

Die CAD/CAM-unterstützte Konstruktion und Fertigung von Werkzeugen ist seit Jahren strategisches Element der deutschen Gesenkschmiedeindustrie und der angeschlossenen Werkzeugbaubetriebe. Aufgrund der komplizierten 3D-Formen

sind der Konstruktionsaufwand und damit die Konstruktionskosten relativ hoch und angesichts des starken Kostendrucks nur zu rechtfertigen, wenn diese Kosten verursachungsgerecht, das heißt artikelspezifisch verrechnet werden können. Diese Möglichkeit bestand bisher nur im Rahmen einer Nachkalkulation. Bei der hier vorgestellten Unter-

suchung ging es darum, Wege zu finden, um bereits im Kalkulationsstadium die wichtigsten Kosten, die bei der 3D-CAD-Konstruktion anfallen, mit hinreichender Genauigkeit objektiv abschätzen zu können.

Zeit- und Kostenkalkulation für 3D-CAD-Modelle im Werkzeug- und Formenbau

Rainer Herbertz, Jürgen Labs und Rainer Labs, Iserlohn

Dr.-Ing. Rainer Herbertz, Jahrgang 1952, studierte Maschinenbau an der RWTH Aachen und promovierte dort auf dem Gebiet der Fertigungstechnik. Nach mehreren Jahren Industrietätigkeit im Bereich Umformtechnik wurde er 1988 als Professor für das Gebiet Fertigungsverfahren an die Märkische Fachhochschule in Iserlohn berufen. Seit 1991 ist er Gesellschafter der PROHERIS GmbH, Iserlohn.

Dipl.-Ing. Jürgen Labs, Jahrgang 1964, studierte Maschinenbau an der Märkischen Fachhochschule, Iserlohn. Als Laboringenieur am Labor für Massivumformung sammelte er erste Erfahrungen in der Umformtechnik. Seit 1993 ist er Gesellschafter der PROHERIS GmbH, Iserlohn.

Dipl.-Ing. Rainer Labs, Jahrgang 1965, studierte Maschinenbau an der Märkischen Fachhochschule, Iserlohn. Seit 1991 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Labor für Massivumformung.

Ausgangssituation

Die Abschätzung des Aufwandes für die Erstellung eines 3D-CAD-Modells für Schmiedeteile sowie der damit verbundenen Kosten ist derzeit bei der Auftragskalkulation nicht möglich und wird auch nicht

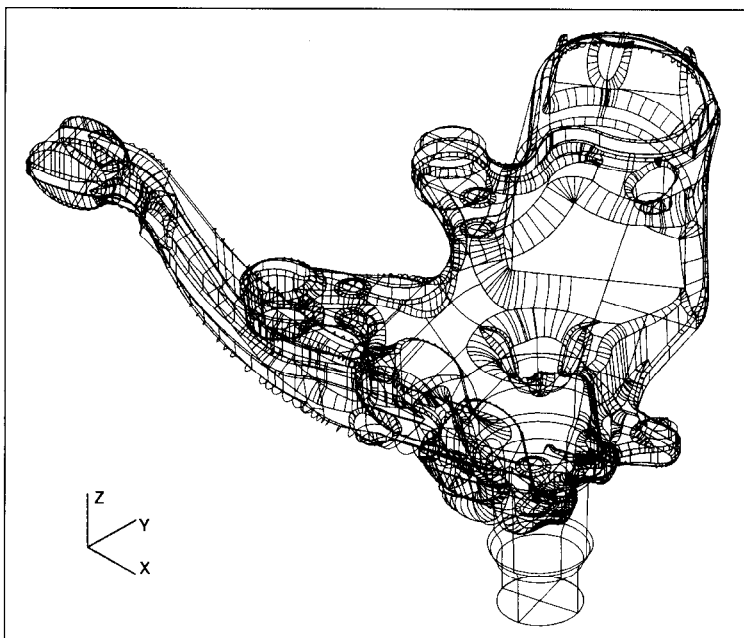
vorgenommen. Sämtliche mit der CAD-Investition und dem dort tätigen Personal anfallenden Kosten werden vielmehr im Sinne eines Umlageverfahrens auf verschiedene Betriebsabteilungen verrechnet. Dieser Zustand ist nach Rücksprache mit mehreren Anwendern der CAD/CAM-Technologie unbefriedigend, weil hierdurch das betriebliche Abrechnungswesen infolge der hohen Investitions- und Personalkosten der CAD/CAM-Abteilungen teilweise erheblich gestört wird. Außerdem werden einfache Teile mit CAD/CAM-Umlagen belastet, die unter Umständen ungerechtfertigt sind. Auf der anderen Seite werden komplizierten Teilen zu niedrige CAD/CAM-Umlagen angerechnet, diese Teile sind somit am Markt unterbewertet.

Als Folge eines fehlenden Kalkulationsschemas sind derzeit auch der erforderliche CAD/CAM-Personalbedarf sowie die notwendige geräte-

technische Infrastruktur für ein benötigtes Mengenprofil je Zeiteinheit nicht hinreichend genau bestimmbar.

Wenn man einen CAD-Arbeitsplatz als eine Kostenstelle versteht, deren Platzkosten sich aus Investitionskosten, Personalkosten, Raumkosten und Gemeinkostenzuschlägen ergeben, dann unterscheiden sich diese Platzkosten (DM/h) kaum von den Platzkosten einer CNC-Maschine, so daß der Versuch einer verursachungsgerechten Zuordnung der anfallenden 3D-Konstruktionskosten gerechtfertigt ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn man die teilweise erheblichen Konstruktionszeiten für ein 3D-CAD-Modell in die Betrachtung mit einbezieht. In **Bild 1** sind die 3D-Konstruktionsaufwendungen für mehrere Firmen zusammengestellt. Die Unterschiede in den Zeitaufwendungen zwischen den Firmen und innerhalb der Firmen kommen durch unterschiedliche Fertigungsprogramme und durch die unterschiedliche geometrische Komplexität der Artikel zustande.

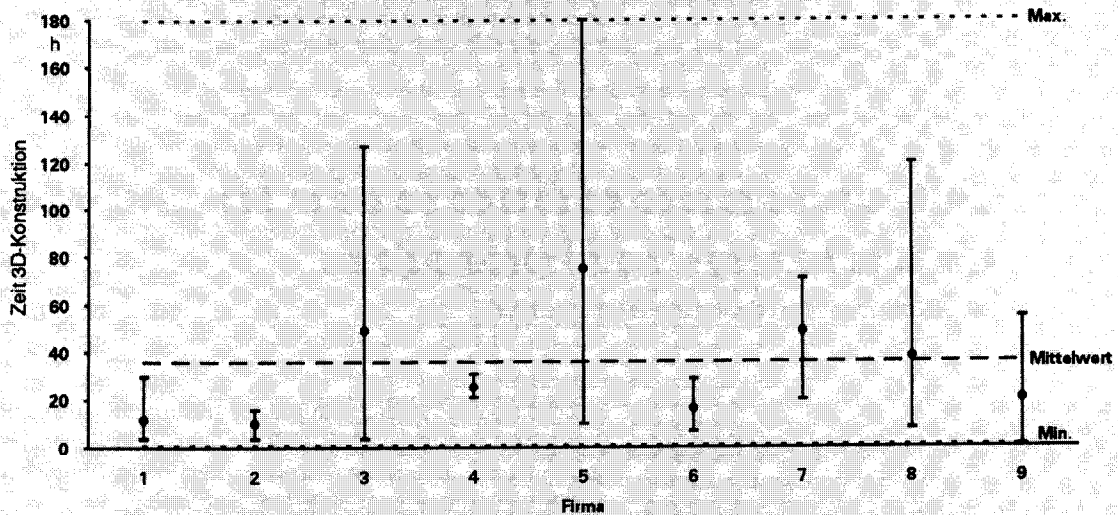
3D-CAD-Geometrie eines Schmiedeteils – Beispiel für die Kompliziertheit von 3D-Formen und damit Hinweis auf den zu betreibenden hohen Konstruktionsaufwand und die daraus resultierenden Konstruktionskosten.



Ziele und Vorgehensweise

Im Rahmen einer Untersuchung waren Methoden zu entwickeln, zu vergleichen und in praktischen Tests zu erproben, die eine hinreichend genaue Vorkalkulation des erforderlichen Zeit- und Kostenaufwandes für das Erstellen eines 3D-CAD-Modells möglich machen.

Ausgangspunkt der Überlegung war, daß sich die gesamte Bearbeitungszeit zur Erstellung eines 3D-CAD-Modells zusammensetzt aus einer „Rüst- oder Planungszeit“ und einer „Konstruktionszeit“, wobei die



Bauteil Nr.	1 bis 18	19 bis 22	23 bis 31	32 bis 38	39 bis 58	59 bis 69	70 bis 84	85 bis 96	96 bis 115	gesamt
verwendete Datensätze	18	4	9	7	20	11	15	12	19	115
Summe 3D-CAD-Konstruktionszeit	210	41	442	178	1505	180	727	453	385	4121

Zeitanteile abhängig sind von der geometrischen Komplexität des zu konstruierenden Bauteils, der verwendeten Hard- und Software und der persönlichen Befähigung/Erfahrung des jeweiligen Konstrukteurs. Dieser Zusammenhang ist in **Bild 2** schematisch dargestellt.

Während sich die Einheitszeit für „Rüsten/Planen“ relativ gut abschätzen lässt, können die Software-/Hardware-Faktoren sowie die „personelle Einheitszeit“ durch kontinuierliche Aufschreibung und/oder „Multimomentaufnahmen“ relativ gut gemessen werden. Schwieriger ist es, die geometrische Komplexität eines Bauteils oder Werkzeugs objektiv zu bestimmen, insbesondere dann, wenn man den „Geometrie-komplexitäts-Faktor (GK)“ als eine Größe versteht, die sich nicht mehr mit dem Hard- und Software-Umfeld sowie der persönlichen Befähigung des Konstrukteurs vermischen soll.

Erste Voruntersuchungen und Datenerhebungen aus verschiedenen Fertigungsbetrieben machten deutlich, daß die größte Unsicherheit in der Bestimmung des Geometrie-komplexitäts-Faktors liegt. Mit dem Ziel, hier eine möglichst objektive Beurteilung zu erreichen, wurden drei verschiedene Wege beschritten, **Bild 3:**

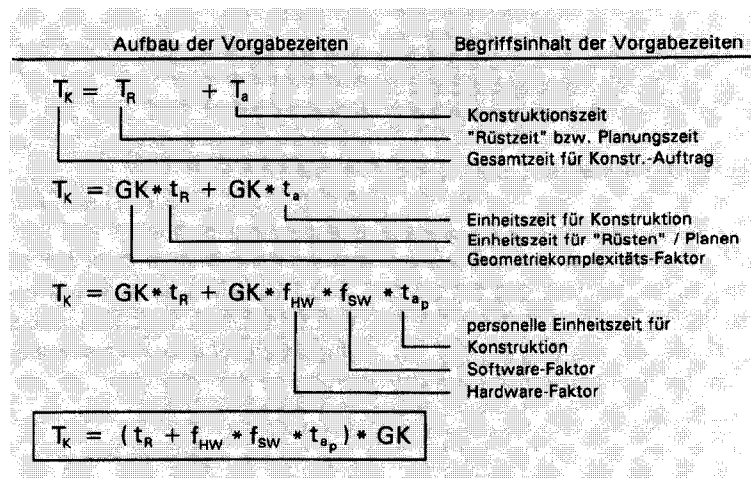
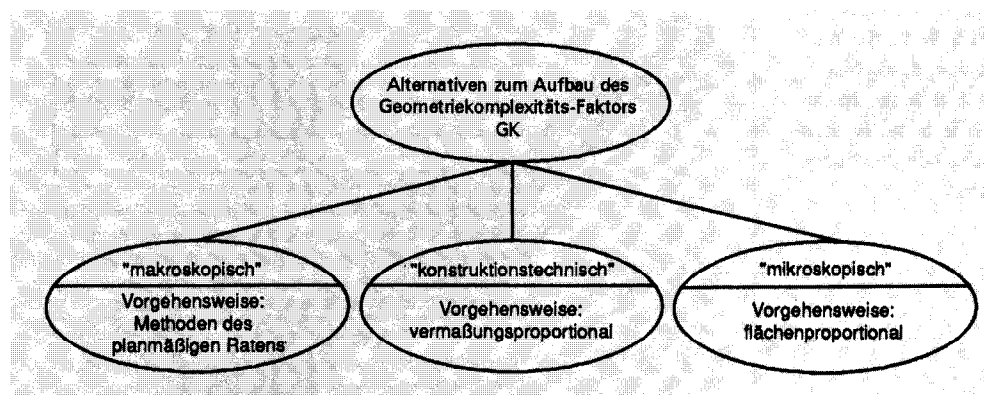


Bild 1 | Beispiele für den Zeitaufwand für 3D-CAD-Konstruktionen von Schmiedeteilen und -werkzeugen.

Bild 2 | Konzept zur Ermittlung von Vorgabezeiten bei der 3D-CAD-Konstruktion.

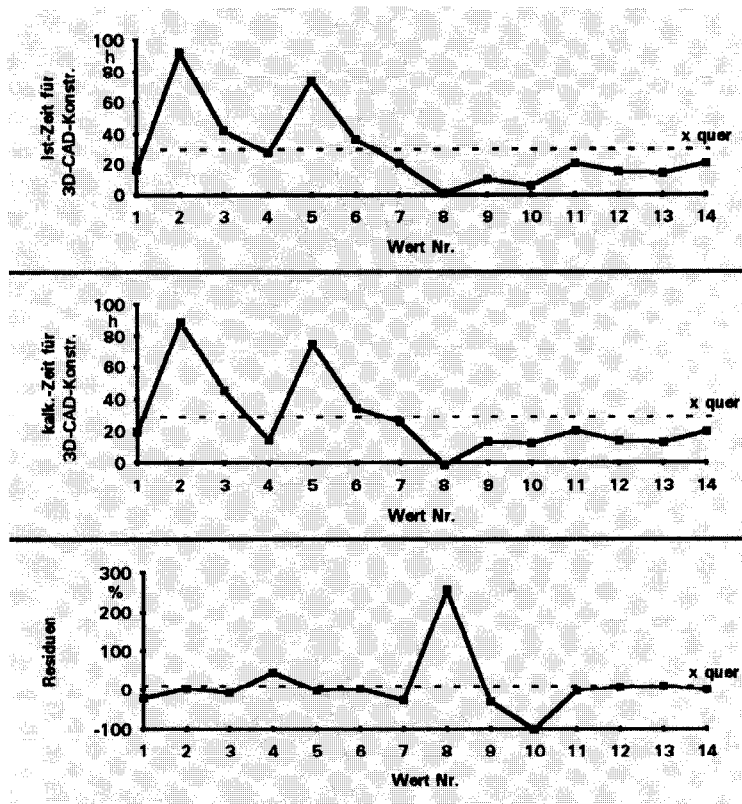


– „mikroskopisch“, das heißt flächenproportional,
 – „makroskopisch“, das heißt planmäßiges Rates,

– „konstruktionstechnisch“, das heißt mit Bezug auf die Zeichnungselemente.
 Sämtliche Untersuchungen fan-

Bild 3 | Alternative Kalkulationsmodelle.

Bild 4 | Kalkulationsbeispiele mit der „konstruktionstechnischen Methode“.



erfaßt. Die darauf aufgebaute statistische Korrelationsrechnung machte aber deutlich, daß sich bei dieser Vorgehensweise keine nachweisbare Korrelation zwischen den Beurteilungsfaktoren und der Konstruktionszeit aus der Nachkalkulation ergibt.

Beim Modell der *konstruktionstechnischen Betrachtung* geht man von der Grundannahme aus, daß die erforderliche Konstruktionszeit für ein 3D-CAD-Modell aus der vorliegenden Produktbeschreibung (zum Beispiel Zeichnung, Funktionsskizze) und deren Geometrieelementen ermittelt werden kann.

Bild 4 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer Zeitkalkulation auf der Grundlage der „konstruktionstechnischen Methode“ für insgesamt zehn verschiedene 3D-CAD-Konstruktionen einer Firma und stellt dieses Ergebnis der Nachkalkulationszeit gegenüber. Man erkennt, daß sich der prinzipielle Aufwandsverlauf für berechnete Zeit und nachkalkulierte Zeit sehr gut deckt und daß die Abweichungen (prozentuale Residuen), bezogen auf die Zielsetzung einer Zeitkalkulation, relativ klein sind. Große Abweichungen treten nur dann auf, wenn die tatsächlich benötigte Konstruktionszeit sehr kurz ist (zum Beispiel 2 bis 3 h). Für diese Fälle ergibt sich jedoch üblicherweise kein Kalkulationsbedarf. Dagegen liegen die Abweichungen dort, wo erhebliche Konstruktionszeiten erforderlich sind (beispielsweise 90 h), in einer Größenordnung, die vertretbar ist ($\pm 20\%$).

Das hier gewählte Beispiel und seine Ergebnisse sind repräsentativ für unterschiedliche Firmen, unterschiedliche Mitarbeiter und unterschiedliche Hard- und Software-Voraussetzungen.

Umsetzung der Ergebnisse in die praktische Arbeit

Die Umsetzung der hier beschriebenen „konstruktionstechnischen Methode“ in die praktische Arbeit gestaltet sich zunächst dadurch recht schwierig, daß die statistischen Korrelations- und Regressionsanalysen sehr aufwendig sind. Deshalb wurde im Rahmen des Pro-

Ergebnisse

Beim Modell der *mikroskopischen Betrachtung* wird davon ausgegangen, daß die zur 3D-CAD-Konstruktion erforderliche Zeit proportional zu den benötigten CAD-Flächen ist. Dieser Ansatz ist prinzipiell nicht falsch, er läßt sich jedoch deshalb nicht in die Praxis umsetzen, weil anhand einer Zeichnung oder Skizze des zu konstruierenden 3D-Modells die Anzahl der benötigten CAD-Flächen nicht hinreichend sicher abgeschätzt werden kann.

Beim Modell der *makroskopischen Betrachtung* handelt es sich um eine „Methode des planmäßigen Ratens“, die sich sehr stark an eine Zeitabschätzung anlehnt, wie sie ein erfahrener Konstrukteur typischerweise macht, indem er das zu konstruierende Bauteil makroskopisch betrachtet und anhand einiger wesentlicher geometrischer Ausprägungen und auf der Grundlage seiner Erfahrung eine Komplexitätsabschätzung vornimmt. Innerhalb des Projekts wurde die Vorgehensweise mit mehreren CAD-Konstrukteuren durchgesprochen, und die wichtigsten Beurteilungsparameter für die Komplexitätsabschätzung wurden

The screenshot shows a software window titled '3D-CAD Zeitkalkulation'. It contains several input fields for project information:

- Arbeitsplatz: LFM04
- Kunde: IDS
- Datum: 05.03.1996
- Software: Euklid
- Artikelnummer: 4711
- Index: 1
- Art der Konstruktion: Neukonstruktion
- Anwendungsbeispiel: ABCDEF
- Formenordnung: ABCDEF
- Art des 3D-CAD-Modells: Schmiedeteil
- Ist-Zeit: 5.0

 Below these fields is a table with columns 'Merkmal' and 'Wert':

Merkmal	Wert
Anzahl A	0
Anzahl B	0
Anzahl C	0
Anzahl D	0
Anzahl E	0
Anzahl F	0
Anzahl G	0

 To the right of the table are summary fields:

- errechnete Soll-Zeit: 4.1 h
- Basis: 14 Sätze
- Zeitraum: 0.0 Monate
- Abweichung Soll/Ist: 18.0 %
- Bestimmtheit: 84.2 %

Bild 5 | Hauptmaske des PC-Kalkulationsprogramms.

den auf der Grundlage statistischer Korrelationsrechnungen statt. Hierzu wurden, basierend auf Zeiterhebungen (BDE) in verschiedenen Betrieben, mit Hilfe der erarbeiteten Modelle „Nachkalkulationen“ durchgeführt. Insgesamt wurden neun Firmen, 123 3D-CAD-Modell mit insgesamt rund 11 000 Einzelflächen und einer gesamten Konstruktionszeit von etwa 4 200 h zugrunde gelegt.

jekts ein datenbankgestütztes PC-Programm entwickelt, mit dem jeder Konstrukteur die Kalkulation einer 3D-CAD-Konstruktion auf der Grundlage der Artikel-Merkmale durchführen kann, **Bild 5**. Hierbei ist es möglich, die Merkmale des jeweiligen Arbeitsplatzes (Hard- und Soft-

ware) zu berücksichtigen, kunden- und artikelspezifische Merkmale zu verwalten, die Soll-Zeit zu ermitteln und die tatsächlich benötigte Ist-Zeit nachzupflegen. Da die Ermittlung der Soll-Konstruktionszeit immer auf der Basis der nachkalkulierten Teile aus der Vergangenheit

geschieht, ist die Planungssicherheit abhängig von den verfügbaren Datensätzen aus der Datenbank.

Eine Beurteilung der kalkulierten Konstruktionszeit wird durch ein statistisches „Bestimmtheitsmaß“ möglich.