anforderung an die Konstruktion, dass sie mit allen relevanten Informationsträgern des Lösungsvorschlages abgeglichen werden muss. Dazu stellen die Informationsträger ihre Verträglichkeitseigenschaften und Funktionsanforderungserfüllungsgrade bereit. Die Schlussfolgerungen der Einzelabgleiche werden der Bilanz der aktuell untersuchten Anforderung an die Konstruktion zugeführt. Dopplungen von Lösungen, d. h. mehrere Informationsträger stehen im Lösungsvorschlag zur Erfüllung derselben Anforderung an die Konstruktion bereit, sind dabei nicht erlaubt und führen zu einem Nichterfüllungseintrag in der Bilanz. Teilergebnisse und Vorschläge werden analog zur Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung behandelt. Das Bilanzergebnis entspricht dem Erfüllungsgrad der untersuchten Anforderung an die Konstruktion. Mit ihm gehen die für die Leistungseinordnung erforderlichen erreichten Punkte einher. Sie werden in der Analysevariablen protokolliert.

Anforderungserfüllungsuntersuchung bei IVB2

Der Informationsverfügbarkeitsbereich IVB2 stellt nur Teilinformationen, d. h. nur die Funktionseigenschaften der Informationsträger, bereit (vgl. gestrichelte Linie). Ist beim Abgleich im Falle IVB1 kein Bilanzeintrag erfolgt, so werden alle Informationsträger erneut abgefragt, ob sie eine entsprechende Teilinformation bereitstellen können. Wenn dies möglich ist, dann werden die Bedingungen mit den Funktionseigenschaften ausgewertet und anschließend eine Bilanzierung angestoßen. Am Ende gibt es einen ermittelten Anforderungserfüllungsgrad auch für den IVB2.

| | IT _{Typ1} | | | IT _{Typ2} | | | IT _{Typ3} | | | IT _{Typ4} | | |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| | FAnfgrad ₁ | FAnfgrad ₂ | VEig ₁ | FAnfgrad ₁ | FAnfgrad ₂ | VEig ₁ | FAnfgrad ₁ | FAnfgrad ₂ | VEig ₁ | FAnfgrad ₁ | FAnfgrad ₂ | VEig ₁ |
| KAnf ₁ | x | x | | | | | x | | | | | x |
| KAnf ₂ | | | | x | x | | | | | | | |
| KAnf ₃ | x | | | | | | | x | | x | | |
| KAnf ₄ | | x | | | | | x | | | | x | |

Abbildung 59: Zulässige Informationsträgerkombinationen bei der KAnfU

Abbildung 59 zeigt, dass die Anforderungen an die Konstruktion von mehreren Informationsträgern abhängen können. Für die Informationsträger gilt analog, dass sie einen Beitrag zu mehreren Anforderungen an die Konstruktion leisten dürfen.

Sonderfall: Zusatzanforderung Technisches Zeichnen

Einen Sonderfall der Anforderungen an die Konstruktion stellt die Untersuchung der Umsetzung der produktdarstellenden Struktur, d. h. das Technische Zeichnen, dar. Es gilt dabei zu klären, ob z. B. umlaufende Kanten oder Schraffuren richtig gezeichnet sind. Diese Anforderungen werden bei den jeweiligen Informationsträgern bereits bei den Gestaltungsanforderungen analysiert. Weil sie nur für den konkreten Informationsträger gelten, sind keine Verträglichkeitsstörungen zu erwarten. Deshalb gibt es abschließend eine KAnf-TZ, welche von allen Informationsträgern den Gestaltungsanforderungsgrad der GAnf-TZ bilanziert und somit eine Gesamtaussage zur Zusatzanforderung trifft.

Restmengenuntersuchung (Algorithmus)

Als Bestandteil des Systemgrenzenmanagements verarbeitet die Restmengenuntersuchung diejenigen Informationsträger, welche mit den Standardmitteln des Algorithmus nicht mehr erfasst werden. Dazu werden diese in eine Liste geschrieben, welche gesondert ausgegeben wird und damit z. B. eine zusätzliche manuelle Kontrolle vorbereitet. Dies erfolgt gemäß Abbildung 60.

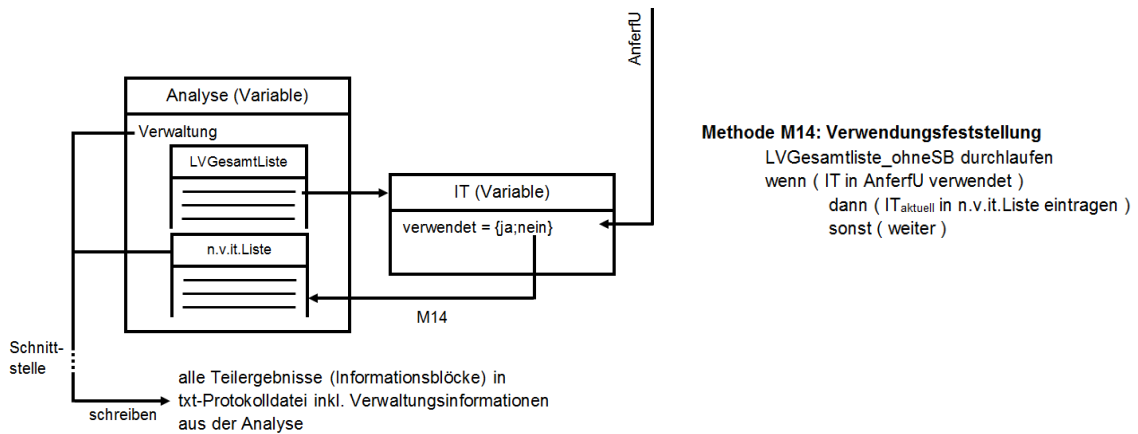


Abbildung 60: Restmengenuntersuchung – Funktionalität

Die auszugebenden Informationsträger lassen sich identifizieren, weil sie zu keiner KAnf-Untersuchung einen Beitrag geleistet haben. Diese Information wird in der Informationsträgervariablen protokolliert und bei der Restmengenuntersuchung abgefragt. Die Liste selbst wird über eine Schnittstelle in eine Datei geschrieben.

Abgleich und Informationsverfügbarkeitsbereiche

Aus der Abbildung 61 lässt sich der Zusammenhang von Informationsverfügbarkeitsbereichen und Abgleichgestaltung erkennen.

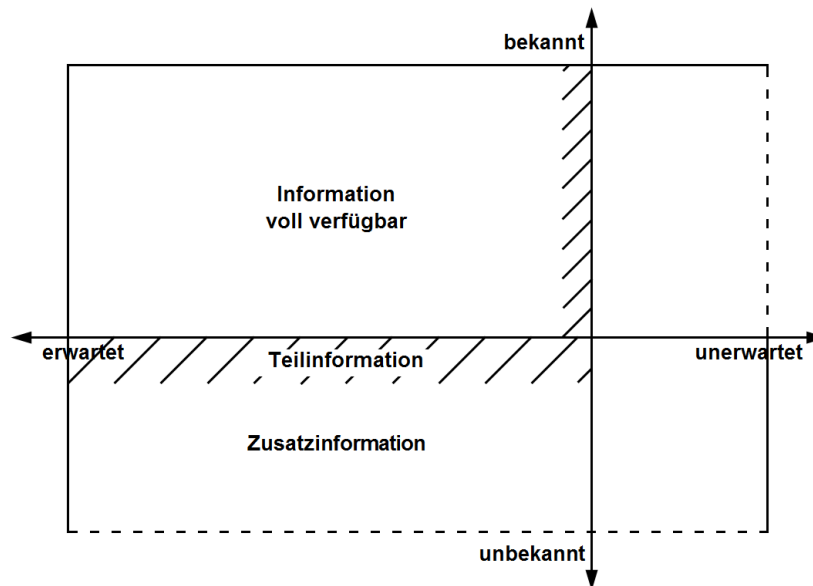


Abbildung 61: Abgleich und Informationsverfügbarkeitsbereiche

Beim Informationsverfügbarkeitsbereich IVB1 sind die Informationen vollständig verfügbar, so dass der Algorithmus mit seiner inhaltlichen Kontrolle anwendbar ist. Der IVB2 wird durch die Anpassung der Anforderungserfüllungsuntersuchung, d. h. der Nutzung der Teilinformationen, erschlossen. Für den IVB5 wäre der Zugriff auf die Zusatzinformationen erforderlich. Der automatischen Kontrolle entzieht sich dieser Zugriff. Dies gilt aber nicht für eine manuelle Kontrolle, bei der die Zusatzinformationen beschaffbar sind. Deshalb wird vom

Algorithmus die Restmengenuntersuchung angeboten und damit die Zusatzanalyse vorbereitet. Werden bekannte Informationen nicht vollständig hinterlegt, dann tragen die entsprechenden Informationsträger auch nicht umfassend zur Anforderungserfüllungsuntersuchung bei. Die Restmengenuntersuchung hilft auch in dieser Situation weiter, so dass die Ansatzpunkte für eine Anpassung der Automatisierungstiefe in Form der Informationsträger in der n.v.it.Liste dargelegt werden oder die mangelnde Automatisierungstiefe durch z. B. eine manuelle Kontrolle kompensiert werden kann.

6.3.5 Qualifiziertes Feedback

6.3.5.1 Stellung im Algorithmus und System

Im abschließenden Teil des Algorithmus erfolgt die Ausgabe der verschiedenen Untersuchungsergebnisse in Form der Lagedarstellung, Leistungseinordnung und Vorschläge. Dafür steht eine gemeinsame Ausgabedatei zur Verfügung. Systemseitig können sich an dieser Stelle Folgeprozesse anschließen, welche eine Erweiterung hinsichtlich der Erweiterungsstelle E3 darstellen.

6.3.5.2 Voraussetzungen

Die Gestaltung der Art der Ausgabe orientiert sich an den Zielen aus Kapitel 3, d. h. wertfrei und empfängerorientiert nachvollziehbar. Dafür ist es erforderlich, die informationstechnischen Daten vor der Ausgabe hinsichtlich der Schnittstelle Mensch-Maschine in entsprechende Textbausteine zu transformieren. Für die objektive Leistungseinordnung ist ein klar definiertes Schema erforderlich. Wenn ausreichend verwertbare Informationen aus dem Lösungsvorschlag in den Algorithmus gelangen, dann wird die Untersuchung erfolgreich verlaufen. Zur objektiven Vermeidung von Unstimmigkeiten, besonders im Bereich der Leistungseinordnung bei Minderleistungen, schafft das Systemgrenzenmanagement eine Vertrauensbasis in den Algorithmus, wenn diesen Minderleistungsfällen eine besondere Aufmerksamkeit entgegengebracht wird.

6.3.5.3 Funktionalität

Art des qualifizierten Feedbacks

Aus den Feststellungen des Kapitels 2 bezüglich Fehler, Fehlerursachen und Fehlerfolgen geht hervor, dass der Umgang mit Fehlern schwierig sein kann. Deshalb ist die psychologische Aufbereitung von Feedback entsprechend zu gestalten. Im Rahmen des Algorithmus besteht dieses Feedback inhaltlich auf der einen Seite aus der reinen Informationsvermittlung der Ergebnisse und auf der anderen Seite aus motivierend aufzubereitenden Verbesserungshinweisen. Für beide Seiten gilt, dass sie Feedback über die Schnittstelle Mensch-Maschine in Form von Textbausteinen geben. In der Lagedarstellung werden die Teilergebnisse als reine Informationsvermittlung ausgegeben. Das gleiche erfolgt bei der Leistungseinordnung. Die Auskünfte sind empfängerorientiert auszuführen, d. h. es ist je nach Kontext die geeignete Menge und Tiefe an Details zu finden. Die Textbausteine sollen wertfrei sein, wobei im Falle der Erfüllung von Anforderungen Lob ausgesprochen erwünscht sein sollte. Bei den

Vorschlägen ist ebenfalls die Information empfängerorientiert zu vermitteln. Dabei ist jedoch die Art der Vermittlung psychologisch umsetzungsfördernd auszugestalten, denn diese Information spielt sich im Rahmen des Umgangs mit Fehlern ab. Es ist wieder die Wertungsfreiheit sicherzustellen und gleichzeitig die Motivation bezüglich der Umsetzung der Vorschläge zu fördern. Als Voraussetzung dafür ist es wichtig, dass die Vorschläge technisch sinnvoll sind. Dazu müssen sie korrekt sein. Bei Alternativen soll die beste, welche z. B. durch ein Bewertungsverfahren zu ermitteln ist, ausgegeben werden. Stehen gleichwertige Alternativen zur Verfügung, so sollte die aufgrund der aktuell zu erfüllenden Anforderungen an die Konstruktion günstigste ermittelt werden. Dieses Auswahlverfahren sowie die textliche Gestaltungsmöglichkeit der Textbausteine ist in den im Folgenden beschriebenen Unterschritten des qualifizierten Feedbacks umgesetzt.

Lagedarstellung (Algorithmus)

Bei der Lagedarstellung geht es darum, alle Teilergebnisse auszugeben und damit ein Protokoll der durchgeführten Untersuchung vorliegen zu haben. Zusammen mit den zugehörigen Verwaltungsinformationen der aktuellen Kontrolle werden dazu die Einträge der Teilergebnisse in eine Ausgabedatei geschrieben. Um die Daten nachvollziehbar zu halten, werden die Informationen in inhaltlich zusammenhängenden Blöcken ausgegeben (vgl. Abbildung 62).

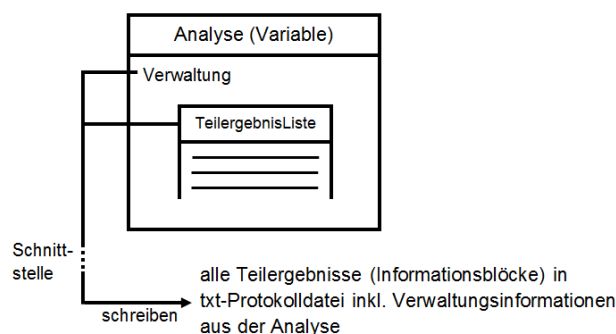


Abbildung 62: Lagedarstellung – Funktionalität

Leistungseinordnung (Algorithmus)

Die Leistungseinordnung setzt die erbrachte Konstruktionsleistung in Bezug zu anderen erbrachten Konstruktionsleistungen, z. B. im Rahmen einer Onlineklausur, oder in Bezug zu den Erwartungen an ein Kundenprojekt einer Konstruktionsabteilung. Sie ist dabei von der Bewertung der Konstruktion oder deren Teile abzugrenzen, weil die Bewertung begrifflich mit dem Vergleich und der Auswahl von Lösungsalternativen belegt ist. Weiterhin ist hier der Einsatz des Systemgrenzenmanagements, mit dem es möglich wird die Leistungseinordnung erst dann zu akzeptieren, wenn die Untersuchung in einem vereinbarten Rahmen abgelaufen ist, wichtig.

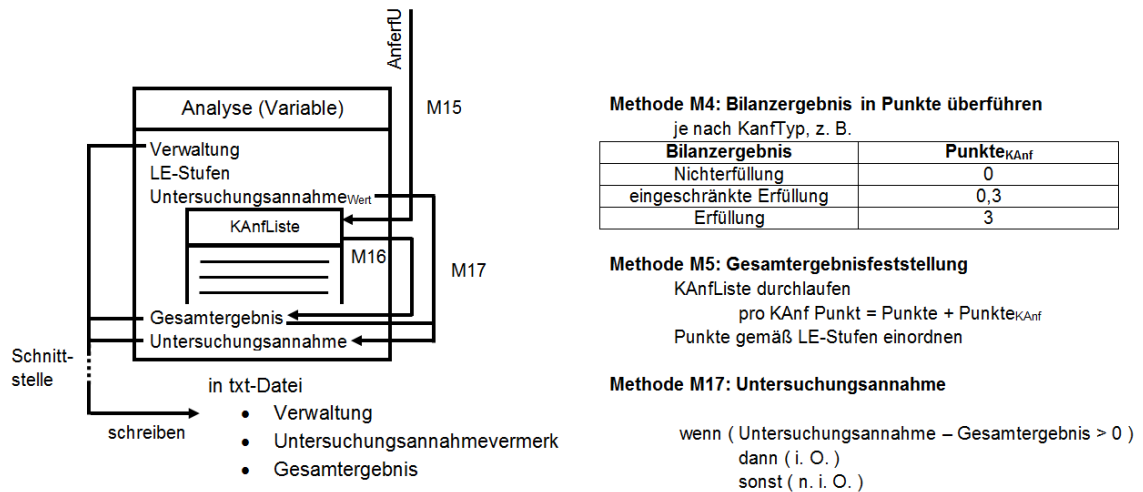


Abbildung 63: Leistungseinordnung – Funktionalität

Die Abbildung 63 zeigt den Ablauf der Einzelschritte. Jede Anforderung an die Konstruktion bringt ihre eigene Punkteverteilung für die Fälle Erfüllung, eingeschränkte Erfüllung und Nichterfüllung aus dem Anforderungsmanagement mit. Dabei können Pflicht- und Wunschanforderungen hinterlegt werden, wenn die Erfüllung von Pflichtanforderungen grundsätzlich mehr Punkte einbringt als die Erfüllung von Wunschanforderungen. In der Anforderungserfüllungsuntersuchung erfolgt die Feststellung der tatsächlich zu vergebenden Punkte gemäß dem erreichten Anforderungserfüllungsgrad. Um das Gesamtergebnis zu erhalten werden die Punkte aller Anforderungen an die Konstruktion aufsummiert. Aus dem Anforderungsmanagement wird eine Leistungseinstufung übernommen, welche mit der erreichten Punktesumme eine Leistungseinordnung gewährleistet. Ist die Leistungseinordnung unterhalb einer definierbaren Grenze, dann wird in der Ausgabedatei neben der Leistungseinordnung auch ein Hinweis auf die Grenzunterschreitung gegeben. Im Bedarfsfall ist somit eine zusätzliche Kontrolle vor Bekanntgabe der Ergebnisse an die Konstruierenden organisatorisch anstoßbar.

Vorschläge (Algorithmus)

In den einzelnen Untersuchungsschritten werden Teilergebnisse erzielt. Weisen diese Abweichungen auf, dann ist in der Regel auch möglich, einen abweichungsaflösenden Vorschlag anzugeben. Diese Vorschläge werden während der Untersuchungsschritte erzeugt und in der VorschlagListe der Analysevariablen protokolliert. Hinsichtlich ihrer Art sind sie wie oben dargelegt aufbereitet. Sie werden in die Ausgabedatei eingefügt (vgl. Abbildung 64).

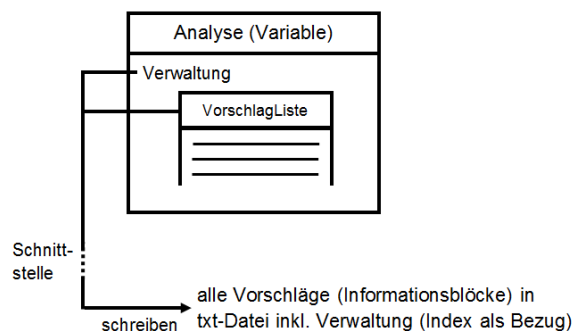


Abbildung 64: Vorschläge – Funktionalität

Folgeprozesse (Systemerweiterung)

An dieser Stelle können sich Folgeprozesse anschließen. Automatische Korrekturen oder Geometrieoptimierungen sind einige Beispiele. Sie gehören zum Erweiterungspotenzial der mit dem qualifizierten Feedback abgeschlossenen Lösung.

6.4 Startbedingungen

Es gibt Lösungsvorschläge, die auf der Grundlage bestehender, vorgegebener Konstruktionen aufbauen und diese gezielt ergänzen. Dazu gehören z. B. Anschlusskonstruktionen. Um solche Fälle bei der Kontrolle von Konstruktionen handhaben zu können, werden im Folgenden die Startbedingungen vorgestellt.

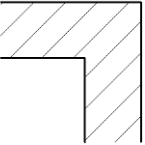

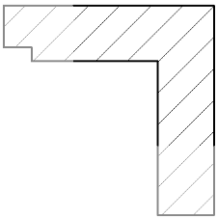
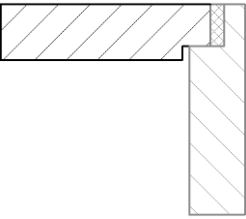
| | KAnf+G Gehäuseelement gestaltend vervollständigen | KAnf+A neue Baugruppe an ein gegebenes Gehäuse anpassen |
|-------------------------------|---|--|
| Aufgaben- stellung |  |  |
| Lösungs- vorschlag |  |  |

Abbildung 65: Beispiele für KAnf+G und KAnf+A in Aufgabenerstellung und Lösungsvorschlag
(IT_{SB}: schwarz, IT_{LV}: grau)

Startbedingungen sind Informationsträger, welche vor der Erstellung des Lösungsvorschlages bereits in der Konstruktion vorliegen. Sie werden im Lösungsvorschlag zum einen als Ausgangspunkte für die Gestaltung von Informationsträgergruppen und zum anderen als Randbedingungen im Sinne von Anschlussvorgaben genutzt. Der Lösungsvorschlag orientiert sich an ihnen, ohne die Startbedingungen verändern zu dürfen. Durch ihren orientierungsgebenden Charakter stellen sie selbst Anforderungen, welche die Anforderungen an die Konstruktion aus dem Lastenheft bzw. der Aufgabenstellung ergänzen. Dies vollzieht sich in der Form, dass die Anforderungen an die Konstruktion in drei Gruppen eingeteilt werden. Es sind LH, KAnf+G und KAnf+A. LH sind die bereits beschriebenen und durch die Startbedingungen zu ergänzenden Anforderungen an die Konstruktion. Die anderen beiden sind Anforderungen aufgrund der Startbedingungen (vgl. Abbildung 65). Dabei stellen KAnf+G Zusatzanforderungen dar, die durch die Gestaltung erfüllt werden können und einem bestimmten Zweck dienen. Ein Beispiel wäre ein halbvorkonstruiertes Gehäuse. Ihre Umsetzung erfolgt durch die weitere Ausgestaltung der vorgegebenen Startbedingungen mit Informationsträgern aus dem Lösungsvorschlag. Die KAnf+G werden in der Aufgabenstel-

lung aufgeführt. Bei den KAnf+A handelt es sich um Anpassungsbedingungen, wie Raumausnutzung ohne Kollision, Mindestspiel einhalten, fluchtende Bauteile generieren, ineinandergreifende Bauteile schaffen und andere funktionsorientierte Anforderungen bezüglich dem durch die Startbedingungen gesetzten Rahmen. Im Vergleich zum Gehäusebeispiel wäre der Anschluss im Gehäuse durch einen anderen Informationsträger eine KAnf+A. Sie sind durch andere Informationsträger des Lösungsvorschlages zu erreichen und können im Aufgabentext allgemeiner gefasst werden, weil die Startbedingungsinformationsträger in der Konstruktion bereits konkrete Vorgaben aufzeigen. Der Lösungsvorschlag wird als beliebig fortgeschrittener Konstruktionsstand aufgefasst. Damit lassen sich die Startbedingungen als Offset des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes interpretieren, welcher eigene Anforderungen bereits mitbringt. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass durch die Startbedingungen keine Widersprüche in die Aufgabenstellung gelangen. Es erfolgt an dieser Stelle eine Beschreibung der generellen, zu berücksichtigenden Art der Startbedingungen in den Unterschritten von Algorithmus und System. Zur Unterscheidung werden Informationsträger im Folgenden, wenn sie Startbedingungen sind mit SB bzw. IT_{SB} , und Informationsträger, die bei der Lösungsvorschlagserstellung konstruiert werden, mit LV bzw. IT_{LV} angesprochen.

6.4.1 Grundfälle von Startbedingungen

Abbildung 66 stellt die Grundfälle von Informationsträgergruppen im Zusammenhang mit den Startbedingungen vor, um hieran das Verhalten bezüglich der Anforderungen der Typen LH, KAnf+G und KAnf+A anschließend zu beschreiben.

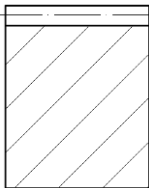
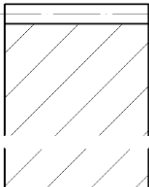
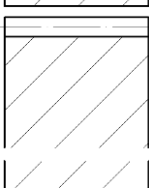
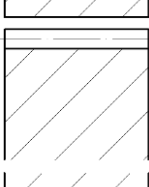
| | | Stücklistenelemente | | | | | | | |
|---------------|---|---------------------|------------|----|----|-----------------------------------|----------------|--|--|
| Grundfall GF1 |  | SB | SB_{ini} | | | | | | |
| Grundfall GF2 |  | SB_{ini} SB | SB_{ini} | SB | | $LV_{Alternative}$ nur störend | $LV_{störend}$ | SB $_{Alternative}$ entfällt wegen Aufgabengestaltung | SB $_{Alternative}$ entfällt wegen Aufgabengestaltung |
| Grundfall GF3 |  | SB_{ini} LV | SB_{ini} | SB | LV | $LV_{Alternative}$ nur störend | $LV_{störend}$ | SB $_{Alternative}$ entfällt wegen Aufgabengestaltung | SB $_{störend}$ gezielte Störung |
| Normalfall |  | LV_{ini} LV | LV_{ini} | LV | | $LV_{Alternative}$ nur störend | $LV_{störend}$ | SB $_{Alternative}$ entfällt wegen Aufgabengestaltung | (SB $_{störend}$) |

Abbildung 66: Grundfälle von Startbedingungen

Es sind die Grundfälle GF1, GF2 und GF3. Zur Gegenüberstellung ist der Normalfall des Konstruierens ohne Startbedingungen in die Darstellung mit aufgenommen. Zusätzlich sei angemerkt, dass eine Startbedingung auch in mehreren Gruppen gleichzeitig enthalten sein darf.

Der erste Grundfall GF1 nimmt einen Sonderfall ein, weil er nur aus einem bereits fertig ausgestalteten Informationsträger besteht. Er wird vollständig im Rahmen der Aufgabengestaltung gesetzt. Über den Schritt Lösungsvorschlag einlesen gelangt der zugehörige Informationsträger in die Liste aller im Lösungsvorschlag enthaltenen Informationsträger, d. h. die LVGesamtListe. Während der Element-/Gruppenbildung wird eine Statusvariable abgefragt. Wird sie bestätigt, dann ist die Gruppenbildung für die Startbedingung abgeschlossen, so dass keine weiteren Informationsträger in diese Gruppe aufgenommen werden. Alternativen und Störungen durch die Startbedingung sind aufgrund der Aufgabengestaltung nicht möglich.

Beim zweiten Grundfall GF2 setzt sich die Gruppe aus mehreren Startbedingungen zusammen. Danach wird die Liste über alle im Lösungsvorschlag enthaltenen Informationsträger nach Startbedingungen durchsucht und die Gruppe komplettiert. Sie bilden eine vollständige Gruppe. Eine Startbedingung initiiert die Gruppenbildung. Störende Startbedingungen werden durch die Aufgabengestaltung vermieden. Dies gilt auch für alternative Startbedingungen. Störende Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag dürfen im beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstand vorhanden sein.

Wird eine Gruppe durch eine Startbedingung initiiert und enthält sie weitere Startbedingungen sowie Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag, mindestens jedoch einen Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag, dann liegt der dritte Grundfall GF3 vor. Die Einschränkung weiterer Informationsträger in dieser Gruppe verhält sich analog zum zweiten Grundfall. Dabei ist zu beachten, dass zu den Informationsträgern aus dem Lösungsvorschlag alternative Informationsträger aus demselben Lösungsvorschlag nicht berücksichtigt werden, weil die entsprechende Zuordnung nach dem ersten Informationsträger beendet wird.

Der Normalfall setzt sich ausschließlich aus Informationsträgern aus dem Lösungsvorschlag zusammen. Alternative Startbedingungen werden in der Aufgabenstellung nicht gesetzt. Störende Startbedingungen sollten hierdurch ebenfalls ausgeschlossen werden. Je nach Kontext und Ausgestaltung des Lösungsvorschlages sind sie jedoch möglich. Alternative Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag und störende Informationsträger darf der beliebig fortgeschrittene Konstruktionsstand enthalten.

Abbildung 66 zeigt ein Beispiel, in dem eine Startbedingung zum einen einer Gehäusegruppe und zum anderen einer Zahnradgruppe angehört. Ein solcher Informationsträger darf allerdings nur maximal einmal eine Gruppe selbst initiieren. Die Startbedingung kann reinen Startbedingungsgruppen oder gemischten Gruppen angehören.

Es lässt sich festhalten, dass alternative Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag Gruppenstücklistenelemente ersetzen können und ggf. störend wirken. Ein störend wirkender Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag kann nicht mit in die Gruppe. In den folgenden Abschnitten werden die Startbedingungen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die einzelnen Unterschritte von Algorithmus und System vorgestellt. Dabei wird mit dem Anforderungsmanagement begonnen.

6.4.2 Anforderungsmanagement

Die Anforderungen aufgrund der Startbedingungen, d. h. KAnf+G und KAnf+A, vervollständigen den Satz von Anforderungen an die Konstruktion. Deshalb müssen sie zueinander passen. Es gelten für sie dieselben Voraussetzungen, insbesondere die Widerspruchsfreiheit, welche im gesamten Satz aufrechtzuerhalten sind.

6.4.3 Anforderungen einlesen

Auf der expliziten Ebene der Anforderungen an die Konstruktion sind Ergänzungen hinsichtlich KAnf+G und KAnf+A vorzunehmen, wenn Startbedingungen voll genutzt werden sollen. Pro Startbedingung sind die entsprechenden Anforderungen in die Liste über alle Anforderungen an die Konstruktion aufzunehmen, so dass im weiteren Verlauf der Untersuchung die Anforderungserfüllungsuntersuchung durchführbar bleibt.

6.4.4 Konstruktion erstellen

Dabei geht es um das Einbringen der Startbedingungen in die Konstruktion als Offset des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes im Rahmen der Aufgabengestaltung. Während für die Aufgabengestaltung gilt, dass die Startbedingungen getestet werden dürfen, gibt es für die Aufgabenbearbeitung Einschränkungen. Sie führt die Konstruktion mit dem Offset aus Startbedingungen Richtung Anforderungserfüllung weiter. Allerdings ist es dabei nicht erlaubt, die Startbedingungen zu verändern, zu löschen oder neue Startbedingungen zu generieren. Zur Unterstützung der Konstruierenden sollten die Startbedingungen farblich gekennzeichnet werden.

6.4.5 Lösungsvorschlag einlesen

Zur informationstechnischen Kennzeichnung der Startbedingungen gibt es in der Informationsträgervariablen eine entsprechende Eigenschaft. Diese wird bei der Konstruktionserstellung gesetzt und beim Einlesen des Lösungsvorschlages übernommen.

6.4.6 Voruntersuchung

Die Abbruchuntersuchung berücksichtigt keine Startbedingungen. Aus der Aufgabengestaltung dürfen keine mehrfachen Startbedingungen stammen, deshalb ist für diese auch keine Reinigung erforderlich. Die Dopplung von Startbedingungen und Informationsträgern aus dem Lösungsvorschlag kann jedoch je nach Kontext zu hinterlegen sein. Es dürfen aber keine Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag, welche alternative Lösungen zu den gegebenen Startbedingungen darstellen, durch die Voruntersuchung gelöscht werden, um auch diese Fehler zu erkennen.

6.4.7 Element-/Gruppenbildung

Es folgt die Vorstellung der Zusammenhänge von der Element-/Gruppenbildung mit Startbedingungen am Beispiel der Gruppe. Elemente und Basiselemente sind analog zu behandeln, so dass die stellvertretende Betrachtung der Gruppen ausreichend ist. Es bleibt im Vorfeld festzuhalten, dass Startbedingungen optional vorhanden sein können, jedoch nicht vorliegen müssen.

Zur Berücksichtigung der Startbedingungen, welche von den Informationsträgern aus dem Lösungsvorschlag ergänzt werden, wird das Prinzip verfolgt, dass die Startbedingungen stets vor dem Lösungsvorschlag zu behandeln sind. Es sei angenommen, dass die Startbedingungen in der Aufgabenerstellung zielorientiert verwendet werden. Der Lösungsvorschlag darf Alternativen zu den Startbedingungen enthalten, obwohl dies eine Dopplung darstellt. Deshalb ist das Sicherstellen der Bevorzugung der Startbedingungen erforderlich. Alternativen von Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag werden durch das Prinzip first-come-first-serve in der Liste über alle Informationsträger gemangt. Es ist keine Priorisierung durch SB-Informationen möglich. Weil die Alternativen gleichberechtigt sind, wird das Prinzip first-come-first-serve gewählt.

Wenn die Startbedingungen eindeutig sind, dann ist eine zielgerichtete Untersuchung möglich. Falls es bei den Startbedingungen Interpretationsmöglichkeiten im Zusammenhang mit den Informationsträgern aus dem Lösungsvorschlag gibt, dann läuft die Analyse möglicherweise in eine nicht angestrebte Richtung. Dies liegt z. B. vor, wenn die Startbedingung eine Loslagerstelle darstellt. Mit Informationsträgern des Lösungsvorschlages kann hieraus eine Festlagerstelle werden. Durch eine Konstruktionserstellung mit vordefinierten Gruppen kann die Eindeutigkeit der Lagerstelle erreicht werden. Wird mit einzelnen Informationsträgern eine zusätzlich unvollständige Loslagerstelle lanciert, dann wird der Fall je nach vorliegendem Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag zur Interpretation (vgl. Abbildung 67).

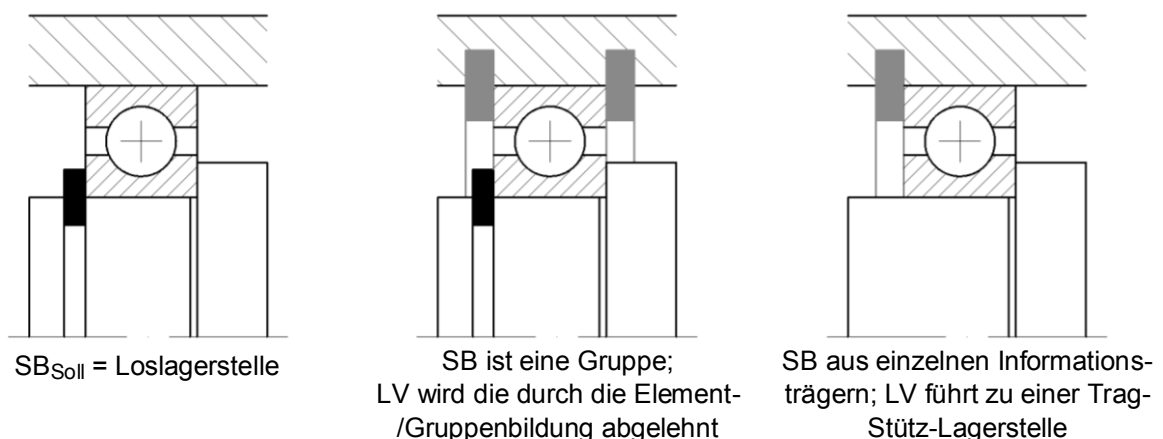


Abbildung 67: Gruppe durch SB (schwarz) und LV (grau) für eine Loslagerstelle

Damit ergibt sich wegen der Startbedingung eine modifizierte Form der Gruppenbildung nach Abbildung 68. Die Liste über alle im Lösungsvorschlag enthaltenen Informationsträger wird nach Startbedingungen und Lösungsvorschlagsinhalten sortiert. Damit werden die Start-

bedingungen bevorzugt. Gibt es keine Startbedingungen, dann ist eine Sonderbehandlung nicht erforderlich. Dieser Aufbau steigert die Performance. Liegt eine Startbedingung vor, so wird die Gruppenbildung initiiert. Die Gruppenstückliste wird zuerst nur mit Startbedingungen gefüllt. Falls die Gruppe nach dem Durchlaufen aller Startbedingungen immer noch unvollständig ist, dann erhält die Gruppenstückliste weitere Einträge durch Lösungsvorschlagsinhalte. Anschließend wird der Gruppentyp bestimmt. Nun folgt die Gruppenbildung für die Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag nach dem bereits beschriebenen Muster, jedoch mit Berücksichtigung des Prinzips first-come-first-serve.

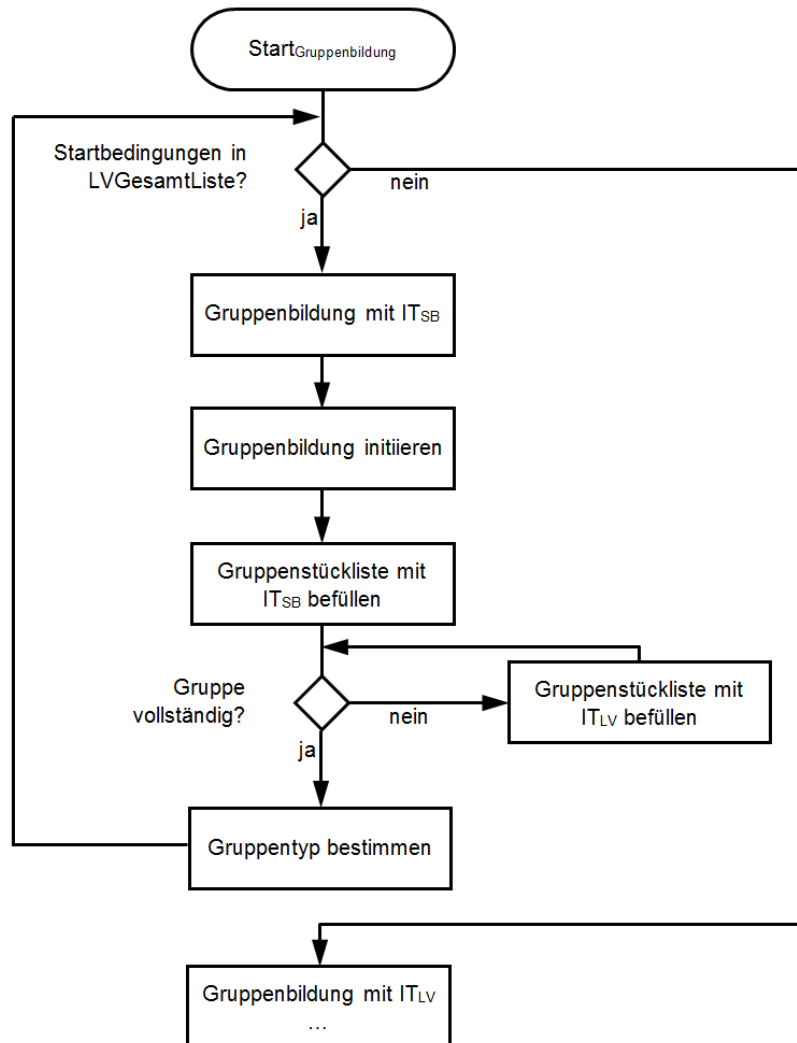


Abbildung 68: Ablauf Gruppenbildung wie oben mit first-come-first-serve inklusive Startbedingungen

Dopplung von Gruppen

Die Behandlung der Dopplung einzelner Informationsträger übernimmt die Voruntersuchung. An dieser Stelle wird die Dopplung von Gruppen im Sinne von parallelen, alternativen Gruppen verstanden. Dieser Schritt ist nach abgeschlossener Gruppenbildung durchzuführen. Beim Grundfall GF2 gibt es aufgrund der Bedingung, dass die Aufgabenstellung korrekt sein muss, nur ungültige Alternativen durch Lösungsvorschlagsinhalte. Nach Abbildung 69 sind die IT_{SB}-Gruppen jeweils mit allen IT_{LV}-Gruppen auf Dopplung zu untersuchen. Für den Fall der Dopplung von IT_{LV}-Gruppen durch Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag erfolgt

die Untersuchung innerhalb der IT_{LV}-Gruppen. Untersucht wird dabei, ob der gleiche Gruppentyp vorliegt. Bei gleichem Gruppentyp wird dann eine Löschung der Dopplung eingeleitet sowie eine Protokollierung vorgenommen.

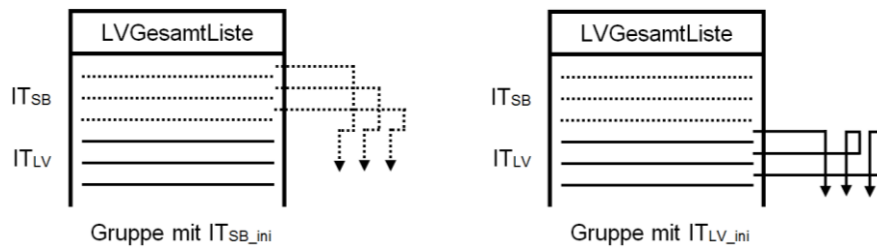


Abbildung 69: Untersuchungsablauf bezüglich der Dopplung von Gruppen

6.4.8 Zusammenwirken von Anforderungserfüllungspotenzial- und Anforderungserfüllungsuntersuchung

Die Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung sind auch bei den Startbedingungen eng miteinander verknüpft. Dies liegt vor allem daran, dass die Startbedingungen in erster Linie in Gruppen verwendet werden, deren Beziehungen zu den Gruppenstücklistenelementen über die Verknüpfung der Untersuchungsschritte abgebildet wird. Deshalb werden im Folgenden beide Untersuchungen gemeinsam beschrieben.

Bei der Untersuchung von Informationsträgern sind die Anforderungserfüllungsgrade für die Anforderungen an die Konstruktion aus der KAnfListe und die verhaltensbeschreibenden Anforderungen der Informationsträger zu beleuchten. Auf Seiten der Anforderungen an die Konstruktion stehen die LH, KAnf+G und KAnf+A, auf Seiten der Informationsträger die Gestaltungs-, Verträglichkeits- und Funktionsanforderungen. Soll ein Anforderungserfüllungsgrad im Zusammenhang mit einer Startbedingung ermittelt werden, dann sind die drei Grundfälle mit zu betrachten. Die Abbildung 70 gibt die Kombinationen der jeweiligen Fälle wieder.

| Regel allgemein = f (Technik, KAnf) Regelanwendung = f (IT _{SB} , IT _{LV} ; Aufgabenstellung) | | IT-Verhalten | | | KAnf | | |
|--|--|---|-----------------------------|------|---|---|---|
| | | GAnf | VAnf | FAnf | LH | KAnf+G | KAnf+A |
| Grundfälle | GF1 SB _{ist} = SB _{Gfertig} | fertig durch Aufgabenstellung; störungsfrei | | | - | - | SB _{ist} setzt KAnf+A |
| | GF2 SB _{ist} = SB _{ini} + weitere SB | Störung durch IT _{LV} | | | - | - | Erfüllung durch andere IT _{LV} |
| | GF3 SB _{ist} = SB _{start} + LV _{rest} = { mit SB _{start} = SB _{ini} + weitere SB | ≠ Solltyp = Solltyp | IT _{Typ} -abhängig | | - | - | SB _{start} setzt KAnf+A |
| | | | | - | SB _{start} setzt KAnf+G Erfüllung durch SB _{ist} | Erfüllung durch andere IT _{LV} (ggf. durch LV _{rest}) | |

Abbildung 70: Anforderungserfüllungsgraduntersuchung und Startbedingungsgrundfälle

Die ersten beiden Grundfälle verhalten sich ähnlich. Ihr Informationsträgerverhalten ist seitens der Aufgabenstellung vordefiniert, kann aber durch den Lösungsvorschlag gestört werden. Während beim Grundfall GF1 keine weiteren Informationsträger vorhanden sind, besteht der Grundfall GF2 aus mehreren Startbedingungen, so dass dort die Funktionsanforderungen für die Gestaltungsanforderungen der Gruppe zu berücksichtigen sind. Der Grundfall GF3 kennzeichnet sich dadurch aus, dass eine Initiierung in Form vorgegebener Startbedin-

gungen zu einer Gruppe führt, welche um Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag ergänzt werden muss. Diese Ergänzung läuft entweder derart ab, dass der geforderte Solltyp der Gruppe erreicht wird oder ein abweichender Typ im Lösungsvorschlag zu finden ist. Das Informationsträgerverhalten richtet sich bei beiden Varianten nach dem Isttyp der Gruppe. Es können wie bei den anderen Grundfällen auch Störungen vorliegen.

In Bezug auf die Anforderungen an die Konstruktion ist festzuhalten, dass die KAnf+A jeweils durch die Grundfälle GF1 und GF2 sowie GF3 (Variante=Solltyp) gesetzt werden. Die Erfüllung von KAnf+A vollzieht sich jedoch durch andere Informationsträger des Lösungsvorschlages. Die Variante GF3 (Variante≠Solltyp) stellt die Möglichkeit „geeignete Wahl“ dar, deshalb trägt auch ein falscher Isttyp nicht zu KAnf+A bei. KAnf+G ist nur durch den GF3 (Variante=Solltyp) zu setzen und auch gleichzeitig durch die Lösungsvorschlagsanteile zu erreichen. Um die Aufgabenstellung klar hinsichtlich LH, KAnf+G und KAnf+A zu trennen, sind die Grundfälle, d. h. die Gruppen mit Startbedingung bzw. Startbedingungsanteil, unabhängig von den Anforderungen vom Typ LH. Die Grundfälle müssen entsprechend nicht gegen die Anforderungen vom Typ LH untersucht werden.

Es zeigt sich, dass es allgemeine Regeln gibt, welche von der Technik und den Anforderungen an die Konstruktion abhängen. Die Anwendungen der Regeln hingegen stehen in Beziehung zu den Informationsträgern des Lösungsvorschlages und den Startbedingungen sowie dem Aufgabentest und der Aufgabenbearbeitung. Im Folgenden wird geschildert, wie sich die Inhalte der Abbildung 70 auf die Grundfälle in der Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung verwenden lassen.

Grundfall GF1

Mit Abbildung 71 sind die zu betrachtenden Punkte für die Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung des ersten Grundfalls GF1 aufgeführt. Weil die Startbedingungen in erster Linie im Kontext von Informationsträgergruppen vorgestellt werden, ist der Pfad, welcher die Gruppenstücklistenelemente mit der zugehörigen Gruppe verbindet, mit aufgenommen. Er ist gestrichelt dargestellt. Hinsichtlich dieser und der nächsten beiden Abbildungen gilt, dass durchgezogene Linien der bereits beschriebenen Untersuchungsmethodik folgen und gepunktete Linien vor dem Hintergrund der Besonderheiten der Startbedingungen anfallende Teiluntersuchungen kennzeichnen.

Der erste Grundfall zeichnet sich dadurch aus, dass ein Informationsträger vorliegt, der bereits eine fertige Gruppe verkörpert. Die Gruppenbildung bricht bei seiner Identifikation sofort ab, so dass keine weiteren Informationsträger die Gruppe ergänzen. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass dieser Informationsträger technisch und anforderungsgerecht im Sinne der Aufgabengestaltung ausgeführt ist. Störungen durch andere Startbedingungen oder Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag sind im Vorfeld ausgeschlossen. Weil diese Startbedingung keinen eigenen Beitrag zur Erfüllung der Anforderungen an die Konstruktion besitzen darf, entfällt die gesamte Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung. Der erste Grundfall eignet sich somit nur zum Setzen von Randbedingungen in der Konstruktion hinsichtlich der Anforderungen vom Typ KAnf+A, auf welche der Lösungsvorschlag aufbauen soll.

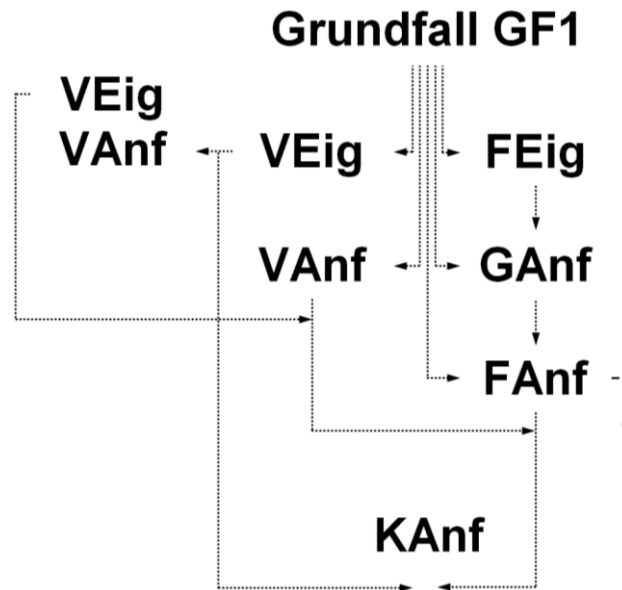


Abbildung 71: Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung für den Grundfall GF1

Grundfall GF2

Bei der Untersuchung des zweiten Grundfalls sind die in Abbildung 72 aufgeführten Informationsträger wichtig. Zu ihnen gehören die Startbedingungen. Von diesen gibt es mehrere, mindestens jedoch neben dem die Gruppe initiiierenden einen weiteren Informationsträger, der eine Startbedingungen darstellt. Weiterhin dürfen beliebig viele alternative und störende Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag vorhanden sein. Alternative Informationsträger sind überflüssige Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag in Form von Alternativen zu den Startbedingungen und störende Informationsträger sind Informationsträger, die für andere Zwecke im Lösungsvorschlag enthalten sind, jedoch auch störend wirken können. Um die Aufgabenstellung widerspruchsfrei zu halten, dürfen weder alternative noch störende Informationsträger vorliegen. Die Gruppe dieses Grundfalls wird nur aus Startbedingungen gebildet. Die alternativen und störenden Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag wirken sich potenziell störend auf die Startbedingungen sowie die Gruppe aus diesen Startbedingungen aus. Als Prinzip soll gelten, dass eigene Gruppenstücklistenelemente die Gruppe selbst nicht stören. Solche störenden Einflüsse übernimmt, falls erforderlich, die Gestaltungsanforderungsuntersuchung. Im Falle der Startbedingungen gilt dieses Prinzip aufgrund der Aufgabengestaltung. Deshalb stören die Startbedingungen die Gruppe aus Startbedingungen nicht. Weil es um die Startbedingungen geht, wird die Störung der alternativen und störenden Informationsträger durch die Startbedingungen nicht behandelt. Im dritten Grundfall gibt es störende Startbedingungen, die Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag stören. Dabei haben diese Informationsträger Einfluss auf die Gruppen. D. h. zwischen den Gruppen über die Gruppenstücklistenelemente hinweg ist dieses Störverhalten mit aufgenommen. Dies stellt jedoch einen an dieser Stelle nicht weiter zu vertiefenden Sonderfall dar. Beide Startbedingungen tragen über ihre Funktionsanforderungserfüllungsgrade zur Gestaltungsanforderungserfüllung der Gruppe bei. Werden die Startbedingungen durch den Lösungsvorschlag gestört, so wird auch die Gruppe gestört. Diese Störung ist nur auf den Lösungsvorschlag zurückzuführen, d. h. die Schritte der

Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung reduzieren sich auf die Verträglichkeitsanforderungserfüllungsuntersuchung und die Funktionsanforderungserfüllungsuntersuchung. Die Startbedingungen selbst leisten jedoch definitionsgemäß keinen eigenen Beitrag zu den Anforderungen an die Konstruktion, somit entfällt ihre Anforderungserfüllungsuntersuchung. Durch den Einfluss auf die Gestaltungs- und Verträglichkeitsanforderungen der Gruppe aus Startbedingungen wird die Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung getragen. Eine Anforderungserfüllungsuntersuchung der Gruppe ist wegen der vollständigen Startbedingungsangabe nicht erforderlich. Durch die Störung des Lösungsvorschlages kann eine Untersuchung der Anforderungen vom Typ KAnf+G ggf. angestoßen werden.

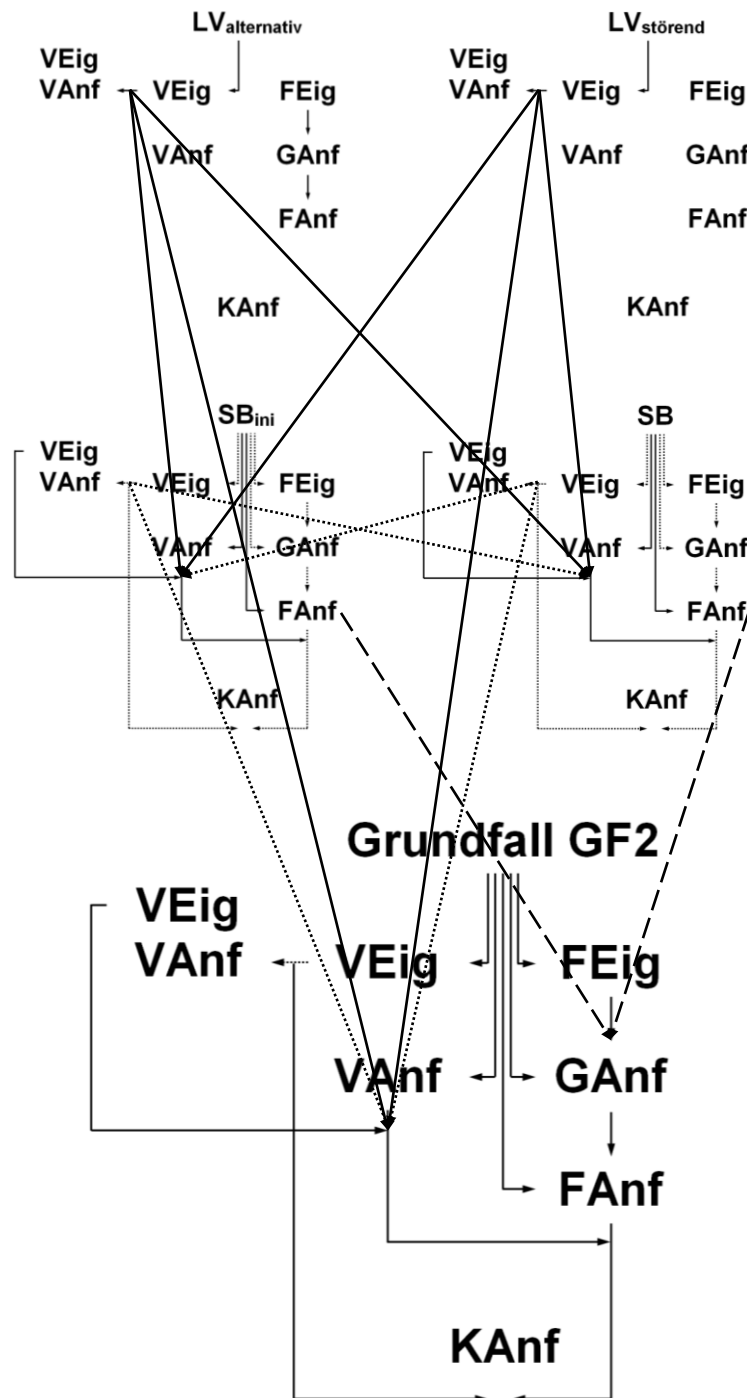


Abbildung 72: Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung für den Grundfall GF2

Grundfall GF3

Besteht eine Gruppe aus Startbedingungen und Informationsträgern des Lösungsvorschlages, dann liegt der dritte Grundfall GF3 vor. Abbildung 73 erweitert somit den Grundfall GF2 um zusätzliche Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag, die zu den Gruppenstücklistenelementen gehören, sowie störende Startbedingungen. Dabei ist in der Aufgabenstellungsgestaltung darauf zu achten, dass durch die störenden Startbedingungen zwar ein gezieltes Stören erwirkt werden darf, jedoch eine vollständige Einschränkung des Lösungsvorschlages insgesamt zu verhindern ist. Die Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag wirken weder störend auf die anderen Gruppenstücklistenelemente, noch werden sie durch diese gestört.

Weil ein Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag vollständig in der Aufgabenbearbeitung konstruiert wird, ist er auch vollständig mit Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung zu analysieren. Dies gilt mit der Einschränkung, dass Störungen innerhalb der Gruppenstückliste nicht berücksichtigt werden. Die Anforderungserfüllungsuntersuchung liefert die Ergebnisse auch zu anderen Anforderungen an die Konstruktion, als diejenigen an die Gruppe. Stellt der Lösungsvorschlag selbst eine Gruppe dar, an welche Anforderungen vom Typ KAnf+G gestellt sind, so wird deren Erfüllungsgrad an dieser Stelle bestimmt. Andere Anforderungen vom Typ KAnf+A als die, welche die Gruppe erfüllen soll, können ebenfalls untersucht werden.

Analog zu den Informationsträgern aus dem Lösungsvorschlag wird auch die Gruppe selbst maßgeblich in der Aufgabenbearbeitung gestaltet. Ihre Untersuchung ist vollständig durchzuführen. Dabei sei auf die gezeigten Abhängigkeiten hinsichtlich Gestaltungs- und Verträglichkeitsanforderungen hingewiesen. Die abschließende Anforderungserfüllungsuntersuchung unterscheidet, welche Variante des Grundfall GF3 vorliegt. Aufgrund der besonderen Stellung eines Informationsträger mit Startbedingung leistet ein solcher nur einen Beitrag zu den speziell für ihn in die Liste über alle Anforderungen an die Konstruktion eingefügten Anforderungen vom Typ KAnf+G. Liegt nicht der Solltyp vor, so ist die Möglichkeit „geeignete Wahl“ fehlerhaft ausgeführt, d. h. eine Aussage zu einer Anforderung vom Typ KAnf+G eines damit anderen Typs ist nicht möglich. Für den Fall, dass der Solltyp passt, sind die Anforderungen vom Typ KAnf+G zu untersuchen. Es lässt sich weiter schließen, dass die ersten beiden Grundfälle für die Untersuchung eine untergeordnete Rolle spielen.

6.4.9 Restmengenuntersuchung

Die Restmengenuntersuchung stellt eine Liste zur Verfügung, in der alle Informationsträger zusammengefasst werden, die nicht mit der Anforderungserfüllungsuntersuchung analysiert wurden. Um die mit dieser Liste mögliche Zusatzuntersuchung zu unterstützen, werden die Startbedingungen mit angegeben und entsprechend gekennzeichnet.

6.4.10 Lagedarstellung

In der Lagedarstellung finden sich alle Teilergebnisse. Sind bei dem jeweiligen Teilergebnis Vermerke auf Startbedingungen enthalten, dann werden diese mit ausgegeben.

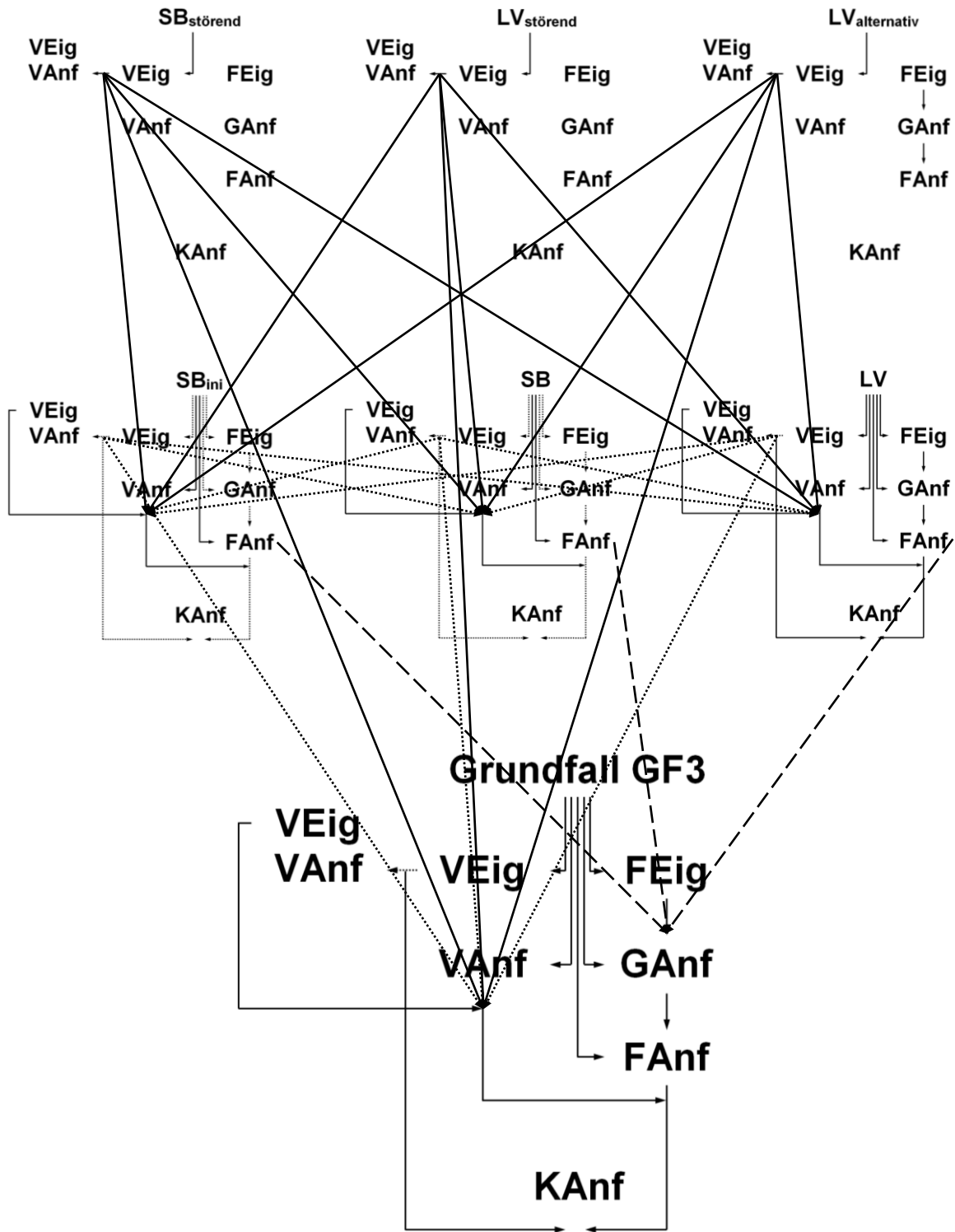


Abbildung 73: Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung für den Grundfall GF3

6.4.11 Leistungseinordnung

Startbedingungen sind bei der Leistungseinordnung besonders zu handhaben, denn die einzuordnende konstruktive Leistung ist aus den Informationsträgern aus dem Lösungsvorschlag abzulesen und nicht aus den Startbedingungen. Deshalb dürfen auch Anforderungen, die durch die Startbedingungen erfüllt werden, nicht in der Liste über alle Anforderungen an die Konstruktion enthalten sein. Anforderungen, welche durch diese Liste in Form von KAnf+G und KAnf+A ergänzen, sind hinsichtlich der Leistungseinordnung wie die Anforderungen vom Typ LH zu behandeln.

6.4.12 Vorschläge

Bei vollständigen Gruppen aus Startbedingungen sind keine Vorschläge erforderlich. Bei gemischten Gruppen aus Startbedingungen und Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag sind Vorschläge sinnvoll. Es können dabei auch besonders auf die Startbedingungen abgestimmte Vorschläge hinterlegt werden.

Es bleibt festzuhalten, dass Startbedingungen optional sind. Wenn sie vorliegen, beeinflussen sie die einzelnen Untersuchungsschritte wie gezeigt. Dieser Aufwand zahlt sich aus, wenn Startbedingungen sinnvoll eingesetzt werden. Ein Beispiel dafür stellt das Auflösen von Gruppenleistungen dar (vgl. Abbildung 74), um die Entlohnung festzulegen oder Zuliefererteilleistungen zu beurteilen.

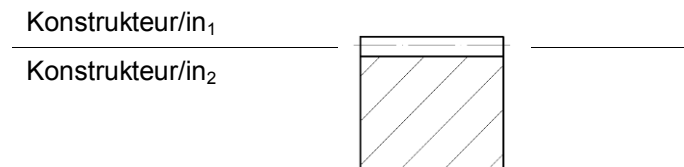


Abbildung 74: Anwendungsfeld von Startbedingungen

6.5 Allgemeine Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau

Die konkrete Umsetzung von Algorithmus und System erfolgt im zugehörigen Projekt anhand des Projektkontextes. Dabei sind hinsichtlich der Umsetzung der einzelnen Schritte einige Punkte zu beachten, die entweder allgemein der vorgestellten Lösung entsprechen oder spezielle Besonderheiten aufgrund des jeweiligen Kontextes aufweisen. Die allgemeine Vorgehensweise stellt diese Punkte in Abbildung 75 für den Hilfsmittelbau zusammen. Jeder einzeln aufgeführte Schritt vom Anforderungsmanagement bis zu den Folgeprozessen erfordert je nach Kontext, d. h. Eigenarten des Produktes (P) und des Organisationsrahmens (O), seine individuelle Ausgestaltung. Besonders hervorzuheben ist dabei die Produktzergliederung, um auf der Seite der Konstruktionserstellung eine geeignete Vielfalt von Informationsträgern bereitzustellen und auf der Untersuchungsseite die Element-/Gruppenbildung, die Anforderungserfüllungspotenzial- und die Anforderungserfüllungsuntersuchung entsprechend anzupassen.

| | |
|--------------------------------|--|
| Anforderungen | Anforderungsmanagement [für alle KAnf des Kontextes] <ul style="list-style-type: none"> • (P) festlegen KAnf, die Produktspektrum erfüllen soll • (O) Maßnahmen zur Sicherstellung der Voraussetzungen • (P, O) spezielle KAnf: TZ • (P, O) Textentsprechung KAnf <ul style="list-style-type: none"> ○ empfängerorientiert ○ niveaurorientiert ○ explizit ○ implizit: ja(→Form)/nein [falls ja, dann welche Form] [Übertragungsleistung] • (O) unterstützende Skizzen: ja(→Form)/nein • (O) SB inkl. Textentsprechung: ja/nein • (O) Verwaltung von KAnf |
| | Anforderungen einlesen <ul style="list-style-type: none"> • (O) Schnittstelle zwischen Programmteilen einrichten |
| Lösungsvorschlag | Konstruktion erstellen [für alle Informationsträger des Produktspektrums] <ul style="list-style-type: none"> • (O) Zergliederungsstufe der kleinsten Konstruktionserstellungseinheit festlegen • (O) IT_{fertig} vorgeben und mit Konstruktionserstellungsgrundeigenschaften versehen • (O) IT_{fertig} und IT_{aus} Stücklistenelementen für gleiche Inhalte abstimmen • (O) interne oder externe Konstruktionsumgebung • (O) frei, Baukasten oder Kombination aus beiden • (P, O) alle Informationsträger ermöglichen • (O) Datenquelle (Schnittstelle CAD-Systeme, eigenes System) • (O) KQ – AQ Verhältnis einstellen • (O) Zeichnung in produktdarstellende Strukturen + IT_{VAR}-Zugänglichkeit <ul style="list-style-type: none"> ○ Zeiteinschränkung und andere Beschränkungen = f(Kontext) ○ Produktdarstellende Struktur: TZ, 2D, 3D, Halbdarstellung, Voldarstellung, Anzahl Ansichten |
| | Lösungsvorschlag einlesen <ul style="list-style-type: none"> • (O) Schnittstelle zwischen Programmteilen einrichten • (O) Erkennungsfunktionalität: ja/nein |
| Lageerkennung | Voruntersuchung <ul style="list-style-type: none"> • (O) Grenzen für Abbruch festlegen • (O) Toleranzen für Reinigung festlegen |
| | Element-/Gruppenbildung <ul style="list-style-type: none"> • (P) Zergliederungsrückführung durchführen (=f(Zergliederungsstufen, AnferpotU, AnferfU, KAnf)) • (P) Elementbildungsregeln festlegen • (P) Gruppenbildungsregeln festlegen <ul style="list-style-type: none"> ○ Regeln ○ Toleranzen ○ Indikator [unter Berücksichtigung von KAnf] |
| | Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung <ul style="list-style-type: none"> • (P) IT-Verhalten in Regeln für Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung bestimmen <ul style="list-style-type: none"> ○ VFEig, GVFAnf für IT nach Zergliederung [IT = IT_{LV}, IT_{SB}] ○ FAnf_{Gruppenstücklistenelement} → GAnf_{Gruppe} ○ Regeln |
| Abgleich | Anforderungserfüllungsuntersuchung <ul style="list-style-type: none"> • (P) IT-Verhalten in Regeln für Anforderungserfüllungsuntersuchung bestimmen <ul style="list-style-type: none"> ○ VEig, FEig ○ Regeln |
| | Restmengenuntersuchung <ul style="list-style-type: none"> • (O) Darstellung und Verwaltung der Restmenge festlegen • (O) Berücksichtigung Restmengenuntersuchungsergebnis in weiteren Schritten festlegen |
| qualifiziertes Feedback | Lagedarstellung <ul style="list-style-type: none"> • (O) Darstellung und Verwaltung von Ergebnissen |
| | Leistungseinordnung <ul style="list-style-type: none"> • (O) Grenzen festlegen • (O) Grenze für „erfolgreiche Prüfung“ festlegen • (O) Darstellung und Verwaltung von Leistungseinordnung und Ergebnis „erfolgreiche Prüfung?“ |
| | Vorschläge <ul style="list-style-type: none"> • (P) Vorschläge definieren, ggf. unter Berücksichtigung von KAnf • (O) Darstellung und Verwaltung von Vorschlägen |
| | Folgeprozesse <ul style="list-style-type: none"> • (O) Schnittstelle zwischen Programmteilen einrichten |

P: Produkt, O: Organisationsrahmen

Abbildung 75: Allgemeine Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau

7 Validierung

Nachdem die Lösung erarbeitet ist, wird in diesem Kapitel ihre Validierung bezüglich der gestellten Ziele nachvollzogen. Dazu wird zunächst der Validierungskontext einer Onlineklausur beschrieben. Hierauf wird die allgemeine Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau angewendet. Das Ergebnis daraus ist ein Testprototyp, dessen Programmierung und Funktionalität dargelegt wird. Mit seiner Hilfe erfolgt die Validierung der Ziele.

7.1 Validierungskontext

Abbildung 76 zeigt die Hauptkontexte mit ausgewählten Varianten, welche in den Rahmen der Arbeit passen.

| Konstruieren in der Prozesskette | Qualifikationsnachweisführung |
|--|---------------------------------|
| Wareneingangsprüfung | Ausbildung |
| Konstruieren in der Konstruktionsabteilung | LMS/eLearning |
| Begleitung der Konstruktionserstellung | Vorlesung – Prüfungsleistung |
| Normenstelle | Onlineklausur |
| Freigabeprüfung | Testat |
| Schadensfalluntersuchung | Assessment |
| Produktanalyse | Qualifikationsbedarfsermittlung |
| Analyse fremder Produkte (Benchmark) | |
| Analyse alter eigener Produkte | |

Abbildung 76: Hauptkontexte mit ausgewählten Varianten

Die Konstruktionskontrolle beinhaltet die Prüfung der Konstruierenden, deshalb erfolgt eine Bevorzugung der Qualifikationsnachweisführung mit seinen Varianten für das Validierungsbeispiel. Die Aussagen der Abbildung 77 unterstützen diese Auswahl. Die qualitative Einordnung der Kontextvarianten vollzieht sich bezüglich Rückmeldezeit und Informationsträgeranzahl. Die Rückmeldezeit gibt die Antwortzeit des Kontrollsystems an. Eine kurze Antwortzeit ist je nach Kontext mehr oder weniger von Bedeutung. Die Informationsträgeranzahl stellt die Menge an möglichen Informationsträgern innerhalb einer zu untersuchenden Konstruktion bzw. innerhalb eines Produktspektrums dar. Das im jeweiligen Kontext zu erstellenden Produkt spannt den Rahmen von einer kleinen Konstruktion, z. B. Spannvorrichtung aus wenigen Einzelteilen, bis zu Großkonstruktionen, z. B. Schienenfahrzeug mit mehreren tausend Einzelteilen, auf. Je mehr Informationsträger in der Konstruktion vorhanden sind, desto größer ist der Abbildungsaufwand im Kontrollsystem. Beispielhaft ist die auftragsbezogene Konstruktionserstellung als wichtiger Teil der Prozesskette des Produktlebenszyklus zu nennen. Mit Abbildung 40 Fall C ist der Aspekt der kritischen Rückmeldezeit bereits angesprochen. Ein besonderes Interesse bietet der Bereich nahe dem Ursprung. Dort sind Zeitanforderungen und Mengen moderat, so dass sich die Qualifikations-

nachweisführung in Form einer Onlineklausur als Validierungsbeispiel eignet. Dadurch wird das grundsätzliche Validieren der Lösung möglich, ohne auf Kompromisse und Besonderheiten der anderen Kontextvarianten eingehen zu müssen. Das Validierungsergebnis erfährt somit einen geringstmöglichen Einfluss im Vergleich zu den anderen Kontextalternativen und bleibt frei von eventuellen Verfälschungen. Es ist festzuhalten, dass die Onlineklausur als Validierungsbeispiel gewählt wird.

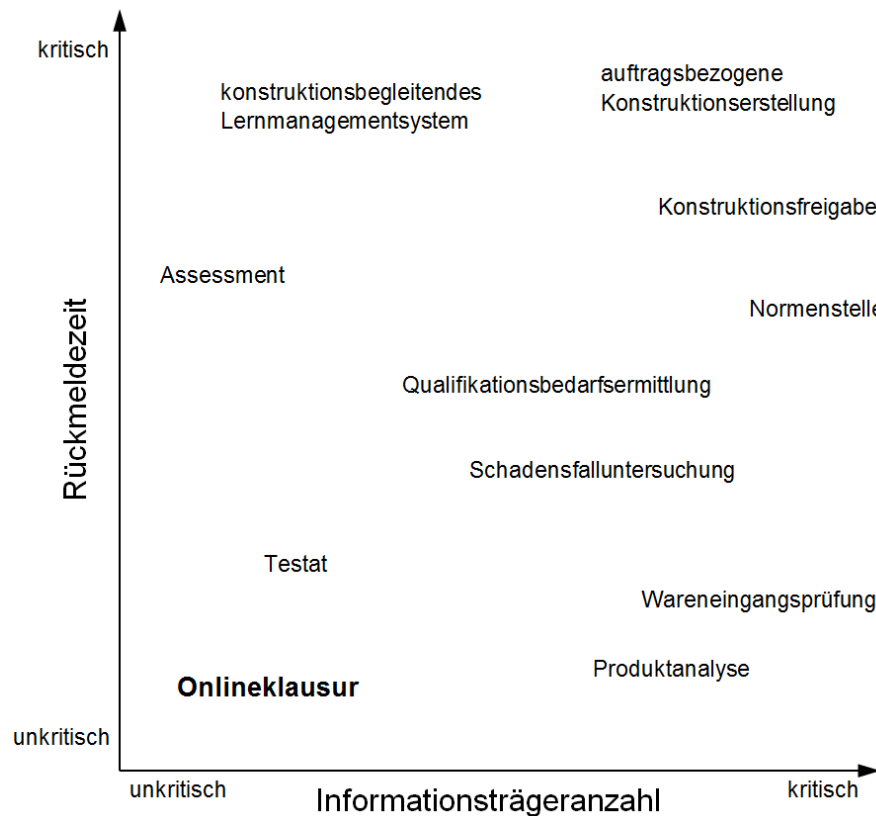


Abbildung 77: Qualitative Einordnung der Varianten der Hauptkontexte

Qualifikationsnachweisführung: Produkt/Teilespektrum

In Anlehnung an bisherige Klausuren am Fachgebiet Maschinenelemente der TU Dortmund, wie sie auch in Abbildung 13 betrachtet werden, wird eine Welle mit Zahnrad, im Gehäuse gelagert, inklusive Schmierung gewählt (vgl. Abbildung 78). Mit Abbildung 13 ist gezeigt, dass ein vollständiger, konstruktionstechnisch korrekter und anforderungsgerechter Lösungsvorschlag besonders im vorliegenden Kontext der Grenzfall ist. D. h. es ist mit beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsständen zu rechnen, welche zu untersuchen sind. Damit lässt sich die Eignung des Beispiels für die Validierung feststellen.

Zur Konstruktionserstellung, d. h. der Aufgabenbearbeitung, werden Informationsträger der Typen Wälzlager, Wellenelemente (Wellenabsatz, Fase, Gewinde, ...), Wellenmutter, Sicherungsringe, Gehäuseelemente für Guss- und Schweißgehäuse, Zahnradelemente, Buchsen und Dichtungen, wie Radialwellendichtringe, zur Verfügung gestellt. Richtig angeordnet führen diese Informationsträger zu den Gruppen Lagerstelle, Lagerung, Zahnrad,

Dichtung, Welle und Gehäuse. Dabei ist zu vermerken, dass die Lagerung eine Gruppe ist, welche sich aus mehreren Gruppen, d. h. den Lagerstellen, zusammensetzt.

Im Zusammenhang mit dem gewählten Produkt lassen sich entsprechende Aufgabenstellungen formulieren. Es bietet sich an, den Aufbau der Formulierung gruppenbezogen wie folgt zu gestalten:

„Es ist eine **Gruppe** vom Typ ... zu konstruieren;
 (optional) in der **Ausprägung** ...;
 (optional) unter den **Randbedingungen**“

Dieser dreiteiligen Struktur werden Anforderungen an die Konstruktion mit unterschiedlichem Inhalt zugeordnet. Der erste Teil entspricht einer muss-Anforderung. D. h. die geforderte Gruppe ist im richtigen Typ, in der richtigen Anzahl und nach den gruppenspezifischen Gestaltungsregeln zu konstruieren, um dieser muss-Anforderung zu genügen.

Für die weiteren Teile der Aufgabenstellung gilt, dass sie optional sind und auch mehrfach vorhanden sein dürfen. Der zweite Teil definiert dabei die Gruppensollausprägung. Als Voraussetzung muss die im ersten Teil geforderte Gruppe zumindest in Ansätzen im Lösungsvorschlag vorhanden sein. Ist dies der Fall, dann ist die Untersuchung der vorhandenen Ausprägung mit einer Ausprägungsanforderung möglich. Der dritte Teil ist zur gezielten Einschränkung des Lösungsspektrums in die Struktur der Aufgabenstellung eingebaut. Deshalb wird eine ausschließende Anforderung an die Konstruktion eingeführt. Sie schließt alle Lösungen aus dem Gültigkeitsbereich aus, welche Informationsträger eines bestimmten Typs beinhalten. Nachstehend ist eine Beispielaufgabe angegeben:

„Es ist eine Lagerung vom Typ **Fest-Los-Lagerung** zu konstruieren;
 die Lagerung ist für **hohe axiale Kräfte** auszulegen;
 aus beschaffungstechnischen Gründen ist auf die Verwendung von **Sicherungsringen** zu verzichten.“

In Abbildung 78 befindet sich eine Aufgabenlösung. Sie ist im Sinne des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes, der mit dem Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen untersucht werden kann, unvollständig und zeigt damit einen der durchgeführten Validierungstests.

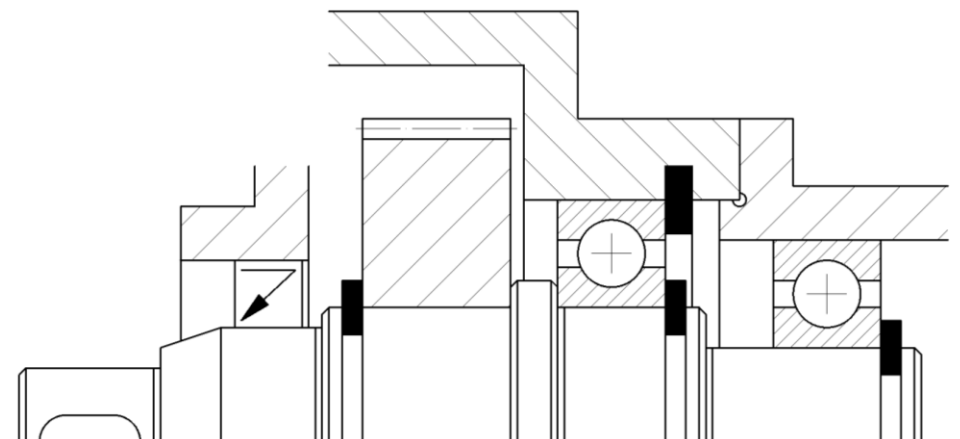


Abbildung 78: Validierungsbeispiel

Qualifikationsnachweisführung: Organisationsrahmen

Abbildung 79 stellt den Ablauf von der Wissensvermittlung bis zu Kontrolle und deren Ergebnisablage dar. Die Schritte Aufgabe erstellen bis Ergebnisausgabe lassen sich auch für die Validierungstests verwenden. Ein wichtiges Merkmal bei der Qualifikationsnachweisführung ist die Gewährleistung einer abgeschlossenen Konstruktionsumgebung, in welcher die Aufgabenbearbeitung erfolgt.

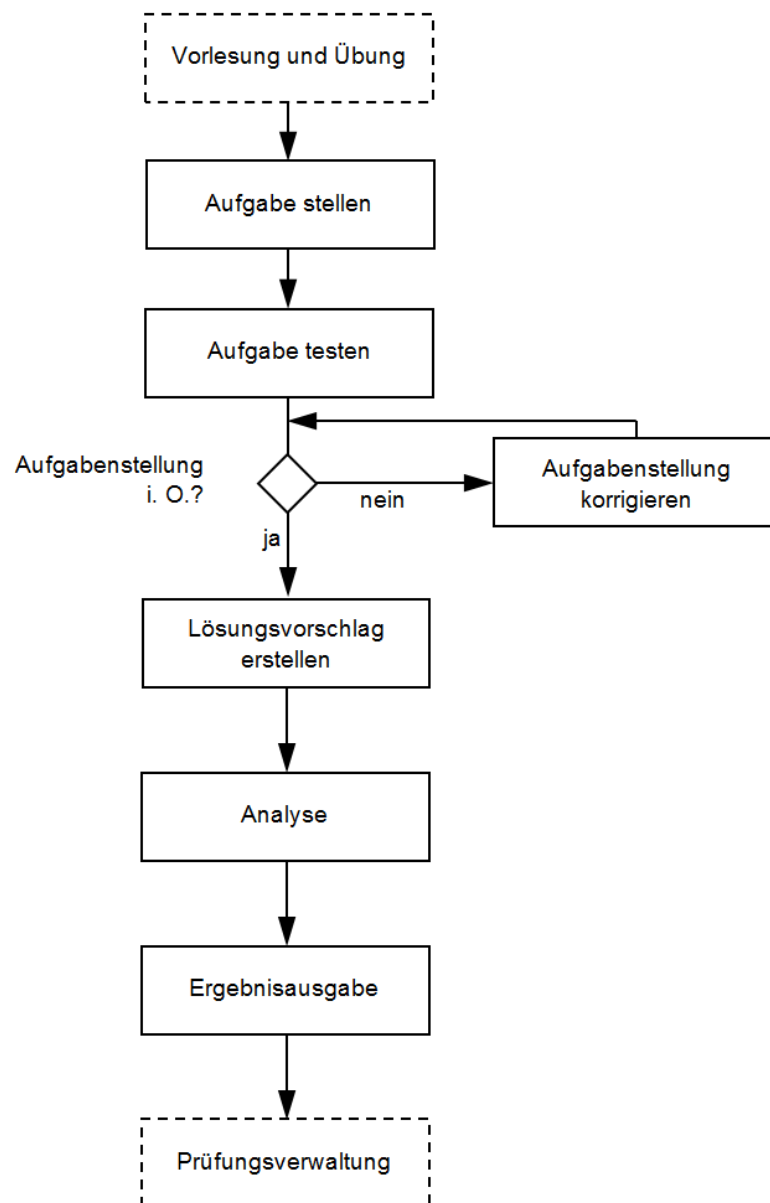


Abbildung 79: Validierungsbeispiel/Organisationsrahmen – Ablauf

Hinsichtlich der Informationsverfügbarkeit ist die Betrachtung der Konstruktionsarten von entscheidender Bedeutung. Mit den Aussagen in Abbildung 80 sind im Falle der Prüfung von vermitteltem Wissen bezüglich Prüfenden und Geprüften relative Konstruktionsarten festzustellen. Maßgeblich ist dabei die verantwortungsvoll umgesetzte Sichtweise der Prüfenden, so dass die gekennzeichneten Varianten- und Anpassungskonstruktionen in der Qualifikationsnachweisführung Anwendung finden sollten.

| Konstruktionsarten | Prüfende | Geprüfte |
|------------------------|---|--|
| Variantenkonstruktion | zulässige Varianten und alte Aufgaben sinnvoll wiederverwenden | Variantenkonstruktion lückenhafte Prüfungsvorbereitung |
| Anpassungskonstruktion | Erstellung neuer Aufgaben | geeignete Prüfungsvorbereitung |
| Neukonstruktion | definitionsgemäß keine Neukonstruktion, weil die Prüfung den Inhalt der bekannten Lehrinhalte widerspiegelt | Fall 1: fehlende Prüfungsvorbereitung Fall 2: Erfindung während der Prüfungsleistung → Grenze des Systems |

Abbildung 80: Relative Konstruktionsarten im Kontext der Aus- und Weiterbildung

Als Zusatz soll die Kontrolle der Anwendung der produkt darstellenden Struktur, d. h. das Technische Zeichnen, ebenfalls untersucht werden. Im Speziellen wird dabei das umgesetzte Technische Zeichnen in 2D, Halbdarstellung und einer Ansicht analysiert.

Mit den Ausführungen in Kapitel 2.3 ist festzuhalten, dass es den Aufgabentyp „Prüfung von angewandtem Wissen“ im Rahmen von Onlineklausuren in bestehenden Systemen nicht gibt. Das Validierungsbeispiel enthält diesen didaktisch wertvollen Aufgabentyp, deshalb liegt mit der Umsetzung eine Erweiterung des Standes der Technik vor.

7.2 Testprototyp

Die Validierung soll mithilfe eines Testprototyps erfolgen. Dieser Testprototyp wird in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

7.2.1 Erlaubte Einschränkungen für den Testprototyp

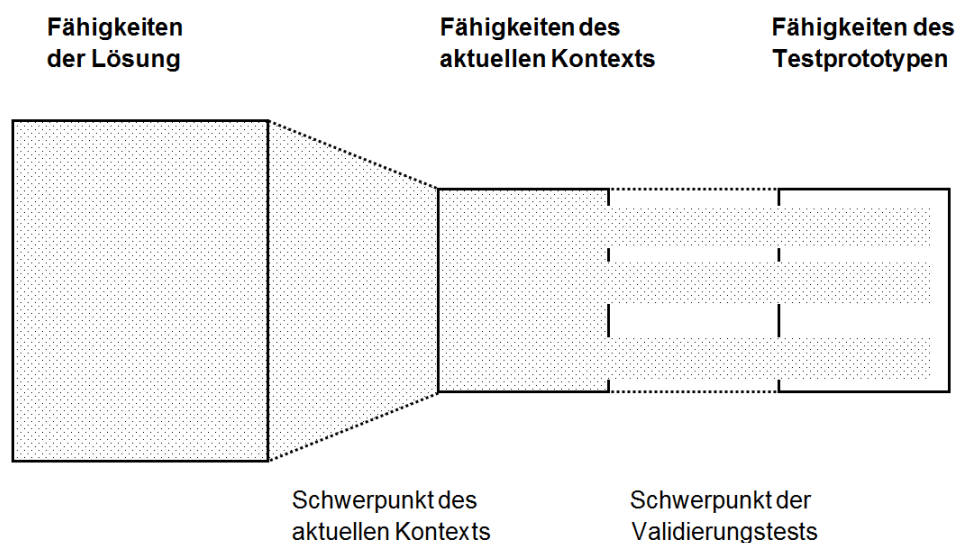


Abbildung 81: Erlaubte Einschränkungen für den Testprototyp

Abbildung 81 zeigt, dass die Fähigkeiten der Lösung in der Regel größer sind als die Fähigkeiten einer konkreten Umsetzung für einen speziellen Kontext. Dies liegt an den

besonderen Schwerpunkten des Kontextes und der dafür gewählten Automatisierungstiefe mit der Einschränkung der bereitgestellten Anforderungen an die Konstruktion sowie den Informationsträgern. Der Testprototyp soll eine Validierung ermöglichen, die ausweist, dass die Lösung die Zielstellung erfüllt. Weil dabei das Ziel Kontextsensitivität zu zeigen ist, ist die Umsetzung der Lösung auch für einen speziellen Kontext zu zeigen. Wie beschrieben eignet sich dafür der Kontext Qualifikationsnachweisführung im Sinne einer Onlineklausur. Die Automatisierungstiefe des Kontextes ist dabei größer gleich der Automatisierungstiefe des Testprototyps, denn es müssen nicht alle Anforderungen an die Konstruktion und Informationsträger des Kontextes für das Zeigen der Kontextsensitivitätserfüllung tatsächlich umgesetzt werden. Zur Validierung der anderen Ziele sind Validierungsteiltests durch den Testprototyp zu ermöglichen. Dazu sind ggf. weitere Anforderungen an die Konstruktion und Informationsträger erforderlich. Zusammen ergeben sich damit die Istautomatisierungstiefe des Testprototypen und damit die Fähigkeiten des Testprototypen.

7.2.2 Anwendung der Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau

Im Zentrum der Anwendung der Allgemeinen Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau auf den Testprototypen stehen die Punkte zur Festlegung der Art der Konstruktionsumgebung, der produktdarstellenden Struktur, der Zergliederung und möglicher Folgeprozesse. Nachstehend wird auf diese eingegangen.

Zur Gewährleistung der abgeschlossenen Konstruktionsumgebung, in der die Erstellung des Lösungsvorschlages erfolgt, wird eine eigene Konstruktionsumgebung vorgeschlagen. Sie stellt die gemäß dem Prüfungsniveau einzupflegenden Informationsträger bereit. Damit ist eine Erkennungsfunktionalität nicht erforderlich. Zudem schafft sie die Möglichkeit, Ort und Zeit der Qualifikationsnachweisführung über die Zugänglichkeit der Konstruktionsumgebung einzustellen und damit die Voraussetzungen einer Klausur zu schaffen. Die Informationsträger werden in Form des Technischen Zeichnens gehandhabt, wobei das Technische Zeichnen in der Ausführung 2D, Halbdarstellung und eine Ansicht eingesetzt wird.

Mit den Hauptgruppen des Produktes ist eine mögliche Zergliederung vorgegeben. Sie dienen zur Untersuchung der Anforderungserfüllung der Aufgabenstellung, welche selbst im unterstützenden Anforderungsmanagement erstellt wird. Folgeprozesse sind im Testprototyp nicht zu hinterlegen. Die konkrete Ausgestaltung der einzelnen Punkte der Allgemeinen Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau vollzieht sich in der nachstehend beschriebenen programmiertechnischen Umsetzung, welche aus drei Modulen besteht. Zuerst wird deren Zusammenwirken und anschließend jedes der drei Module vorgestellt.

7.2.3 Programmiertechnische Umsetzung

7.2.3.1 Modulübersicht des Testprototyps

Abbildung 82 zeigt die Modulübersicht des Testprototypen für Algorithmus und System bezüglich Aufgabengestaltung, Aufgabenbearbeitung und Aufgabenuntersuchung. Weiterhin sind potenzielle Folgeprozesse als Erweiterungsmöglichkeiten aufgeführt. Dabei wird die jeweils gewählte Programmiersprache zur informationstechnischen Umsetzung der Module angegeben.

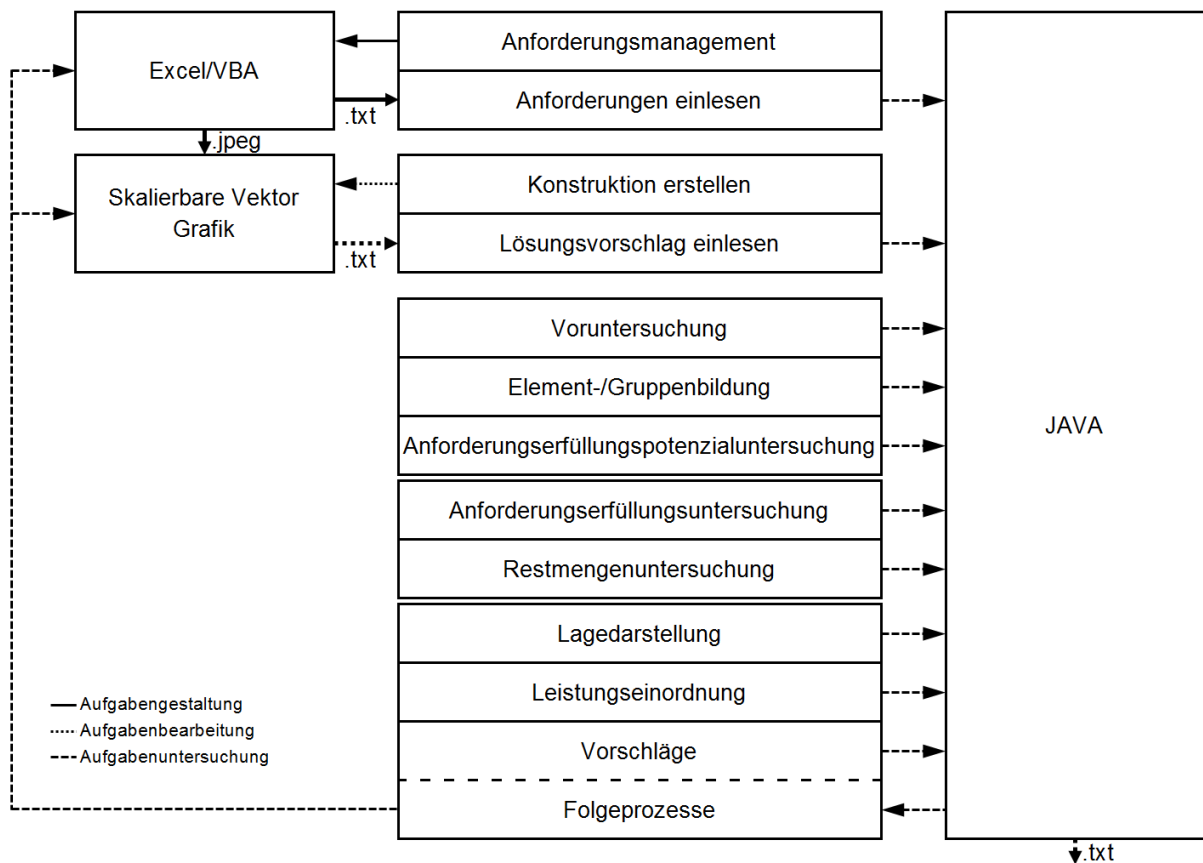


Abbildung 82: Modulübersicht (links: Systemmodule, rechts: Algorithmusmodul)

Das erste Systemmodul beinhaltet das Anforderungsmanagement und ist in Excel/VBA umgesetzt. Es werden die Anforderungen an die Konstruktion sowie die unterstützenden Skizzen zusammen mit dem Aufgabentext gesetzt. Zur Erstellung des zweiten Systemmoduls wird SVG (Skalierbare Vektor Grafik, /W3C09/) verwendet. Startbedingungen setzen und konstruieren des Lösungsvorschlages erfolgen in diesem Modul. Im Algorithmusmodul läuft schließlich die Aufgabenuntersuchung mittel JAVA ab. Potenzielle Folgeprozesse sorgen z. B. für einen iterativen Verbesserungsablauf, falls Anpassungen erforderlich werden. Die Art der Modulkopplung, d. h. ihre Schnittstellen, wird hauptsächlich über Textdateien als neutrales Austauschformat realisiert. Dadurch lässt sich für die Dokumentation eine akzeptable Datenmenge erhalten. Die direkte Lesbarkeit trägt zur Nachvollziehbarkeit bei. Weiterhin bieten Textdateien eine einfache Schnittstelleneinrichtung. Das Ein- und Auslesen fußt auf informationstechnischen Standards. Dazu erfolgt eine inhaltliche Blockbildung von Informationen zum Rausschreiben in dem einen Modul und ein Parsen dieser Blöcke zum Einlesen in das andere Modul. Für die Übergabe der unterstützenden Skizzen und des Aufgabentextes wird das jpeg-Format benutzt. Die Module bilden zusammen den Testprototyp und werden einzeln in den folgenden Abschnitten beschrieben.

7.2.3.2 Anforderungsmanagement

Auswahl der Programmiersprache

An das Modul lassen sich eine Reihe von Anforderungen stellen. Im Vordergrund steht dabei, dass das Setzen der Aufgabenstellung ermöglicht wird. Dazu zählt die Zusammenstellung

eines Satzes von Anforderungen an die zu erstellende Konstruktion, wobei eine Unterstützung zur Gewährleistung der erforderlichen Voraussetzungen hilfreich wäre. Ebenso soll das Einbinden von unterstützenden Skizzen sowie Zusatztexten als Ergänzung der Aufgabenstellung angeboten werden. Ein weiterer wichtiger Schritt ist insbesondere im Zusammenhang mit der Qualifikationsnachweisführung das Hinterlegen der Leistungseinordnungsstufen. Allgemein sind zusätzliche Verwaltungsinformationen abzulegen. Das Modul muss zwei Schnittstellen besitzen. Zum einen ist die Übertragung der Aufgabenstellung in Form einer Liste über alle Anforderungen an die Konstruktion in expliziter oder impliziter Ausgestaltung und einer optionalen unterstützenden Skizze in die Konstruktionsumgebung zu gewährleisten. Zum anderen müssen die explizite Liste über die Anforderungen an die Konstruktion sowie die Leistungseinordnungsstufen an das Algorithmusmodul übergeben werden. In beiden Fällen sind die Verwaltungsinformationen mit zu übertragen. Hinsichtlich der Besonderheit des Kontextes einer Onlineklausur am Fachgebiet Maschinenelemente bietet es sich an, die dort im Rahmen des Klausurmanagements verwendete Software Excel/VBA zu verwenden, um eine Durchgängigkeit zu erzielen. Weil diese Lösung die gestellten Anforderungen erfüllen kann und durch VBA Automatisierungen möglich sind, ist damit die Wahl der Programmiersprache des ersten Moduls getroffen.

Funktionalität

Abbildung 83 gibt die Eingabemaske des Anforderungsmanagements wieder. Für den Algorithmus ist eine explizite Liste über die Anforderungen an die Konstruktion erforderlich. Diese kann in der Eingabemaske erstellt werden. Weil sich einige Anforderungen an die Konstruktion widersprechen können oder nur eine bestimmte Anforderung aus einer Gruppe von Varianten sinnvoll ist, gibt es eine Plausibilitätskontrolle, die Abweichungen ausschließt und somit zur Einhaltung der Voraussetzungen beiträgt. Die gesetzten Anforderungen an die Konstruktion werden in entsprechende Listen übertragen, welche die Übertragung der Anforderungen in die Anforderungsvariablen ermöglicht. Bezüglich der Aufgabenstellung und deren einzustellendem Niveau sollen explizite Anforderungen an die Konstruktion u. U. nicht angegeben werden. Für die Validierungstests ist dies jedoch aufgrund der Nachvollziehbarkeit nicht der Fall, so dass alle expliziten Anforderungen an die Konstruktion auch in den Aufgabentext gelangen. Zur Unterstützung kann ein Zusatztext gesetzt werden. Die unterstützende Skizze wird in einem beliebigen Programm erstellt und als jpeg-Datei abgespeichert. Der Speicherort wird im zweiten Modul verwendet. Die Einteilung der Leistungseinordnungsstufen ist vorzunehmen und wird anschließend in den Algorithmus für die Leistungseinordnung übertragen. Verschiedene Verwaltungsinformationen, inklusive der Leistungseinordnungsstufen, lassen sich eingeben. Die automatische Übertragung der Informationen ist durch VBA-Code über einen Button auszulösen. Dabei wird eine Textdatei erzeugt. Die Informationen liegen nach folgendem Prinzip vor:

```

Verwaltungsinformation1 + TrennzeichenVerwaltung +
Verwaltungsinformation2 + TrennzeichenVerwaltung +
...
VerwaltungsinformationN + TrennzeichenVerwaltungsende +
Anforderung1Eigenschaft1 + TrennzeichenAnforderungseigenschaft +
Anforderung1Eigenschaft2 + TrennzeichenAnforderungseigenschaft +
...

```


Anforderung₁Eigenschaft_N + Trennzeichen_{Anforderungseigenschaft} +
 Anforderung₂Eigenschaft₁ + Trennzeichen_{Anforderungseigenschaft} +
 Anforderung₂Eigenschaft₂ + Trennzeichen_{Anforderungseigenschaft} +
 ...
 Anforderung₂Eigenschaft_N + Trennzeichen_{Anforderungseigenschaft} +
 Anforderung_NEigenschaft₁ + Trennzeichen_{Anforderungseigenschaft} +
 Anforderung_NEigenschaft₂ + Trennzeichen_{Anforderungseigenschaft} +
 ...
 Anforderung_NEigenschaft_N + Trennzeichen_{Anforderungseigenschaft}

Abbildung 83: Anforderungsmanagement

7.2.3.3 Konstruktionsumgebung

Auswahl der Programmiersprache

Zu den Anforderungen an das Modul zählt an erster Stelle die Aufgabenbearbeitung, d. h. die Erstellung des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes. Dies erfolgt durch das Setzen von Informationsträgern, die für den Anwender als Baukastenelemente in der produktdarstel-

lenden Struktur Technische Zeichnung angeboten werden. Wichtig ist bei der Anwendung des Moduls, ein vernünftiges Verhältnis von Konstruktionsqualifikation und Anwendungsqualifikation herzustellen. Weil bei der Qualifikationsnachweisführung die Konstruktionsqualifikation getestet werden soll, beim Konstruieren in einer Konstruktionsumgebung jedoch von den Konstruierenden sowohl Konstruktionsqualifikation als auch Anwendungsqualifikation gefordert wird, soll die vom Modul geforderte Anwendungsqualifikation möglichst gering sein. Das Modul zur Konstruktionserstellung ist deshalb anwenderfreundlich zu gestalten. Zusätzlich soll das Technische Zeichnen getestet werden können, damit liegt die produktdarstellende Struktur fest. In einer Erweiterung soll das Setzen von Startbedingungen unterstützt werden. Es müssen Verwaltungsinformationen hinterlegt werden können. Eine Schnittstelle für das Einlesen der Aufgabenstellung sowie das Herausschreiben des Lösungsvorschlages ist vorzusehen. Für das Auslösen des Herausschreibens mit gleichzeitigem Starten der Analyse ist ein Mechanismus vorzusehen. Zu den Besonderheiten aufgrund des Kontextes Qualifikationsnachweisführung gehört die Abbildung der produktdarstellenden Struktur mit den genannten Spezifikationen. Eine browserbasierte Lösung ist für die Erweiterungsoption in Richtung eLearning anzustreben. Mit SVG ist eine internettechnologiefähige Lösung wählbar, die die aufgeführten Anforderungen erfüllen kann und im Bereich eLearning /NEU05/ bereits Akzeptanz gefunden hat.

Funktionalität

Die Konstruktionsumgebung ist in verschiedene Bereiche unterteilt (vgl. Abbildung 84). Im Vordergrund steht dabei der Zeichnungsbereich. In diesem wird die Konstruktion erstellt. Um diese nachvollziehbar verwalten zu können, bietet der Verwaltungsbereich ein Textfeld an, welches beliebige Verwaltungsinformationen aufnimmt. Die Aufgabenstellung wird im Aufgabenbereich wiedergegeben und stammt aus dem ersten Modul. Sie lässt sich mittels einer Lupenfunktionalität vergrößern und so dem bereits erstellten Konstruktionsstand gegenüberstellen. Der Funktionsbereich stellt verschiedene Funktionen zum Manipulieren und Untersuchen der Informationsträger, zur Datenverwaltung und zum Starten der Analyse bereit. Alle im aktuellen Kontext eingepflegten Informationsträger auf der tiefsten Zergliederungsebene liegen im Baukasten. Von dort werden sie in die Konstruktion eingefügt. Die Statuszeile stellt schließlich Informationen bereit, welche im Laufe der Konstruktionserstellung von Interesse sind, z. B. der Name eines Informationsträgers oder Positionsangaben.

Konstruktion erstellen

Die Erstellung einer Konstruktion liefert entweder eine Aufgabenstellung oder einen Lösungsvorschlag. Zuerst wird die Konstruktionserstellung allgemein beschrieben. Im Anschluss hieran folgen die Besonderheiten, welche bei der Erstellung einer Aufgabenstellung zu beachten sind.

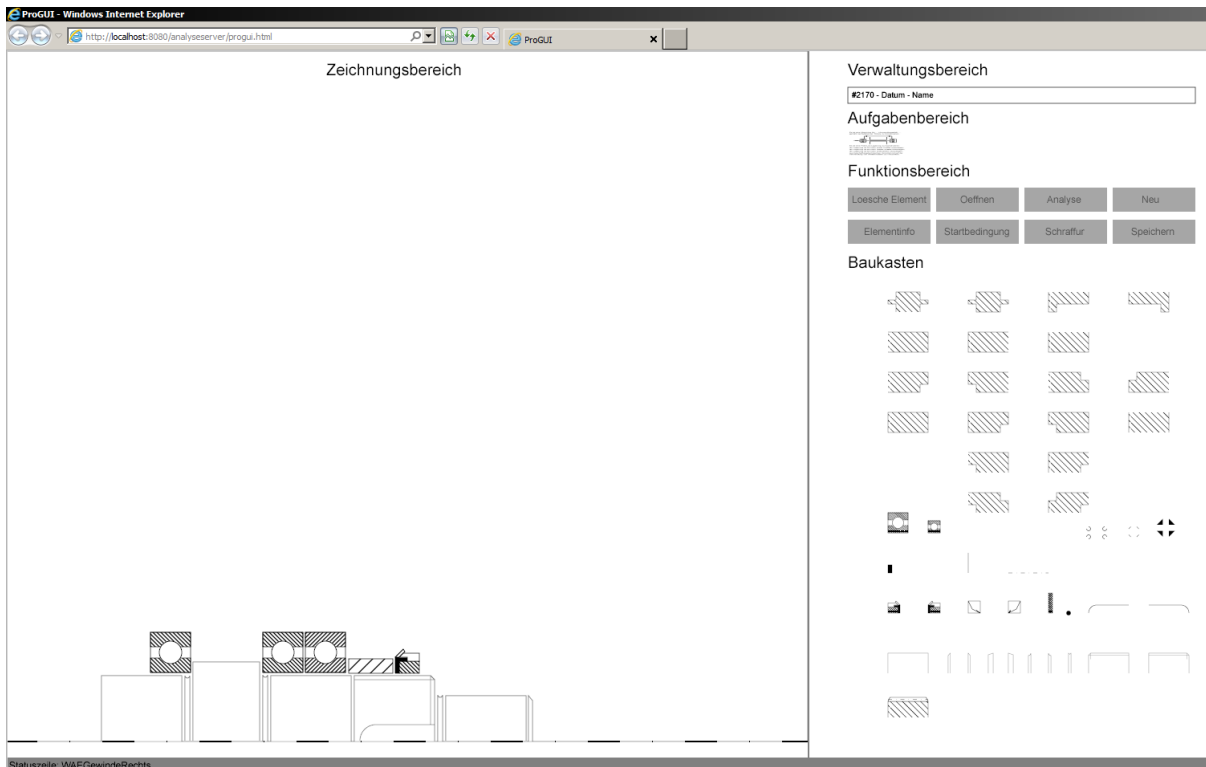


Abbildung 84: Konstruktionsumgebung im Browser

Das Konstruieren beginnt mit dem Einfügen von Informationsträgern aus dem Baukasten in den Zeichnungsbereich. Dazu werden die entsprechenden Informationsträger im Baukasten ausgewählt. Sie werden links oben im Zeichnungsbereich als eine Kopie des Baukastenelementes eingefügt. Dabei werden die Eigenschaften, die das Funktionsverhalten programmintern verwalten, nach Abbildung 85 des Informationsträgers verändert.

| | Baukasten | Zeichnungsbereich |
|---------|-----------|-------------------|
| drag | false | true |
| clonbar | true | false |

Abbildung 85: Eigenschaftsänderungen beim Einfügen

D. h. die Informationsträger lassen sich nur aus dem Baukasten einfügen. Anschließend kann ihre Position verändert und ihre Größe angepasst werden. Die Position der Informationsträger wird über ihre Eigenschaften, insbesondere über die Koordinaten der Eckpunkte (vgl. Abbildung 86), beschrieben.

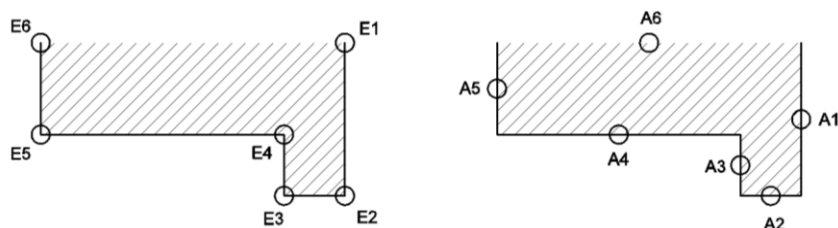


Abbildung 86: Eck- und Anpasspunkte am Beispiel eines Gehäuseelementes

Die Änderung der Position ermöglicht eine Funktion Verschieben, welche aktiv wird, wenn die Maus über einem Element liegt und gedrückt wird. Die Differenz der Mausbewegung von der ursprünglichen Position zur aktuellen Position innerhalb des Zeichnungsbereiches wird auf die Positionseigenschaften des zu verschiebenden Informationsträgers hinzuaddiert und somit die Verschiebung realisiert. Wird die Maustaste nicht mehr gedrückt, dann endet der Befehl. Analog arbeitet das Anpassen der Größe eines Informationsträgers. Hier wird ein Anpasspunkt, der in der Mitte einer Begrenzungslinie liegt (vgl. Abbildung 86), ausgewählt und innerhalb des Zeichnungsbereiches verschoben. Die zugehörige Geometrie ändert sich entsprechend der Mausposition. Anpassbare Informationsträger sind z. B. Wellenabsatzelemente oder Gehäuseelemente. Lager oder Sicherungsringe besitzen eine feste Größe und sind deshalb nicht anpassbar ausgestaltet. Es sind je nach Kontext ggf. mehrere Größen zu hinterlegen. Im Testprototypen gibt es beispielsweise zwei Rillenkugellagergrößen.

Liegen die Informationsträger an der gewünschten Position, dann ist ggf. ihre Schraffur anzupassen. Abbildung 87 zeigt zwei nebeneinanderliegende Lager, deren Schraffur unterschiedlich ist. Die Ausgestaltung verschiedener Schraffuren wird über Musterdefinitionen realisiert, welche im Quellcode hinterlegt werden. Sie stellen den Füllbereich der abgebildeten Geometrie dar. Die Funktion Schraffur im Funktionsbereich ändert die aktuelle Schraffur des ausgewählten Informationsträgers.

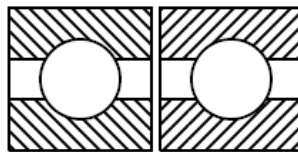


Abbildung 87: Schraffuren am Beispiel eines Rillenkugellagerpaares

Über die Funktion „Lösche Element“ werden ausgewählte Informationsträger aus dem Zeichnungsbereich entfernt.

Die Konstruktionsumgebung lässt sich im Rahmen der Aufgabenstellung dahingehend nutzen, dass Startbedingungen vordefiniert werden. D. h. es wird wie bereits beschrieben mit den Baukastenelementen konstruiert. Anschließend werden die verwendeten Baukastenelemente im Zeichnungsbereich als Startbedingungen deklariert. Dies erfolgt über den gleichnamigen Button im Funktionsbereich und Auswahl der Informationsträger. Dadurch wird die Variable „Startbedingung=true“ gesetzt und die ausgewählten Informationsträger sind nicht mehr manipulierbar, d. h. Verschieben, Anpassen, Schraffur ändern oder Löschen ist bei diesen Informationsträgern deaktiviert. Zur besseren Nachvollziehbarkeit für die Aufgabenbearbeitenden werden diese Informationsträger blau dargestellt. Im Rahmen der Validierung ist das Setzen bzw. Zurücksetzen der Startbedingungen stets verfügbar. Bei einer tatsächlichen Onlineklausur darf diese Funktion im Aufgabenbearbeitungsmodus nicht vorhanden sein.

Während der Erstellung eines Lösungsvorschlages, einer Aufgabenstellung aber auch beim Testen von Kontextanpassungen ist es erforderlich, Informationen über einzelne Informationsträger zu erhalten. Diese Informationen sind mithilfe der Funktion Elementinfo zu erhalten. Abbildung 88 zeigt ein Beispiel.

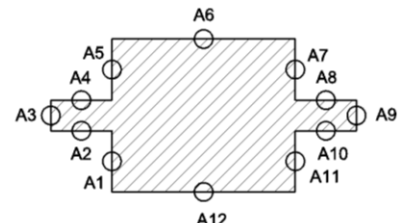
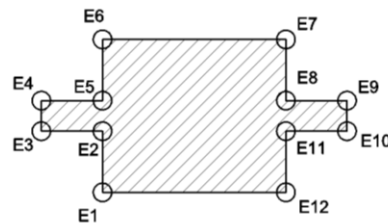
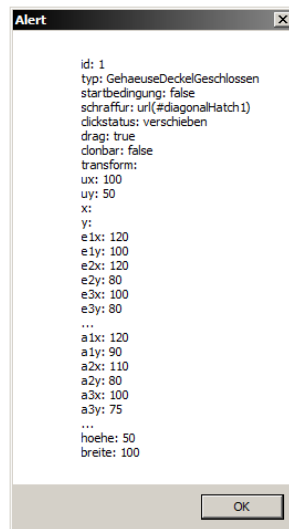


Abbildung 88: Elementinfo

Konstruktionsdateien handhaben

Die Handhabung der Konstruktionsdateien entspricht den Funktionen Speichern, Öffnen und Neu. So lässt sich eine erstellte Konstruktion als Aufgabenstellung oder Lösungsvorschlag speichern. Dabei werden zum einen Verwaltungsinformationen und zum anderen die verwendeten Informationsträger mit ihren Eigenschaften in einem definierten Muster in eine Textdatei geschrieben. Dieses Muster folgt dem Prinzip:

```

Verwaltungsinformation1 + TrennzeichenVerwaltung +
Verwaltungsinformation2 + TrennzeichenVerwaltung +
...
VerwaltungsinformationN + TrennzeichenVerwaltungsende +
Informationsträger1Eigenschaft1 + TrennzeichenInformationsträgereigenschaft +
Informationsträger1Eigenschaft2 + TrennzeichenInformationsträgereigenschaft +
...
Informationsträger1EigenschaftN + TrennzeichenInformationsträgereigenschaft +
Informationsträger2Eigenschaft1 + TrennzeichenInformationsträgereigenschaft +
Informationsträger2Eigenschaft2 + TrennzeichenInformationsträgereigenschaft +
...
Informationsträger2EigenschaftN + TrennzeichenInformationsträgereigenschaft +
InformationsträgerNEigenschaft1 + TrennzeichenInformationsträgereigenschaft +
InformationsträgerNEigenschaft2 + TrennzeichenInformationsträgereigenschaft +
...
InformationsträgerNEigenschaftN + TrennzeichenInformationsträgereigenschaft

```

Die gespeicherte Datei wird über die Funktion Öffnen wieder geladen und in der Konstruktionsumgebung dargestellt. Dies ist z. B. für eine mit Startbedingungen versehene, nun zu bearbeitende Aufgabenstellung erforderlich. Soll eine leere Konstruktion gestartet werden, dann ist die Funktion „Neu“ zu wählen.

Analysieren

Die Funktion Analyse im Funktionsbereich speichert nach dem oben beschriebenen Muster die aktuelle Konstruktion in eine Textdatei. Anschließend wird im dritten Modul die Analyse gestartet, deren erster Schritt das Einlesen der Textdatei ist. Das Untersuchungsergebnis liegt als Protokolldatei der Analyse anschließend vor.

Informationsablage

Hinter dem Baukasten stehen Informationsträgervariablenentsprechungen, welche die aktuellen Eigenschaften wiedergeben. Abbildung 89 zeigt dies beispielhaft für die Zeichnung, die Variablenform des dritten Moduls und den entsprechenden SVG-Code der Konstruktionsumgebung.

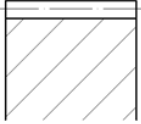
| Zeichnung | Variablenform | SVG-Code |
|---|---|--|
|  | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">IT (Variable)</p> <p>Index {I_{fd}. Nr.} Typ = $f(\text{Konstruktionserstellung}; \text{Kontext_Produkt})$ SB {ja;nein} Eigenschaften_{aus Konstruktion} Position Länge Breite verwendet_{in Gruppe} {Index_G}</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;">GHListe(n)</p> <hr/><hr/><hr/><hr/> </div> <p>Folge(n)_{GHL(n)} Typ = $f(\text{Folgen})$ Gruppengrundtyp = $f(\text{IT}_{ini})$ Veig = $f(\text{Typ})$ Feig = $f(\text{Typ}; \text{Eig}_{aus Kon})$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;">GAnfListe</p> <hr/><hr/><hr/><hr/> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;">VAnfListe</p> <hr/><hr/><hr/><hr/> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;">FAnfListe</p> <hr/><hr/><hr/><hr/> </div> <p>verwendet_{in Bedingung} {ja;nein}</p> </div> | <pre> <!-- Zahnrad - Path --> <g id = "ZahnradStart" typ = "Zahnrad" startbedingung = "false" schraffur = "url(#diagonalHatch1)" schraffurtyp = "Gehaeuse" clickstatus = "einfuegen" drag = "false" clonbar = "true" transform = "translate(1050,780) scale(0.5)" ux = "100" uy = "50" e1x = "100" e1y = "100" e2x = "100" e2y = "60" e3x = "100" ... e8y = "100" a1x = "100" a1y = "75" a2x = "150" ... a4y = "100" hoehe = "50" breite = "100" stroke = "black"> <path fill="url(#diagonalHatch1)" stroke-width="1" onclick="einfuegen2(evt)" onmouseover="Elementtypinfoein(evt)" onmouseout="Elementtypinfoaus(evt)" d="M 100 100 L 100 60 L 200 60 L 200 100 M 100 100 " /> <path fill="white" stroke-width="1" onclick="einfuegen2(evt)" onmouseover="Elementtypinfoein(evt)" onmouseout="Elementtypinfoaus(evt)" ... <circle r="4" fill="white" stroke-width="1" opacity="0" onmouseover="Transparenzein(evt)" onmouseout="Transparenzaus(evt)" APN="3" cx="200" cy="75" /> <circle r="4" fill="white" stroke-width="1" opacity="0" onmouseover="Transparenzein(evt)" onmouseout="Transparenzaus(evt)" APN="4" cx="150" cy="100" /> </g> </pre> |

Abbildung 89: Informationsträger – Zeichnung, Variablenform, SVG-Code

Die Informationstiefe der Informationsträger, d. h. im Zusammenhang mit der Konstruktionsumgebung die Informationstiefe der Baukastenelemente, ist entsprechend Abbildung 23 auf die geometrischen und verwaltungstechnischen Grundinformationen reduziert. Erst in den weiteren Schritten der Untersuchung im dritten Modul werden Gruppeninformationen und verhaltensbeschreibende Anforderungen den jeweiligen Informationsträgervariablen hinzugefügt.

Baukastenelemente

Der Baukasten beinhaltet die Informationsträger auf der tiefsten Zergliederungsebene im aktuellen Kontext. Durch gezielte Kombinationen zu Elementen und Gruppen lassen sich im Zeichnungsbereich weitere Informationsträger konstruieren, die im dritten Modul in der Element-/Gruppenbildung zu eigenständigen Informationsträgern werden. Die konkrete Zusammensetzung des Baukastens orientiert sich am Produkt des Kontextes und verkörpert die Istautomatisierungstiefe. Einige Informationsträger erfordern spezielle Bedingungen. Auf diese wird nachfolgend eingegangen.

Gehäuse

Gehäuse und Deckel lassen sich mit den Baukastenelementen durch gezielte Kombinationen erzeugen. Ein Beispiel stellt z. B. die folgende Konstruktion dar (vgl. Abbildung 90).

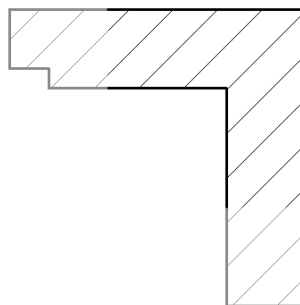


Abbildung 90: Prinzip Gehäusegruppe

Rillenkugellager

Das Rillenkugellager ist stellvertretend für alle anderen Kugellagerarten im Testprototypen eingepflegt. Wie die Validierung zeigt, ist die Funktionalität bezüglich Lagerungen gegeben. Damit sind weitere Lagerarten je nach Kontext gemäß dem Muster des Rillenkugellagers in den Baukasten aufnehmbar. Ein erstes Beispiel stellt das Rillenkugellager verkleinerter Baugröße dar.

Sicherungsring

Sicherungsringe lassen sich entweder mit Wellenabsätzen oder mit umlaufenden Kanten darstellen. Beide Informationsträger sind im Baukasten hinterlegt (vgl. auch Abbildung 34). In der Analyse des Testprototypen wird vereinfachend der Sicherungsring alleine betrachtet, weil hiermit bereits alle erforderlichen Validierungserkenntnisse gewonnen werden können.

Mittellinie

Die Mittellinie ist für die vereinfachte Schraubendarstellung vorgesehen. Sie ist vorbereitend für kontextspezifische Erweiterung bereits in den Baukasten aufgenommen worden.

Passfedernut

Die Informationsträger NutLinks und NutRechts bilden zusammen eine Passfedernut (vgl. Abbildung 91). Vereinfachend ist im Testprototypen eine einzige Nutbreite abgebildet.

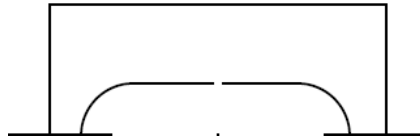


Abbildung 91: Passfedernut

Welle bzw. Wellenende

Alle Varianten des Wellenabsatzes, welche die Mittellinie im Zeichnungsbereich berühren, bilden eine Welle in Halbdarstellung. Die jeweiligen Enden stellen das WellenendeLinks bzw. WellenendeRechts dar.

Zahnrad

Stellvertretend für auf Wellen aufgesetzte Elemente, wie Zahnräder, Riemenscheiben usw., ist im Testprototypen ein Zahnrad abgebildet. Der Fuß des Zahnrades wird durch den Informationsträger „GehaeuseAbschlussUnten“ gebildet. Eine mögliche Erweiterung könnte durch ein Zwischenelement, ähnliche dem Informationsträger „gehaeusea2“, realisiert werden (vgl. Abbildung 92). Dadurch würden Fuß- bzw. Rippengestaltung ebenfalls analysiert werden können. Entsprechende Anforderungen sind bereits in zugehörigen JAVA-Klassen vorbereitet.

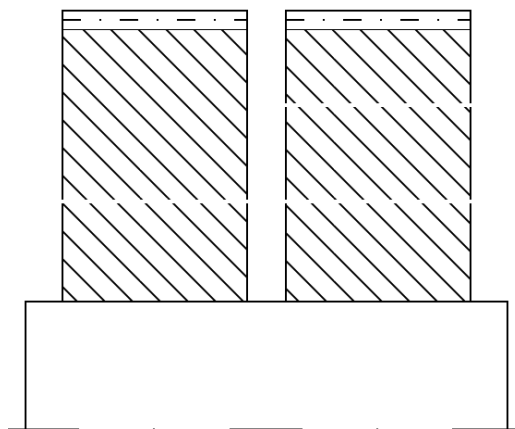


Abbildung 92: Zahnradgestaltung

Beispielkonstruktionen

Mit den abgebildeten Baukastenelementen lässt sich eine Reihe von Konstruktionen in der Konstruktionsumgebung erstellen. Abbildung 93 führt anhand einer Fest-Lagerstelle Beispiele an, die die Möglichkeiten nach Abbildung 12, d. h. nach technischen oder anforderungsorientierten Kriterien korrekt oder fehlerhaft, widerspiegeln.

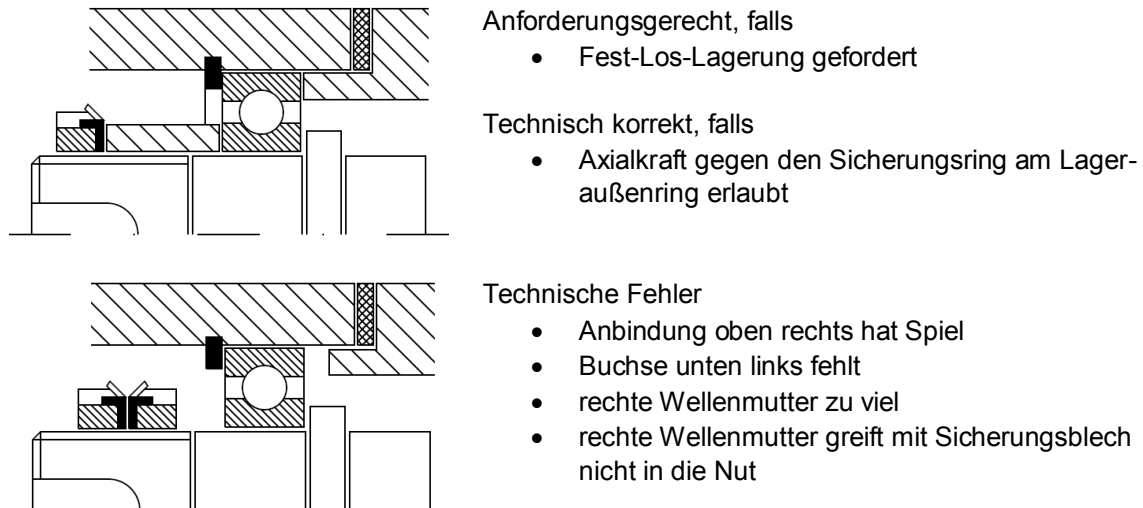


Abbildung 93: Beispielkonstruktionen einer Fest-Lagerstelle

Zusatzuntersuchung Technisches Zeichnen

Die möglichen unterschiedliche Schraffuren sowie die umlaufenden Kanten, Fasen und Freistriche unterstützen die Zusatzuntersuchung des Technischen Zeichnens. In der aktuellen Version ist zur Nachweisführung dieser Funktionalität die Kombination von Wellenmutternut und dem Wellenabsatz mit Gewinde hinterlegt (vgl. Abbildung 94).

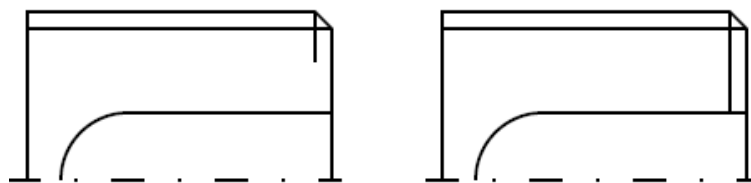


Abbildung 94: Zusatzuntersuchung Technisches Zeichnen (links: n. i. O.; rechts: i. O.)

Zusammenfassung Konstruktionsumgebung

Alle Informationsträger, d. h. die Baukastenelemente, entsprechen den Regeln des Technischen Zeichnens. Weiterhin ist der untere Abschluss des Zeichnungsbereichs als Mittellinie ausgeführt. Damit liegt die produktdarstellende Struktur Technisches Zeichnen in der Ausführung 2D, Halbdarstellung und einer Ansicht vor. Die zur Konstruktionserstellung erforderliche Anwendungsqualifikation ist insbesondere durch den Baukasten und die intuitive Handhabung auf das angestrebte Mindestmaß reduziert worden. Mit den bereitgestellten Informationen aus der erstellten Konstruktion ist die Hauptvoraussetzung für die Durchführung der automatischen Kontrolle der Konstruktion gegeben. Es ist festzustellen,

dass das Modul „Konstruktionsumgebung“ auch über den Einsatz im Testprototyp hinaus einsatzfähig ist. Eine interessante Erweiterung wäre die Nutzung der vorhandenen Schnittstellendaten zur Darstellung der Konstruktion in anderen CAD-Systemen.

7.3.2.4 Algorithmus

Auswahl der Programmiersprache

Das dritte Modul soll die Schritte von „Anforderungen einlesen“ und „Lösungsvorschlag einlesen“ bis „Vorschläge“ beinhalten. Dies ist die eigentliche Untersuchung der Konstruktion. Die dafür erforderlichen Informationen sollen in Anforderungs- und Informationsträgervariablen, jeweils in der Variablenform, abgelegt werden. Zusammen werden diese in der Analysevariablen verwaltet. Zur Sicherstellung der Erweiterbarkeit bietet es sich an, die Informationen in einer objektorientierten Sprache zu analysieren. Als Schnittstelle sind das Einlesen von Anforderungen an die Konstruktion und des Lösungsvorschlags am Anfang sowie das Ausgeben der Ergebnisse am Ende des Untersuchungsdurchlaufes wichtig. Die Schnittstellen zu Beginn sind aufgrund der Trennung der Module erforderlich. Dadurch lässt sich aber auch eine Trennung von Eingabe und Untersuchung erzielen, wobei das Untersuchungsknowhow nicht bereits bei der Eingabe zur Verfügung stehen muss. Neben diesem Schutz gegenüber Knowhowtransfer sorgt die Trennung weiterhin für die Servertauglichkeit, die Datensicherheit und die Performance im Gesamtsystem. Ein besonderer vom Modul zu berücksichtigender Aspekt stellt die Einsatzfähigkeit für die im nächsten Abschnitt vorgestellte Validierung der Ziele dar. Vor allem aufgrund der Objektorientierung bietet sich die Programmiersprache JAVA für das Algorithmusmodul an.

Funktionalität

Schematische Umsetzung der Algorithmuschritte

Abbildung 95 zeigt die schematische Umsetzung der Algorithmuschritte aus Kapitel 6 „Lösung“ mittels JAVA. Die Analysevariable, Anforderungsvariablen und Informationsträgervariablen sind in Klassen überführt. Dabei beinhaltet die Analysevariable die Listen, über welche alle Informationen angesprochen werden können. Weiterhin wird mit der Methode „mAblauf()“ die Untersuchungsreihenfolge festgelegt. Der Ablauf und die darin erfolgenden Schritte entsprechen den oben dargelegten Ausführungen. Für die Anforderungen gibt es eigenen Klassen, welche den Sollwert, die Bilanz und die Methode „mBilanzierung()“ beinhalten. Je nach Aufgabenstellung bzw. Informationsträger lassen sich unterschiedlich viele dieser Klassen ablegen. Die Informationsträger werden ebenfalls in Klassen abgebildet. Bei Informationsträgern aus Stücklistenelementen gibt es Gruppenhilfslisten und auch eine Methode „mTypisierung()“ zur Bestimmung des Gruppentyps. Beide besitzen Eigenschaften und verhaltensbeschreibende Anforderungen, welche über Listen angesprochen werden und in Anforderungsvariablenklassen abgebildet sind. Durch den objektorientierten Charakter ist es möglich, die Anzahl der für den speziellen Kontext erforderlichen Klassen entsprechend der gewünschten Automatisierungstiefe einzustellen. Die produktabhängigen Regeln sind dabei in den jeweiligen Methoden hinterlegt. Nachfolgend werden schwerpunkthaft bestimmte Programmteile vorgestellt.

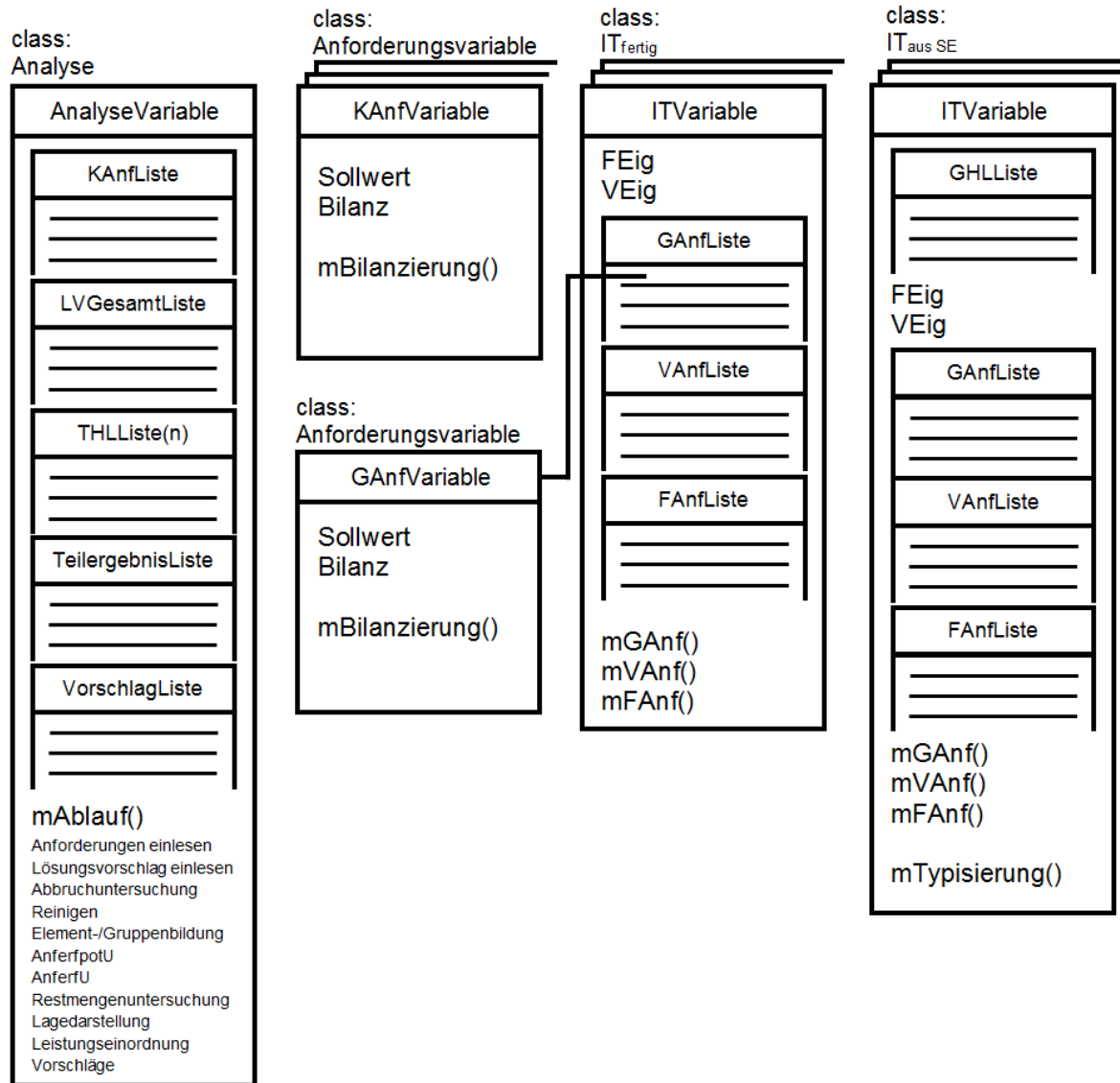


Abbildung 95: Klassen der objektorientierten Algorithmusmodulumsetzung mittels JAVA

Eingabe

Die Anforderungen an die Konstruktion entstammen dem ersten Modul. Sie werden in der oben dargelegten Art und Weise bereitgestellt. Diese Daten werden eingelesen. Pro KAnf wird ein Objekt angelegt, welches aufgrund seiner Klassenzugehörigkeit die anforderungsspezifische Untersuchungsmethode mitbringt. Analog werden die Informationsträger aus dem zweiten Modul eingelesen. Pro Informationsträger wird ebenfalls ein Objekt angelegt, welches typspezifische Untersuchungsmethoden für die verhaltensbeschreibenden Anforderungen beinhaltet. Werden über die Element-/Gruppenbildung weitere Informationsträger gefunden, dann werden auch für diese Objekte angelegt, welche passende Untersuchungsmethoden besitzen.

Element-/Gruppenbildung

Einige Gruppen bauen auf anderen auf. Deshalb ist die Erkennungsfunktionalität der Elemente-/Gruppenbildung kontextabhängig in einer konkreten Reihenfolge aufzubauen. Für das Validierungsbeispiel bedeutet dies

1. Lagerstelle
2. Dichtung
3. Zahnrad
4. Lagerung
5. Welle
6. WellenendeLinks
7. WellenendeRechts

Die Abbildungen 96 und 97 zeigen für jede Gruppe ein Beispiel inklusive einer entsprechenden Gruppenstückliste.

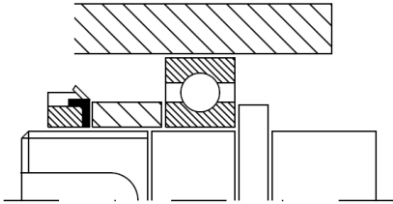
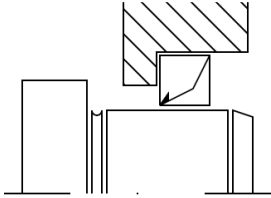
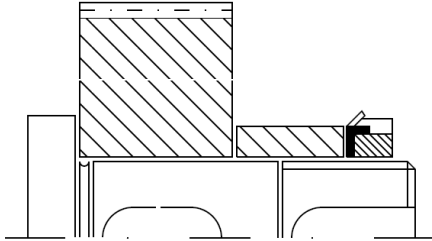
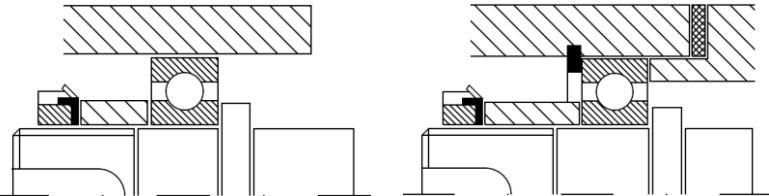
| | |
|--|--|
|  | <p>Lagerstelle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rillenkugellager • Wellenabsatzelement • Wellenabsatzelement • Wellenabsatz mit Gewinde • NutRechts • Buchse • Wellenmutter • Gehäuseelement |
|  | <p>Dichtung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radialwellendichtring • Wellenabsatz mit Einführschräge • Wellenabsatzelement • Freistich • Gehäuseelement |
|  | <p>Zahnrad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zahnradkopf • Zahnradfuß • Buchse • Wellenmutter • Wellenabsatz mit Gewinde • NutLinks • Wellenabsatzelement • NutRechts • NutLinks • Freistich • Wellenabsatzelement |
|  | <p>Lagerung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lagerstelle • Lagerstelle |

Abbildung 96: Gruppen mit Stücklistenelementen (Teil 1)

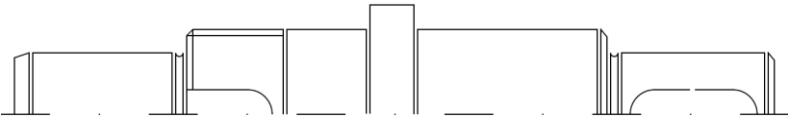
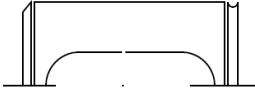

| | |
|--|---|
|  | <p>Welle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wellenabsatz mit Einführschräge • Wellenabsatzelement • Freistich • Wellenabsatz mit Gewinde • NutRechts • Wellenabsatzelement • Wellenabsatzelement • Wellenabsatzelement • FaseRechts • Freistich • Wellenabsatzelement • NutLinks • NutRechts • FaseRechts |
|  | <p>WellenendeLinks</p> <ul style="list-style-type: none"> • FaseLinks • Wellenabsatzelement • NutLinks • NutRechts • Freistich |
|  | <p>WellenendeRechts</p> <ul style="list-style-type: none"> • FaseRechts • Freistich • Wellenabsatzelement • NutLinks • NutRechts • FaseRechts |

Abbildung 97: Gruppen mit Stücklistenelementen (Teil 2)

Gehäuseelemente werden innerhalb bestimmter Gruppen, z. B. der Lagerstelle, verwendet. Eine eigenständige Betrachtung von Gehäuse und Deckeln ist vorbereitet. Sie wurde noch nicht umgesetzt, weil die daraus zu erlangenden Erkenntnisse keine zusätzlichen Ergebnisse im Vergleich zu den bereits abgebildeten Gruppen versprechen.

Die Typisierung, d. h. die Klassifizierung des konkret vorliegenden Gruppentyps, ist in den Schritten Befüllen, Aufräumen und eigentliche Typisierung umgesetzt.

Befüllen

Das Befüllen ordnet die Informationsträger des Lösungsvorschlages den jeweiligen Folgen einer Gruppe zu. Dies erfolgt dann, wenn ein typpassender Informationsträger innerhalb eines bestimmten Bereiches liegt. Dieser Bereich beginnt in der Regel beim Leitelement und endet dort, wo der entfernteste Informationsträger aller möglichen Folgen liegen könnte (vgl. Abbildung 98). Der Bereich wird um eine kontextabhängige Toleranz erweitert.

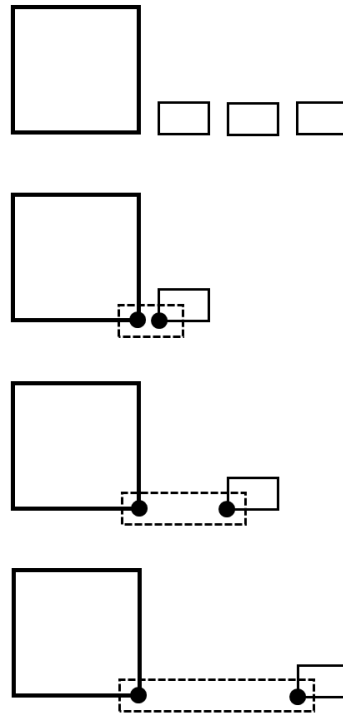


Abbildung 98: Befüllen

Aufräumen

Nach dem Befüllen liegen Informationsträger innerhalb der Folge, d. h. in der zugehörigen Gruppenhilfsliste, weil sie über alle möglichen Kombinationen hinweg in diese Folge passen könnten. Das Aufräumen prüft nun, ob auch die richtigen Kombinationen vorliegen. Ausgangspunkt ist wieder das Leitelement (vgl. Abbildung 99). Die Informationsträger werden paarweise verglichen. Dabei wird untersucht, inwiefern die richtige Typkombination und der richtige Abstand gegeben sind.

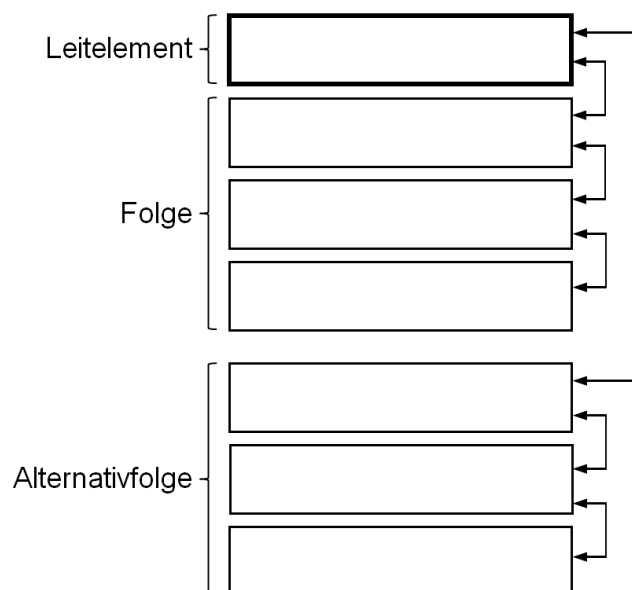


Abbildung 99: Aufräumen

Typisierung

Nach dem Aufräumen ist der Typ jeder einzelnen Folge bekannt. Die Kombination dieser Folgentypen lässt es zu, den Gruppentyp zu bestimmen. Dies erfolgt direkt oder mithilfe der Indikatorregel.

Das Algorithmusmodul besitzt Quellcode für die Realisierung der Startbedingungen und der Indikatorregel. Dieser Quellcode ist einzeln getestet worden und anschließend reduziert worden, um die Kontextanpassung an andere Kontexte zu erleichtern. Dies war erforderlich, weil diese beiden Punkte sehr speziell mit Inhalt gefüllt werden können und eine Vordefinition hinderlich wäre.

Untersuchung der Anforderungen

Bei der GAnfU, VAnfU und FAnfU werden zuerst die einzelnen Anforderungen in Hilfsmethoden hinterlegt. Anschließend erfolgt der Aufruf dieser Hilfsmethoden, z. B. in der Methode mGAnfU(). Die einzelnen Anforderungsuntersuchungen stehen über verschiedene Informationsträgergruppen hinweg in einem kontextspezifischen Zusammenhang. Beispielfähig gilt für die KAnf_FestLosLagerung das nachstehende Schema:

alle Lagerstellen (GAnfU, VAnfU, FAnfU)
→ Lagerung (GAnfU, VAnfU, FAnfU)
→ KAnf_Fest-Los-Lagerung

Weil die Reihenfolge der Element-/Gruppenbildung und die Reihenfolge der zu untersuchenden Anforderungen über alle Informationsträger des Kontextes gleich sind, ist es möglich, dass nach jeder vollständigen Gruppenbildung auch die funktionsbeschreibenden Anforderungen untersucht werden können, bevor zur nächsten Gruppenebene fortgeschritten wird.

Ausgabe

Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen werden in einer Protokolldatei ausgegeben. Sie enthält die Verwaltungsinformationen, die Ergebnisse der Zwischenschritte, wie erkannte Gruppen und die Aussagen der Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung, und das Ergebnis der Leistungseinordnung.

7.3 Validierung der Ziele

Aus den Zielen und den beschriebenen Rahmenbedingungen leitet sich das Ansatzpaket ab. Die Lösung stellt die Umsetzung des Ansatzpaketes dar. Im Folgenden wird gezeigt, dass durch die umgesetzte Lösung die Ziele erreicht werden. Deshalb wird für die Validierung eine Gegenüberstellung der einzelnen Ziele und den dafür verantwortlichen Teilbereichen von Algorithmus und System vorgenommen. Daraus ergeben sich die konkreten Validierungstests, welche in Abbildung 100 schwerpunkthaft zusammengetragen sind. Allgemein gilt dabei, dass die Tests sowohl für die Standardbedingungen als auch für die Grenzfälle durchgeführt werden.

Funktionserfüllungstests

| | |
|---------------------------|--|
| Anforderungen einlesen | Modulzusammenspiel (Modul 1 und Modul 2) |
| Lösungsvorschlag einlesen | Modulzusammenspiel (Modul 2 und Modul 3) |
| Voruntersuchung | Grenzen testen |
| Element-/Gruppenbildung | Validierungsbeispiel testen |
| AnferfpotU | Validierungsbeispiel testen |
| AnferfU | Validierungsbeispiel testen |
| Restmengenuntersuchung | Automatisierungstiefe variieren |
| Lagedarstellung | Validierungsbeispiel testen |
| Leistungseinordnung | Validierungsbeispiel testen |
| Vorschläge | Validierungsbeispiel testen |

Zielerfüllungstests

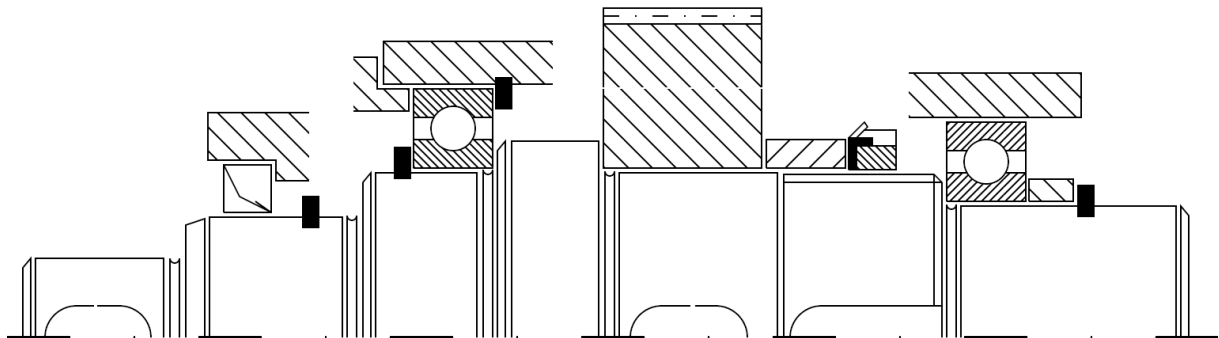
| | |
|------------------------------------|---|
| inhaltliche Konstruktionskontrolle | Funktionstests beliebig fortgeschrittener Konstruktionsstände |
| Algorithmisierung | Modulprogrammtest |
| automatischer Ablauf | Modulzusammenspiel (Modul 1, Modul 2 und Modul 3) |
| Kontrollcharakter | Funktionstests AnferfU, Leistungseinordnung und Vorschläge |
| Kontextsensitivität | Automatisierungstiefe variieren |

Abbildung 100: Validierungstests

Stellvertretend ist nachfolgend ein Validierungstest abgebildet. Er stellt den Gesamtdurchlauf durch das System dar. Es sind dabei folgende Anforderungen an die Konstruktion zu erfüllen:

- muss_Lagerung_FL_ITausIT_6_Lagerung
- Auspraegung_FaNiedrig_ITausIT_6_Lagerung
- Auspraegung_nNiedrig_ITausIT_6_Lagerung
- muss_Zahnrad_ITausIT_3_Hauptelement
- muss_Welle_ITausIT_7_Welle
- Auspraegung_FaNiedrig_ITausIT_3_Hauptelement
- Auspraegung_FrNiedrig_ITausIT_3_Hauptelement
- muss_WellenendeLinks_ITausIT_7a_WellenendeLinks
- Auspraegung_WellenendeLinks_Dichtung_innen_ITausIT

Ein Testlösungsvorschlag ist in Abbildung 101 dargestellt.

**Abbildung 101: Testlösungsvorschlag**

Der Testlösungsvorschlag enthält die Informationsträger:

- | | | |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------|
| • WAE | • WAEFreistich | • WAE |
| • WAE | • WAE | • WAEFaseRechts |
| • WAEFreistich | • RWDLinks | • WAEFaseLinks |
| • Rillenkugellager100100 | • Sicherungsring | • Rillenkugellager100100 |
| • Zahnrad | • WAEEinfuhrschraege- | • GehaeuseAbschluss- |
| • GehaeuseAbschlussUnten | Links | RechtsEindrehungOben |
| • WAEGewindeRechts | • WAEFreistich | • GehaeuseAbschlussLinks |
| • gehaeuse1 | • WAE | • Sicherungsring |
| • NutLinks | • WAEFaseLinks | • gehaeuse1 |
| • WellenmutterRechts | • NutLinks | • Sicherungsring |
| • WAEFaseLinks | • NutRechts | • GehaeuseAbschlussRechts |
| • WAEFreistich | • NutLinks | • GehaeuseAbschluss- |
| • WAE | • NutRechts | LinksEindrehungUnten |
| • Sicherungsring | • WAEFreistich | |

Die Element-/Gruppenbildung findet die Gruppen:

- Los-Lagerstelle
- Fest-Lagerstelle
- Dichtung
- Zahnrad
- Fest-Los-Lagerung
- Welle
- WellenendeLinks

Als Beispiel für eine GAnfU sei die Anbindungsuntersuchung in Abbildung 102 angeführt.

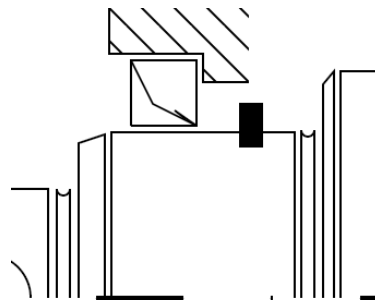


Abbildung 102: GAnfU-Beispiel

Die zugehörige Teiluntersuchung liefert die Rückmeldung:

GAnf_Anbindung_Dichtung_ITausIT_2_Dichtung = Eingeschränkte Erfüllung

Zur Demonstration einer VANfU dient der fehlerhaft platzierte Sicherungsring in der Dichtfläche in Abbildung 102. Der Algorithmus gibt die Rückmeldung:

VAnf_Sicherungsring_Dichtung_ITausIT_2_Dichtung = Nichterfüllung

Beide gezeigten Untersuchungen fließen in die FAnfU der Dichtung ein. Die Rückmeldung lautet:

FAnf_allgFKT_Dichtung_ITausIT_2_Dichtung = Nichterfüllung

Die konstruierte Dichtung soll die KAnf „Auspraegung_WellenendeLinks_Dichtung_innen_ITausIT“ erfüllen. Der Algorithmus gibt für alle Anforderungen an die Konstruktion die Rückmeldungen gemäß Abbildung 103 aus.

| KAnf | Ergebnis |
|--|--------------------------|
| muss_Lagerung_FL_ITausIT_6_Lagerung | Erfüllung |
| Auspraegung_FaNiedrig_ITausIT_6_Lagerung | Nichterfüllung |
| Auspraegung_nNiedrig_ITausIT_6_Lagerung | Nichterfüllung |
| muss_Zahnrad_ITausIT_3_Hauptelement | Eingeschränkte Erfüllung |
| muss_Welle_ITausIT_7_Welle | Eingeschränkte Erfüllung |
| Auspraegung_FaNiedrig_ITausIT_3_Hauptelement | Nichterfüllung |
| Auspraegung_FrNiedrig_ITausIT_3_Hauptelement | Nichterfüllung |
| muss_WellenendeLinks_ITausIT_7a_WellenendeLinks | Erfüllung |
| Auspraegung_WellenendeLinks_Dichtung_innen_ITausIT | Nichterfüllung |

Abbildung 103: Darstellung eines Validierungstests

Damit ergibt sich eine Leistungseinordnung gemäß der Protokolldatei von „5,0“. Die für den Untersuchungsdurchgang benötigte Rechenzeit liegt unter einer Sekunde. D. h. die Algorithmusperformance ist im Rahmen des Validierungsbeispiels in einem äußerst zufriedenstellenden Maße gegeben.

Im Ergebnis über alle Validierungstests lässt sich festhalten, dass die Funktionalität der Einzelschritte von Algorithmus und System gegeben ist. Damit ist auch die Erfüllung der auf dieser Funktionalität basierenden Ziele sichergestellt. Kritisch ist dabei anzumerken, dass der Untersuchungsaufwand zur Aufbereitung des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes nicht zu vernachlässigen ist. Für den Fall, dass Informationsträger im Lösungsvorschlag enthalten sind, die keinen Bezug zu den aktuell gestellten Anforderungen an die Konstruktion besitzen, muss dieser Aufwand ebenfalls erbracht werden. Aufgrund der Untersuchung unter Unbestimmtheit ist dieser Aufwand jedoch erforderlich.

Mit den positiven Resultaten der Validierungstests ist die vollständige Erfüllung der Ziele dargelegt. Es liegt ein Algorithmus vor, der innerhalb der Grenzen der Informationsverfügbarkeitsbereiche automatisch Konstruktionen kontrolliert und außerhalb dieser Grenzen in der Lage ist, weitere Untersuchungen zu initiieren. Die Ergebnisse der Arbeit sind somit der Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen mit den fünf Hauptschritten, die allgemeine Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau und der Testprototyp. Sie lassen sich allgemein sowie in verschiedenen Kontexten anwenden. Dadurch erlangen sie in mehreren Bereichen Bedeutung. Diese werden im nächsten Kapitel vorgestellt.

8 Bedeutung

Die Unterbrechung einer fehlerhaften Prozesskette in der Konstruktionsphase als prozessorientierte Motivation und die Qualifikationsnachweisführung von Konstruierenden als ressourcenorientierte Motivation für das Hilfsmittel zur Konstruktionskontrolle ist in Kapitel 3 dargelegt. Das Hilfsmittel ist im Lösungsweg realisiert. Es stellt mit seinen Funktionen und Eigenschaften, d. h. der Art der Konstruktionskontrolle, die umgesetzten Ziele dar. Durch die Anwendung des die Ziele erfüllenden Hilfsmittels in den unterschiedlichen Kontexten lässt sich eine Vielzahl von Nutzeneffekten erreichen. In den folgenden Abschnitten wird die daraus abgeleitete Bedeutung des Hilfsmittels zur Konstruktionskontrolle mit dem Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen vorgestellt. Die Abschnitte orientieren sich dabei an der Zieldarstellung aus Kapitel 3.

Inhaltliche Konstruktionskontrolle

Mit der Untersuchung auf Anforderungserfüllung wird eine Bedarfsdeckung für die prozessorientierte und ressourcenorientierte Motivation erreicht. Sie stellt eine Erweiterung des Standes der Technik dar. Für die Prozesskette bedeutet dies, ein Hilfsmittel zur Verfügung bereitstehen zu haben, um eine frühzeitige Unterbrechung im Fehlerfall herbeizuführen. Im Rahmen der Aus- und Weiterbildung steht nun ein neuer Aufgabentyp bereit, um angewandtes Wissen zu prüfen. Dieser unterstützt den Qualifikationsprozess der Konstruierenden. Damit stehen auf die Prozesskette abgestimmte Konstruierenden bereit, so dass sich der Kreis schließt.

Algorithmisierung

Die algorithmische Verarbeitung der Informationen aus der Konstruktion ist in der Lage, alle drei Konstruktionsarten im dargelegten Rahmen zu handhaben. Damit ist das Hilfsmittel in dem breiten Feld von der Variantenkonstruktion über die Anpassungskonstruktion bis hin zur Neukonstruktion von Bedeutung. Die Berücksichtigung der richtigen Informationen in definierten Grenzen ermöglicht es, einen kreativen Freiraum zum Gestalten bereitzustellen, in dessen Umfeld das Arbeitsergebnis unterstützend kontrolliert wird. Die Dokumentation der zugrundeliegenden Regeln lässt sich in Aus- und Weiterbildung einsetzen. Insbesondere im Bereich der Einarbeitung von neuen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sind Kosteneffekte durch die beschleunigte Einsatzfähigkeit der Konstruierenden zu erwarten.

Automatischer Ablauf

Die Erzielung eines konstanten Niveaus an Prozesssicherheit und die Rationalisierung stehen bei der Behandlung der Bedeutung des angewandten Hilfsmittels im Vordergrund. Hier ist die Unabhängigkeit von Einflüssen im Falle einer manuellen Kontrolle zu nennen. Die speziellen Fähigkeiten und Kenntnisse der Prüfenden, ihre körperliche und emotionale Verfassung zum Zeitpunkt der Kontrolle sowie äußere Rahmenbedingungen des Alltagsgeschäftes bezüglich Kosten, Qualität und Zeit, sei es intern oder durch den Kunden bedingt, besitzen auf das System keinen Einfluss. Durch das Setzen der Berechtigungen ist die wichtige Trennung von Handlung und Kontrolle der Handlung gewährleistet. Sie kann aber auch für eine eigenverantwortliche kreative Konstruktionstätigkeit aufgehoben werden.

Ein nachvollziehbares Wirtschaften ist an verschiedenen Stellen möglich. In der Zusammenarbeit mit dem Vertrieb lassen sich die erarbeiteten Systemgrenzen kommunizieren und dadurch eine klare Darstellung der technischen Kernkompetenzen der Unternehmung bzw. deren Produkte an in der Regeln nichttechnische Teammitglieder erreichen. Dem besonders in der Krise zu verzeichnenden Trend, dass die steigende Anzahl der Anfragen mit einer Abnahme der tatsächlichen Aufträge einhergeht, muss begegnet werden. Das Hilfsmittel unterstützt hier eine schnelle und genaue Anfragebearbeitung, welche im Auftragsfall ohne große Anpassung in die Produktionsphase übergehen kann. Nicht nur für den Vertrieb, sondern auch für die Unternehmung als Ganzes ist es wichtig zu wissen, welche Potenziale bereits erschlossen sind und welche noch erschlossen werden könnten. Eine Begleitung der Unternehmensstrategieplanung durch das Hilfsmittel ist denkbar. Das konstante Niveau an Prozesssicherheit und damit die belegbare Systemzuverlässigkeit lässt sich als Argument bei Verhandlungen mit technisch nicht ausgebildeten, d. h. prozessfremden, Entscheidungsträgern des Kapitalgebers anführen. Ähnlich verhält es sich bei Kontaktgesprächen mit Neukunden, insbesondere wenn keine Referenzen, z. B. bei neuen Geschäftsfeldern, vorliegen oder Referenzen aus unternehmenspolitischen Gründen nicht kommuniziert werden sollen. Der Einsatz des Hilfsmittels schafft Sicherheit im eigenen Prozess und stellt die eigene Kompetenz gegenüber dem Wettbewerb dar. Bei Mitarbeitermangel oder schwankender Mitarbeiterleistung gibt die Systemzuverlässigkeit einen Rückhalt. Eine Ablage von Standards inklusive der Anpassung von Produkthanforderungen aus der Produkterfahrung im Hilfsmittel schafft die Voraussetzungen für eine nachvollziehbare wirtschaftliche Prozessführung.

Mit der Automatisierung geht eine Rationalisierung einher. Sie ist direkt an der Kontrolle selbst auszumachen oder indirekt durch die Verbesserung der Prozesse des jeweiligen Kontextes, in dem das Hilfsmittel zum Einsatz kommt.

Prozesskette

Der alltägliche Kontrollaufwand und dadurch die für die Kontrolle erforderliche Zeit reduzieren sich. Demzufolge wird der Konstruktionsprozess schneller, wobei gleichzeitig auf eine zweite, kontrollierende Person verzichtet werden kann. Die Trennung von Handlung und Kontrolle bleibt erhalten, weil die Kontrolle vom Hilfsmittel übernommen wird. Bei stehendem System sind deshalb die laufenden Fehlervermeidungskosten vernachlässigbar.

Aufgrund des Untersuchungsergebnisses erfolgt bei Abweichungen eine präventive Unterbrechung einer fehlerhaften Prozesskette und führt damit zu den in Abbildung 2 gezeigten Effekten. Durch eine Fehlerreduktion bzw. Fehlervermeidung werden die Qualitätsziele, d. h. die Anforderungen, besser realisiert, und somit die Kundenzufriedenheit erhöht. Die Verringerung der Durchlaufzeit schafft auf der einen Seite eine schnellere Auftragsreaktionszeit, die Vorteile gegenüber dem Wettbewerb ermöglicht, welche für den Vertrieb kalkulierbar werden. Auf der anderen Seite erhöht sich der Durchsatz an nutzbaren Prozessergebnissen, weil sich Belastungen durch Fehlerkorrekturen reduzieren. Somit steigt der Gesamtoutput der Unternehmung. Die Verringerung der Korrekturkosten aufgrund der Verbesserung der Prozesse führt zu einem besseren Wirtschaftsergebnis, welches z. B. in den bereits angesprochenen Krisen hilft. Der gesteigerte Grad der Anforderungserfüllung führt zu Produkten, die sich zielsicherer am Markt absetzen lassen. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Anforderungen direkt aus dem Markt stammen.

Aus- und Weiterbildung

Qualifikationsnachweisführungen bedeuten ebenfalls Kontrollaufwand. Dieser Aufwand ist beispielsweise bei Onlineklausuren nicht zu unterschätzen. Die Gründe hierfür liegen zum einen in der Aufgabenerstellung und zum anderen in der Anzahl der Prüfungen. Vor allem die doppelten Abiturjahrgänge, der Wegfall der Wehrpflicht und die zyklischen Schwankungen der Studierendenanzahl pro Studiengang führen zu spitzenartigen Belastungen. Das Hilfsmittel zur Konstruktionskontrolle bietet eine sinnvolle Kompensationsmöglichkeit.

Eine Verbesserung der Prozesse in der Aus- und Weiterbildung ist durch den Einsatz des Hilfsmittels im Rahmen von Lernmanagementsystemen möglich. Der Geprüfte kann durch deren Nutzung seine Qualifikation verbessern. Für Aus- und Weiterbildungseinrichtungen lassen sich Zusatzübungen ohne großen Aufwand erstellen. Dies fördert die Bildungsleistung der entsprechenden Einrichtungen.

Neben dem bekannten Niveau an Prozesssicherheit und der Rationalisierung sind die Punkte Objektivität und Nachvollziehbarkeit im Zusammenhang mit der Automatisierung zu nennen. Beide führen zu einer erhöhten Systemakzeptanz und sichern über den wahrscheinlicheren Systemeinsatz die beschriebenen Effekte. Besonders im Kontext von Qualifikationsnachweisführungen ist die Objektivität die rechtliche Grundlage für den Einsatz des Hilfsmittels. Die Nachvollziehbarkeit trägt zu einer höheren Umsetzung von Vorschlägen bei und bietet bessere Lern- bzw. Experimentiermöglichkeiten.

Kontrollcharakter

Im Rahmen der Prozesskette wird mithilfe des Systems die Qualität sichergestellt und diese Sicherstellung qualitätsmanagementgerecht dokumentiert. Bei Qualifikationsnachweisführungen wird die Ressourcenauswahl unterstützt, z. B. bei Assessments, oder durch Schwachstellenanalysen der Qualifizierungsbedarf aufgezeigt.

Von zentraler Bedeutung ist die Art der Rückmeldung. Durch ihre psychologisch umsetzungsunterstützende und technisch sinnvoll ausgestaltete Ergebnisausgabe erzielt das Hilfsmittel wichtige Effekte. In erster Linie schafft sie Systemakzeptanz, welche durch eine Systemeinführungsphase und Mitwirkungsoffenheit gesteigert werden kann. Die Art der Rückmeldung wirkt sich auf den Umgang mit Fehlern aus. Die Sicherstellung der Anforderungen, das Betriebsklima und die Ergebnisannahme bei Qualifikationsnachweisführungen hängen hiervon ab. Die Verbesserungsumsetzung wird durch die Rückmeldungsart ebenfalls zielorientiert gestaltet. Erst dadurch werden die geschilderten Effekte möglich.

Die Kontrolle ist der organisatorische Auslöser, um eine fehlerhafte Prozesskette frühzeitig zu unterbrechen oder die Ressourcenauswahl umzusetzen. Für die Umwelt hat eine solche Kontrolle folgende Bedeutung. Es werden keine falschen Produkte, d. h. Produkte, welche technisch durchaus in Ordnung sein können, jedoch an den Anforderungen bzw. dem Markt vorbeikonstruiert sind, produziert. Es erfolgt keine Umweltbelastung aufgrund der Durchführung fehlerhafter Prozesse. Energie und Ressourcen lassen sich durch anforderungsgerechte Produkte einsparen. Der Einsatz des Hilfsmittels in der Prozesskette führt direkt zu

den genannten Effekten. Wird es im Rahmen der Ausbildung verwendet, dann werden die Konstruierenden dadurch gezielt auf ihren späteren Einsatz in der Prozesskette vorbereitet. Ihre damit entsprechend vorhandene Qualifikation ermöglicht es ihnen, an den Prozessen teilzunehmen und an den beschriebenen Effekten aktiv mitzuwirken.

Kontextsensitivität

Der Aufbau des Hilfsmittels in Form einer breiten allgemeinen Basis mit kontextspezifischen Inhalten erhöht die Effizienz des Systems. Dieser Punkt kann entscheidend werden, wenn die vorgestellte Lösung als eigenständiges Produkt am Markt angeboten werden sollte. Zusatzmodule für CAD-Software wären ebenfalls denkbar. An Marktbranchen angepasste Kontextlösungen solcher Module oder durch Dienstleister angepasste Sonderlösungen stellen mögliche Geschäftsfelder dar.

Der Einsatz des Systems in der Aus- und Weiterbildung ist z. B. an Universitäten, Berufsschulen, kommerziellen Bildungseinrichtungen oder bei Softwareresellern mit ihren Produktschulungen möglich. Besonders die Einbindung in Lernmanagementsysteme und das eLearning scheinen interessante Felder zu sein. Verstehen und Experimentieren stehen dabei im Mittelpunkt der Überlegungen. Neben der Wissensüberprüfung könnte die Ausbildungsstandardisierung, wie sie in den Bestrebungen von Zentralabitur oder Bolognaprozess bereits stattfindet, zukünftig für das Hilfsmittel zur Konstruktionskontrolle von Bedeutung sein. Die Grundlagen hierfür sind mit der Objektivität, Nachvollziehbarkeit und wertfreien Kontrolle gelegt.

Die Voraussetzung für den Einsatz des Hilfsmittels stellt ein digitaler Lösungsvorschlag dar. Ein solcher ist prinzipiell mit allen CAD-Systemen zu erzeugen. Die Marktdurchdringung von CAD-Systemen ist in den vergangenen Jahren flächendeckend von Kleinstbetrieben über den Mittelstand bis zu den Konzernen durchgängig erfolgt. Würden diese Systeme um das Hilfsmittel zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen ergänzt, dann sind die kumulierten Nutzeneffekte in einer volkswirtschaftlichen Größenordnung abzuschätzen. Denn für jeden Einsatzfall gilt, dass die automatische Kontrolle die Arbeitsorganisation der Konstruierenden als Ganzes verbessert. Dadurch verbesserte Produkte führen zu positiven Markteffekten. Anforderungsgerechtere Produkte sowie verbesserte Prozesse erhöhen die Energieeffizienz und schonen weitere prozessbegleitende Ressourcen.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Qualität ist definiert als die Erfüllung von Anforderungen /DIN9000/. Im Produktlebenszyklus werden diese Anforderungen von der Bedarfsanalyse derart festgelegt, dass der erfolgreiche Einsatz des Produktes in der Nutzenphase gewährleistet wird. Die Konstruktion soll die Anforderungen erfüllen. Zu den Folgen einer Nichterfüllung von Anforderungen zählen hauptsächlich der Anstieg von Kosten und Durchlaufzeit, eine Belastung des Kundenlieferantenverhältnisses, mangelnde Prozesssicherheit sowie Personen- und Umweltschäden. Deshalb ist eine fehlerfreie Prozesskette anzustreben. Einen maßgeblichen Einfluss hierauf haben der Konstruktionsprozess und die wichtigste Konstruktionsressource, d. h. die Konstruierenden. Die Sicherstellung der erforderlichen Konstruktionsqualifikation der Konstruierenden durch Aus- und Weiterbildung, Auswahl und Qualifikationsbedarfsermittlung bildet eine wichtige Grundlage für die fehlerfreie Prozesskette. Falls jedoch der Fall auftritt, dass dennoch fehlerhaft konstruiert wird, dann ist eine Methode wünschenswert, welche die fehlerhafte Prozesskette bezogen auf die restlichen Prozesse präventiv unterbricht. Eine Methode, die sowohl auf der Prozess- als auch auf der Ressourcenseite zur Anforderungserfüllung beiträgt, stellt der in dieser Arbeit entwickelte Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen dar.

Die Untersuchung des Standes der Technik zeigt, dass es eine Vielzahl von Methoden gibt, welche die Konstruktionsphase unterstützen. Neben FMEA, Zuverlässigkeitsanalyse und Bewertungsverfahren weisen sich bezogen auf die vorliegende Thematik insbesondere die Assistenzsysteme als interessant aus. Sie können als Methoden zum automatischen, algorithmischen Konstruieren verstanden werden, bei denen ausgehend von den Anforderungen eine konstruktive Lösung schrittweise erstellt wird. Dort schränkt sich der Raum weiterer gültiger Lösungen von Konstruktionsschritt zu Konstruktionsschritt ein, so dass beim fortschreitenden Konstruieren die Möglichkeit von Fehlern im Vorfeld ausgeschlossen wird. CIM-Integrationsbestrebungen, d. h. die durchgängige Nutzung von computergenerierten Daten, erkennen zwar Teilfehler, geben jedoch keine Gesamtaussage zur Anforderungserfüllung einer Konstruktion. Eine Untersuchungsausweitung des vorliegenden Standes der Technik auf Bereiche außerhalb des Maschinenbaus, wie Elektrotechnik, Bauwesen oder Mathematik, liefert verwandte Methoden zur Analyse konstruktionsähnlicher Strukturen. Allerdings bilden diese Methoden nicht die Besonderheiten, welche die Konstruktionen des Maschinenbaus kennzeichnen, ab. Somit darf festgestellt werden, dass der Stand der Technik keine Lösung bietet, welche auf die hier gültigen Motive, Ziele und Rahmenbedingungen umfassend eingeht.

Ziel der Arbeit ist es, ein Hilfsmittel zu entwickeln, um Konstruktionen inhaltlich, d. h. bezüglich ihrer Anforderungserfüllung, zu kontrollieren. Die Kontrolle soll dabei durch einen Algorithmus automatisch erfolgen. Durch den Kontrollcharakter dieser in verschiedenen Kontexten einsetzbaren Methode soll es ermöglicht werden, eine fehlerhafte Prozesskette zu unterbrechen und Qualifikationsnachweisführungen durchzuführen.

Neben den Zielen gilt es bei der Entwicklung eines Lösungsansatzes die Rahmenbedingungen der Kontrolle von Konstruktionen zu beachten. Der Prozess der Kontrolle von Konstruktionen ist ein Teil des Konstruktionsprozesses und läuft in drei Schritten ab. Zuerst werden die Voraussetzungen geschaffen. Dazu werden auf der einen Seite die Anforderungen und auf der anderen Seite die Konstruktion, d. h. im vorliegenden Fall ein beliebig fortgeschrittener Konstruktionsstand, bereitgestellt. Im zweiten Schritt erfolgt die Untersuchung der Konstruktion. Dabei wird der Konstruktionsinhalt herausgestellt und anschließend mit den Anforderungen abgeglichen. Der dritte Schritt bereitet die Ergebnisse derart auf, um kontrollierend eingreifen zu können. Darauf folgt z. B. die Unterbrechung einer fehlerhaften Prozesskette. Die vorliegende Arbeit betrachtet diesen Teilprozess der Konstruktion unter Berücksichtigung von zwei Grenzen. Zum einen wird davon ausgegangen, dass die Anforderungen bestimmten Bedingungen, z. B. Widerspruchsfreiheit, genügen und von außen als gegeben anzusehen sind. Zum anderen können Folgeprozesse in Abhängigkeit des Kontrollergebnisses eingeleitet werden.

Der beliebig fortgeschrittene Konstruktionsstand weist hinsichtlich seiner Informationsverfügbarkeit wichtige und damit zu berücksichtigende Besonderheiten auf. Innerhalb der Konstruktion sind verschiedene Möglichkeiten anzutreffen. Dazu zählen anforderungsgerechte, korrekte Lösungen und unterschiedliche Fehler. Dieser Raum der Möglichkeiten lässt sich untersuchen, indem die Informationsverfügbarkeit dahingehend betrachtet wird, ob die Informationen bekannt oder unbekannt sowie erwartet oder unerwartet sind. Daraus ergeben sich Aussagen für den Fall der allgemeinen und den der automatischen Konstruktionskontrolle. Weiterhin zeigt sich, welche Informationen bei Varianten-, Anpassungs- und Neukonstruktionen einer Kontrolle zugänglich sind. Die für den Ansatz wichtigste Rahmenbedingung ist die Tatsache, dass die unterschiedlichen Möglichkeiten in einer beliebigen Kombination auftreten können und somit eine Untersuchung unter Unbestimmtheit durch die Kontrolle abgebildet werden muss.

Aufgrund der unterschiedlichen Einflussrichtungen, welche durch Ziele und Rahmenbedingungen vorgegeben werden, wird ein mehrseitiges Ansatzpaket verfolgt. Es ist in Haupt- und Nebenansätze aufgeteilt. Zu den Hauptansätzen zählen die Abbildung der inhaltlichen Kontrolle durch Untersuchung des Anforderungserfüllungsgrades der Konstruktion, die Annahme, dass für die Kontrolle alle erforderlichen Informationen in der Konstruktion bereits enthalten sind und deren Nutzung sowie die Vereinfachung der Handhabung des komplexen Problems Konstruktionskontrolle durch Zergliederung in einfachere Teilprobleme. Die Nebenansätze regeln den Umgang von vorbereiteten und nichtvorbereiteten Teiluntersuchungen durch das Systemgrenzenmanagement, trennen den Algorithmus vom System zur Abbildung der Kontextsensitivität und bieten Maßnahmen zur Performancesteigerung. Eine Ansatzgegenüberstellung, z. B. gegenüber den Abgleich von Konstruktionen mit Musterlösungen, zeigt die Vorteile des verfolgten Ansatzpaketes hinsichtlich der Zielerfüllung und Berücksichtigung der Rahmenbedingungen auf.

Diese Arbeit liefert drei Ergebnisschwerpunkte. Es sind der entwickelte Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen, die allgemeine Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau und der Testprototyp.

Im Algorithmus sind die Ansätze umgesetzt. Dazu wird eine Struktur mit fünf Hauptalgorithmusschritten verwendet. Die Eingabe erfolgt in den Schritten „Anforderungen“ und „Lösungsvorschlag“. Die nun zur Verfügung stehenden Informationen werden in der „Lageerkennung“ und dem „Abgleich“ verarbeitet. Abschließend reiht sich das „qualifizierte Feedback“ mit der Ausgabe der aufbereiteten Ergebnisse in die Hauptschritte ein. Im ersten Schritt werden die Anforderungen, d. h. das Soll, erfasst. Der beliebig fortgeschrittene Konstruktionsstand wird danach als Lösungsvorschlag eingelesen. Die Lageerkennung bereitet die Informationen aus dem Lösungsvorschlag auf. Dabei wendet sie das Systemgrenzenmanagement an und analysiert die vorliegende Funktionalität des Lösungsvorschlages. Im Abgleich erfolgt eine Gegenüberstellung dieser Funktionalität mit den Anforderungen. Hieraus lässt sich der Gesamterfüllungsgrad der Konstruktion hinsichtlich der an sie gestellten Anforderungen ableiten. Der Fall der Untersuchung unter Unbestimmtheit wird in der Verarbeitung an unterschiedlichen Stellen berücksichtigt, z. B. in Form der Bilanzierung von Anforderungserfüllungsbedingungen, welche unvollständig und damit unbestimmt vorliegen dürfen. Die Ergebnisdarstellung in psychologisch angemessener Art und Weise, eine Einordnung der erbrachten konstruktiven Leistung sowie die Angabe von Vorschlägen erfolgt im qualifizierten Feedback.

Eine Anpassung der Konstruktionskontrolle an einen bestimmten Kontext ist mit vielen Entscheidungen verbunden. Die Wahl einer integrierten oder externen Konstruktionsumgebung, die Art der Zergliederung der Konstruktion, die speziellen Informationen und Bedingungen, welche für die Anforderungserfüllungsuntersuchung erforderlich sind, der Umfang der Ausgabe sowie die Umsetzung in Form der Programmierung sind dabei wichtige Punkte. Die allgemeine Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau stellt für diesen Zweck ein Orientierungsschema zur Verfügung.

Zur Validierung des Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen ist ein Testprototyp erstellt worden. Er umfasst ein Modul zum Anforderungsmanagement, eine Konstruktionsumgebung sowie ein Analysemodul, welches in der objektorientierten Sprache JAVA programmiert ist. Der Kontext des Validierungsbeispiels ist eine Onlineklausur aus dem Maschinenbaustudium, in dem als Aufgabe eine im ölgeschmierten Gehäuse gelagerte Welle zu konstruieren ist.

Das Validierungsergebnis lässt den Schluss zu, dass das geforderte, präventive Werkzeug einer Konstruktionskontrolle vorliegt und damit eine Bedarfsdeckung gegeben ist. Durch die Anwendung der zielerfüllenden Lösung kann eine Reihe von Nutzeneffekten erreicht werden. Zu den Punkten, aus welchen die Bedeutung des Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen ersichtlich wird, gehören u. a. die folgenden. In Abgrenzung zum Stand der Technik ist seine Entwicklung festzuhalten. Diese zeigt sich im Rahmen der Aus- und Weiterbildung durch die Bereitstellung eines neuen Aufgabentyps, welcher es ermöglicht, angewandtes Wissen zu prüfen. Das Spektrum des eLearning wird dadurch erweitert. Mit der Automatisierung, die zu einem konstanten Niveau an Prozesssicherheit führt, geht eine Rationalisierung einher. Die Unterbrechung einer fehlerhaften Prozesskette vermindert die Fehlerbeseitigungskosten, senkt die Durchlaufzeit und hebt somit den Gesamtoutput an. Die Produkte werden nicht nur fehlerfreier sondern auch besser. Durch die sinkende Anzahl an Fehlern wird die Umwelt geschont, weil im besten Fall keine falschen Produkte, keine fehlerhaften Produkte und damit auch keine unnötigen Prozesse die Realisierungsphase des

Produktlebenszyklus durchlaufen. Mögliche direkte Geschäftsfelder mit dem Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen, insbesondere im Bereich der Dienstleistungen, wären das Anbieten von umfassenden Untersuchungsdurchführungen in Form von unabhängigen Expertisen oder Hilfestellungen bei Systemimplementierungen. Ein flächendeckender Einsatz des Hilfsmittels würde im gesamten Konstruktionswesen zu positiven Effekten führen, so dass der Gesamtnutzen in einer volkswirtschaftlichen Größenordnung zu beziffern wäre.

Ausblick

Die drei Schritte des Prozesses der Kontrolle von Konstruktionen werden durch den Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen abgebildet. Damit bilden die beiden Grenzen an Prozessanfang und Prozessende sowie der Raum zwischen ihnen die Ansatzstellen für mögliche Erweiterungen. Bei der Grenze an der Eingangsseite des Prozesses bietet sich allgemein die weitere Nutzung der in vorherigen Prozessen bereits generierten Informationen an. Zusätzlich wäre eine Weiterentwicklung des im Testprototyp bereits als Grundlage hinterlegten Moduls für das Anforderungsmanagementsystem sinnvoll. Innerhalb der Grenzen ist eine Erweiterung der Automatisierungstiefe, insbesondere indem weitere Kontexte abgebildet werden, denkbar. Einen weiteren Schritt stellt der Übergang von 2D-Daten zu 3D-Daten dar. Dies schafft die breite Anwendbarkeit in den gängigen CAD-Systemen. Zusätzlich ist die Übertragung der Untersuchungsstruktur auf andere Inhalte interessant. Der Ansatz liegt z. B. in der Wahl einer anderen produktdarstellenden Struktur und damit der Möglichkeit, auch andere Analysen abzubilden.

Die Nutzung der Ergebnisse stellt eine weitere Ansatzstelle für Erweiterungen dar. Dabei sind die Punkte Umsetzung der Vorschläge sowie Kopplung mit anderen Systemen wichtig. Die Umsetzung der Vorschläge kann entweder durch die Anpassung der Anforderungen erfolgen oder durch die Anpassung des Lösungsvorschlages. Die inhaltliche Verwertbarkeit der Vorschläge ist bereits gegeben. Eine automatische Anpassung dieser wäre ein möglicher nächster Schritt. Bei der Kopplung mit anderen Systemen ist die automatische Dimensionierung, ggf. mit der Möglichkeit Wiederholteile zu verwenden, anzusprechen. Ein Zusammenspiel von Kontrollsystem, Assistenzsystem und Bewertungssystem stellt einen sehr wertvollen Ausblick dar. Durch die Umsetzung der Hinweise aus dem Kontrollsystem ergibt sich eine korrekte sowie anforderungsgerechte Lösung beim Konstruieren. Mit der Erweiterung zum fehlerbeseitigendem System wird bei Hinzufügung einer Assistenzsystemfunktionalität ein kreatives System bereitgestellt, das eine funktionsfähige, korrekte sowie anforderungsgerechte Lösung gewährleistet. Eine Bewertungsfunktionalität auf der Ebene der Lageerkennung führt zu den jeweils besten Gruppen und durch die Kontrollsystemfunktionalität der Interdependanzberücksichtigung ergibt sich die beste Gesamtlösung. Damit lässt sich festhalten, dass durch die Kombination von Kontrollsystem, Assistenzsystem und Bewertungssystem der Weg zur besten, funktionsfähigen, korrekten sowie anforderungsgerechten Konstruktionslösung gefunden werden kann. Die aufgeführten Erweiterungsmöglichkeiten zeigen somit Ansatzpunkte für weitere Forschung auf, zu der die vorliegende Arbeit wertvolle Grundlagen bietet.

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------------------|--|
| A1 | erster Fall auf der Anforderungsebene |
| A2 | zweiter Fall auf der Anforderungsebene |
| A3 | dritter Fall auf der Anforderungsebene |
| af | analysefähig |
| AnferfpotU | Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung |
| AnferfU | Anforderungserfüllungsuntersuchung |
| AQ | Anwendungsqualifikation |
| au | analyseunterstützend |
| CAD | Computer Aided Design |
| CAM | Computer Aided Manufacturing |
| CAQ | Computer Aided Quality Assurance |
| CIM | Computer Integrated Manufacturing |
| CNC | Computerized Numerical Control |
| E1 | erster Erweiterungsraum |
| E2 | zweiter Erweiterungsraum |
| E3 | dritter Erweiterungsraum |
| F | Folge |
| F _a | Axialkraft |
| FAnf | Funktionsanforderung |
| FAnfgrad | Funktionsanforderungserfüllungsgrad |
| FAnfListe | Liste über Funktionsanforderungen |
| FAnfU | Untersuchung einer Funktionsanforderung |
| FEig | Funktionseigenschaft |
| FEM | Finite Elemente Methode |
| FMEA | Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse |
| GF1 | Grundfall 1 |
| G aus LV | eine Gruppe aus Informationsträgern, zusammengesetzt aus Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag |
| GF2 | Grundfall 2 |
| G aus SB | eine Gruppe aus Informationsträgern, zusammengesetzt aus Startbedingungen |
| GF3 | Grundfall 3 |
| G aus SB und LV | eine Gruppe aus Informationsträgern, zusammengesetzt aus Startbedingungen und Informationsträgern des Lösungsvorschlages |
| G1 | eingangsseitige Grenze des Prozesses Kontrolle von Konstruktionen |
| G2 | ausgangsseitige Grenze des Prozesses Kontrolle von Konstruktionen |
| GAnf | Gestaltungsanforderung |
| GAnfgrad | Gestaltungsanforderungserfüllungsgrad |
| GAnfListe | Liste über Gestaltungsanforderungen |
| GAnf-TZ | Gestaltungsanforderung bezüglich des Technischen Zeichnens |
| GAnfU | Untersuchung einer Gestaltungsanforderung |
| GHL | Gruppenhilfsliste |
| I1 | Information aus den Anforderungen |
| I2 | Information aus der Konstruktion |
| I3 | Information aus der Untersuchung |
| IT | Informationsträger |
| IT _{akt} | aktuell betrachteter Informationsträger |
| IT _{LV} | Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag |
| IT _{LV_ini} | ein Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag, der eine Gruppe initiiert |
| IT _{SB} | Startbedingung (ein Informationsträger aus der Ausgabenstellung) |
| IT _{SB_ini} | eine Startbedingung, die eine Gruppe initiiert |
| IT _{Typ} | Informationsträgertyp |
| IVB | Informationsverfügbarkeitsbereich |
| KAnf | Anforderung an die Konstruktion |

| | |
|--------------------------|---|
| KAnf+A | Anforderungen an die Konstruktion mit Anpassungsfokus |
| KAnf+G | Anforderungen an die Konstruktion mit Gestaltungsfokus |
| KAnf _{akt} | aktuell betrachtete Anforderung an die Konstruktion |
| KAnfListe | Liste über Anforderungen an die Konstruktion |
| KAnf-Satz | Satz von Anforderungen an die Konstruktion |
| KAnf-TZ | Anforderung von die Konstruktion bezüglich des Technischen Zeichnens |
| KAnfU | Untersuchung einer Anforderung an die Konstruktion |
| KQ | Konstruktionsqualifikation |
| LE | Leitelement |
| LH | KAnf aus dem Lastenheft |
| LMS | Lernmanagementsystem |
| LV | Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag |
| LV _{alternativ} | ein alternativer Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag |
| LVGesamtListe | Liste mit allen Informationsträgern des Lösungsvorschlages |
| LV _{ini} | ein Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag, der eine Gruppe initiiert |
| LV _{störend} | ein störend wirkender Informationsträger aus dem Lösungsvorschlag |
| n.v.it.Liste | Liste mit Informationsträgern, die in der Untersuchung nicht verwendet werden |
| naf | nicht analysefähig |
| nau | nicht analyseunterstützend |
| O | Organisationsrahmen |
| P | Produkt |
| SB | Startbedingung (ein Informationsträger aus der Ausgabenstellung) |
| SB _{Gfertig} | eine Startbedingungen, die eine fertige Gruppe darstellt |
| SB _{alternativ} | eine alternative Startbedingung |
| SB _{ini} | eine Startbedingung, die eine Gruppe initiiert |
| SB _{störend} | eine störend wirkende Startbedingung |
| SE | Stücklistenelement(e) |
| SVG | Skalierbare Vektor Grafik |
| T1 | erster Fall auf der technischen Ebene |
| T2 | zweiter Fall auf der technischen Ebene |
| T3 | dritter Fall auf der technischen Ebene |
| TeilergebnisListe | Liste über Teilergebnisse |
| THL | Typhilsliste |
| TZ | Technische Zeichnung |
| U | Untersuchung |
| VAnf | Verträglichkeitsanforderung |
| VAnfgrad | Verträglichkeitsanforderungserfüllungsgrad |
| VAnfListe | Liste über Verträglichkeitsanforderungen |
| VAnfU | Untersuchung einer Verträglichkeitsanforderung |
| VBA | Visual Basic for Applications |
| VEig | Verträglichkeitseigenschaft |
| VorschlagListe | Liste über Vorschläge |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Produktlebenszyklus entsprechend des Qualitätskreises in Anlehnung an /MAS99/ | 1 |
| Abbildung 2: Fehlerentstehung und Fehlerbehebung – schematische Darstellung mit Schwerpunkt Konstruktion in Anlehnung an /PFE01/ | 3 |
| Abbildung 3: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren /VDI 2221/ | 7 |
| Abbildung 4: Literatursauswahl für Gestaltungsregeln (Teil 1)..... | 9 |
| Abbildung 5: Literatursauswahl für Gestaltungsregeln (Teil 2)..... | 10 |
| Abbildung 6: Konstruktionsarten – Unterscheidung nach dem Grad der Entwicklung und Änderung der Konstruktionsmerkmale..... | 11 |
| Abbildung 7: Trennung von Handlung und Kontrolle der Handlung | 12 |
| Abbildung 8: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren – Kontrolle in der Konstruktionsphase. | 14 |
| Abbildung 9: Anwendungsqualifikation und Konstruktionsqualifikation..... | 21 |
| Abbildung 10: Ziel der Arbeit – Hilfsmittel zur Konstruktionskontrolle | 23 |
| Abbildung 11: Prozess Kontrolle von Konstruktionen..... | 27 |
| Abbildung 12: Möglichkeiten..... | 29 |
| Abbildung 13: Fehlerhäufigkeit am Beispiel von Konstruktionsklausuren (Anzahl _{gesamt} = 624) | 31 |
| Abbildung 14: Möglichkeiten auf der technischen Ebene | 32 |
| Abbildung 15: Möglichkeiten auf der Anforderungsebene | 33 |
| Abbildung 16: Informationsverfügbarkeit mit Informationsverfügbarkeitsbereichen (IVB) | 34 |
| Abbildung 17: Automatisierungstiefe und vermitteltes Wissen bei Qualifikationsnachweisführungen..... | 35 |
| Abbildung 18: Informationsverfügbarkeit – Kontrollarten..... | 36 |
| Abbildung 19: Informationsverfügbarkeit – Konstruktionsarten..... | 36 |
| Abbildung 20: Informationsverfügbarkeit – Zusammenspiel von Kontroll- und Konstruktionsarten..... | 37 |
| Abbildung 21: Charakteristische Eigenschaften des beliebig fortgeschrittenen Konstruktionsstandes hinsichtlich Bestimmtheit und Unbestimmtheit..... | 38 |
| Abbildung 22: Phasen der Untersuchung | 39 |
| Abbildung 23: Ansatzpaket | 41 |
| Abbildung 24: Informationen im Rahmen der Konstruktionskontrolle..... | 41 |
| Abbildung 25: Anwendung der Informationsnutzung – Informationsfluss | 43 |
| Abbildung 26: Hauptelemente der Untersuchung unter Unbestimmtheit..... | 44 |
| Abbildung 27: Informationsträger (links) und deren Grundtypen (rechts)..... | 45 |
| Abbildung 28: Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung | 46 |
| Abbildung 29: Bestimmung des Anforderungserfüllungsgrades einer Einzelanforderung | 48 |
| Abbildung 30: Abhängigkeiten von Einzelanforderungen (SE = Stücklistenelement)..... | 49 |
| Abbildung 31: Bilanzierung – schematische Darstellung..... | 50 |
| Abbildung 32: Bereiche zur Untersuchung des Gesamtproblems Kontrolle von Konstruktionen mit dem Ansatz „Zergliederung in Teilprobleme“ | 52 |
| Abbildung 33: Vorbereitung der Informationsträger durch Element-/Gruppenbildung für die Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung..... | 53 |
| Abbildung 34: Gleichwertige Alternativen für den Informationsträger „Sicherungsring auf Wellenabsatz“ | 55 |
| Abbildung 35: Lagerung als Beispiel für die Zergliederung | 56 |
| Abbildung 36: Gruppenbildung mit Leitelement (LE) | 57 |
| Abbildung 37: Systemgrenzenmanagement – allgemeine Sichtweise sowie IVB mit Grenzbereichen | 58 |
| Abbildung 38: Systemgrenzenmanagement – Prinzip..... | 59 |
| Abbildung 39: Trennung von Algorithmus (Bereich zwischen G1 und G2) und System (Rechteck) | 60 |
| Abbildung 40: Stellen für eine Leistungssteigerungsbeeinflussung | 61 |
| Abbildung 41: Algorithmus zur automatischen Kontrolle von Konstruktionen mit fünf Hauptschritten..... | 67 |
| Abbildung 42: Kontextsensitivität – Trennung von Algorithmus und System..... | 69 |
| Abbildung 43: Algorithmus und System – Schnittstellen..... | 70 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 44: Anforderungsvariable (Darstellung- und Variablenform) | 73 |
| Abbildung 45: Analysevariable (Variablenform) | 75 |
| Abbildung 46: Anforderungen – Funktionalität | 76 |
| Abbildung 47: Informationsträgervariable (Darstellung- und Variablenform)..... | 78 |
| Abbildung 48: Produktdarstellende Strukturen – Auswahl einer Variante des Technischen Zeichnens | 79 |
| Abbildung 49: Lösungsvorschlag – Funktionalität..... | 80 |
| Abbildung 50: Informationsfluss in Abhängigkeit der Erstellung..... | 80 |
| Abbildung 51: Erstellungsumgebungsalternativen und Algorithmuseingabe..... | 82 |
| Abbildung 52: Abbruchuntersuchung – Funktionalität | 84 |
| Abbildung 53: Reinigen – Funktionalität | 84 |
| Abbildung 54: Element-/Gruppenbildung – Funktionalität | 85 |
| Abbildung 55: Überbestimmtheit bei der Element-/Gruppenbildung..... | 86 |
| Abbildung 56: Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung – Funktionalität | 87 |
| Abbildung 57: Zulässige Informationsträgerkombinationen bei Verträglichkeits- und Funktionsanforderungsuntersuchung..... | 88 |
| Abbildung 58: Anforderungserfüllungsuntersuchung – Funktionalität..... | 90 |
| Abbildung 59: Zulässige Informationsträgerkombinationen bei der KAnfU | 91 |
| Abbildung 60: Restmengenuntersuchung – Funktionalität..... | 92 |
| Abbildung 61: Abgleich und Informationsverfügbarkeitsbereiche..... | 92 |
| Abbildung 62: Lagedarstellung – Funktionalität..... | 94 |
| Abbildung 63: Leistungseinordnung – Funktionalität | 95 |
| Abbildung 64: Vorschläge – Funktionalität..... | 95 |
| Abbildung 65: Beispiele für KAnf+G und KAnf+A in Aufgabenerstellung und Lösungsvorschlag | 96 |
| Abbildung 66: Grundfälle von Startbedingungen | 97 |
| Abbildung 67: Gruppe durch SB (schwarz) und LV (grau) für eine Loslagerstelle | 100 |
| Abbildung 68: Ablauf Gruppenbildung wie oben mit first-come-first-serve inklusive Startbedingungen | 101 |
| Abbildung 69: Untersuchungsablauf bezüglich der Dopplung von Gruppen | 102 |
| Abbildung 70: Anforderungserfüllungsgraduntersuchung und Startbedingungsgrundfälle | 102 |
| Abbildung 71: Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung für den Grundfall GF1 | 104 |
| Abbildung 72: Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung für den Grundfall GF2 | 105 |
| Abbildung 73: Anforderungserfüllungspotenzialuntersuchung und Anforderungserfüllungsuntersuchung für den Grundfall GF3 | 107 |
| Abbildung 74: Anwendungsfeld von Startbedingungen..... | 108 |
| Abbildung 75: Allgemeine Vorgehensweise beim Hilfsmittelbau | 109 |
| Abbildung 76: Hauptkontexte mit ausgewählten Varianten | 110 |
| Abbildung 77: Qualitative Einordnung der Varianten der Hauptkontexte | 111 |
| Abbildung 78: Validierungsbeispiel..... | 112 |
| Abbildung 79: Validierungsbeispiel/Organisationsrahmen – Ablauf..... | 113 |
| Abbildung 80: Relative Konstruktionsarten im Kontext der Aus- und Weiterbildung..... | 114 |
| Abbildung 81: Erlaubte Einschränkungen für den Testprototyp | 114 |
| Abbildung 82: Modulübersicht (links: Systemmodule, rechts: Algorithmusmodul)..... | 116 |
| Abbildung 83: Anforderungsmanagement..... | 118 |
| Abbildung 84: Konstruktionsumgebung im Browser | 120 |
| Abbildung 85: Eigenschaftsänderungen beim Einfügen..... | 120 |
| Abbildung 86: Eck- und Anpasspunkte am Beispiel eines Gehäuseelementes | 120 |
| Abbildung 87: Schraffuren am Beispiel eines Rillenkugellagerpaares..... | 121 |
| Abbildung 88: Elementinfo | 122 |
| Abbildung 89: Informationsträger – Zeichnung, Variablenform, SVG-Code | 123 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 90: Prinzip Gehäusegruppe..... | 124 |
| Abbildung 91: Passfedernut..... | 125 |
| Abbildung 92: Zahnradgestaltung | 125 |
| Abbildung 93: Beispielkonstruktionen einer Fest-Lagerstelle..... | 126 |
| Abbildung 94: Zusatzuntersuchung Technisches Zeichnen (links: n. i. O.; rechts: i. O.)..... | 126 |
| Abbildung 95: Klassen der objektorientierten Algorithmusmodulumsetzung mittels JAVA..... | 128 |
| Abbildung 96: Gruppen mit Stücklistenelementen (Teil 1)..... | 129 |
| Abbildung 97: Gruppen mit Stücklistenelementen (Teil 2)..... | 130 |
| Abbildung 98: Befüllen | 131 |
| Abbildung 99: Aufräumen..... | 131 |
| Abbildung 100: Validierungstests | 133 |
| Abbildung 101: Testlösungsvorschlag | 133 |
| Abbildung 102: GAnfU-Beispiel..... | 134 |
| Abbildung 103: Darstellung eines Validierungstests..... | 135 |

Literaturverzeichnis

- /ALB87/ ALBERT, Mathias ; KÖTTRITSCH, Hubert: Wälzlager : Theorie und Praxis. Wien: Springer, 1987. ISBN 0-387-81997-5
- /ALE08/ ALEX, Dieter ; KLEIN, Martin: Einführung in die DIN-Normen. 14., neubearb. Aufl., [Stand: Sommer 2007]. Stuttgart [u.a.] : Teubner, 2008. ISBN 978-3-8351-0009-1
- /ALG01/ ALGEDRI, Jamal ; FRIELING, Ekkehart: Human-FMEA : Menschliche Handlungsfehler erkennen und vermeiden. München : Hanser, 2001. ISBN 3446216227
- /AMB92/ AMBOS, Eberhard ; HARTMANN, Roland ; LICHTENBERG, Horst: Fertigungsge-
rechtes Gestalten von Gußstücken. Darmstadt : Hoppenstedt-Technik-Tab.-
Verl, 1992 (Fachbuch Konstruktion). ISBN 3-87260-117-2
- /ARN92/ ARNOLD, Olaf: Grundlagen eines Expertensystems für Wälzlagerungen, 1992
- /AUT11/ AUTODESK: Inventor 2011 Hilfedatei, 2011
- /BAR79/ BARTZ, Wilfried J: Schäden an geschmierten Maschinenelementen : Gleitlager,
Wälzlager, Zahnräder. Grafenau/Württ : Expert-Verl, 1979 (Kontakt & Studi-
um 28 : Tribotechnik). ISBN 3-88508-600-X
- /BAR03/ BARTZ, Wilfried J: Keramiklager : Werkstoffe - Gleit- und Wälzlager -
Dichtungen ; mit 34 Tabellen. Renningen : Expert-Verl, 2003 (Handbuch der
Tribologie und Schmierungstechnik 12). ISBN 3-8169-2050-0
- /BÄB88/ BÄBLER, Rudolf: Integration der montagegerechten Produktgestaltung in den
Konstruktionsprozeß. Berlin : Springer, 1988 (IPA-IAO-Forschung und -Praxis
116). ISBN 0-387-19058-9
- /BAS03/ BASTIAN, Johannes ; COMBE, Arno ; LANGER, Roman: Feedback-Methoden :
Erprobte Konzepte, evaluierte Erfahrungen. Weinheim ; Basel ; Berlin : Beltz,
2003. ISBN 3-407-62512-X
- /BEC84/ BECKMANN, Jürgen: Kognitive Dissonanz : Eine handlungstheoretische
Perspektive. Berlin : Springer, 1984 (LEHR- und Forschungstexte Psychologie
11). ISBN 3-540-13772-6
- /BOB55/ BOBEK, Karl ; HEISS, Anton ; SCHMIDT, Fritz Anton Franz: Stahlleichtbau von
Maschinen. 2., neubearb. Berlin : Springer, 1955 (Konstruktionsbücher 1)
- /BOD83/ BODE, Karl-Heinz: Konstruktions-Atlas : Werkstoff- und verfahrensgerecht
konstruieren. 2. Aufl. Darmstadt : Hoppenstedt, 1983. ISBN 3-8203-0062-7
- /BOR09/ BORNEFELD, Gero: Qualitätsorientierte Entwicklung und Einführung von
universitären Bachelor-/Masterstudiengängen im Maschinenbau. 1. Aufl.
Aachen : Mainz, 2009. ISBN 3861304643
- /BRE97/ BREIING, Alois ; KNOSALA, Ryszard: Bewerten technischer Systeme :
Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entschei-
dungshilfen. Berlin : Springer, 1997. ISBN 3-540-61086-3
- /DAH94/ DAHLKE, Hans: Handbuch Wälzlagertechnik : Bauarten, Gestaltung, Betrieb.
Braunschweig : Vieweg, 1994. ISBN 3-528-06572-9
- /DEC09/ DECKER, Karl-Heinz ; KABUS, Karlheinz: Maschinenelemente - Tabellen und
Diagramme. 17. Aufl. München : Hanser, 2009. ISBN 978-3-446-41759-5
- /DIN3760/ N. N.: DIN 3760: Radial-Wellendichtringe. Beuth, 1996.
- /DIN9000/ N. N.: DIN EN ISO 9000:2005 : Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen
und Begriffe. Beuth, 2005

- /DIT07/ DITTMANN, Lars Uwe: OntoFMEA : Ontologiebasierte Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse. 1. Aufl. Wiesbaden : Deutscher Universitäts-Verlag, 2007. ISBN 9783835095724
- /DOR11/ DORAU, Rainer: Emotionales Interaktionsdesign. Heidelberg : Springer, 2011. ISBN 9783642031007
- /DUR12/ DUROVIS FEDERNKATALOG: Katalog und Produktesuche : zuletzt besucht: 23.01.2012. URL http://www.durovis.ch/html_d/katafe/katafe_d.asp – Überprüfungsdatum 2012-01-23
- /EHR07/ EHRENSPIEL, Klaus ; KIEWERT, Alfons ; LINDEMANN, Udo: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren : Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. 6., überarbeitete und korrigierte Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007 (VDI-Buch). ISBN 9783540742234
- /EIG88/ EIGNER, Martin ; MAIER, Helmut: Einführung und Anwendung von CAD-Systemen : Leitfaden für die Praxis. 1. Ausg., Nachdr. d. 2., erg. Aufl. München : Hanser, 1988. ISBN 3-446-14538-9
- /EPL98/ EPLAN: EPLAN Leistungsbeschreibung : Wiechers & Partner Datentechnik GmbH, Monheim, 1998
- /ESC78/ ESCHMANN, Paul ; HASBARGEN, Ludwig ; WEIGAND, Karl: Die Wälzlagerpraxis : Handbuch für die Berechnung und Gestaltung von Lagerungen. 2. Aufl. / neu bearb. von L. Hasbargen und J. Brändlein. München: Oldenbourg, 1978. ISBN 3-486-31102-6
- /E-T10/ Internetdokument : N. N.: E-TEACHING.ORG: Korrektur. URL <http://www.e-teaching.org/lehrszenarien/pruefung/korrektur/> – Überprüfungsdatum 2012-01-27
- /FAH09/ FAHRENWALDT, Hans J ; SCHULER, Volkmar: Praxiswissen Schweißtechnik : Werkstoffe, Prozesse, Fertigung ; mit 141 Tabellen. 3., aktualisierte Aufl. Wiesbaden : Vieweg + Teubner, 2009. ISBN 3-8348-0382-0
- /FIS08/ FISCHER, Peter ; HOFER, Peter: Lexikon der Informatik. 14. Aufl. Berlin : Springer, 2008. ISBN 3-540-72549-0
- /FRA76/ FRANKE, Hans-Joachim: Untersuchungen zur Algorithmisierbarkeit des Konstruktionsprozesses. Als Ms. gedr. Düsseldorf : VDI-Verl, 1976 (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften : Reihe 1, Konstruktionstechnik, Maschinenelemente 47). ISBN 3-18-144701-3
- /FRA89/ FRANKE, Wolf D.: FMEA : Fehlermöglichkeits- und -einflußanalyse in der industriellen Praxis. 2. Aufl. Landsberg/Lech : Verl. Moderne Industrie, 1989. ISBN 3-478-41282-X
- /FRI01/ FRITZ, Andreas: Berechnung und Monte-Carlo-Simulation der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit technischer Systeme. Stuttgart : IMA, 2001 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente 94). ISBN 3-921920-94-9
- /GEI08/ GEIGER, Walter ; KOTTE, Willi: Handbuch Qualität : Grundlagen und Elemente des Qualitätsmanagements: Systeme - Perspektiven. 5. Aufl. Wiesbaden : Friedr. Vieweg, 2008. ISBN 9783834894298
- /GLÄ90/ GLÄSER, Heinz: Schäden an Gleit- und Wälzlagerungen. 1. Aufl. Berlin : Verl. Technik, 1990. ISBN 3-341-00798-9
- /GOH91/ GOHL, Walter: Elastomere - Dicht- und Konstruktionswerkstoffe : Gummitechnik, Richtlinien und Anwendungsbeispiele für Konstruktion und Praxis.

- 4., überarb. u. erw. Ehningen bei Böblingen : Expert-Verl, 1991 (Kontakt & Studium 5 : Werkstoffe). ISBN 3-8169-0723-7
- /GRO11/ GROTE, Karl-Heinrich ; FELDHUSEN, Jörg: Dubbel : Taschenbuch für den Maschinenbau. In: Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau (2011)
- /GUS93/ GUSTAV, Carol: Informationstechnische Kopplung von CAD und CAP durch eine flexible Konstruktionsdatenaufbereitung. Kaiserslautern : Fertigungstechnik und Betriebsorganisation Universität Kaiserslautern, 1993 (Produktionstechnische Berichte 11)
- /HAA93/ HAASIS, Siegmund ; ZIMMERMANN, Rainer: Effizienter Einsatz der CAD-NC-Kopplung : Grundlagen, Problemlösungen, Strategien, Fallbeispiele. Ehningen bei Böblingen : Expert-Verl, 1993 (Kontakt & Studium 372 : Automatisierung). ISBN 3-8169-1055-6
- /HAA95a/ HAASIS, Siegmund: Integrierte CAD-Anwendungen : Rationalisierungspotentiale und zukünftige Einsatzgebiete. Berlin : Springer, 1995. ISBN 0-387-59145-1
- /HAA95b/ HAASIS, Siegmund: Kostengerechte Konstruktion von Getrieben : Praktische Gestaltungsrichtlinien für die Auslegung von Getrieben mit Gußgehäuse ; mit 26 Tabellen. Renningen-Malmsheim : Expert-Verl, 1995. ISBN 3-8169-1221-4
- /HAA97/ HAAS, Werner: Berührungsfreies Abdichten im Maschinenbau unter besonderer Berücksichtigung der Fanglabyrinth. Stuttgart : IMA, 1997 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente, Getriebetechnik, CAD, Dichtungstechnik 74). ISBN 3-921920-74-4
- /HAC96/ HACKER, Günther: Untersuchungen zur methodischen Gestaltung von Maschinengehäusen. 1. Aufl. Göttingen : Cuvillier, 1996 (Bericht / Institut für Konstruktionslehre, Maschinen- und Feinwerkelemente, Technische Universität Braunschweig 46). ISBN 3-89588-609-2
- /HAL86/ HALLIGER, Leonhard: Fortschritte der Wälzlagertechnik : Tagung vom 7. und 8. November 1985. Essen : Vulkan-Verl. Classen, 1986 (Vortragsveröffentlichungen / Haus der Technik 513)
- /HAM71/ HAMPP, Wilhelm: Wälzlagerungen : Berechnung und Gestaltung. Berichtigter Neudr. Berlin : Springer, 1971 (Konstruktionsbücher 23). ISBN 0-387-04214-8
- /HEN55/ HÉNON, Guy: Gussfehler-Atlas. Düsseldorf : Giesserei-Verl, 1955
- /HEN69/ HENTZE, Horst: Gestaltung von Gußstücken. Berlin : Springer, 1969 (Konstruktionsbücher 24)
- /HER05/ HERCZEG, Michael: Software-Ergonomie : Grundlagen der Mensch-Computer-Kommunikation. 2., vollst. überarb. München : Oldenbourg, 2005 (Lehrbücher interaktive Medien). ISBN 3-486-25052-3
- /HES94/ HESSE, Stefan: Montage-Atlas : Montage- und automatisierungsgerecht konstruieren. Darmstadt : Hoppenstedt-Technik-Tab.-Verl, 1994. ISBN 3-8203-0327-8
- /HIN89/ HINTZEN, Hans: Konstruieren und Gestalten. 3., verb. Braunschweig : Vieweg, 1989 (Viewegs Fachbücher der Technik). ISBN 3-528-24155-1
- /HIN09/ HINZEN, Hubert: Basiswissen Maschinenelemente. München : Oldenbourg, 2009. ISBN 978-3-486-59084-5

- /HOE07/ HOENOW, Gerhard ; MEIBNER, Thomas: Konstruktionspraxis im Maschinenbau: Vom Einzelteil zum Maschinendesign. München : Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl., op. 2007. ISBN 9783446403130
- /HOI09/ HOISCHEN, Hans: Technisches Zeichnen : Grundlagen, Normen, Beispiele, darstellende Geometrie ; Lehr-, Übungs- und Nachschlagewerk für Schule, Fortbildung, Studium und Praxis, mit mehr als 100 Tabellen. 32. Aufl. HESSER, Wilfried (Hrsg.). Berlin : Cornelsen, 2009. ISBN 978-3-589-24132-3
- /HOR74/ HORN, Volkmar ; BERNHARD, Wolfgang: Schweißtechnischer Gefügetlas. Düsseldorf : Dt. Verl. für Schweißtechnik (DVS) GmbH, 1974 (Fachbuchreihe Schweißtechnik 66). ISBN 3-87155-069-8
- /HTT04/ Internetdokument : N. N.: Vor- und Nachteile von eLearning. URL <http://www.q21.de/guide/vorteile.htm>. – Aktualisierungsdatum: 2004-07-02 – Überprüfungsdatum 2012-01-27
- /HTT11/ Internetdokument : N. N.: [HTTP://MMS.UNI-HAMBURG.DE/WP-CONTENT/UPLOADS/2011/05/EASSESSMENT_FAKULTAETEPB_MAI2011.PDF](http://MMS.UNI-HAMBURG.DE/WP-CONTENT/UPLOADS/2011/05/EASSESSMENT_FAKULTAETEPB_MAI2011.PDF): Bestimmen, Beurteilen, Bewerten, Dokumentieren, Evaluieren und Rückmelden mit Hilfe von Elektronischen Medien : Bestimmen, Beurteilen, Bewerten, Dokumentieren, Evaluieren und Rückmelden mit Hilfe von Elektronischen Medien (2011) – Überprüfungsdatum 2012-01-27
- /JUN91/ JUNG, Artur: Technologische Gestaltbildung : Herstellung von Geometrie-, Stoff- und Zustandseigenschaften feinwerktechnischer Bauteile. Berlin : Springer, 1991 (Hochschultext). ISBN 3-540-54453-4
- /JUN93/ JUNG, Rüdiger H. ; KLEINE, Meinolf: Management : Personen - Strukturen - Funktionen - Instrumente. München : Hanser, 1993 (Studienbücher der Wirtschaft). ISBN 3-446-16402-2
- /KAI95/ KAISER, Helmut: Konstruieren im Verbund von Expertensystem, CAD-System, Datenbank und Wiederholteilsuchsystem. Stuttgart : IMA, 1995 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente, Getriebetechnik, CAD, Dichtungstechnik 54). ISBN 3-921920-54-X
- /KGB88/ Konstruieren in Guß und Blech : Kennzeichnende Gestaltungsmerkmale, Werkstoffnutzung, Wirtschaftlichkeit ; Tagung Köln, 29. und 30. November 1988. Düsseldorf : VDI-Verl, 1988 (VDI-Berichte 698). ISBN 3-18-090698-7
- /KGK93/ Konstrukteure gestalten Kosten : Tagung Offenburg, 2. und 3. Dezember 1993. [Nicht red. Ms.-Dr.]. Düsseldorf : VDI-Verl, 1993 (VDI-Berichte 1097). ISBN 3-18-091097-6
- /KLE94/ KLEIN, Stephan: Rechnerunterstützte Auslegung von Welle-Nabe-Verbindungen. Berlin : Inst. für Maschinenkonstruktion Konstruktionstechnik, 1994 (Schriftenreihe Konstruktionstechnik 27). ISBN 3-7983-1599-X
- /KLI11/ KLIMSA, Paul ; ISSING, Ludwig: Online-Lernen : Handbuch für Wissenschaft und Praxis, 2011. ISBN 9783486702637
- /KLÖ97/ KLÖPFER, Martin: Dynamisch beanspruchte Dichtverbindungen von Getriebegehäusen. Stuttgart : IMA, 1997 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente, Getriebetechnik, CAD, Dichtungstechnik Bericht Nr. 72). ISBN 3-921920-72-8

- /KLU95/ KLUGE, Jens: Entwurfsgrundlagen zur Berechnung, Gestaltung und Dimensionierung von Werkzeugmaschinen-Hauptspindeln für Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide, 1995
- /KNI61/ KNIPP, Erwin: Fehlererscheinungen an Gussstücken : Ursachen und Vermeidung. 2., Neubearb. und erw. Düsseldorf : Giesserei-Verl, 1961
- /KOL89/ KOLLER, Rudolf: CAD : Automatisiertes Zeichnen, Darstellen und Konstruieren. Berlin : Springer, 1989. ISBN 0-387-51062-1
- /KOL98/ KOLLER, Rudolf ; KASTRUP, Norbert: Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte. 2. Aufl. Berlin : Springer, 1998. ISBN 3540630600
- /KOP98/ KOPSCH, Jürgen: Unterstützung der Konstruktionstätigkeiten mit einem aktiven semantischen Netz. Stuttgart : IMA, 1998 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente 78). ISBN 3-921920-78-7
- /KRU11/ KRULL, Martin: Vom 3D-Modell zur Auswertung : Möglichkeiten der Auswertung mit ViCADo. URL <http://www.mbaec.de/start/mb-news/mb-news-archiv/2011.html> – Überprüfungsdatum 2012-01-25
- /KUB00/ KUBALCZYK, Ralf: Gehäusegestaltung von Fahrzeuggetrieben im Abdichtbereich. Stuttgart : IMA, 2000 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente 89). ISBN 3-921920-89-2
- /KÜN01/ KÜNNE, Bernd: Einführung in die Maschinenelemente : Gestaltung, Berechnung, Konstruktion. 2. Aufl. Stuttgart : Teubner, 2001. ISBN 3-519-16335-7
- /KÜN04/ KÜNNE, Bernd ; WILLMS, Ulrike: Konstruktionstabellen. Wilburgstetten : Schlembach-Fachverl., 2004. – ISBN 3-935340-40-0
- /KÜN07/ KÜNNE, Bernd: Köhler/Rögnitz Maschinenteile 1, Vieweg+Teubner Verlag, 2007. ISBN 978-3-8351-0093-0
- /KÜN08a/ KÜNNE, Bernd: Köhler/Rögnitz Maschinenteile 2, Vieweg+Teubner Verlag, 2008. ISBN 3-835-100920
- /KÜN08b/ KÜNNE, Bernd : Online-Klausuren als Hilfsmittel zur Kenntnisstand-Prüfung im konstruktiven Bereich in WOYAND, HANS-BERNHARD : Proceedings of the 2nd IGIP regional conference 2007. Aachen : Shaker, 2008. ISBN 9783832268695
- /KÜN10/ KÜNNE, Bernd: Maschinenelemente kompakt. 2. Aufl. Soest : Maschinenelemente-Verl., 2010. ISBN 3-937651-07-1
- /KUR95/ KURELLA, Ulf: Voraussetzungen für die rechnerunterstützte Anwendung von Richtlinien zum montagegerechten Gestalten. Berlin : Techn. Univ. Berlin Univ.-Bibliothek, 1995 (Schriftenreihe Konstruktionstechnik 32). ISBN 3-7983-1636-8
- /KUR09/ KURZ, Ulrich ; HINTZEN, Hans ; LAUFENBERG, Hans : Konstruieren, gestalten, entwerfen : Ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Studium der Konstruktionstechnik ; mit Tabellen und einem Anhang. 2., überarb. Braunschweig : Vieweg, 2009 (Viewegs Fachbücher der Technik). ISBN 3-528-13841-6
- /KVE73/ KVE: Konzeptionen und Verfahrensweisen für Entwurfsüberprüfungen : Vorträge der VDI-Tagung Düsseldorf 1972. Düsseldorf : VDI-Verl, 1973 (VDI-Berichte 192). ISBN 3-18-090192-6
- /LEH12/ Internetdokument : N. N.: LEHRSTUHL FÜR DIDAKTIK DER MATHEMATIK: Programme & Downloads. URL <http://www.didaktik.mathematik.uni->

- wuerzburg.de/materialien/programme_downloads. – Aktualisierungsdatum: 2012-01-31 – Überprüfungsdatum 2012-01-31
- /LIE09/ LIEVEN, Theo: Der Werdegang der Krise : Von der Subprime- zur Systemkrise. Wiesbaden : Gabler Verlag / GWV Fachverlage, Wiesbaden, 2009. ISBN 9783834985477
- /LÖN87/ LÖNS, Klaus ; WESTERFELD, Horst: CAE-Lexikon. 2. Aufl. Heidelberg : Hüthig, 1987. ISBN 3-7785-1552-7
- /LOO70/ LOOMAN, Johannes: Zahnradgetriebe : Grundlagen und Konstruktion der Vorgelege- und Planetenradgetriebe. Berlin : Springer, 1970 (Konstruktionsbücher 26). ISBN 3-540-04894-4
- /LUO02/ LUO, Benjin: Überprüfung und Weiterentwicklung der Zuverlässigkeitsmodelle im Maschinenbau mittels Mono-Bauteil-Systemen. Stuttgart : IMA, 2002 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente 105). ISBN 3-936100-05-5
- /MAR98/ MARX, Petra: Durchgängige, bauteilübergreifende Auslegung von Maschinenelementen mit unscharfen Vorgaben. Stuttgart : IMA, 1998 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente 77). ISBN 3-921920-77-9
- /MAS99/ MASING, Walter ; BLÄSING, Jürgen P.: Handbuch Qualitätsmanagement. 4. Aufl. München : Hanser, 1999. ISBN 3-446-19397-9
- /MFM12/ MFM: Moodle des Fachgebiets Maschinenelemente: Login. URL <http://moodle.maschinenelemente.info/login/index.php> – Überprüfungsdatum 2012-01-23
- /MIS88/ MISKA, Frank M: CIM - computer-integrierte Fertigung : Konzepte, Planung, Realisierung. Landsberg am Lech : Verl. Moderne Industrie, 1988. ISBN 3478416701
- /MÜL90/ MÜLLER, Heinz K: Abdichtung bewegter Maschinenteile : Funktion - Gestaltung - Berechnung - Anwendung. Waiblingen : Müller, 1990. ISBN 3-920484-00-2
- /NEU05/ NEUMANN, A.: Use of SVG and ECMAScript Technology for E-Learning Purposes (2005) – Überprüfungsdatum 2012-01-25
- /NEU78/ NEUMANN, Alexis: Verformungen und Spannungen beim Schweißen : Untersuchungsergebnisse aus Forschung und Literatur. Düsseldorf : Dt. Verl. für Schweißtechnik, 1978 (Fachbuchreihe Schweißtechnik 73). ISBN 3-87155-081-7
- /NEU97/ NEUMANN, Alexis: Berechnung und Gestaltung von Schweißkonstruktionen. Düsseldorf : Dt. Verl. für Schweißtechnik, 1997 (Fachbuchreihe Schweißtechnik 128,4). ISBN 3-87155-161-9
- /NGS97/ Neue Generation von CAD-CAM-Systemen : Erfüllte und enttäuschte Erwartungen ; Tagung München, 28. und 29. Oktober 1997. Nichtred. Ms.-Dr. Düsseldorf : VDI-Verl, 1997 (VDI-Berichte 1357). ISBN 3-18-091357-6
- /NIE05/ NIEMANN, Gustav ; HÖHN, Bernd-Robert ; WINTER, Hans: Maschinenelemente. 4. Aufl. Berlin : Springer, 2005. ISBN 3-540-25125-1
- /OSK82/ Oberflächenschutz beginnt beim Konstruieren : Tagung Stuttgart 1982. Als Ms. gedr. Düsseldorf : VDI-Verl, 1982 (VDI-Berichte 449). ISBN 3-18-090449-6
- /PAH07/ PAHL, Gerhard: Konstruktionslehre : Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung. 7. Aufl. Berlin : Springer, 2007 (Springer-Lehrbuch). ISBN 978-3-540-34060-7

- /PET07/ PETZOLD, Hilarion: Integrative Supervision, Meta-Consulting, Organisationsentwicklung : Ein Handbuch für Modelle und Methoden reflexiver Praxis. 2. Aufl. Wiesbaden : VS Verl. für Sozialwiss., 2007. ISBN 9783531145853
- /PFE01/ PFEIFER, Tilo: Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken ; mit 3 Tabellen. 3. Aufl. München [u.a.] : Hanser, 2001. ISBN 3-446-21515-8
- /PLA09/ PLANIT: Edgecam Handbuch, 2009
- /RÄS91/ RÄSE, Ulf: Gußgerechtes Konstruieren mit CAD : Möglichkeiten zur Beschreibung und Analyse von Gußteilen, 1991
- /RIC86/ RICHTER, Rudolf: Form- und gießgerechtes Konstruieren. 4., überarb. Leipzig : Dt. Verl. für Grundstoffindustrie, 1986. ISBN 3-342-00146-1
- /RIC91/ RICHTER, Ralph: Wissensbasierte CAD-Systemkomponente zum Entwurf montagegerechter Produkte. Berlin : Springer, 1991 (IPA-IAO-Forschung und -Praxis 156). ISBN 0-387-54725-8
- /RIC02/ RICHARD, Tim ; SCHLEIDGEN, Florian: Simulation der Einflüsse von Prüfzeitpunkt und Prüfort auf Kosten, Qualität und Durchlaufzeit - Untersuchung am Beispiel der Teilefertigung : unveröffentlichte Studienarbeit am Lehrstuhl für Fertigungsvorbereitung, Universität Dortmund, 2002
- /RIC03/ RICHARD, Tim: Untersuchung von Einsatzmöglichkeiten evolutionärer Algorithmen in der Konstruktion : unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachgebiet Maschinenelemente, Universität Dortmund, 2003
- /RIC09/ RICHARD, Tim: Entwicklung eines internetbasierten Wissensmanagementsystems für die reinigungsgerechte Konstruktion, Dissertation, Technische Universität Dortmund, 2009
- /ROD77/ RODDEWIG, Heinrich ; TZSCHOPPE, Winfried: EDV-Programm einer Optimierungsrechnung für Wellen und Achsen. Düsseldorf : VDI-Verl, 1977 (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften : Reihe 1, Konstruktionstechnik, Maschinenelemente 52). ISBN 3-18-145201-7
- /ROS92/ ROSER, Thomas: Wissensbasiertes Konstruieren am Beispiel von Getrieben. Stuttgart, 1992 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente, Getriebetechnik, CAD, Dichtungstechnik 43). ISBN 3-921920-43-4
- /ROT91/ ROTHLEY, Jürgen: Fertigungsgerechtes Konstruieren mit CAD : Technische Formelemente steigern die Wirtschaftlichkeit. Düsseldorf : VDI-Verl, 1991. ISBN 3-18-401181-X
- /ROT96/ ROTH, Karlheinz: Verbindungen und Verschlüsse, Lösungsfindung : Mit 48 Konstruktionskatalogen und 52 Lösungssammlungen Band III, 1996. ISBN 3-540-60782-X
- /ROT00/ ROTH, Karlheinz: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen : Band I. 3. Aufl. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2000. – ISBN 978-3-540-67142-8
- /ROT01/ ROTH, Karlheinz: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen : Band II. 3. Aufl. Berlin : Springer, 2001. ISBN 3-540-67026-2
- /RUG85/ RUGE, Jürgen: Handbuch der Schweißtechnik : Band III Konstruktive Gestaltung der Bauteile, 1985. ISBN 0-387-10361-9
- /SCH95/ SCHLAG, Bernhard: Lern- und Leistungsmotivation. Opladen : Leske + Budrich, 1995. ISBN 3-8100-1380-3
- /SCH81/ SCHMID, Edgar: Handbuch der Dichtungstechnik. Grafenau/Württ : Expert-Verl, 1981 (Expert-Bücherei). ISBN 3-88508-504-6

- /SCH94/ SCHÜLER, Udo ; BURGMER, Martin: CIM-Lehrbuch : Grundlagen der rechnerintegrierten Produktion. Braunschweig : Vieweg, 1994 (Viewegs Fachbücher der Technik). ISBN 3528049286
- /SCH05/ Internetdokument : SCHMIDT, Reinhard: Das Wunderland der Geometrie - das Lot von einem Punkt auf eine Gerade. URL <http://www.hirnwindungen.de/wunderland/cinderella/lot.html>. – Aktualisierungsdatum: 2005-02-02 – Überprüfungsdatum 2012-01-31
- /SCH10/ SCHMITT, Robert: Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken. 4. Aufl. München [u.a.] : Hanser, 2010. ISBN 978-3-446-41277-4
- /SIM08/ SIMON, Sylvio: Werkstoffgerechtes Konstruieren und Gestalten mit metallischen Werkstoffen. Als Ms. gedr. Berlin : dissertation.de, 2008 (Forschungsberichte Leichtbau 2). ISBN 3-86624-324-3
- /SOE96/ SOETHE, Michael: Entwicklung eines rechnergestützten Informationssystems als Hilfsmittel bei der Konstruktion gegossener Bauteile, 1996
- /SOL12/ SOLIDWORKS: SolidWorks Premium 2012 : www.SolidWorks.de; Produktinformation, 2012
- /SPA09/ SPACECLAIM: SpaceClaim Handbuch, 2009
- /SPA11/ Internetdokument : N. N.: SPACECLAIM: Tutorials: Essentials. URL <http://www.spaceclaim.com/de/Support/Tutorials/Essentials.aspx> – Überprüfungsdatum 2012-01-23
- /SPR94/ SPRANGERS, Walter: Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur 3D-Gestaltoptimierung dickwandiger, massiver Bauteile. Als Ms. gedr. Aachen : Shaker, 1994 (Berichte aus der Produktionstechnik 94,27). ISBN 3-8265-0284-1
- /SPU84/ SPUR, Günter ; KRAUSE, Frank-Lothar: CAD-Technik : Lehr- und Arbeitsbuch für die Rechnerunterstützung in Konstruktion und Arbeitsplanung. München : Hanser, 1984. ISBN 3446138978
- /STR92/ STRNAD, Helmut ; VORATH, Bernd-Jürgen: Sicherheitsgerechtes Konstruieren : Entwerfen und Konstruieren gefahrenfreier technischer Arbeitsmittel und Anlagen. 2. erw., völlig überarb. Aufl. unter Berücksichtigung der EG-Regelwerke. Köln : Verl. TÜV Rheinland, 1992 (Praxiswissen für Ingenieure : Konstruktion). ISBN 3-88585-727-8
- /TEM79/ TEMPELHOF, Karl-Heinz ; LICHTENBERG, Horst ; RUGENSTEIN, Jürgen: Fertigungsgerechtes Gestalten von Maschinenbauteilen : 13 Tafeln. 1. Aufl. Berlin : Verl. Technik, 1979 (Betriebspraxis)
- /TIE03/ TIETZE, Wolfgang: Handbuch Dichtungspraxis. 3. Aufl. Essen : Vulkan-Verl, 2003. ISBN 3-8027-3301-0
- /TRA12/ Internetdokument : N. N.: TRANSCAT PLM: Transcat Software. URL <http://www.transcat-plm.com/> – Überprüfungsdatum 2012-01-25
- /VDI2221/ N. N.: VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Beuth, 1993.
- /VDI2222/ N. N.: VDI 2222 BLATT 1: Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Beuth, 1997.
- /VDI2223/ N. N.: VDI 2223: Methodisches Entwickeln technischer Produkte. Beuth, 2004.
- /VEI99/ VEIL, Armin: Integration der Berechnung von Systemzuverlässigkeiten in den CAD-Konstruktionsprozeß. Stuttgart : IMA, 1999 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente 85). ISBN 3-921920-85-X

- /VIE09/ VIEBAHN, Ulrich: Technisches Freihandzeichnen : Lehr- und Übungsbuch. 7. Aufl. Berlin ;, Heidelberg : Springer, 2009. ISBN 9783642024344
- /W3C09/ Internetdokument : N. N.: W3C: Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification. URL <http://www.w3.org/TR/2003/REC-SVG11-20030114/>. – Aktualisierungsdatum: 2009-04-30 – Überprüfungsdatum 2012-01-25
- /WER11/ WERDICH, Martin: FMEA Einführung und Moderation : Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld). Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, 2011. ISBN 9783834899514
- /WIM89/ WIMMER, Dieter: Kunststoffgerecht konstruieren : [Gestaltungsrichtlinien, Konstruktions- und Verbindungselemente, Bearbeitungsrichtlinien, CAD, Kunststoffdatenbanken] ; 73 Tabellen. Darmstadt : Hoppenstedt Technik-Tabellen-Verl, 1989 (Fachbuch Konstruktion). ISBN 3-87807-158-2
- /WU92/ WU, Zhenhuan: Vergleich und Entwicklung von Methoden zur Zuverlässigkeitsanalyse von Systemen. Stuttgart, 1992 (Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente, Getriebetechnik, CAD, Dichtungstechnik 45). ISBN 3-921920-45-0