

## ZUR AUTOMATISCHEN GESTALTGENERIERUNG VON GUßTEILEN

*Roland Hartmann*

### Zusammenfassung

Am Institut für Mechanik und Maschinenelemente der TU Bergakademie Freiberg wird ein Programmsystem zum automatisierten fertigungsgerechten Gestalten von Gußteilen entwickelt. In der ersten Ausbaustufe gelingt es bereits, Gußteile aus dem technologisch schwierigen Werkstoff Stahlguß automatisch speisungsgerecht zu gestalten. Der Grundgedanke des Systems besteht darin, daß die Gußteilstalt in einem durch technische, formgestalterische und ökonomische Restriktionen begrenzten Lösungsraum elementweise nach speisungstechnischen Kriterien generiert wird. Der "generische Code" wurde aus experimentellen Untersuchungen gewonnen und unter Anwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz in das System implementiert. Für den Konstrukteur eröffnet diese generische Gestaltungsstrategie die Möglichkeit, schon mit seinem ersten Entwurf ein aus speisungstechnischer Sicht problemlos herstellbares Gußteil so zu gestalten, daß die fertigungsbedingten Gestaltungszwänge in die Dimensionierungsrechnung einbezogen werden können.

### 1 Problemsituation

Ein großer Teil der im Maschinen- und Apparatebau eingesetzten Teile werden durch Gießen hergestellt. Obwohl die Vorzüge der Gußteile vor allem hinsichtlich der funktionalen Komplexität, der beanspruchungskonformen Gestaltungsmöglichkeiten und der prozeßstufenarmen Fertigung gegenüber anderen Bauteilen offenbar sind, scheuen noch viele Konstrukteure vor der Konstruktion von Gußteilen zurück. Das liegt sicherlich daran, daß sie die Vielzahl von zum Teil gegensinnigen, ihrem Charakter nach phänomenologischen, größtenteils auf Erfahrung beruhenden, nicht oder nur schwer mathematisch faßbaren Gestaltungsregeln nicht ausreichend überschauen und quantifizieren können. Die fertigungsgerechte Gestaltung wird zwar konstruktionsmethodisch dem Konstrukteur zugeordnet [1, 2], es hat sich aber allgemein die Auffassung verbreitet, daß der Maschinenkonstrukteur nur erste Vorstellungen von der Gußteilstalt entwickeln und es dann dem Gießereifachmann überlassen sollte, die gießgerechte Gestaltung zu realisieren. Da sich aber die wenigsten Maschinenbauunternehmen Gießereifachleute leisten können, ist wegen der räumlichen Trennung ein oftmals langwieriger Abstimmungsweg zwischen Konstrukteur und Gießereingenieur vorprogrammiert, der den Konstrukteur schon in der Vergangenheit nicht selten veranlaßte, alternativ (z. B. durch Schweißen) gefertigten Bauteilen den Vorzug vor Gußteilen zu geben.

Mit der Öffnung der Märkte, der Globalisierung der Unternehmensstrukturen und dem Trend zur Dislozierung von Fertigungsstätten ins Ausland wird die räumliche Entfernung von Konstrukteur und Fertigungstechniker eher noch größer. Gleichzeitig findet aber eine mit rasanter Geschwindigkeit fortschreitende Entwicklung der Kommunikations- und Computertechnik statt, die räumliche Entfernungen überwindet und dem Konstrukteur den Zugriff zu allen erforderlichen Informationen in kürzester Frist ermöglicht.

Zudem führt die wissenschaftliche Durchdringung des Gießereiprozesses zu einer mathematischen Beschreibbarkeit der einzelnen Vorgänge und dadurch zu weitgehender Objektivierung und Entmystifizierung. Während bisher drei Gießereifachleute zu drei verschiedenen, möglicherweise gleichwertigen Lösungen für ein und dieselbe Gestaltungsaufgabe kamen, weil ihre Entscheidungen durch unterschiedliche Ausbildung und Erfahrung geprägt waren, wird durch die Entwicklung wissenschaftlicher Systeme und die mathematisch-physikalische Beschreibung der Grundvorgänge während der Gußteillfertigung eine Verengung des Zielkorridors möglich. Eine Ausgrenzung und Verlagerung des gießgerechten Gestaltens aus dem Konstruktionsprozeß läßt sich immer weniger begründen. Damit wird zugleich der Weg frei für die Integration von Berechnung und Gestaltung von Gußteilen, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die für die einwandfreie Fertigung notwendigen Aufmaße, wie z. B. für gerichtete Erstarrung, Entformschrägen oder Kehlrundungen, iterativ in die Dimensionierungsrechnung einbezogen werden. Diese Integration ist auch schon dadurch unabdingbar, weil viele Werkstoffeigenschaften nicht als unveränderlich angenommen werden können, sondern sich erst während des Fertigungsprozesses, insbesondere während der Erstarrung und Abkühlung des Gußwerkstoffes, gestaltabhängig wegen der unterschiedlichen Wärmeübertragungsbedingungen herausbilden. Insofern führt jede Gestaltänderung am Gußteil häufig auch zu einer Eigenschaftsänderung des Gußwerkstoffes und damit zu einer Änderung der Eingangsgrößen für die Dimensionierungsrechnung. Ganz abgesehen davon kann eine gezielte Eigenschaftsverteilung im Gußstück auch gewollt sein, weil aus Kostengründen immer nur so gut wie notwendig, nicht wie möglich, gefertigt werden muß.

## 2 Erkenntnisstand

Die Gesamtaufgabe der Integration von Berechnung und Gestaltung von Gußteilen läßt sich unter zwei Voraussetzungen lösen: Erstens muß eine Optimierungsstrategie vorhanden sein, mit der die wechselseitige integrative beanspruchungs- und fertigungsgerechte Gestaltung realisiert werden kann. Zweitens müssen die Gußteillgestaltungsvorschriften in einer mathematischen Form vorliegen, die zu einer automatischen Gestaltgenerierung geeignet ist.

Von großem Interesse für die Lösung des ersten Problems sind Arbeiten, die von Weck und Mitarbeitern durchgeführt werden. Speziell für Gußstücke wurde eine Strategie entwickelt, mit der eine Gestaltoptimierung nach den Kriterien Energie- und Materialeinsatz unter Berücksichtigung bindender konstruktiver und fertigungsgerechter Vorgaben möglich ist [3, 4].

Die fertigungsgerechte Gußteillgestaltung wurde besonders in den letzten Jahren systematisch bearbeitet. In dem Buch "Fertigungsgerechtes Gestalten von Gußstücken" [5] sind erstmals alle bekannten Gußteillgestaltungsregeln, bezogen auf die Fertigungsprozeßstufen, zusammenfassend dargestellt. Ambos [6] hat die Gestaltungsregeln und eine Vielzahl von Erfahrungswerten computergerecht aufbereitet und dem Konstrukteur wie auch dem Gießereifachmann zugriffsfähig gemacht. Sahm und Mitarbeiter [7] konnten die rechnergestützten Simulationstechniken für die Gußkörperbildung so weit entwickeln und verfeinern, daß sich neben Gußfehlern, wie Lunkern und Eigenspannungen, heute bereits das Mikrogefüge in Abhängigkeit von den thermischen Bedingungen vorausberechnen und darstellen läßt. Eine automatische Gestaltoptimierung ist mit diesen Systemen aber bisher nicht ohne weiteres möglich, weil sie keine Gestaltänderungsvariablen enthalten. Nach jedem Simulationsschritt muß eine Bewertung des Ergebnisses und nachfolgend interaktiv eine Geometriekorrektur erfolgen, bis ein akzeptables Ergebnis erreicht ist.

### **3 Entwicklung eines Systems zum automatischen generischen Gestalten von Gußteilen**

Am Institut für Mechanik und Maschinenelemente der TU Bergakademie Freiberg wurde ein alternatives, auf den Konstrukteur zugeschnittenes Simulationssystem geschaffen, dessen Grundgedanke auf einer direkten Funktionalität zwischen Gußteileigenschaften und Gußteilgeometrie für durchschnittliche technologische Prozeßparameter beruht und das durch seine Elementarisierung zum generischen Konstruieren von Gußteilen geeignet ist [8]. Auf der Grundlage dieses geometrieorientierten Systems wird gegenwärtig an der Aufgabe der automatischen Gestaltgenerierung von Gußteilen gearbeitet.

Durch umfangreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen unter Einbeziehung von Methoden der Künstlichen Intelligenz ist es gelungen, den "generischen Code" für das virtuelle Wachstum von Gußkonstruktionen aus dem technologisch schwierigen Werkstoff Stahlguß zu finden und auf diese Weise Stahlgußteile automatisch speisungsgerecht zu gestalten. Das Grundprinzip dieser Methode besteht darin, daß das Gußteil in einem durch technische, formgestalterische und ökonomische Restriktionen begrenzten Lösungsraum elementweise aufgebaut wird. Dabei wird sichergestellt, daß jedes Element das mit der Erstarrung verbundene Volumendefizit aus seiner Umgebung ausgleichen kann [9].

An einem einfachen Beispiel läßt sich mit dem automatischen Generierungssystem zeigen, wie groß die Überdimensionierung sein kann, wenn Festigkeits- bzw. Steifeberechnung und fertigungsgerechte Gestaltung nicht in einer Hand liegen [10]. Das trichterförmige Stahlbauteil, Bild 1.a, dessen halber Längsschnitt in Bild 1.b dargestellt ist, wurde einer nachträglichen automatischen speisungsgerechten Gestaltung unterworfen, Bild 1.c. Die innere Oberfläche wurde dabei zur Restriktion erklärt, so daß der für die gerichtete Erstarrung notwendige Querschnittszuwachs nur außen erfolgen konnte. Legt der Konstrukteur zusätzlich fest, daß der zylindrische Bund nicht konisch werden darf, sondern aus Montagegründen, wenn es sich z. B. um ein nachbearbeitungsfreies Feingußteil handeln würde, zylindrisch bleiben soll, würde sich ein Querschnitt gemäß Bild 1.d ergeben. Zur Sicherung der einwandfreien Speisung müßte also der zylindrische Ring erheblich dicker werden.

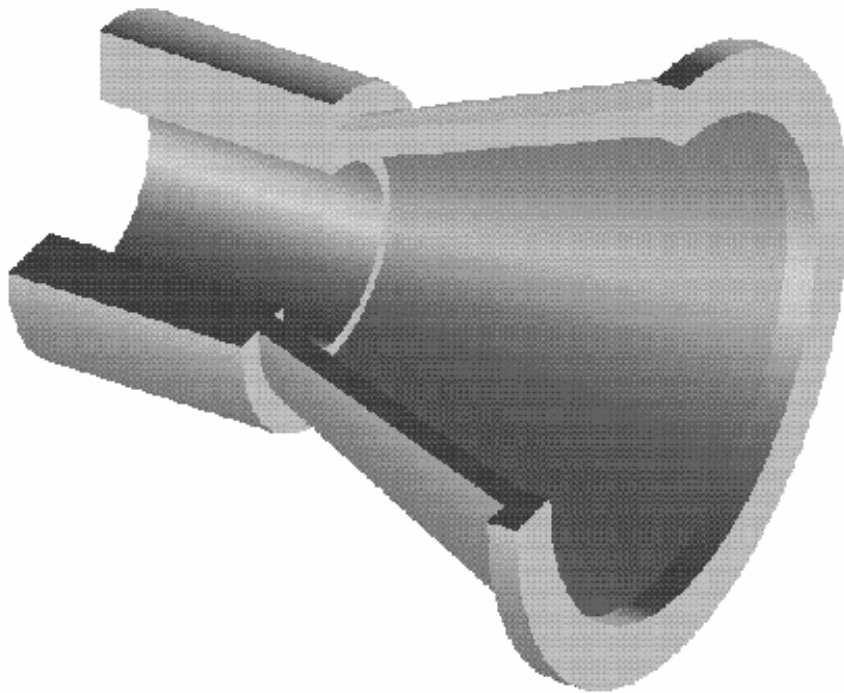


Bild 1.a: Stahlgußteil in Fertigteilgestalt, aufgeschnitten

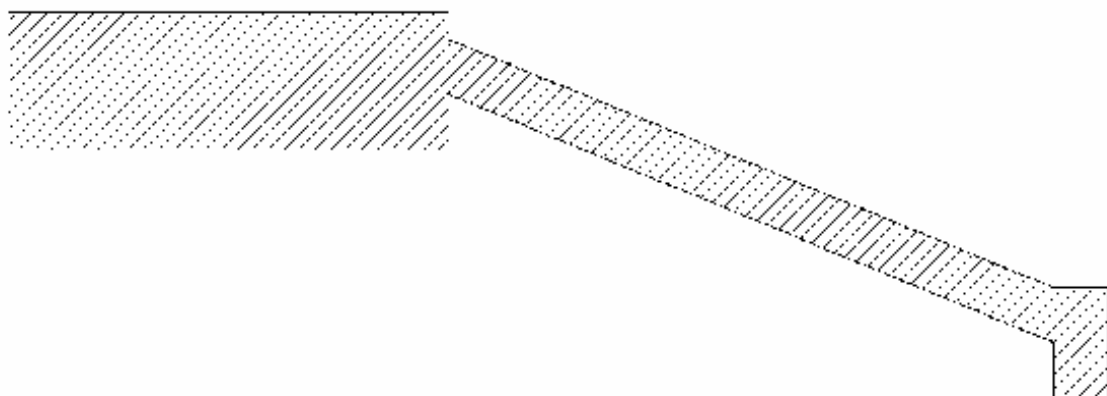


Bild 1.b: Längsschnitt durch die Wand des Gußteiles

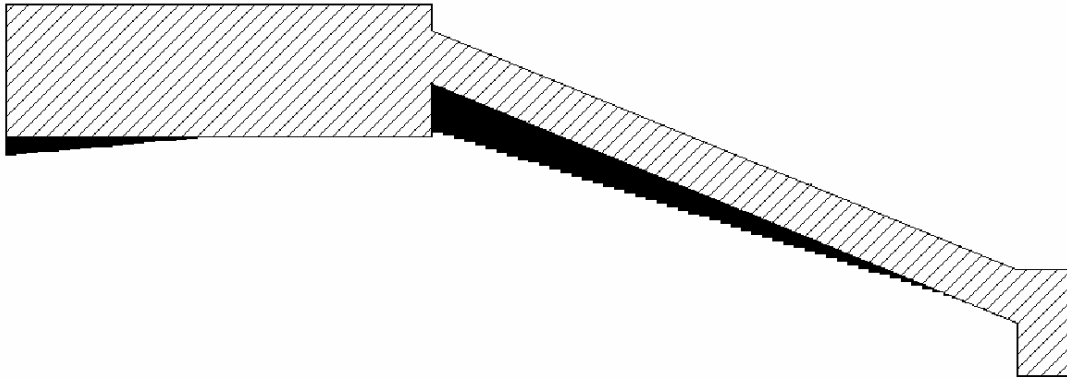


Bild 1.c: Längsschnitt mit automatisch generierter speisungsgerechter Wanddickenzugabe "nur außen"

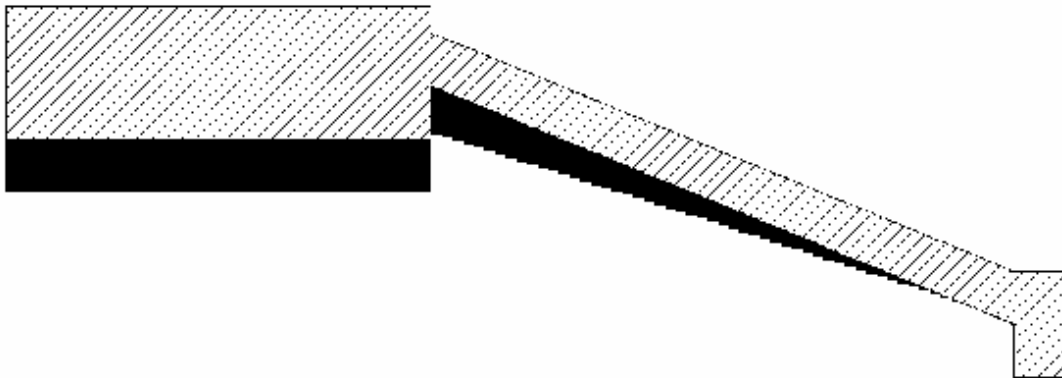


Bild 1.d: Längsschnitt mit automatisch generierter speisungsgerechter Wanddickenzugabe "nur außen" unter Sicherung eines zylindrischen Bundes

Dieses Verfahren zur automatisierten speisungsgerechten Gestaltung von Gußteilen wurde bereits industriell erprobt. Als besonders effektiv erweist sich seine Anwendung auf ausgewählte Sortimente eines Unternehmens, weil in diesem Falle durch Parametrisierung der Gußteilgeometrie der Vorbereitungsaufwand für die Geometrieeingabe drastisch verringert werden kann. So gelingt es der Edelstahlwerke Schmees GmbH Pirna mit einem auf ihre Belange zugeschnittenen Programmsystem, die Gestaltung von Laufrädern für Pumpen in wenigen Minuten speisungstechnisch zu optimieren, Bild 2 [11].

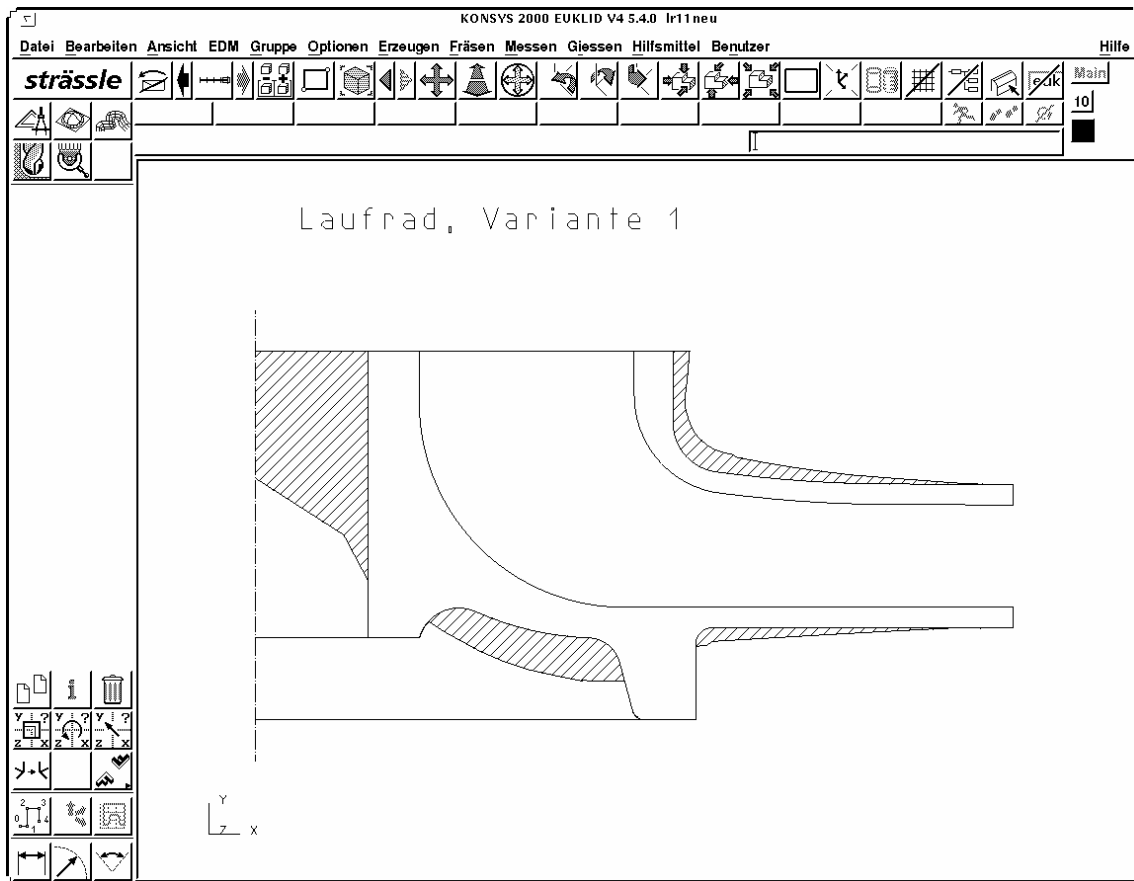


Bild 2: Symmetrieschnitt durch ein LaufRad mit automatisch generierter speisungsgerechter Gestalt

Bei den LaufRädern ist die innere Oberfläche aus strömungstechnischen Gründen festgelegt. Die speisungsgerechte Gestaltgenerierung durfte also nur an den äußeren Oberflächen erfolgen. Die notwendigen Wanddickenvergrößerungen gegenüber der Fertigteilgestalt sind durch Schraffur gekennzeichnet.

## 4 Literatur

- [1] Pahl, G., Beitz, W.: Konstruktionslehre. Springer Verlag Berlin, 4. Auflage, 1997
- [2] Breiing, A., Flemming, M.: Theorie und Methoden des Konstruierens. Springer Verlag Berlin, 1993
- [3] Weck, M., Asbeck, J.: 3D-Topologieoptimierung als Basis für die automatisierte Entwurfsgenerierung. Konstruktion 48(1996)373-378
- [4] Weck, M., Büßenschütt, A.: Automatische Gestaltoptimierung von Gußbauteilen. Vortrag auf dem XLVIII. Berg- und Hüttenmännischen Tag 1997 an der TU Bergakademie Freiberg, Kolloquium VII.
- [5] Ambos, E., Hartmann, R., Lichtenberg, H.: Fertigungsgerechtes Gestalten von Gußstücken. Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag Darmstadt, 1992
- [6] Ambos, E., u. a.: CITIM Benutzerhandbuch Technologiedatenbank. Otto-v.Guericke-Universität Magdeburg, IFQ, 1993
- [7] Sahm, P. R., u. a.: Forschungsarbeiten am Gießerei-Institut der RWTH Aachen
- [8] Hartmann, R., Martin, A., Poljakov, S., Popkov, V., Prasser, K., Tscherner, M.: Entwicklung eines alternativen Systems zum speisungsgerechten Gestalten von Stahlgußteilen. Gießereiforschung 47(1995)173-181
- [9] Hartmann, R., Poljakov, S., Popkov, V., Martin, A.: Automatisiertes speisungsgerechtes Gestalten von Stahlgußteilen. Vortrag auf dem XLVIII. Berg- und Hüttenmännischen Tag 1997 an der TU Bergakademie Freiberg, Kolloquium VII.
- [10] Hartmann, R., Poljakov, S., Popkov, V.: Unveröffentlichter Forschungsbericht. TU Bergakademie Freiberg, IMM, 1997
- [11] Hartmann, R., Poljakov, S., Martin, A.: Generisches Gestalten von Stahlgußteilen. VDI Berichte 1324, Fortschritt mit Gußkonstruktionen '97. VDI Verlag GmbH Düsseldorf, 1997, S. 201-209

Prof.Dr.-Ing.habil. Roland Hartmann  
TU Bergakademie Freiberg  
Institut für Mechanik und Maschinenelemente  
Lampadiusstr. 4  
09596 Freiberg  
Tel.: 03731/392526  
Fax: 03731/393658  
E-mail: [hartmann@imm.tu-freiberg.de](mailto:hartmann@imm.tu-freiberg.de)