

Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen (peer reviewed) Fachaufsatz.

C. Kesselmanns, P. Köhler

Komponentenübergreifende Abhängigkeiten in Gestaltungs- und Berechnungsprozessen

Crosscomponent Dependencies during Design and Computational Processes

Inhalt Für nahezu alle auftretenden Fragestellungen während des Konstruktions- und Entwicklungsprozesses werden unterstützende Softwarewerkzeuge angeboten. Die ganzheitliche Betrachtung der dabei zu lösenden Aufgaben verlangt nach einer Vernetzung dieser Softwarewerkzeuge, um programmübergreifend Informationen und Abhängigkeiten auszutauschen. Dieser Austausch gelingt derzeit nur bedingt. Der Neuheitsgrad einer Konstruktion und der Funktionsumfang der eingesetzten Softwarewerkzeuge beeinflussen die Kopplungsmöglichkeiten signifikant. Dieser Beitrag befasst sich mit Möglichkeiten und Grenzen zur Kopplung von Gestaltungs- und Berechnungsprozessen und erläutert einen grundlegenden informationstechnischen Lösungsansatz zum wissensbasierten Aufbau notwendiger Partialmodelle.

Abstract Nearly every problem during product development processes can be faced with supporting software tools. In order to obtain the required holistic view over all subproblems to solve the global problem, the depiction of interconnected component dependencies is as indispensable as the crosslinking of all used software tools. The exchange of information between these components currently succeeds only in a limited way. The degree of novelty of the design and the software tools significantly influences the coupling capability. This article provides an insight into the possibilities and limits of interconnecting design and computational processes. The approach is explained by using methodologies of knowledge based engineering – regarding the setup of partial models.

1 Abbildung funktionaler Randbedingungen in Produktdatenmodellen

Das CAD-System ist heute als zentrales Werkzeug des Konstrukteurs zu betrachten. Die Bewertung der aktuellen geometrischen Ausprägung der Konstruktion kann durch unterschiedlichste, integrierte oder externe Berechnungs- und Analysetools unterstützt werden.

Aus konstruktionsmethodischer Sicht wird abhängig vom Neuheitsgrad in Neu-, Anpassungs-, und Variantenkonstruktion unterschieden [1]. Die heute verfügbaren Möglichkeiten, Gestaltungs- und Berechnungsprozesse zu koppeln, können in Korrelation zum Neuheitsgrad der Konstruktion gestellt werden. Die Kopplung der Partialmodelle ist in der Variantenkonstruktion bereits Stand der Technik, bei Neukonstruktionen fehlen derzeit geeignete Methodiken. Vor dem Hintergrund zeit- und kostenintensive Routinetätigkeiten zu minimieren, sind Vari-

antenkonstruktionen anzustreben. Da dies aber produkt- und branchenbedingt nur begrenzt möglich ist, müssen zusätzlich verbesserte Kopplungsmöglichkeiten für den Bereich der Neu- und Anpassungskonstruktionen geschaffen werden.

Problemspezifisch ist daher die anpassungsfähige Produktkonfigurierung in parametrischen CAD-Systemen zu diskutieren. Der Aufbau von Konfigurationssystemen, die bisher vorwiegend im Bereich der Variantenkonstruktion eingesetzt werden, erfordert anfänglich einen hohen Arbeitsaufwand. Alle nötigen Prozesse müssen in den entsprechenden Softwarewerkzeugen umgesetzt und für die Automatisierung aufbereitet werden. Darüber hinaus ist der Auslegungsablauf als Logik zu implementieren. Ist diese Arbeit geleistet, resultiert der Vorteil einer deutlich effektiveren Zusammenstellung der Produkte [2, 3, 4].

Je weiter die zu erfüllende Konstruktionsaufgabe von der Variantenkonstruktion in Richtung Neukonstruktion abweicht,

desto weniger Kenntnis besteht über die nötigen Abläufe und einzusetzenden Methoden. Erschwerend kommt hinzu, dass in frühen Phasen der Neukonstruktion das typische „iterative Springen“ zwischen verschiedenen Lösungsvarianten, die jeweils unterschiedliche Bewertungsmethoden erfordern, keine starre Verknüpfung zwischen dem Geometrie- und dem Berechnungsmodell zulässt. Dem Wechsel eines Funk-

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Peter Köhler
Dipl.-Ing. (FH) Christoph Kesselmanns

beide:
Universität Duisburg-Essen
Institut für Produkt Engineering
Lehrstuhl Rechneinsatz in der Konstruktion
Lotharstr. 1, 47057 Duisburg
Tel.: 02 03/3 79-18 20
E-Mail: christoph.kesselmanns@uni-due.de
www.uni-due.de/cae

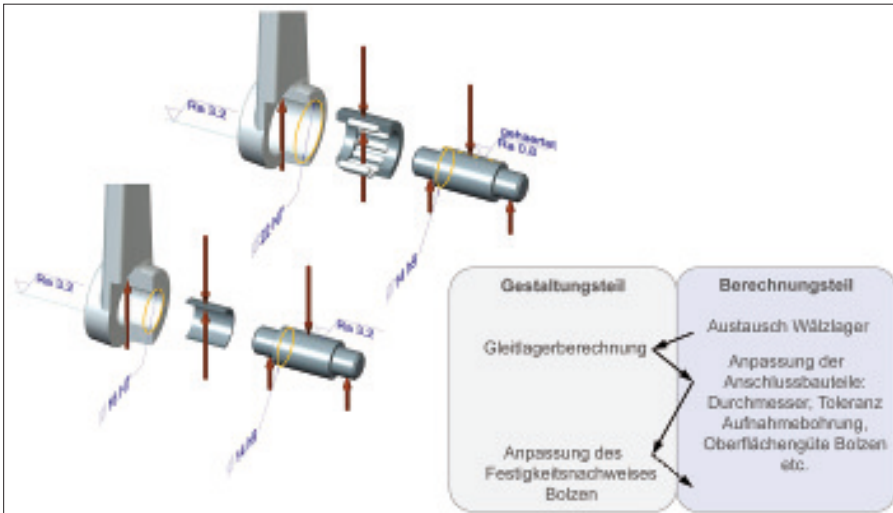


Bild 1

Änderungsaufwand nach Einbau oder Austausch einer Komponente

tionsträgers (Austausch einer Komponente) muss immer ein Wechsel der Berechnung (Austausch der Berechnungsvorschrift) folgen, wobei die durch angrenzende Komponenten eingepprägten Abhängigkeiten erhalten bleiben müssen. Im Gegenzug müssen die Abhängigkeiten der neuen Komponente als Auswirkung auf die angrenzenden Komponenten übertragen werden. Dies gilt sowohl für die Gestaltmodelle untereinander als auch für die Berechnungsmodelle untereinander. So entsteht ein Netz aus Abhängigkeiten, das sich über die gesamte Konstruktion legt. Jede Komponente besitzt Abhängigkeiten, die sie an angrenzende Komponenten überträgt und damit steuernd wirkt. Daraus folgt, dass jede Komponente von einer anderen Komponente Abhängigkeiten eingepägt bekommt.

Bild 1 zeigt an einem einfachen Beispiel den Änderungsaufwand, der durch den Austausch des Nadellagers hervorgerufen wird. Wälz- bzw. Gleitlager bestimmen die Ausprägung der Anschlussbauteile. Neben den rein geometrischen Abhängigkeiten (Abmaße, Durchmesser etc.) und den direkt festigkeitsrelevanten Abhängigkeiten (Kräfte, Angriffspunkte, Materialparameter etc.) existieren weitere technische (semantische) Abhängigkeiten (Toleranzen, Oberflächenrauigkeiten, Behandlungsverfahren etc.). Aus diesen Gegebenheiten resultiert die Zielsetzung, die Abhängigkeiten durch verringerte manuelle Eingriffe abzubilden, zu koppeln und nach Änderungsvorgängen zu synchronisieren.

2 Integration analytischer Berechnungsverfahren in CAD-Prozesse

Bereits 1994 wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) ein Schwerpunktprogramm zum Thema „Innovative rechnerunterstützte Konstruktionsprozesse:

Integration von Gestaltung und Berechnung“ beschlossen, um Ansätze zur Verbesserung des Zusammenwirkens von CAD- und Berechnungsprogrammen zu finden. In Teilbereichen bzw. speziellen Problemfeldern ergaben sich hieraus Lösungsansätze zur bidirektionalen Verknüpfung entsprechender Softwarewerkzeuge, die allerdings noch keine breite Durchsetzung fanden, da die Anpassungsfähigkeit der Datenmodelle vor allem in den kommerziellen Berechnungssystemen nicht im erforderlichem Maße gegeben war. Auch die Datenmodelle in einigen CAD-Systemen ließen nur beschränkte Anpassungen bzw. Erweiterungen zu. Eine gute Zusammenfassung hierzu gibt die VDI 2211 [5].

Inzwischen werden in vielen Unternehmen parametrische, featurebasierte CAD-Systeme mit verbesserten Möglichkeiten zur Abbildung der Produktlogik eingesetzt. Dadurch kann über definierte analytische und logische Modellbeziehungen in Abhängigkeit von Analyseergebnissen ein regelbasierter Modellaufbau unterstützt werden.

Nicht im Widerspruch dazu steht, dass allgemeingültige Auslegungsprozesse nach wie vor auch „extern“ mit Hilfe von etablierter Software (bspw. Maschinenelementberechnungsprogramme (MEBP)) oder web-basiert ausgelegt werden [6]. Nahezu alle modernen CAD-Programme verfügen über Schnittstellen zu Tabellenkalkulationsprogrammen und/oder Mathematiksoftware. Für Problemstellungen, die mit den bereits erwähnten Softwarewerkzeugen nicht oder nur schwer erfasst werden können, werden numerische Simulationwerkzeuge eingesetzt, die teilweise auch als integrierte Module im CAD-System verfügbar sind. Bei komplexeren Fragestellungen werden entsprechende Expertentools außerhalb des CAD-Systems eingesetzt, wobei auch hier Kopplungsmöglichkeiten bestehen [7].

Mehrheitlich müssen die wechselseitigen Abhängigkeiten den Gestalt- und Berechnungsmodellen manuell zugewiesen werden. Daten- und Softwareschnittstellen sind daher noch weiter zu qualifizieren.

Vordefinierte Geometrieschnittstellen der MEBP zu den CAD-Systemen arbeiten nicht auf Basis des Parametertausches. Die Geometrie wird direkt erzeugt und über neutrale Austauschformate transportiert [8]. Dieser Austausch ist nicht bidirektional, so dass eine Geometrieänderung nicht automatisch auf das Berechnungsmodell übertragen wird. Gleiches gilt für semantische Informationen, wie z. B. die Oberflächenbeschaffenheit. Soll ein parameterbasiertes Gesamtkonzept aufgestellt werden, kann meist nur auf die Manipulation und Verarbeitung der im Text- bzw. XML-Format vorliegenden Ein- und Ausgabedateien der MEBP zurückgegriffen werden. Die Verarbeitung kann dann häufig über den Batch-Modus des MEBP erfolgen.

Bild 2 zeigt grundsätzliche Möglichkeiten, externe Software an das CAD-System an-

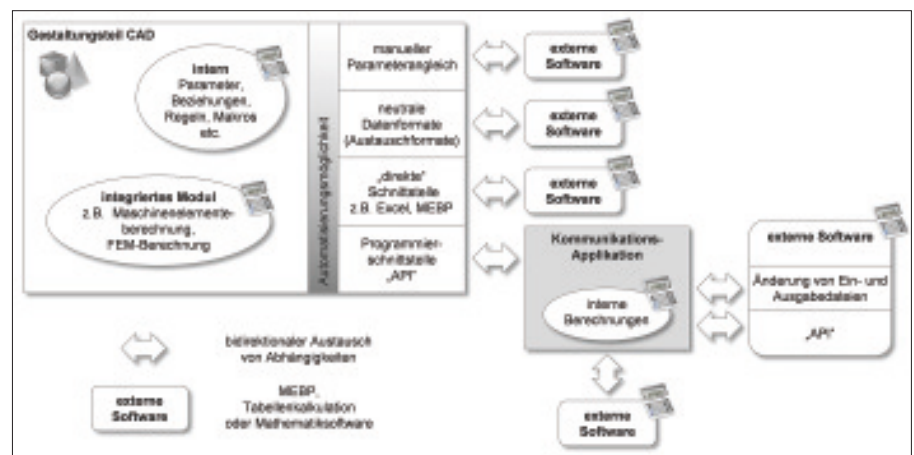


Bild 2

Möglichkeiten der Berechnungsintegration

zubinden. Eine gute Implementierung in die Struktur ist dann gegeben, wenn die Programme über eine API (Programmierschnittstelle) verfügen und so den externen Zugriff auf Funktionen ermöglichen. Bei CAD-Systemen ist dies bereits Standard. MEBP verfügen häufig nicht über eine API.

Einige CAD-Systeme bieten integrierte Maschinenelementberechnungen an. Bei detaillierter Prüfung werden hier allerdings Defizite sichtbar, vor allem dann, wenn Verknüpfungen zwischen verschiedenen Berechnungen definiert werden müssen.

Bei den MEBP ist ein Trend zur Implementierung von CAD-Funktionalität zu erkennen. Einige Systemhäuser bieten Umgebungen an, in denen z. B. Getriebe über Feature (Welle, Lager, Zahnrad etc.) modelliert werden können. Neben der Grobauslegung, und den Nachweisrechnungen können auch Optimierungsstudien durchgeführt werden [9]. Die Abhängigkeiten der Teile (z. B. äquivalente Kräfte in der Wellenberechnung und Verzahnungsberechnung) untereinander werden erkannt und automatisch übergeben. Der Export der erzeugten Geometrie ist im neutralen Datenformat möglich, wobei auch hier jegliche Abhängigkeiten verloren gehen. Die gewünschte durchgängige Verknüpfung zum CAD-System ist somit nicht gegeben. Änderungsvorgänge in einem der Systeme ziehen daher manuelle Eingriffe nach sich. Zudem existieren diese Berechnungssysteme derzeit ausschließlich für Getriebe.

3 Ansätze zur Modellkopplung und Abbildung der Abhängigkeiten

3.1 Informationsmodelle für Komponenten

Der Konstrukteur benötigt im Rahmen der Neu- und Anpassungskonstruktion ein intuitiv zu bedienendes Werkzeug, das ihn dabei unterstützt, alternative Lösungsvarianten schnell miteinander zu vergleichen, um möglichst alle Auswirkungen auf die Gesamtlösung abschätzen und bewerten zu können. Er darf in der kreativen Gestaltungsphase neuer Teilbereiche nicht eingeschränkt werden, sollte aber von den Routinetätigkeiten der Modellanpassung entlastet werden, wobei die Nachvollziehbarkeit automatisierter Schritte stets gewährleistet sein muss. Zudem sollten verbesserte Funktionen bereitstehen, die ihn bei der Dokumentation der Lösungsfindung und Berechnung (Annahmen, Vereinfachungen und Entscheidungskriterien etc.) unterstützen. Ein ideales System würde stetig die Entwürfe überprüfen und den Konstrukteur auf die Verletzung von Restriktionen hinweisen und Änderungsoptionen anzeigen.

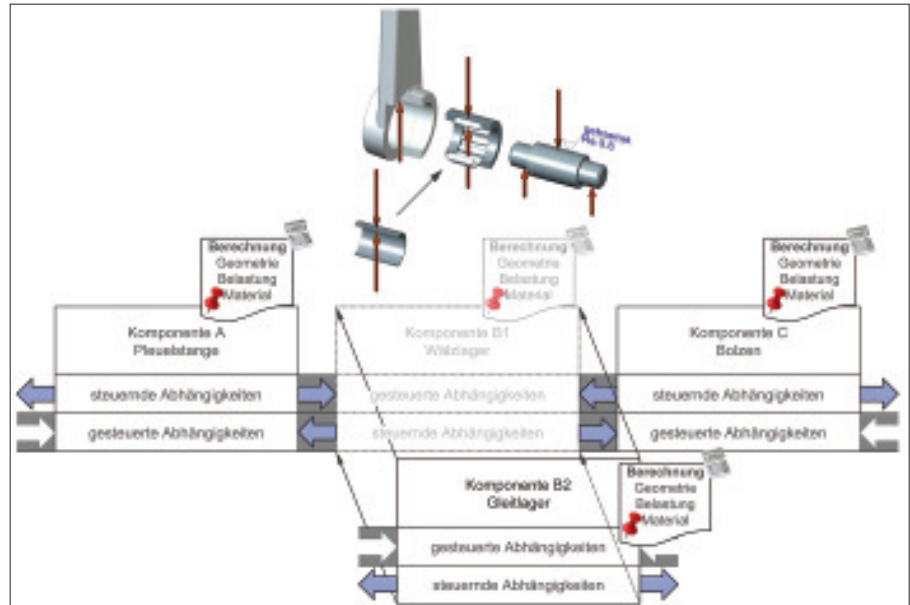


Bild 3
Komponentenabhängigkeiten am Beispiel eines Pleuellagers

Der entwickelte Ansatz sieht zunächst vor, dass jede einzelne Komponente über Wissen verfügt, wie sie belastet werden darf, wie und mit welcher Methode (Software) sie auf Festigkeit (oder andersartiges Kriterium) geprüft wird und welche Anforderungen sie an andere Komponenten stellt. Der demzufolge im Vorfeld einmalig zu leistende Aufwand zur Abbildung dieser semantischen Informationen kann mit der Klassifizierung einer Produktkomponente nach Sachmerkmalen in einem PDM-System verglichen werden, ggf. kann direkt ein Abgleich mit dem PDM-System geschaffen werden.

Um den Konstrukteur während des Konstruierens weitestgehend bei der Festlegung der Abhängigkeiten zu unterstützen, wurde eine Hilfsapplikation entwickelt, in der ein entsprechendes Regelwerk hinterlegt ist. Durch den Einsatz dieser Applikation wird es möglich, dem Konstrukteur das vorher in den Komponenten gespeicherte Wissen in aufbereiteter Form während des Einbaus anzubieten. Er stellt dann lediglich über eine Zuweisung den fallspezifischen Zusammenhang zwischen den einzelnen Funktionsträgern her. Trägt die neue Komponente Informationen (steuernde Abhängigkeiten), die auf andere Komponenten übertragbar sind oder sollen Abhängigkeiten von bereits verbauten Komponenten an die neue Komponente (gesteuerte Abhängigkeiten) (Bild 3) übertragen werden, reagiert die Applikation und bietet dem Konstrukteur einen Verknüpfungsdialo an. Die gewählten Verknüpfungen werden in das CAD-Modell übernommen und in einer XML-Datei abgelegt. Wird eine Komponente ausgetauscht, werden die Abhängigkeiten aus der XML-Datei gelesen, geprüft, ggf. angepasst und neu verknüpft.

Ähnlich wie die Verknüpfung der Geometriemodelle untereinander, erfolgt auch die Verknüpfung zwischen den Berechnungsmodellen und den Geometriemodellen. In einem Dialog bekommt der Konstrukteur die verfügbaren Parameter beider Partialmodelle angeboten und kann die Verknüpfungsauswahl treffen. Bei eindeutiger Vorgabe des Berechnungsablaufs fällt die Implementierung relativ leicht. Ein Parameter wird an die Berechnung übergeben, verarbeitet und die ermittelten Ergebnisse können zurückgegeben werden. Häufig müssen die Berechnungen jedoch hinsichtlich unterschiedlicher Zielgrößen aufgelöst werden, um fallabhängig Eingabe- und Ergebnisparameter zu beeinflussen. Hierfür sind dann spezielle Entscheidungsmodul dazwischen zu schalten.

3.2 Produktkonfigurierung

Problematisch im Bereich der Konfiguration von klassischen maschinenbaulichen Produkten ist es, den Spagat zwischen einer hoch standardisierten Produktausprägung und einem dennoch anpassungsfähigen Prozess zu finden, um begrenzt auf unvorhergesehene Kundenwünsche reagieren zu können. Daher werden entsprechende Konfigurationssysteme häufig zur Grobdimensionierung genutzt, um schnell auf Kundenanfragen eingehen zu können. Bei Auftragszusage muss dann ein zusätzliches Detailengineering vorgenommen werden [10].

Je nach Produkt und Branche können Konfiguratoren direkt vom Kunden, den Vertriebsmitarbeitern oder den Konstrukteuren bedient werden und bis zur Auslösung von Fertigungsprozessen reichen [4, 11].

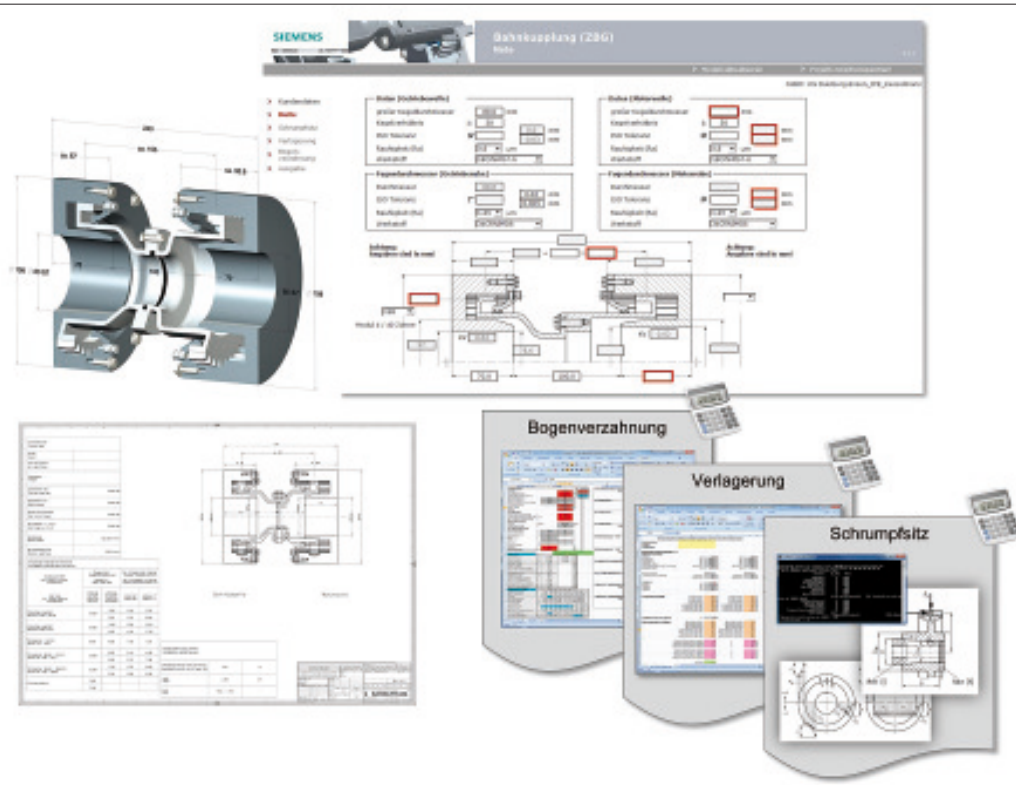


Bild 4

Konfigurationssystem für Bogenzahnkupplungen Siemens ZBG

Der Aufbau eines Konfigurationssystems muss mit der Analyse des Produktes und dessen Varianz beginnen. Hierzu ist es zweckmäßig, möglichst viele bereits gebaute Produkte zu analysieren, um ein zuverlässiges Regelwerk ableiten zu können. Oftmals werden in dieser ersten Phase weitere Standardisierungspotentiale aufgedeckt, da die Konstruktionen neu überdacht werden. Darauf aufbauend müssen alle benötigten Softwaretools hinsichtlich der Automatisierbarkeit untersucht bzw. ausgewählt werden. Zudem muss die Ablauflogik definiert werden. Die Koordination übernimmt eine zentrale Applikation, in der auch die Eingabeparameter eingegeben und die Ergebnisse angezeigt werden. Um auf Ereignisse während des Auslegungprozesses mit verbesserten regelbasierten Aktionen reagieren zu können, ist es von Vorteil, wenn alle beteiligten Softwaresysteme über Programmierschnittstellen verfügen.

Zur Verdeutlichung der Abläufe in einem Konfigurationssystem dient ein Auslegungstool für Bogenzahnkupplungen. Bei den Bogenzahnkupplungen des Typs ZBG (Bahnkupplung) der Siemens AG handelt es sich um drehstarre Kupplungen, die zur Verbindung der Motor- und der Getriebewelle von Schienenfahrzeugen dienen. Die gekapselten, innenliegenden Kupplungsteile (Hohlrad und bogenverzahntes Zahnrad) sorgen für den Ausgleich der Verlagerungen zwischen Motor und Getriebe, die durch dynamische Lasten und die variierenden Bela-

dungszustände hervorgerufen werden. Die Verbindung zwischen Motor- bzw. Getriebewelle wird durch Kegelquerpressverbände realisiert (Schrumpfsitze).

Bild 4 zeigt die Arbeitsumgebung des Konfigurationssystems. Die Ein- und Ausgabe von Daten und deren Koordination übernimmt eine mit „spydmaxx“ (ACATEC) entwickelte Applikation. Von hier aus werden die CAD-Daten („ProEngineer“, PTC) manipuliert und die Berechnungen ausgelöst. Je nach Auslegungsszenario werden unterschiedliche Pflichtfelder aktiviert und deren Eingabe mittels Plausibilitätskontrollen (Prüfung der Wertebereiche) überwacht. Auf diese Weise wird die Modellstabilität gewährleistet. Nach dem Konfigurationsvorgang erhält der Benutzer eine sprachabhängige Dokumentation über den Berechnungsgang, eine 2D-Angebotszeichnung mit den wichtigsten Konstruktionsmerkmalen und ein 3D-Modell im STEP-Format. Das gesamte Projekt wird in einer Datenbank gespeichert, so dass die weitere Nutzung und Anpassung bzw. wiederholte Zugriffe gewährleistet werden.

4 Ausblick

Die gezeigten Ansätze verdeutlichen bestehende Möglichkeiten, die Gestaltungs- und die Berechnungsseite stärker zu binden, um Abstimmungsprozesse zu vereinfachen. Insbesondere bei Varianten- und Anpassungskonstruktionen sollten die vorhande-

nen Potentiale ausgeschöpft werden. Die vorgestellten Konzepte zur Kopplung verschiedener Domänen bzw. Softwarewerkzeuge und Erfassung wechselseitiger Komponentenabhängigkeiten, sind exemplarisch umgesetzt und geprüft worden. Hier besteht jedoch weiterhin Forschungsbedarf. Vor allem die weitere Qualifizierung bzw. informationstechnische Anreicherung von Komponentenmodellen und deren regelbasierter Einbau bzw. Austausch stellen bei komplexeren Beziehungsgeflechten mit anderen Komponenten eine besondere Herausforderung dar.

Literatur

[1] Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. 7. Auflage, Berlin: Springer-Verlag, 2007.

[2] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 4. Auflage, München, Wien: Hanser, 2009.

[3] Danjou, S.; Lupa, N.; Köhler, P.: Approach for automated product modeling using knowledge-based design features. Computer-Aided Design & Applications 5, 2008, S. 622-629.

[4] Lupa, N.: Einsatz wissensbasierter Features für die automatische Konfiguration von Produktkomponenten. 1. Auflage, Göttingen: Cuvillier, 2009.

[5] VDI-Richtlinie 2211: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung. Berechnungen in der Konstruktion. Berlin: Beuth Verlag, 2003.

[6] Weser, G.: Kosteneffektives web-based Engineering und intelligente CAD-Bauteile. SimPEP / Kongress für Simulation im Produktentstehungsprozess; 14. und 15. Juni 2007, Würzburg, 2007, S. 21-28.

[7] Hoffmann, R.: Integration höherwertiger Feature-Elemente in den rechnergestützten Konstruktionsprozess: VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 20, Rechnerunterstützte Verfahren, Nr. 344, 2001.

[8] Beermann, S.: Integration von Berechnungen im CAD. CAD-CAM Report Nr. 3/4 (2006) S. 58-60.

[9] Kissling, U.: Optimierungsprozedur zum Auslegen von Stirnradgetrieben nach Gewicht, Kosten, Wirkungsgrad und räumlichen Randbedingungen. Tagungsband Schweizer Maschinenelementekolloquium 9. und 10. November 2010, S. 149-162.

[10] Pollmann, P.: Konfiguration von Flanschkupplungen. Duisburg: Universität Duisburg-Essen, unveröffentlichte Bachelorarbeit, 2012.

[11] Brinkop, A.: Variantenkonstruktion durch Auswertung der Abhängigkeiten zwischen den Konstruktionsbauteilen. Sankt Augustin: Inflix, 1999.