



1 Einleitung

Der steigende Wettbewerbsdruck zwingt die Unternehmen, sämtliche Schritte innerhalb der Wertschöpfungskette stetig effizienter auszuführen und die Produktqualität zu steigern. Hinreichend bekannt sind die Feststellungen, dass während der Konstruktionsphase der Großteil der Produktkosten festgelegt wird und dass die Unternehmenserlöse direkt mit der Produktqualität in Korrelation stehen. Eine entsprechend hohe Aufmerksamkeit ist daher der Erzeugung von Lösungsprinzipien und dem Vergleich von Lösungsalternativen während der konstruktiven Tätigkeit zuzuteilen. Alternative Lösungsvarianten müssen sich schneller und zuverlässiger als bisher miteinander vergleichen lassen, damit in möglichst kurzer Zeit die Auswirkung auf den aktuellen Konstruktionsstand bewertet werden kann. Der Konstrukteur, der maßgeblich die Produktgestalt und damit die Funktionalität eines technischen Produktes vorgibt, steht in hoher Verantwortung gegenüber dem gesamten Unternehmenserfolg. Die heute vom Markt geforderten Produkte vereinigen hoch komplexe Technologien aus verschiedenen Ingenieursdisziplinen. Hieraus ergibt sich, dass die im Konstruktionsumfeld notwendige ganzheitliche Betrachtungsweise mehr denn je als eine Herausforderung anzusehen ist.

Diese Arbeit zeigt auf, mit welchen Problemen der Konstrukteur während des Konstruktionsprozesses konfrontiert wird und liefert einen Beitrag zur Klärung der Frage, in welcher Form in Zukunft Systemunterstützung bereitgestellt werden muss. Dazu werden ausgewählte Konstruktionsprozesse bezüglich der verfügbaren Systemunterstützung analysiert und Schlussfolgerungen abgeleitet. Dies erfolgt mit Bezug auf unterschiedliche Neuheitsgrade und Konstruktionsphasen. Eine Vielzahl der aufgezeigten Aspekte basiert auf industrienahen Problemstellungen, wodurch direkt die Forschungsrelevanz nachgewiesen wird. Die vorliegende Arbeit stellt Möglichkeiten vor, in welcher Form Konstruktionsabläufe unter Berücksichtigung von zu integrierenden Berechnungen automatisiert werden können. Allgemeinere Erläuterungen zu den verwendeten Beispielen verringern die zu leistende Transferarbeit bei der Übertragung auf vergleichbare Problemstellungen.

Die heutige Produktentwicklung ist durch den Einsatz vielfältiger Softwaresysteme geprägt, mit deren Hilfe die realen Produkte als digitale Modelle abgebildet und verwaltet werden. Die ganzheitliche Betrachtung einer Konstruktionsaufgabe verlangt nach einer verstärkten Vernetzung dieser Systeme. Der Neuheitsgrad einer Konstruktion beeinflusst jedoch die Kopplungsmöglichkeiten und den damit verbleibenden manuellen Aufwand, Teilmodelle aufeinander abzustimmen entscheidend. Die manuelle Abstimmung der Teilmodelle birgt die Gefahr inakzeptabler Inkonsistenzen zwischen den notwendigen Teilmo-



dellen. Heute bieten CAD-Systeme umfangreiche Funktionalität zur durchgängigen Abbildung der Konstruktionsabsicht und Produktlogik. Berechnungssoftware ist bereits mit spezifischem Berechnungs- und Auslegungswissen angereichert oder kann damit angereichert werden. Um den Konstrukteur bei der verantwortungsvollen Konstruktionstätigkeit, die hochkomplexe Denkvorgänge voraussetzt, von Routinetätigkeiten zu entlasten, müssen diese beiden Domänen stärker miteinander verknüpft werden. Da die Anforderungen an den Konstrukteur und seine Verantwortung stetig wachsen, müssen die Softwaresysteme ihn in Zukunft bei der Entscheidungsfindung aktiver unterstützen.

Die Sicherung der Wirtschaftlichkeit der Unternehmen fordert mehr denn je Vereinheitlichungsmaßnahmen. Dies gilt auch für Konstruktionen mit hohem Neuheitsgrad oder Konstruktionen, bei denen kundenindividuelle Anpassungen berücksichtigt werden müssen. Sollen standardisierte Konstruktionskomponenten als Lösungsträger zur Erfüllung von Teilfunktionen innerhalb einer Baugruppe genutzt werden, müssen komponentenspezifische Randbedingungen beachtet werden. Das bedeutet, dass im CAD-System neben den Platzierungsbedingungen insbesondere funktionale und berechnungsrelevante Abhängigkeiten zu angrenzenden Konstruktionskomponenten zu berücksichtigen sind. Auch in leistungsfähigen CAD-Systemen fehlen heute Mechanismen, um automatisiert Bewertungsvorgänge zu initiieren, die eine funktionale Eignung im Baugruppenkontext sicherstellen. Derzeit muss der Konstrukteur manuell für die Einhaltung von Randbedingungen und Nachführung von Änderungen sorgen.

Kapitel 2 liefert Einblicke in das umfangreiche Arbeitsumfeld des Konstrukteurs und in die für die vorliegende Arbeit wichtigsten konstruktionsmethodischen Aspekte. Neben der Darstellung informationstechnischer Grundlagen virtueller Produktmodelle werden allgemeine Forschungsfelder der Wissensverarbeitung im Konstruktionsumfeld vorgestellt.

Aufbauend weist Kapitel 3 den Bedarf weiterführender Unterstützungsmethoden nach. Zur Darstellung werden Konstruktionsbeispiele herangezogen, die sich hinsichtlich ihres Neuheitsgrades unterscheiden. Es wird diskutiert, welche Funktionalität heutige Softwaresysteme bieten, um den auftretenden Problematiken zu begegnen, und welche Möglichkeiten und Grenzen der Systemunterstützung sich in Bezug auf Neu-, Anpassungs- und Variantenkonstruktionen ergeben. In diesem Kontext wird auf Konfigurationssysteme eingegangen, die neben Konfigurierungsregeln auch notwendige Berechnungen in den Auslegungsablauf integrieren. Hierdurch hebt sich diese Arbeit von vergleichbaren Arbeiten in diesem Bereich ab. Erkenntnisse dieses Kapitels werden in Form von Anforderungen zusammenfasst, die als notwendige Basis für die konzeptionelle Entwicklung der höherwertigen Konstruktionsobjekte herangezogen werden.

Kapitel 4 setzt sich mit den Möglichkeiten der Kopplung von Gestalt- und Berechnungsmodellen auseinander. Dabei wird Bezug auf die bis dahin vorgestellten Problemfelder



genommen. Es werden parameterbasierte Methoden zur Systemkopplung vorgestellt, verglichen und weiterentwickelt bzw. Verbesserungspotentiale abgeleitet. Darüber hinaus wird explizit auf die Abbildung der Produktlogik in digitalen Produktmodellen im Berechnungskontext eingegangen. Dieses Kapitel schafft die wichtige informationstechnische Grundlage für die ebenfalls bei den höherwertigen Konstruktionsobjekten zu überwindende Kopplungsproblematik.

Wesentlicher Bestandteil der Arbeit ist die Entwicklung eines konzeptionellen Ansatzes für höherwertige Konstruktionsobjekte. Höherwertige Konstruktionsobjekte unterstützen den Konstrukteur, Inkonsistenzen zwischen Gestalt- und Berechnungsmodell zu vermeiden und die Gefahr der Nichtberücksichtigung relevanter Vorschriften zu verringern. In diesem Zusammenhang wird die notwendige Abbildung der wechselseitigen Komponentenabhängigkeiten im digitalen Produktmodell eine zentrale Rolle einnehmen. Kapitel 5 befasst sich mit der Definition und dem Aufbau höherwertiger Konstruktionsobjekte. Hierzu werden konstruktionsmethodische und informationstechnische Aspekte aufgegriffen, die in den vorherigen Kapiteln gewonnen wurden. Die Beispiele sind derart ausgewählt, dass sie die repräsentative Darstellung der Problemfelder, aber auch die Verdeutlichung der Lösungsansätze zulassen. Es wird gezeigt, wie mit höherwertigen Konstruktionsobjekten der Konstruktionsprozess unterstützt werden kann und wie der Konstrukteur beim Gegenüberstellen von Lösungsalternativen von dieser Unterstützung profitiert. Aufbauend auf der allgemeingültigen Beschreibung und Definition des konzeptionellen Ansatzes der höherwertigen Konstruktionsobjekte erfolgt in diesem Kapitel ebenfalls eine exemplarische Umsetzung. Hierzu ist es notwendig, leistungsfähige CAD-Software hinsichtlich der geforderten Kriterien anzupassen und die CAD-Modelle mit Berechnungsmodellen bidirektional zu koppeln. Die gewählten Fallbeispiele weisen sowohl Einsatztauglichkeit als auch den praktischen Nutzen der höherwertigen Konstruktionsobjekte nach. Da es mit den höherwertigen Konstruktionsobjekten gelingt, den CAD-Prozess hinsichtlich der Zeiteffizienz und Qualität zu unterstützen, werden sie insbesondere der Forderung nach einer stetig effektiveren Produktentwicklung gerecht.

Kapitel 6 reflektiert die gewonnenen Erkenntnisse und beschreibt Ansatzpunkte für weiterführende Arbeiten.



2 Grundlagen heutiger Konstruktionsprozesse

Das „Konstruieren“ kann als geistig-schöpferische Tätigkeit aufgefasst werden, die sich zwischen Kunst und Wissenschaft platziert [He05]. Konstruieren dient hauptsächlich dazu, alle notwendigen Informationen, die zur Schaffung und zum Betrieb technischer Gebilde notwendig sind, zusammenzutragen. Der Konstrukteur speichert diese Informationen heutzutage innerhalb eines virtuellen Produktmodells. Er hat dafür zu sorgen, dass die Konstruktion eine weitestgehend optimale Umsetzung der im Vorfeld oftmals unscharf definierten Aufgabe darstellt. Hierzu muss er stetig den aktuellen Konstruktionsstand mit den Anforderungen und Randbedingungen abgleichen, um seine Vorstellung in funktionierende und herstellbare Gestalt zu überführen. Vor dem Hintergrund der Produktverantwortung und Produkthaftung muss der Konstrukteur während der Lösungsfindung die Alternativen hinsichtlich deren Eignung bewerten. Termintreue zwingt ihn, in möglichst kurzer Zeit den angemessensten Kompromiss zu bilden. Er trägt nicht nur den Großteil der technischen, sondern auch einen entscheidenden Teil der wirtschaftlichen Verantwortung, da er durch die Gestaltung signifikant die Produktkosten beeinflusst. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, dass der Konstrukteur seine Arbeiten äußerst bewusst und strukturiert ausführen muss.

An dieser Stelle zeichnet sich bereits die Gesamtkomplexität des Konstruktionsprozesses ab. Auch wenn bereits vielfältige Hilfsmittel und Methoden verfügbar sind, sorgt die Anzahl der Einflussfaktoren dafür, dass das heutige „Konstruieren“ nach wie vor eine Herausforderung darstellt.

2.1 Komplexität

Wie bereits festgestellt, steht im engen Zusammenhang mit dem Konstruieren die Überprüfung verschiedenster Anforderungen. Der Begriff „Gerechtigkeit“ definiert, in welchem Maße die Konstruktion spezifische Anforderungen erfüllt. Die Einhaltung der Gesamtheit aller von der Konstruktion einzuhaltenden Gerechtigkeiten verursacht die hohe Komplexität der Konstruktionsaufgabe. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier einige genannt: funktionsgerecht, fertigungsgerecht, montagegerecht, belastungsgerecht, normgerecht, termingerecht, sicherheitsgerecht, recyclinggerecht, kostengerecht etc.. Diese, zum Teil widersprüchlichen, fallabhängig zu gewichtenden Eigenschaften bzw. Anforderungen müssen von der endgültigen Konstruktion erfüllt werden. Abbildung 2-1 zeigt das im Konstruktionsprozess typische iterative Vorgehen. Die Iterationsschleifen sind der Tatsache ge-



schuldet, dass mögliche Ansätze und Ideen der Bewertung nicht standhalten und verworfen werden müssen; die folgenden Änderungen sind dann erneut zu bewerten, bis sich das Gesamtsystem zu einer weitestgehend optimalen Lösung "zusammenschnürt".

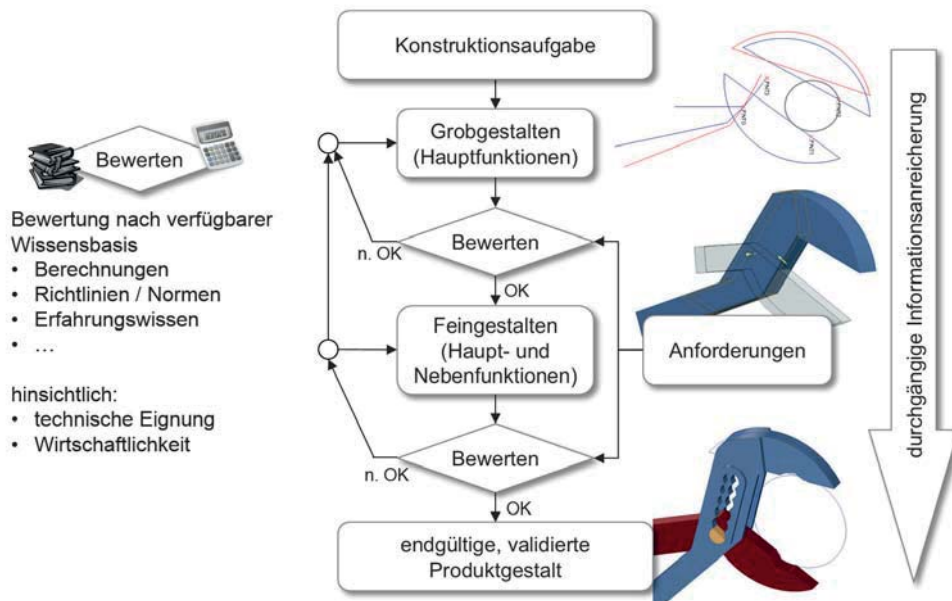


Abbildung 2-1: Iterationsschleifen durch abwechselndes Gestalten und Bewerten

Hinzu kommt, dass in frühen Phasen der Konstruktion nur wenige Konstruktionsparameter bekannt sind. Dies können z. B. max. Bauraum, Abstände, zu übertragende Leistung oder der notwendige Produktdurchsatz sein. Berechnungen, die als mögliches Bewertungsverfahren herangezogen werden können, setzen Kenntnis über die geometrische Ausprägung voraus. Die geometrische Ausprägung wiederum bedingt die Ergebnisse der Berechnungen. Die so entstehenden zirkulären Abhängigkeiten lassen sich nur eliminieren, wenn der Konstrukteur damit beginnt, einzelne Konstruktionsparameter sukzessiv festzulegen und im weiteren Verlauf ändert und konkretisiert, sodass eine kontinuierliche Informationsanreicherung stattfindet. Zur Bewertung verschiedenster Teilprobleme stehen Berechnungsvorschriften zur Verfügung oder können fallabhängig entwickelt werden, z. B. mit Hilfe elementarer mechanischer Gesetzmäßigkeiten. In Normen, Richtlinien und Fachliteratur sind Auslegungsregularien enthalten, die zur Lösung allgemeiner Teilprobleme beitragen. Darüber hinaus fließt das subjektive Erfahrungswissen des Konstrukteurs in die Bewertung des aktuellen Konstruktionsstands ein. Da Konstruktionsaufgaben in der Praxis meist in engen Zeitfenstern ausgeführt werden müssen, fällt es i. d. R. schwer abzuschätzen, welcher Bewertungsaufwand einer einzelnen Alternative (die evtl. wieder verworfen wird) zugeteilt werden muss, um deren Eignung festzustellen bzw. widerlegen zu können. Zumal Konstruktionsdetails, die im Grobentwurf noch nicht bekannt waren oder als unkritisch beurteilt wurden, dafür sorgen können, dass ein weit vorangetriebener Lösungsweg verworfen werden muss. Eine weitere zentrale Frage, die sich der Konstrukteur im Bewertungsprozess fortwährend stellen muss, ist daher die der Aussagekraft einer Bewertung.



Eine klare Definition oder eine vollständig allgemeingültige Beschreibung der Konstruktionstätigkeit ist aufgrund der mannigfachen Abhängigkeiten und unterschiedlichsten Einflussfaktoren bis heute nicht möglich. Hier deutet sich auch eines der wesentlichen Probleme zur Formulierung allgemeingültiger Handlungsstrategien für die Konstruktionstätigkeit an. Die Konstruktionsmethodik zielt darauf ab, eben genau diese Handlungsstrategien bereitzustellen. Die vielen Abhängigkeiten sorgen in vergleichbarer Weise auch für die Probleme bei der Entwicklung gänzlich allgemeingültiger Konstruktionssoftware. Daraus folgt, dass der Konstrukteur ein wichtiges Organ im Umfeld der heutigen Produktentwicklung darstellt und dass auf seine Intelligenzleistung auch in Zukunft nicht verzichtet werden kann. Ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, stellt Abbildung 2-2 verschiedene Einflussgrößen und Abhängigkeiten auf den heutigen Konstruktionsprozess und damit auf den Konstrukteur von heute dar. In den folgenden Unterkapiteln werden diese Einflussfaktoren schrittweise aufgegriffen.

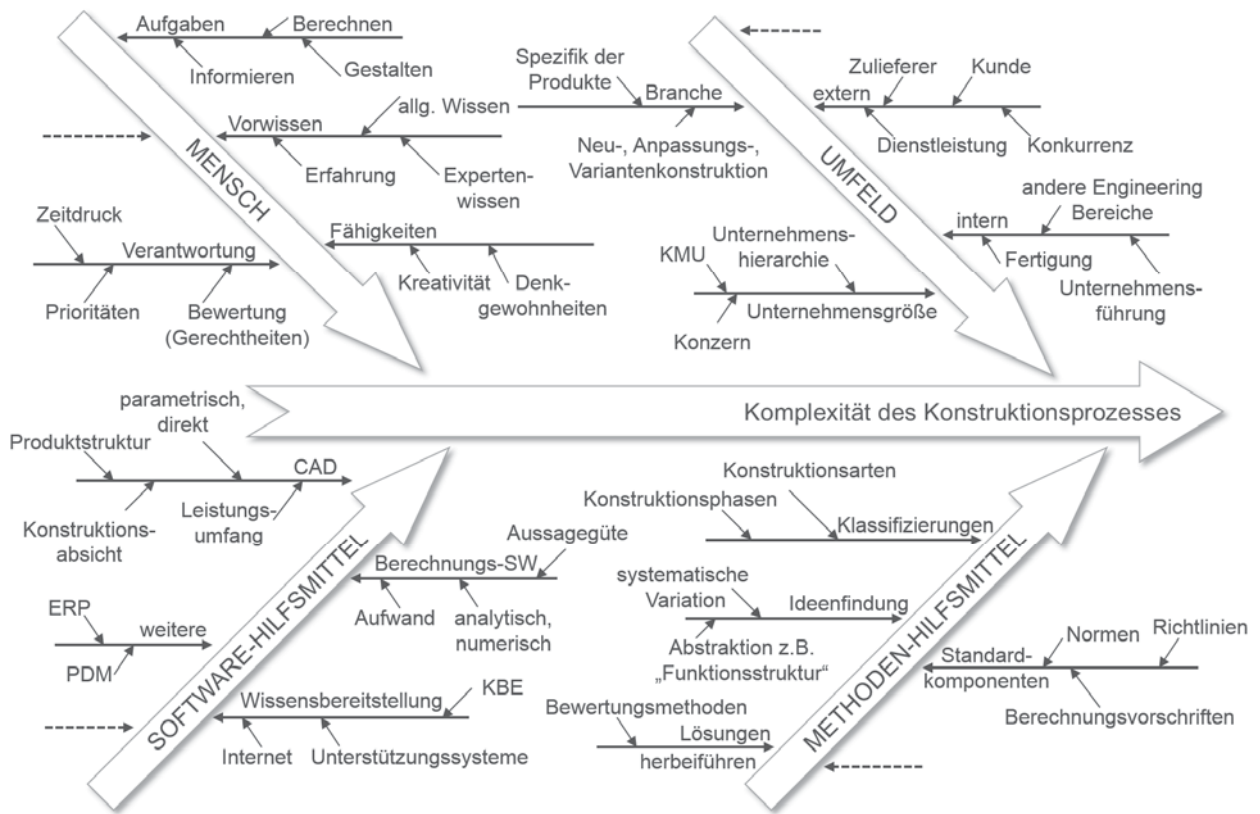


Abbildung 2-2: Abhängigkeitsdiagramm: Komplexität des Konstruktionsprozesses

2.2 Der Konstrukteur und sein Tätigkeitsumfeld

Laut VDMA [VD13] waren im Jahr 2012 rund 971.000 Menschen in den ca. 6000 Unternehmen mit der Herstellung von Maschinen und Anlagen beschäftigt. Etwa zwei Drittel der Unternehmen beschäftigten weniger als 100 Personen, damit ist der heutige deutsche Maschinenbau maßgeblich durch mittelständische Unternehmensstrukturen geprägt. Die



häufig in Kleinserie oder auch als Einzelstücke gefertigten Maschinen lieferten einen pro-Kopf-Umsatz von 213.000 Euro. Auch wenn sich aus diesen Aussagen keine direkten Schlüsse über die unmittelbar im Entwicklungsprozess involvierten Personen ableiten lassen, zeigen Sie eine Tendenz bezüglich der Anzahl an Konstrukteuren, die in kleinen Entscheidungshierarchien arbeiten. Die stetig steigende Komplexität der Produkte fordert vom Konstrukteur einerseits breites Wissen über verschiedenste ingenieurwissenschaftliche Disziplinen, andererseits die notwendige Tiefe des Wissens, um der Verantwortung gerecht werden zu können. Unterschiedlichste Aspekte sorgen für einen stetig anhaltenden Wandel des gesamten Konstruktionsumfeldes und beeinflussen damit die dem Konstrukteur abverlangten Fähigkeiten.

2.2.1 Anforderungen an den Konstrukteur

Vielfach wird zwischen dem Produktentwickler, dem Konstrukteur und dem Detailkonstrukteur bzw. Technischen Zeichner differenziert. Der Produktentwickler ist dabei als Organ, das den Produktentwicklungsprozess ganzheitlich überwacht und koordiniert, eher für die neuen Ideen und Konzepte verantwortlich. Der Konstrukteur ist für die Gestaltung einzelner Bauteile und Ideenumsetzung verantwortlich und der Detailkonstrukteur bzw. der Technische Zeichner für die Anfertigung der Zeichnungen. Wobei hier sicherlich die Einbeziehung der Unternehmensgröße von entscheidender Bedeutung sein wird. Tendenziell übernimmt der Konstrukteur in kleineren mittelständischen Firmen weitreichendere Aufgaben als in großen Unternehmen, z. B. auch die Projektkoordination oder das Erzeugen neuer Ideen oder Lösungsansätze. Er steht dabei häufig direkt im Kontakt mit Kunden, Zulieferfirmen, Kollegen aus dem Vertrieb, Partnerunternehmen, die nach seinen Vorgaben Maschinenteile entwickeln und fertigen und muss ebenso seine Zeichnungen detaillieren. Innerhalb kleinerer Unternehmen bildet er die Schnittstelle zwischen Unternehmensführung und der Produktionsabteilung. Da heutige Maschinen neben den mechanischen auch eine Vielzahl elektrischer Komponenten enthalten, steht er ebenfalls in enger Abstimmung mit anderen Engineering-Bereichen, die intern oder extern angesiedelt sein können, um z. B. Sensoren und Aktuatoren in seiner Konstruktion zu berücksichtigen. Mit wachsender Unternehmensgröße sind die Unternehmensstrukturen und Abteilungen feiner aufgelöst, woraus eine spezifizierte und differenziertere Aufgabenteilung resultiert. Der Konstruktionsprozess und die auszuführenden Tätigkeiten müssen also im Kontext der gesamten Umgebung betrachtet werden. Was dagegen alle Konstrukteure vereint, ist das CAD-System. Es ist heute als das zentrale Werkzeug und Arbeitsmittel des Konstrukteurs anzusehen und stellt die universale Substitutionsform des traditionellen Zeichenbrettes dar. Aber auch hier bestehen Unterschiede. Während führende Großunternehmen der Automobil- sowie Luft- und Raumfahrtindustrie die richtungweisenden Vorstöße der modernen Produktentwicklung vorgeben, fehlen in kleinen und mittelständischen Unternehmen häufig technische, organisatorische, personelle und finanzielle Voraussetzungen (vgl.



[KöDa06]) zum Betrieb entsprechender komplexer Systeme. Einblicke in verschiedene Industrieunternehmen bestätigen, dass dem Konstrukteur aus unterschiedlichen Gegebenheiten nicht immer alle wünschenswerten Werkzeuge zur Verfügung stehen. Der Konstrukteur wird dann gezwungen, kurzfristig zu improvisieren und mit den Mitteln, die ihm zur Verfügung stehen, ein brauchbares Ergebnis zu erzielen. Hierbei kann es beispielsweise auch vorkommen, dass ein Tabellenkalkulationsprogramm zur Ermittlung von Biegelinien oder als Optimierungswerkzeug eingesetzt wird, obwohl speziell dafür entwickelte Software angeboten wird.

Die Trennung der Tätigkeiten im Konstruktionsumfeld ist heute demnach nur unscharf möglich. Im Sinne der durchgängigen Konstruktion erfolgt die Umsetzung einer Konstruktionsaufgabe von der Idee bis zur fertigen Zeichnung innerhalb des CAD-Systems. Wobei hier einerseits verschiedene Personen verschiedene Rollen einnehmen können, andererseits verschiedene Rollen von einer Person eingenommen werden. Dies zeigt, dass zur sprachlichen Vereinfachung weiterer Betrachtungen eine Namenskonvention notwendig ist. In Bezug auf diese Arbeit wird als „Konstrukteur“ daher diejenige Person verstanden, die im betrachteten Moment das Produktmodell mit Informationen anreichert. Dies kann das Erzeugen der ersten grundlegenden Skizze oder auch das Anbringen einer Oberflächenangabe sein.

Die im Jahr 2012 veröffentlichte Studie über das Projekt „Konstrukteur 2020“ [AlDe12] stellt die Tätigkeitsfelder und die zukünftigen Perspektiven des Konstrukteurs dar. Die Ergebnisse der Studie basieren auf Befragungen von Professoren und Studenten aus Fakultäten für Ingenieurwissenschaften renommierter Universitäten und Fachhochschulen sowie Vertretern aus namhaften Industrieunternehmen. Insbesondere die Interviews der Konstrukteure aus den Industrieunternehmen bestätigen in der Studie, dass analog zur Aufgabenbeschreibung des Konstrukteurs nicht generell festgehalten werden kann, wie groß der Teil nicht standardisierter und damit innovativer und kreativer Tätigkeiten im Vergleich zu standardisierten Routinetätigkeiten ist. Der Neuheitsgrad einer Konstruktion beeinflusst also ebenso die geforderten Tätigkeiten und Unterstützungsmöglichkeiten des Konstrukteurs. Sinnvollerweise wird diesbezüglich in Neu-, Anpassungs-, und Variantenkonstruktion unterschieden, wobei die Branche, in der das Unternehmen tätig ist, signifikant über die Häufigkeit der jeweiligen Konstruktionsart entscheidet. Sofern entsprechende Neuheitsanteile in der Konstruktion vorhanden sind, wird das Ergebnis des Konstruktionsprozesses personenabhängig sein. Bei einheitlicher Aufgabenbeschreibung ist von zwei verschiedenen Konstrukteuren weder eine exakt einheitliche Arbeitsweise noch ein exakt identisches Ergebnis zu erwarten. Das Vorwissen des Konstrukteurs beeinflusst die endgültige Ausprägung entscheidend. Auch die heute bekannten Konstruktionsmethoden können dies nicht vollständig verhindern. BIRKHOFER [Bi11] hebt hervor, dass die systematischen Ansätze des methodischen Konstruierens auch im Zeitalter von „Digital Mock Up’s“



und „Augmented Reality“¹ nicht an Bedeutung verlieren können und dass die Entwicklungs- und Konstruktionstätigkeit eine der anspruchsvollsten menschlichen Denkleistungen darstellt.

2.2.2 Verantwortung im Konstruktionsprozess

Vor dem Hintergrund der gesetzlich geregelten Produkthaftung und zur Sicherung der Zuverlässigkeit der Konstruktionselemente über die gesamte Produktlebenszeit bzw. über das definierte Wartungsintervall, ist es notwendig, die Produktgestalt weitestgehend durch Berechnungen abzusichern. Daher spielen Festigkeitsberechnungen eine zentrale Rolle im Konstruktionsprozess. Welche Berechnungen erforderlich sind und welche Softwaresysteme dazu eingesetzt werden, ist erneut abhängig von der Branche und vom Produktbereich.

Während der Konstrukteur in kleineren Unternehmen die Berechnungen zur Bewertung seiner Entwürfe selber durchführen muss und für deren Qualität verantwortlich ist, kann sein Berufskollege aus dem großen Unternehmen seinen Entwurf an einen Berechnungsspezialisten übergeben. An dieser Stelle deutet sich bereits an, dass im Konstruktionsumfeld bereits bewertende Abschätzungen auch ohne eine Berechnungsexperten wünschenswert sind. In Form von „konstruktionsnahen“ oder „konstruktionsbegleitenden“ Berechnungen, die weniger Expertenwissen benötigen oder mit Berechnungslogik angereichert sind, versucht man heute diesem Wunsch nachzukommen. Wenngleich der Konstrukteur die Berechnungen nicht selbstständig durchführen muss, trägt er einen Teil der Verantwortung für deren Ergebnisse, da er häufig Berechnungskriterien und die Aussagegüte mitbestimmen muss. HERFELD [He07] ist der Fragestellung nachgegangen, wer die Verantwortung in der gemeinschaftlichen (Konstruktion und Berechnung/Simulation) Produktentwicklung trägt. Die Ergebnisse der durchgeführten Studie unterstreichen die Verantwortungsverteilung: „Die Konstruktion trägt hierbei die Hauptverantwortung und wenn man davon ausgeht, dass Verantwortung nicht teilbar ist, dann trägt sie somit die alleinige Verantwortung über den gesamten Entwicklungsprozess. Die Simulation ist nur phasenweise an der Verantwortung beteiligt und spielt dadurch auch über den gesamten Prozess hinweg wieder eher die Rolle des Unterstützers in bestimmten Prozessphasen, was den Möglichkeiten und Ansprüchen der Simulation widerspricht.“

2.3 Das methodische Konstruieren

„Während das Konstruieren bis weit in das 19. Jahrhundert hinein von handwerklichen Fertigkeiten, praktischen Erfahrungen und individueller Kreativität geprägt war, mehrten sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts die Bemühungen um eine Verwissenschaftlichung der Konstruktion. Vor allem Konstruktionswissenschaftler an den technischen Hochschulen

¹ Als repräsentative Begriffe für hochgradig virtuelle Umgebungen



Die vorgestellte Vorgehensweise zur Ermittlung der Wertebereiche konnte dennoch auf weitere Teilprobleme zur Auslegung der Zahnkupplung ZBG übertragen werden. Zur Ermittlung und Überprüfung der Wertebereiche ist es zielführend bereits frühzeitig ein leistungsfähiges CAD-System heranzuziehen. Konstruktionsstudien und Parametervariationen ermöglichen diesbezüglich die Untersuchung komplexer Zusammenhänge.

Abbildung 4-21 zeigt das Modell mit weiteren geometrischen Zusammenhängen. An dieser Stelle sei noch kurz auf die Ermittlung des Gelenkpunktabstandes in diesem Kupplungsbeispiel hingewiesen. Der Normalgelenkpunktabstand (hier 153mm) ergibt sich aus den Mitten der Hohlradbreiten und wird über ein Analysefeature im Baugruppenmodell gemessen. Über einen Verschiebeanteil kann dieser hinsichtlich eines geforderten Wertes angepasst werden. Dies musste bei der Referenzierungsmethodik und im Strukturmodell entsprechend berücksichtigt werden.

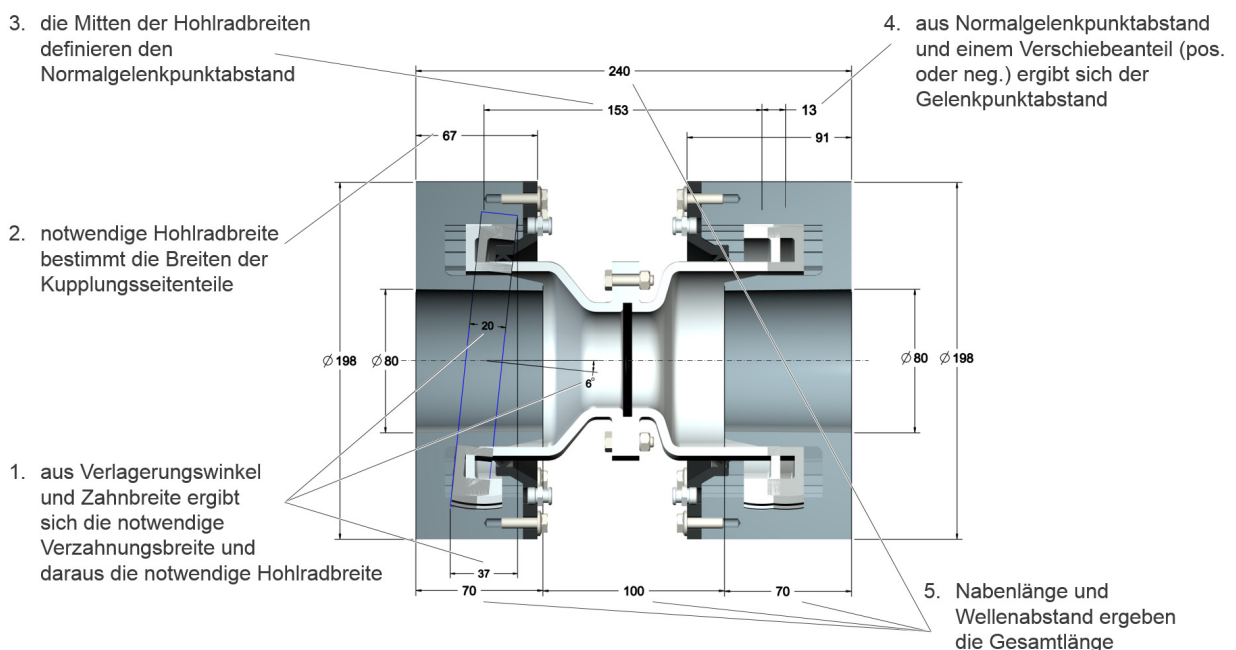


Abbildung 4-21: Zahnkupplung ZBG, Abhängigkeiten im Auslegungsablauf

Auf die Notwendigkeit, ungewünschte Modellzustände zu verhindern, wurde bereits hingewiesen, grundsätzlich ist eine Differenzierung zwischen:

- geometrisch möglichen (bzw. stabilen) Modellen
- und Modellen, die eine geforderte „Gerechtigkeit“ verletzen

zweckmäßig. Der komplette Kupplungsaufbau erfolgte vollständig parametergetrieben, wobei die Steuerparameter über das Konfigurationssystem mit aktuellen Werten versorgt wurden. Abbildung 4-22 zeigt eine Auswahl nicht funktionsgerechter Konfigurationen. Für den Aufbau des Konfigurationssystems mussten derartige Zustände über die erwähnten Kontrollmechanismen verhindert werden. Abbildung 4-22 a) zeigt eine Kupplung, bei der



Zahnradbreite entspricht der Breite eines Wellenabsatzes (ober zumindest einem Teilbereich des Absatzes). Es müssen also die Abhängigkeiten zwischen:

- Gestaltmodell Zahnrad und Berechnungsmodell Zahnrad,
- Gestaltmodell Zahnrad und Gestaltmodell Welle,
- sowie Berechnungsmodell Zahnrad und Berechnungsmodell Welle

über einen entsprechenden Informationsaustausch berücksichtigt werden. Abbildung 4-23 zeigt exemplarisch weitere Parameter und die Analogie zwischen Welle und Wälzlager. Bei komplexeren Systemen wird es zur Herausforderung, die Gesamtübersicht zu behalten wenn z. B. ein Konfigurationssystem aufgebaut werden soll. Dies unterstreicht die Bedeutung geordneter Produktstrukturen.

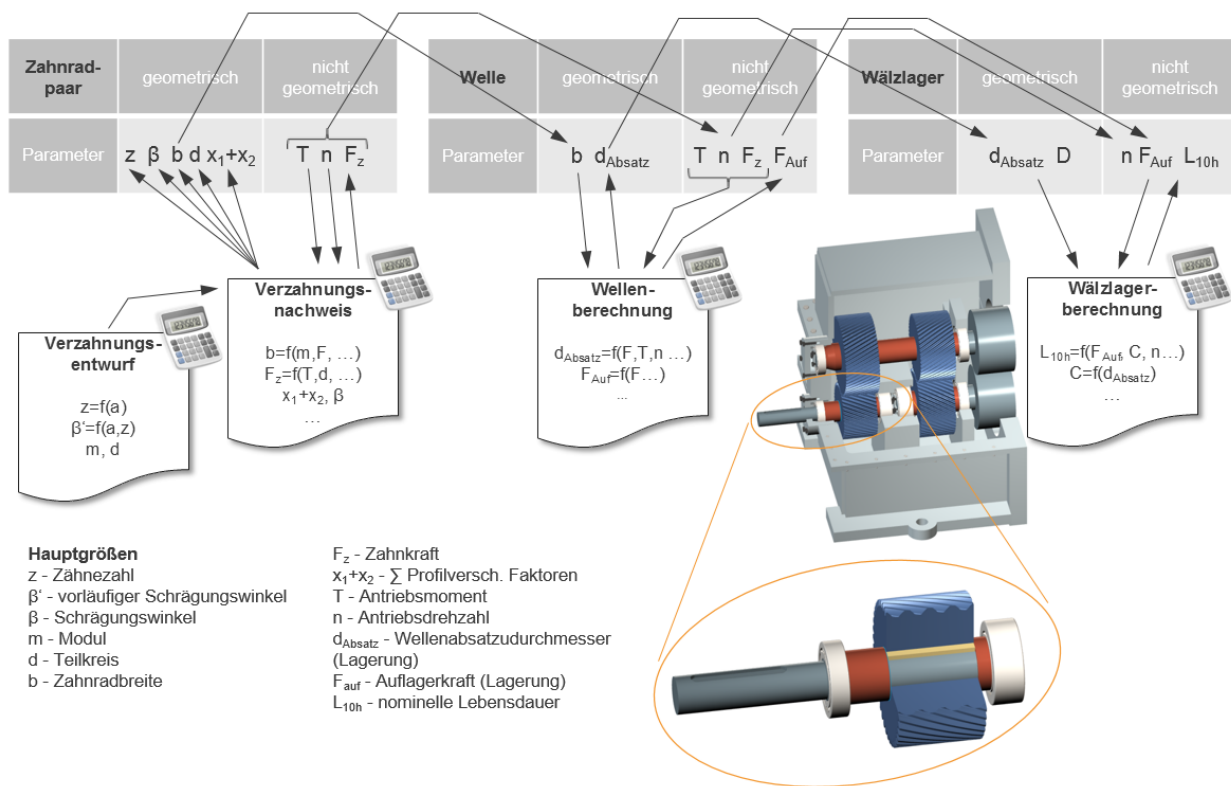


Abbildung 4-23: Abhängigkeiten zwischen den Modellen am Beispiel des Walzwerkgetriebes

Verallgemeinert man diese Zusammenhänge, ziehen sich die Abhängigkeiten zwischen den Gestalt- und Berechnungsmodellen durch die gesamte Konstruktion (vgl. Abbildung 4-24).



5.2.1 Einbau eines höherwertigen Konstruktionsobjektes

Zum verbesserten Verständnis sollen verschiedene Einbaumöglichkeiten weiter ausgeführt werden. Abbildung 5-4 zeigt eine Übersicht.

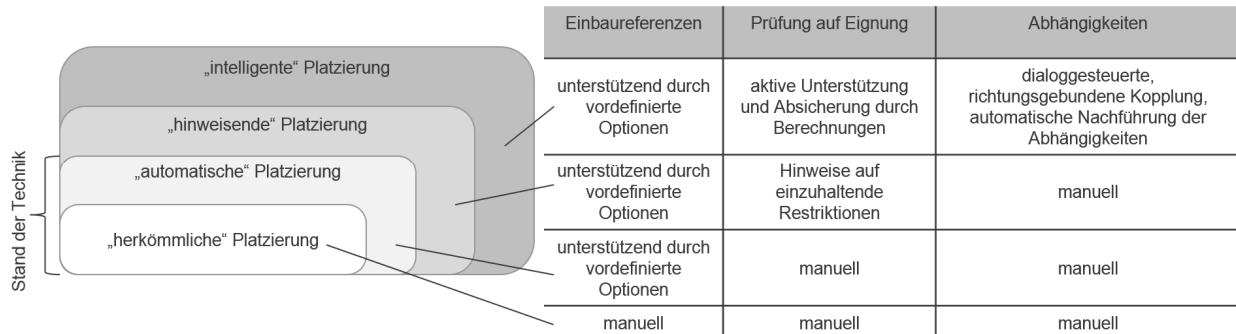


Abbildung 5-4: Steigerung der Unterstützung beim Komponenteneinbau

Herkömmliche Platzierung: Die herkömmliche, aus allen CAD-Systemen bekannte, Platzierung von Komponenten basiert auf der manuellen Selektion der Bauteil- bzw. der Baugruppenreferenz (zusammenfallende Achsen oder Koordinatensysteme, orthogonale Ebenen etc.). Das System lässt dabei jegliche sinnvollen, aber auch weniger sinnvollen Definitionen zu. Der Konstrukteur muss manuell jegliche Prüfung auf Eignung der Komponente ausführen.

Automatische Platzierung: Leistungsfähige CAD-Systeme bieten die Möglichkeit, die Platzierungsreferenzen stückweise vorausschauend zu definieren. Es kann z. B. festgelegt werden, dass eine Komponente nur über die im Vorfeld definierten Ebenen eingebaut werden kann. Damit kann u.a. sichergestellt werden, dass Konstrukteure, welche die Komponente nur nutzen und nicht selber erstellt haben, die ursprüngliche Konstruktionsabsicht (wie diese Komponente geeignet zu platzieren ist) zugänglich gemacht bekommen. Beispiele hierfür sind: „Komponentenschnittstelle“ in *Creo(PTC)*, „intelligente Verbindungselemente“ in *SolidWorks(DassaultSystèmes)*, intelligente Verbindungselemente oder „iMates“ *Inventor(Autodesk)*. Damit erfolgt die Platzierung strukturierter. Darüber hinaus können regelbasierte Suchvorgänge definiert werden, die z. B. über Vergleiche von Bezeichnungen nach geeigneten Einbauorten suchen. Der Einbau wird hierdurch bereits unterstützt und manuelle Tätigkeiten reduziert. Es ist bisher nicht möglich, auch Abhängigkeiten in Form von Parametern, Geometrie oder semantischen Informationen an andere Komponenten weiterzugeben oder zur funktionalen Analyse automatisch eine Berechnung zu initiieren. Neben der Zuordnung von Platzierungsreferenzen erfolgt demnach keine weitere Systemunterstützung, sodass auch hier der Konstrukteur manuell die Eignung prüfen muss.

Hinweisende Platzierung: Die „hinweisende“ Platzierung kann als eine weitere Ausbaustufe verstanden werden. Neben den Vorteilen der „automatischen Platzierung“ erfolgt hier eine Unterstützung des Systems, indem der Konstrukteur auf einzuhaltende Restriktionen



(Abhängigkeiten) aktiv hingewiesen wird. Er bekommt vom System Informationen angezeigt, was er zu berücksichtigen hat, wenn er diese Komponente verwenden möchte. Für das Beispiel der Gleitlagerung kann das der aktiv ausgelöste Hinweis sein, dass sich günstige Einbauverhältnisse ergeben, wenn das Gleitlager in eine Bohrung mit der Toleranzklasse H7 eingebaut wird. Bei einem Wellendichtring beispielsweise ist die Welle „drallfrei geschliffen“ auszuführen. In dieser Stufe erfolgt noch keine Übertragung der Abhängigkeiten von/in andere Komponenten.

Intelligente Platzierung: Die höchste Stufe der Platzierungshierarchie soll als „intelligente Platzierung“ bezeichnet werden. Das ist die Stufe, die von den höherwertigen Konstruktionsobjekten verwendet wird. Im Vergleich zur vorherigen Stufe werden dem Konstrukteur nun auch Verknüpfungsmöglichkeiten angeboten, sodass die Abhängigkeiten (Kapitel 5.1.4) richtungsorientiert zugewiesen und vom System übertragen werden. Sind die Abhängigkeiten hergestellt und folgen Veränderungen an den ursprünglichen Parametern, können diese automatisch übernommen werden. Den verknüpften Berechnungen können so aktuelle Werte aus dem Baugruppenkontext zugeführt werden. Somit entsteht eine „intelligente“ Autovervollständigungsfunktion für Baugruppen, die über die Platzierungsoptionen hinaus funktionale Aspekte berücksichtigt.

5.2.2 Einbaureihenfolge

Um die gegenseitige Zuordnung der Abhängigkeiten zu gewährleisten, muss vorausgesetzt werden, dass die höherwertigen Konstruktionsobjekte über identifizierende Merkmale verfügen und diese vom System erkannt werden. Diese Merkmale können z. B. über die Attributierung von Bezugsreferenzen, Geometrie oder Parametern erzeugt werden. Zur Integration dieser semantischen Informationen bietet sich die Featuretechnologie an, die es zulässt, z. B. aus einer Zylinderfläche (geometrisch betrachtet) eine semantisch interpretierbare „Aufnahmebohrung für ein Lager“ oder „Lagerfläche“ zu erzeugen. Beim Einbau können dann entsprechende Suchfunktionen genutzt werden.

Während des Einbaus der „neuen“ Komponente können zunächst lediglich Abhängigkeiten zu bereits eingebauten Komponenten definiert werden (Einhaltung der Eltern-Kind Beziehung). In der „neuen“ Komponente können aber durchaus schon Festlegungen für eine direkt oder später folgende Komponente getroffen werden. Damit wird vorausgesetzt, dass vom System geprüft wird, ob die Mindestanforderungen, welche Informationen ein höherwertiges Konstruktionsobjekt erhält und weitergegeben werden müssen, erfüllt sind. Es ergibt sich so insgesamt eine striktere Strukturierung der Baugruppe, die zur Absicherung des notwendigen komponentenübergreifenden Informationsaustausches beiträgt.

Beispiel Kettentrieb aus Kapitel 3.5: Es kann vorausgesetzt werden, dass die Konstruktion des Kettentriebes nicht mit dem Einbau des Gleitlagers oder des Wälzlagers begonnen wird. Angenommen alle Kettenräder und das Umlenkrad sind bereits in der Baugruppe