

RECHNERUNTERSTÜTZUNG BEIM METHODISCHEN KONSTRUIEREN AM BEISPIEL EINER POSITIONIERVORRICHTUNG

Michael Koch

Kurzfassung

Dieser Beitrag stellt eine Entwicklungsaufgabe vor, die entstand, um einerseits das Vorgehen während eines in sich geschlossenen Konstruktionsprozesses zu dokumentieren und andererseits den Rechneinsatz während dieses Vorgehens zu analysieren. Aus den Erfahrungen des Autors resultierend werden zukünftige Anforderungen an das Konstruktionssystem *mfk* (KS*mfk*) formuliert und einige Lösungsmöglichkeiten angedacht.

1 Einleitung

Im Rahmen der Weiterentwicklung des Konstruktionssystems *mfk* des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik wird das Ziel angestrebt, dem Produktentwickler eine möglichst vollständige Unterstützung auf allen Gebieten des Konstruktionsprozesses zu geben. Da daran bereits seit mehreren Jahren gearbeitet wird und diese Thematik von verschiedenen Initiativen aufgegriffen wurde, soll die dem Entwickler gebotene Unterstützung in allen Phasen der Konstruktion umfassend anhand einer praktischen Entwicklungsaufgabe untersucht werden. Weitergehend sollen aus den erkannten Problemfeldern Anforderungen an zukünftige Werkzeuge für das KS*mfk* formuliert werden.

Als Produkt für diese Entwicklung wurde eine Positioniervorrichtung gewählt. Damit sollen beliebige Gegenstände auf einer Bahnkurve entlang bewegt werden können und vier definierte Positionen (① bis ④) erreichbar sein. Die Anforderungen an die Umsetzung sind in der folgenden auszugsweise abgebildeten Anforderungsliste (Tabelle 1) dargestellt:

Kinematik	vorgegebene Bewegungskurve in x-y-Richtung mit 4 Positionen (① bis ④) beliebige Bewegung in z-Richtung Flanschfläche parallel zur y-z-Richtung Rasten in jeder Position	
Kräfte	x-Richtung: von ①=0 N bis ④=500 N ansteigend y-Richtung: von ①=0 N bis ④=200 N ansteigend z-Richtung: kräftefrei	
Antrieb	Welle, je 35 Grad Schritte von ① bis ④	
Stückzahl	2	
Dauer	4 Mannmonate	

Tabelle 1: Auszüge aus der Anforderungsliste für die Positioniervorrichtung

2 Entwicklung der Positioniervorrichtung

Die Konstruktion des Positioniergerätes erfolgte streng nach den Ansätzen von [1] bzw. [2]. Diese Empfehlungen sehen eine Gliederung des Konstruktionsprozesses in eine Planungs-, Konzeptions-, Entwurfs- und Ausarbeitungsphase vor. Die Planungsphase konnte aufgrund einer vorgegebenen Anforderungsliste (Tabelle 1), die bereits das Ergebnis einer Planung darstellt, übersprungen werden.

Während der Konzeptphase wird die Anforderungsliste in verschiedene *Funktionen* zerlegt. Hier versucht man, anfangs sogar unter Nichtbeachtung der späteren Umsetzbarkeit, die Gesamtfunktion des Produkts in einzelne – und einzeln lösbare – *Teilfunktionen* zu gliedern. Für die Vorrichtung ergaben sich vierzehn verschiedene Funktionen, für die Lösungen gesucht und in einem Morphologischen Kasten zusammengestellt wurden. Diese Lösungen mussten händisch aus der Literatur oder aus Überlegungen heraus zusammengetragen werden. Außerdem kam die Software „TechOptimizer™“ der Firma InventionMachine Corp. zur Recherche nach weiterführenden Prinziplösungen für die Funktionen zum Einsatz. Dieser Versuch der Rechnerunterstützung führte wegen grundlegender Probleme zu keinem Ergebnis.

Aus den gesammelten Alternativen konnten einige, für die Umsetzung der Aufgabe weniger interessante, durch eine Vorauswahl innerhalb des Morphologischen Kastens aussortiert werden. Aus den verbliebenen Funktionslösungen wurden sechs verschiedene Kombinationen als Lösung der Gesamtfunktion gebildet, diese Lösungen wiederum bewertet und die erfolgversprechendste Kombination zur Konzeption ausgewählt. Die Kombination „mechanisches Kurbelgetriebe, Rasten durch Bolzen“ erschien dem Autor unter den gegebenen Bedingungen am geeignetsten.

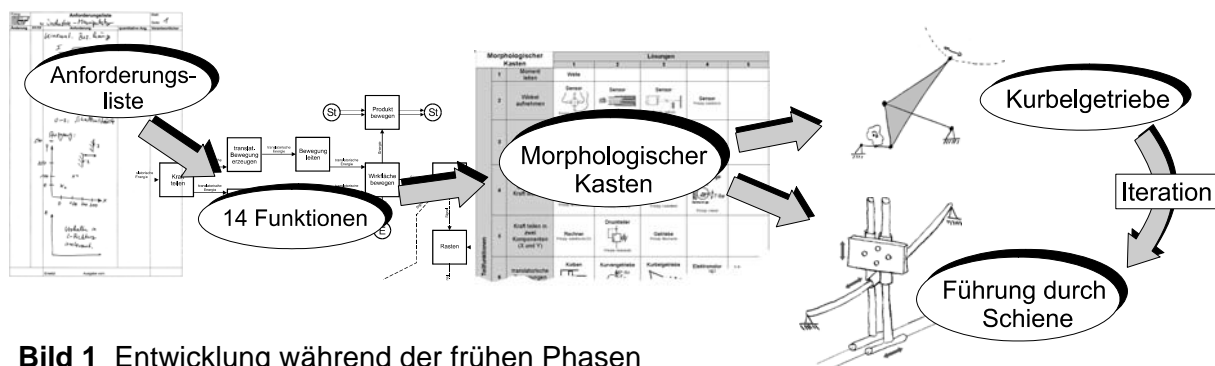


Bild 1 Entwicklung während der frühen Phasen

Beim weiteren Fortschreiten im Konstruktionsprozess und einer ersten Grobdimensionierung, Berechnungen und versuchsweisen Simulationen im Mehrkörpersystem (MKS) zu dem Kurbelgetriebe ergab sich relativ schnell eine Lösung für die selbst gewählte Hauptfunktion, d.h. die Erfüllung der Bahnkurve durch die Punkte ① bis ⑤. Anfängliche Probleme, wie zum Beispiel das Scheitern der analytischen Lösung der Dimensionierung der Einzelteile, konnten nach eingehender Recherche unter anderem durch eine geometrische Konstruktion mit Zirkel und Lineal umgangen werden.

Weitergehende Versuche, diese Lösung vollständig konform mit den übrigen Punkten der Anforderungsliste zu gestalten, scheiterten, da es nicht möglich war, die Parallelführung der Flanschfläche und die 35° Schritte am Antrieb zu realisieren. Aus diesem Grund wurde nach circa sechs Wochen die Weiterverfolgung des gesamten Ansatzes der Kurbelgetriebe abgebrochen. Nach einem Zurückgehen in der Konstruktionsfolge bis in die frühe Phase der Methodik und erneutem Aufrollen der Kombination der Funktionen ergab sich nach einer weiteren Woche eine neue Lösung, die auf einer gebogenen Schiene basierte. Diese Schiene sollte den Wagen führen und so die genaue Einhaltung der Bahn ermöglichen. Angetrie-

ben von einer Spindel war jetzt auch die Realisierung der 35 Grad auf der Antriebswelle durch eine geeignete Übersetzung realisierbar (Bild 2).

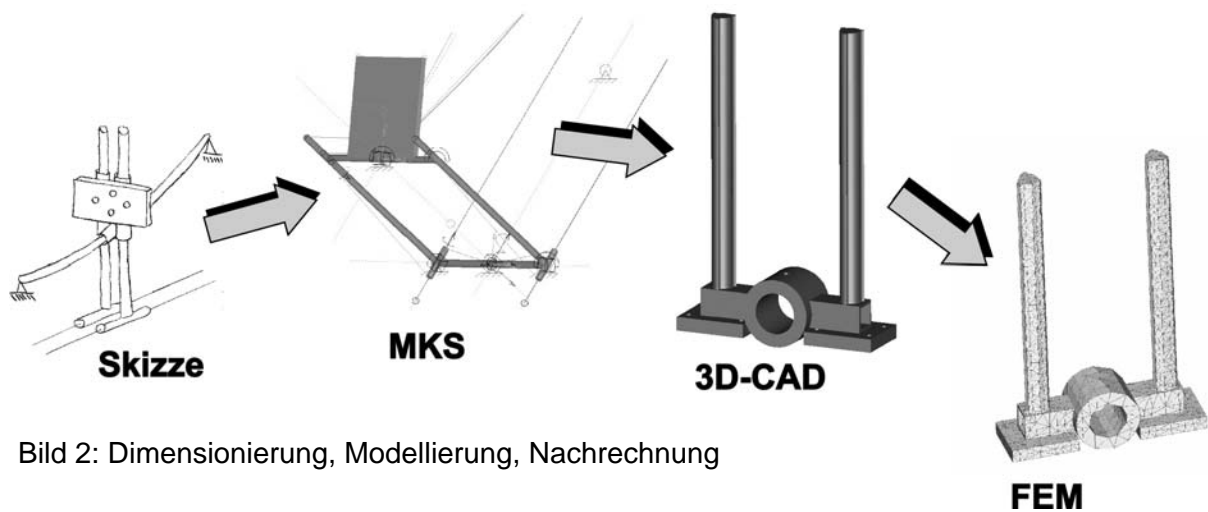


Bild 2: Dimensionierung, Modellierung, Nachrechnung

Nach letztendlicher Festlegung des Konzeptes erfolgte eine überschlagsmäßige Größenabschätzung und danach eine Modellierung im Mehrkörpersystem (MKS). Dieses System lieferte die Belastungen für die einzelnen Komponenten und damit die Grundlage für eine Modellierung der Einzelteile im CAD-System. Zu diesem Zeitpunkt erfolgte auch die Entscheidung über den Zukauf oder die Eigenproduktion der einzelnen Bauteile. Auf Grund der geringen Stückzahl wurde von einer Selbstherstellung so weit wie möglich abgesehen. Da Hersteller von Zukaufteilen keine Datensätze für 3D-CAD-Systeme anbieten, mussten alle Teile händisch nach den Angaben im Katalog nachmodelliert werden.

Im Anschluss erfolgte die Nachrechnung der fertig modellierten Bauteile auf der Basis der Belastungsdaten aus dem MKS-System mit der Finite-Elemente-Methode. Danach wurden die Teile den Ergebnissen entsprechend – auch in Bezug auf die erreichbare Genauigkeit – modifiziert und optimiert. Abschließend lieferte eine Toleranzanalyse die ausschlaggebenden Informationen für die Umsetzung der Rastfunktion. Als fertig modelliertes Produkt folgte nach insgesamt vier Monaten die in Bild 3 dargestellte Vorrichtung.

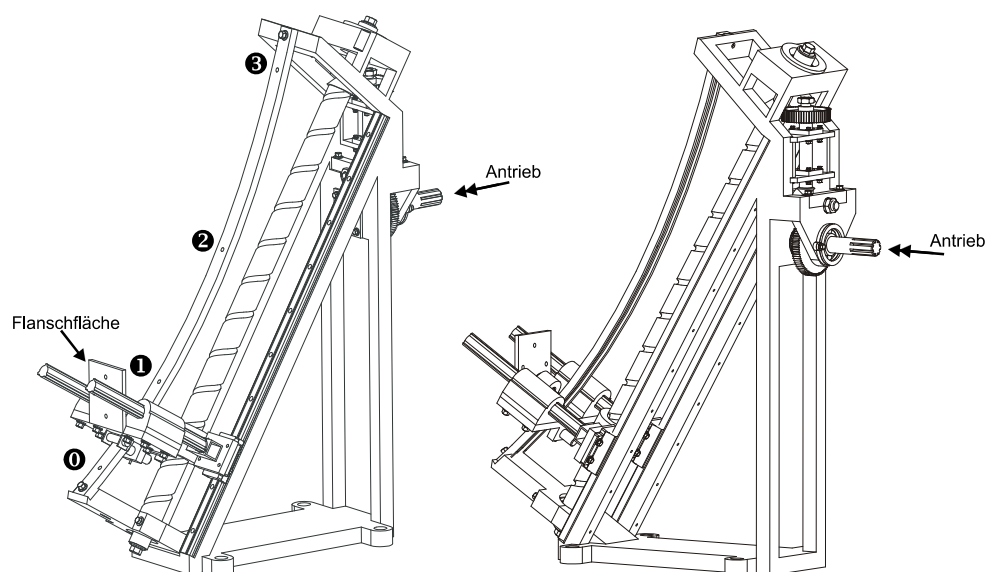


Bild 3: Ansicht des fertigen Positioniergerätes – zwei Ansichten

3 Analyse des Konstruktionsprozesses

Bei der rückblickenden Analyse des Konstruktionsprozesses dieses konkreten Beispiels wird klar, dass sich an den bereits vor mehreren Jahren beschriebenen Problemen und Defiziten während der Konstruktion leider bisher nichts grundlegendes geändert hat. Während die geometriellastigen Phasen (Entwurf und Ausarbeitung) gut unterstützt werden, kann in den frühen Phasen der Konstruktion nicht von einer „Unterstützung“ durch den Rechner gesprochen werden.

3.1 Während der Beispielkonstruktion aufgetretene Probleme

Bild 4 zeigt in einer Grobübersicht die Problemfelder bei der methodischen Vorgehensweise:

Beim Aufstellen der Funktionen führte das Einbeziehen von Programmen wie „TechOptimizer™“ nicht zu den erwünschten Ergebnissen: Während zur Lösung der Aufgabe mehr konstruktive Umsetzungen gefragt sind, beschrieb das verwendete „Erfindungsprogramm“ vielmehr physikalische Prinzipien. Mit dieser Art von Information kann der Entwickler nicht sehr viel anfangen, wodurch die Probleme in diesem Stadium zu erklären sind. Auch bei Lösungskatalogen, die auf Prinzipien aufbauen, wie zum Beispiel [3], ergaben sich ähnliche Probleme.

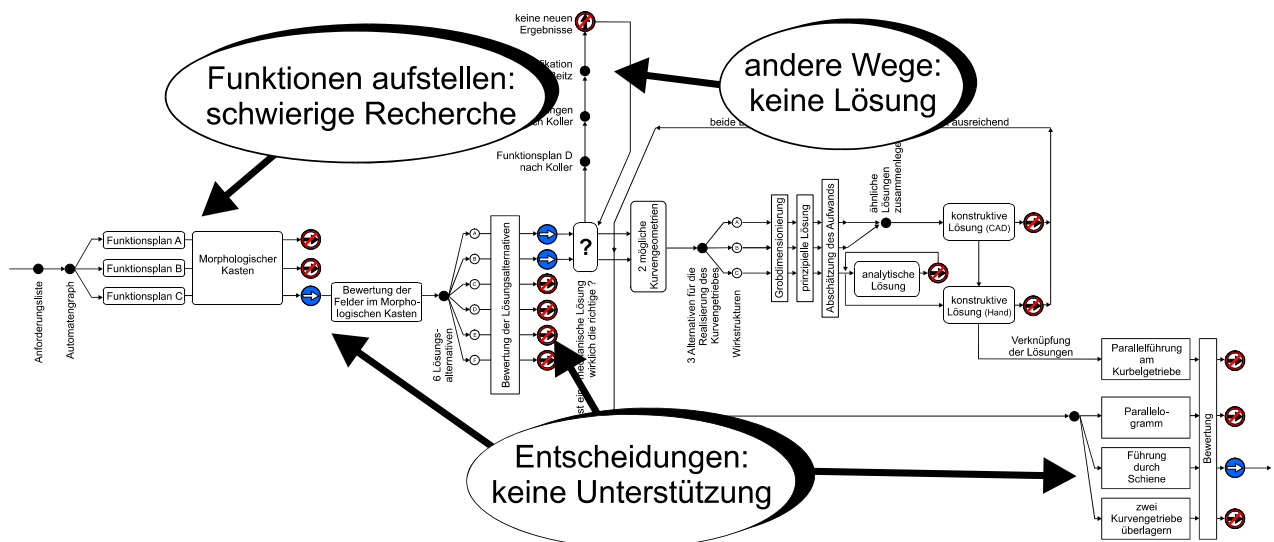


Bild 4: Benennung von Problemfeldern in der Ablaufdokumentation

Nach dem Vorgehen von [1] wurde aus der Befürchtung heraus, in der frühen Phase einen wichtigen Teilaspekt übersehen zu haben, der gesamte bisherige Prozess nochmals nach den Vorschriften von Koller [4] aufgerollt. Da sich dessen Betrachtungen und Klassifizierungen von technischen Abläufen in einer weit theoretischeren Ebene (Energie- und Stoffoperationen) abspielen, konnte aus diesem zweiten Weg keine neue bzw. keinerlei für den Autor verwertbare Aussage für die Konstruktionsaufgabe abgeleitet werden.

Da die frühen Phasen der Konstruktion bisher durch keinerlei Rechereinsatz sinnvoll durchgehend unterstützt werden, musste sich der Autor während Entscheidungsprozessen im methodischen Vorgehen stets auf seine subjektive Einschätzung verlassen. Dies verursachte mehrmals Zweifel und unnötigen Umwege, die jedes Mal wertvolle Zeit kosteten.

Im Entwurf und der Ausarbeitung der Positioniervorrichtung ergaben sich bei weitem nicht derart viele Probleme wie in den frühen Phasen. Die Funktionen externer Programme waren

leider nicht nutzbar, da keine geeignete Schnittstelle zum CAD-System vorhanden ist. Auch wurde als nachteilig empfunden, dass Informationen, die bereits in den frühen Phasen gesammelt wurden, später nicht mehr zur Verfügung standen.

3.2 Allgemeine Anforderungen an die Rechnerunterstützung in der Konstruktion

Aufgrund der gewonnenen Erfahrungen aus der Beispielkonstruktion wird deutlich, dass folgende Problemfelder im Kontext der rechnerunterstützten Konstruktion gelöst werden müssen:

Die Anwendung der Methodik muss von Anfang an vom Rechner unterstützt werden. Dies ist nötig, um den Konstrukteur durch dieses Gebiet zu führen und ihn vor „Irrwegen“ zu bewahren. Die Software hat die von [1] vorgeschlagene Abfolge klar vorzugeben und die Ergebnisse übersichtlich darzustellen. Außerdem ist zu überlegen, in wieweit der Konstrukteur bei Bewertungen (zum Beispiel das Bewerten des Morphologischen Kastens) unterstützt werden kann. Besonders kritisch ist hierbei zu sehen, dass alle Wertungen auf rein subjektiven Größen beruhen: Einerseits werden die Kriterien für die Auswahl vom Konstrukteur selbst gewählt, als auch im Anschluss daran die Einstufung der selber gefundenen Lösungen vorgenommen. Auf Grund der fehlenden Objektivität innerhalb der Konzeptphase kann leicht die favorisierte Lösung (die nicht die beste sein muss) überbewertet werden. Der Aspekt der Methodik, neue, bislang nicht angedachte Lösungen zu finden, wird dadurch verfehlt.

Beim Übergang von der Konzept- zur Entwurfsphase wird ein für die Konstruktion elementarer Schritt vollzogen: Die während des Konzepts gesammelten, geordneten und strukturierten Informationen müssen von einer zweidimensionalen (funktionalen) in eine dreidimensionale (konstruktiv umsetzbare) Anordnung überführt werden. Hierbei ist noch genau zu klären, in wieweit dieser Vorgang automatisierbar ist und wie die Erfahrung des Konstrukteurs in die Umsetzung einbezogen werden kann. Die integrierte Übergang von der zweidimensionalen in eine dreidimensionale Anordnung ist für eine durchgängige Computerunterstützung der Konstruktion unverzichtbar, da sonst immer eine Kluft zwischen den konzeptionellen Ansätzen und der Realisierung im CAD-System bleibt. Auch alle in der Konzeption gesammelten Informationen gehen ohne geeignete Koppelung verloren.

Eine Neuerung, die den gesamten Konstruktionsprozess überspannen soll, ist eine Historienverwaltung. Hier sollen alle im Konstruktionsverlauf gesammelten Informationen und getroffenen Entscheidungen abgelegt werden, um von einem beliebig späteren Zeitpunkt wieder darauf zugreifen zu können. Dies ist deshalb sinnvoll, da bei einer konventionellen Konstruktion viele Informationen nur im Wissen und der Erfahrung des Bearbeiters vorhanden sind und nach Abschluss der Konstruktion oder beim Wechsel des Bearbeiters nicht mehr zur Verfügung stehen. Durch den Zugriff auf eine Historiendatenbank bleiben alle Entscheidungen für jeden zukünftigen Konstrukteur nachvollziehbar.

3.3 Ansätze für die Umsetzung der neuen Werkzeuge

Ein erster wichtiger Schritt für die Rechnerunterstützung der Methodik ist die Bereitstellung von Funktionen, auf die der Konstrukteur beim Erstellen des Funktionsplanes und des Morphologischen Kastens zurückgreifen kann. Diese Funktionen könnten auf einer Datenbank basieren, die umfassende Informationen (unter anderem auch zu den physikalischen Grundlagen) zur Verfügung stellt. Dadurch wäre es auch möglich, zu einem späteren Zeitpunkt (zum Beispiel für Berechnungszwecke) auf diese Informationen zuzugreifen. Weiterhin würde eine geeignete Bereitstellung der Informationen in der Datenbank ein Speichern von Funktionsbausteinen ermöglichen. Diese Elemente könnten dann von anderen Konstrukteuren in anderen Produkten wiederverwendet werden. Während die zweidimensionale Darstellung der Funktionspläne keinerlei Probleme macht, so ist es im Moment noch nicht klar, wie

eine solche zweidimensionale Struktur topologisch angeordnet werden kann. Es ist zu bezweifeln, dass dieser Schritt voll automatisiert, also ohne Zutun – und ohne einen Zugriff auf das Wissen und die Erfahrung – des Konstrukteurs durchführbar ist.

Durch eine Integration von Synthese- und Analysemöglichkeiten in das Konstruktionssystem *mfk* mit Schnittstellen zum Produktmodell lassen sich eine große Zahl der im Vorangegangenen beschriebenen Mängel relativ problemlos beheben: Hier wären die Softwarepakete RecyKon (eine Recyclinganalyse), das Herstellkostenberechnungsprogramm (HKB) und verschiedene Ansätze zur automatischen Erzeugung von Konstruktionsbausteinen in ein Produkt zu nennen. Die gemeinsame Datenbasis des Produktmodells erlaubt es diesen Programmen parallel zum Syntheseteil des Konstruktionssystems auf relevante Daten zuzugreifen und neue Daten einzubringen.

Einen deutlichen Schritt nach vorne stellt schließlich die Erweiterung des Produktmodells in Richtung einer Historienverwaltung dar. Dafür sind innerhalb der Datenbank neue Strukturen zu schaffen, die für jedes einzelne Bauteil relevante Daten zur Entstehungsgeschichte ablegen und so eine Konstruktion zu jedem Zeitpunkt und für jeden Bearbeiter transparenter machen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die im vorangegangenen dargestellte Analyse der Konstruktion des Positioniergerätes hat gezeigt, dass vor allem für die frühen Phasen der Konstruktion noch Werkzeuge entwickelt werden müssen, die den Konstrukteur bei seiner Aufgabe methodisch unterstützen. Möglichst sollten diese Werkzeuge bis in das verwendete 3D-CAD-System hineinreichen, um die Durchgängigkeit der Rechnerunterstützung auch in den frühen Phasen lückenlos umzusetzen. In den späten Phasen können viele Probleme durch Anbindung von Insellösungen an das Produktmodell des Konstruktionssystems behoben werden. Ein wichtiger und alle Phasen übergreifender Schritt ist die Umsetzung einer Historienverwaltung, die ergänzende Informationen zur Konstruktion für andere Bearbeiter bereitstellt.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Pahl, G., Beitz, W.: Konstruktionslehre, Springer Verlag, 1993.
- [2] VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Beuth Verlag, 1993
- [3] Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Springer Verlag, 1982
- [4] Koller, R.: Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte, Springer Verlag, 1998

Michael Koch
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
Universität Erlangen-Nürnberg
Martensstr. 9, 91058 Erlangen
E-mail: mlkoch@mfk.uni-erlangen.de
<http://www.mfk.uni-erlangen.de/>