Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 15

2 Problembeschreibung und Zielsetzung 17

2.1 Berücksichtigung der Konstruktionsmethodik 17

2.2 Systematik zur Beschreibung des Konstruktionssystems 17

2.3 Beschränkung auf produktgenerierende Tätigkeiten 18

2.4 Fehlerorientierung der Prozess-Optimierung 19

2.5 Darstellung des Konstruktionsverlaufs 20

2.6 Berücksichtigung des Menschen im Konstruktionsprozess 21

2.7 Unterstützung bei der Auswahl und Überprüfung von Maßnahmen 22

2.8 Unterstützung verteilter Konstruktionsprozesse 22

2.9 Zielsetzung für diese Arbeit 23

3 Qualitätssicherung in der Produktentwicklung 24

3.1 Produktverhalten 24

3.1.1 Produktverhalten und Qualitätssicherung in der Produktentwicklung 29

3.2 Technologisches Produktwissen 29

3.2.1 Technologisches Produktwissen und Qualitätssicherung in der Produktentwicklung 30

3.3 Ganzheitliche Methoden der Qualitätssicherung 31

3.3.1 Integrierte Anwendung von Methoden 31

3.3.2 Management des Konstruktionsprozesses 32

3.3.2.1 Stufe 1: Übernahme der Prozessverantwortung 33

3.3.2.2 Stufe 2: Beschreibung des Konstruktionsprozesses 33

3.3.2.3 Stufe 3: Messen von Fehlern im Konstruktionsprozess 34

3.3.2.4 Stufe 4: Stabilisierung des Konstruktionsprozesses 34

3.3.2.5 Stufe 5: Optimierung des Konstruktionsprozesses 34

3.3.3 Systematische Vorgehensweise 34

3.4 Fallbeispiel für Prozessfehler beim Konstruieren 35

3.4.1 Referenzprozess 35

3.4.1.1 Prozessfehler 1: Nichterfassen einer Anforderung 41

3.4.1.2 Prozessfehler 2: Unvollständige Funktionsanalyse/-verifikation 43

3.4.1.3 Optimierung des Referenzprozesses 44

3.5 Zusammenfassung der vorgenannten Erkenntnisse zur Qualitätssicherung 46

4 Erfassung und Beschreibung des Konstruktionsprozesses 47

4.1 Konzepte der Systemtheorie 48

4.2 Systemkonzepte und Aspektsysteme der Konstruktion 50

4.2.1 Funktionales Systemkonzept 50

4.2.2 Strukturales Systemkonzept 52

4.2.3 Hierarchisches Systemkonzept 55

4.2.4 Produktspezifische und prozessspezifische Aspekte der Konstruktion 57

4.3 Das Konstruktionssystem als soziotechnisches Handlungssystem 59

4.3.1 Systemklassen im Produktentstehungsprozess 60

4.3.1.1 Zielsysteme 60

4.3.1.2 Handlungssysteme 60

4.3.1.3 Sachsysteme 60

4.4 Das funktional-struktural-hierarchische-System der Konstruktion (f-s-h-System) 62

4.5 Zusammenfassung der vorstehenden Systembetrachtung 63

5 Systemanalyse der Konstruktion 64

5.1 3D-Raum der Aspektsysteme 64

5.1.1 Aspektsysteme in Blickrichtung der Funktion 65

5.1.2 Aspektsysteme in Blickrichtung der Struktur 65

5.1.3 Aspektsysteme in Blickrichtung der Hierarchie 65

5.2 Ablauf der Systemanalyse im 3D-Raum der Aspektsysteme 66

5.3 Beispiel einer Systemanalyse 66

5.3.1 Analyseschritt 1: Teilprozesse in den Konstruktionsschritten bestimmen 69

5.3.1.1 Beispiele für konstruktionsbestimmende Teilprozesse 71

5.3.2 Analyseschritt 2: Ganzheitliche Erfassung der prozessführenden Systeme 72

5.3.2.1 Identifizierung von Nebenfunktionen 72

5.3.2.2 Klären der Bedeutung von Systemelementen 72

5.3.2.3 Aufzeigen von Art und Richtung des Informationsflusses 73

5.3.2.4 Schnittstellenbetrachtung 73

5.3.2.5 Beispiel für ein F-s-h-System der Konstruktion 74

5.3.3 Analyseschritt 3: Parameter der prozessführenden Systeme bestimmen 75

5.3.3.1 Bestimmung der Systemparameter 75

5.3.3.2 Bedeutung der Kategorie „Raum“ für den Konstruktionsprozess 77

5.3.3.3 Bedeutung der Kategorie „Zeit“ für den Konstruktionsprozess 77

5.3.3.4 Beispiel einer Systemmatrix der Teilsysteme 77

5.3.3.5 Beispiel für eine Systemmatrix 78

5.3.4 Analyseschritt 4 Darstellung der Systemstrukturen 78

5.3.4.1 Bewertung der Relationen mit Relationsmatrizen 79

5.3.4.2 Beispiele für Relationsmatrizen und Relationsdiagramme 81

5.3.4.3 Darstellung der Relationen mit Relationsdiagrammen 83

5.3.4.4 Fallbeispiel: Problemlösefehler aus Unwissenheit 83

5.3.4.5 Beispiel für Relationsdiagramme 85

5.3.5 Analyseschritt 5 Prozessindikatoren bestimmen 86

5.3.5.1 Prozessindikatorenmatrix 87

5.3.5.2 Informationsträger in den Prozessindikatoren 87

5.3.5.3 Wissen in den Prozessindikatoren 88

5.3.5.4 Eigenschaften der Prozessindikatoren 89

5.3.5.5 Zuordnung von Wissen zu Informationsträgern der Teilsysteme 89

5.3.5.6 Kopplungen von Prozessen 90

5.3.5.7 Aufbau der Prozessindikatorenmatrix 90

5.4 Rückwirkung der Messung auf den Konstruktionsprozess 94

5.4.1 Ort und Zeitpunkt zur Bestimmung der Prozessindikatoren 95

5.4.1.1 Nutzung der Informationsspeicher 96

5.4.1.2 Nutzung des Informationsverarbeitungssystems 96

5.4.1.3 Nutzung des Zielsystems 97

5.5 Auswahl signifikant fehleranfälliger Teilprozesse 97

5.6 Zusammenfassung der Vorgehensweise zur Systemanalyse der Konstruktion 98

6 Der Mensch als fehlerverursachendes System in der Konstruktion 99

6.1 Handlungsfehler und Problemlöseverhalten 100

6.2 Produktfehler, Konstruktionsfehler, Verfahrensfehler und Prozessverlaufsfehler 102

6.3 Typisierung von Handlungsfehlern 103

6.3.1 Fehlertypen bei Verfahrensfehlern 103

6.3.2 Beispiele für Verfahrensfehler beim Konstruieren 105

6.3.2.1 Wissensbasierter Fehler 107

6.3.2.2 Regelbasierter Fehler 107

6.3.2.3 Fähigkeitsbasierter Fehler 108

6.4 Drei-Ebenen-Modell des Problemlösens und der Fehlerentstehung 109

6.4.1 Das Paradoxon der Planung 111

6.4.2 Fehlerformen aus Ähnlichkeitsabgleich und Häufigkeitsverfahren 114

6.4.3 Aufbau und Abruf von Wissensstrukturen 115

6.4.4 Ähnlichkeitsabgleich und Häufigkeitsverfahren 119

6.4.5 Problemlösen und Fehlerentstehung 121

6.4.6 These: Komplexe Problemstellungen verhindern innovative Lösungen 122

6.4.6.1 Kognitive Unterspezifizierung bei technischen Aufgaben 122

6.4.6.2 Fokussierung auf bekannte Lösungen 122

6.4.6.3 Fazit 123

6.5 Fehlermöglichkeiten im Konstruktionsprozess 123

6.6 Verfahrensfehler beim Konstruieren 126

6.7 Prozessverlaufsfehler beim Konstruieren 127

6.7.1 Anforderungen an das Problemlöseverhalten im Konstruktionsprozess 128

6.7.1.1 Die Anforderungstopologie des Konstruktionsprozesses 129

6.7.2 Iteratives Vorgehen und Prozessverläufe beim Konstruieren 133

6.7.3 Driften im Konstruktionsprozess und Umgehen von Teilprozessen 136

6.7.3.1 Driften im Konstruktionsprozess 136

6.7.3.2 Umgehen von Teilprozessen 138

6.7.4 Signifikant fehleranfällige Teilprozesse beim Konstruieren 141

6.8 Fazit zum Menschen im Konstruktionssystem 142

7 Methodik zur systemorientierten Prozess-Optimierung SysPrO 143

7.1 Aufbau und Ablauf der SysPrO, die Bausteine der Methodik 144

7.1.1 Identifizierung signifikant fehleranfälliger Teilprozesse 144

7.1.2 Systemanalyse der Konstruktion im 3D-Raum der Aspektsysteme 145

7.1.3 Bestimmung der Prozessindikatoren 145

7.1.4 Stabilisierung des Konstruktionsprozesses 146

7.1.5 Optimierung des Konstruktionsprozesses 147

7.2 Zusammenfassung der vorstehenden Methodik 148

8 Zusammenfassung der Erkenntnisse und Ausblick 149

9 Abkürzungsverzeichnis 152

10 Literaturverzeichnis 155