

Mehrkriteriale Optimierung von Gußteilen

Roland Hartmann
Sergej Poliakov
Viktor Popkov

Zusammenfassung

Es wird ein deterministisches Verfahren zur mehrkriterialen Optimierung von Gußteilen vorgestellt, das auf dem Prinzip konvergierender Restriktionen beruht. Auslegungsseitig können hierzu kommerzielle FEM-Programme eingesetzt werden, während die gießgerechte Gestaltung mit dem neu entwickelten generischen System RHOST erfolgt. Mit diesem Verfahren kann in wenigen Iterationsschritten das globale Gestaltoptimum erreicht werden.

1 Problemsituation

Gußteile sind häufig überdimensioniert. Das hängt einerseits damit zusammen, daß sich der Gußwerkstoff erst im Verlaufe des Gießprozesses konstituiert. Bei ungünstiger Gestaltung des Gußteiles können Gußfehler auftreten, die zur Minderung der mechanischen Eigenschaften des Gußwerkstoffes führen. Je weniger ein Konstrukteur von diesen Zusammenhängen weiß, um so eher ist er geneigt, mit zu großen Sicherheiten zu rechnen und die Werkstoffeigenschaften nicht voll auszunutzen.

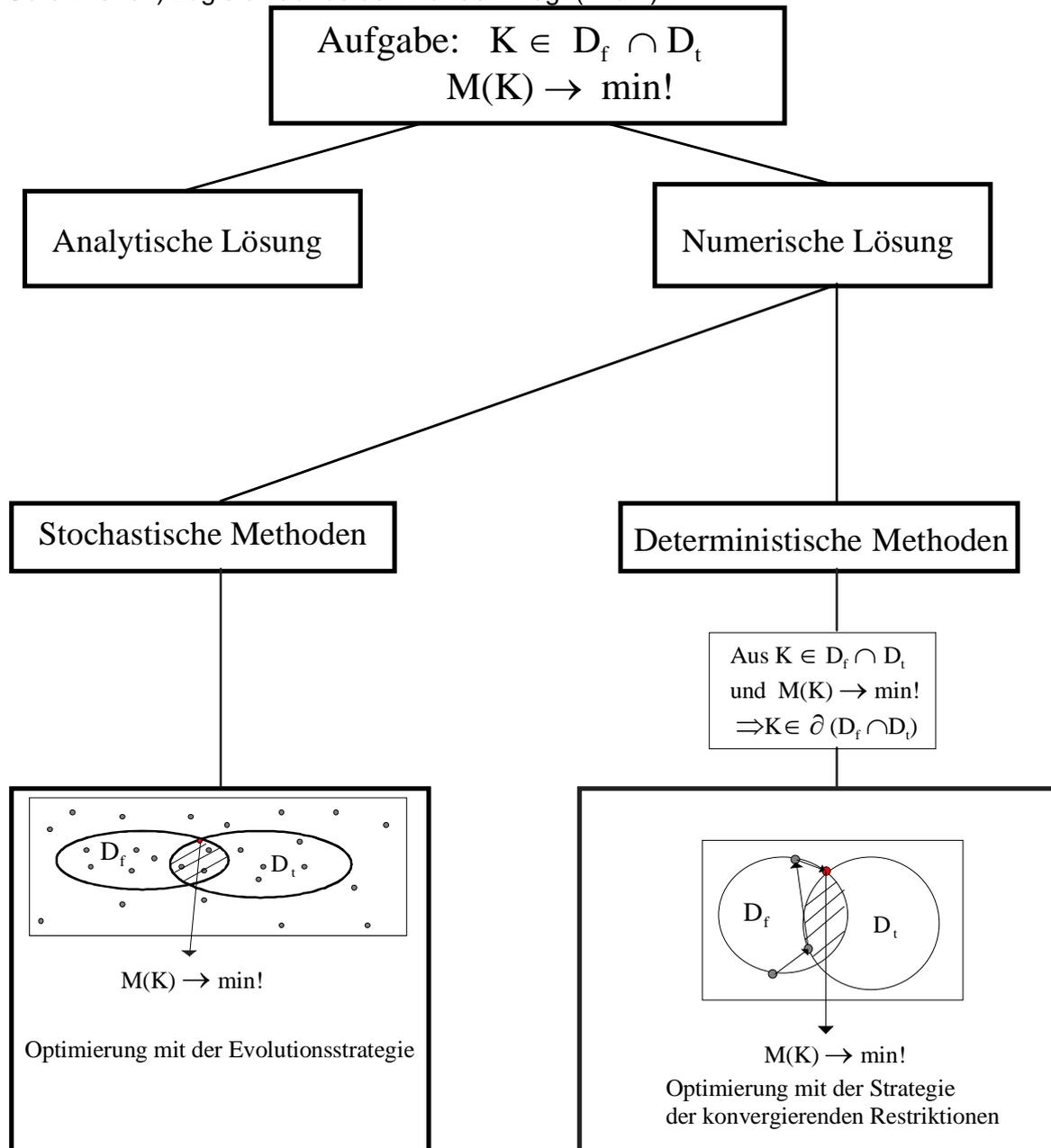
Andererseits sind Gußteile meist sehr komplexe Körper mit komplizierter Geometrie. Bei der Auslegungsrechnung werden nicht selten stark vereinfachte Modellannahmen getroffen, die ebenfalls zur Überdimensionierung führen können. Wenn dann noch die Auslegungsrechnung vom Konstrukteur des Auftraggebers und die gießgerechte Gestaltung von der Gießerei ausgeführt werden, ohne daß die technologisch bedingten Bauteilmaße für gerichtete Erstarrung, Entformschrägen usw. in die Auslegungsrechnung zurückgeführt werden, ist die Überdimensionierung perfekt.

Zur Lösung dieses seit langem erkannten Problems gibt es mannigfaltige Bemühungen. Im Grunde genommen zielen aber die meisten darauf ab, Berechnung und Gestaltung des Gußteiles an einem Arbeitsplatz zusammenzuführen, weil nur auf diese Weise eine mehrkriteriale Optimierung effektiv durchgeführt werden kann. WECK [1] stellte als erster ein Verfahren vor, mit dem die Gußteilmasse zugleich aus der Sicht der Belastung als auch der fertigungsgerechten Gestaltung minimiert werden kann. Es beruht auf einem evolutionsstrategischen Ansatz und ist wegen der zu bewältigenden umfangreichen Datenmengen vorerst nur auf Hochleistungsrechentechnik einsetzbar. Neben diesem stochastischen ist aber auch ein deterministischer Lösungsweg denkbar, der möglicherweise schneller zum Ziel führt und wegen seiner Einfachheit auch in kleineren Unternehmen zum Einsatz kommen kann. Dieser Weg soll im folgenden vorgestellt werden.

2 Eine deterministische Optimierungsstrategie

Im Gegensatz zur evolutionsstrategischen Methode von WECK, bei der Anfangslösungen für die Optimierungsaufgabe solange durch Mutation verändert und durch Selektion ausgesondert werden, bis keine bessere Lösung mehr gefunden wird, soll bei der deterministischen Methode das globale Optimum in wenigen Schritten erreicht werden. Das gelingt dann, wenn man sich mit Hilfe geeigneter Verfahren bei der Lösungssuche wechselseitig auf den Rändern der Lösungsmengen bewegt, bis der Lösungspunkt erreicht ist, der (bei der Optimierung nach zwei

Gütekriterien) zugleich auf beiden Rändern liegt (Bild 1).



K Konstruktive Variante

M Gußteilmasse

D_f Menge aller beanspruchungsseitig zulässigen Lösungen

D_t Menge aller gießseitig zulässigen Lösungen

Bild1. Vergleich der Lösungsstrategien

Die Aufgabe besteht also darin, das Gußteil zugleich beanspruchungs- und auch fertigungsgerecht zu gestalten. Hierzu werden neben den technischen Sicherheitsfaktoren S_f , die sich in bekannter Weise aus den tatsächlichen und zulässigen Spannungen bzw. Deformationen ergeben, technologische Sicherheitsfaktoren S_t definiert, die ein Maß für die Überdimensionierung aus gießtechnologischer Sicht darstellen (z. B. zu große Schrägen für gerichtete Erstarrung oder zum Entformen). Das Optimierungsproblem läßt sich damit auf das gleichzeitige Anstreben der dimensionslosen Größen S_{fmin} und S_{tmin} reduzieren. Dabei soll praktisch so vorgegangen werden, daß die Gußteilgeometrie durch Iteration wechselseitig von einer festigkeits- (bzw. Steife-) optimalen auf eine fertigungsoptimale Lösung verändert wird, bis schließlich bei konvergierenden Restriktionen die polyoptimale Lösung für die Zielfunktion Masse \rightarrow Min! erreicht ist (Bild 2). Der Konstrukteur kann die Optimierungsprozedur abbrechen, sobald er mit einem Zwischenergebnis zufrieden ist.

Voraussetzung für diese Strategie ist das Vorhandensein von Berechnungsprogrammen für die monooptimale beanspruchungs- bzw. fertigungsgerechte Gußteilgestaltung, die über ein geeignetes Programmmanagement miteinander zu koppeln sind. Während für die Auslegungsoptimierung bereits kommerzielle Programme auf FEM-Basis, wie z. B. I-DEAS, existieren, mußte für die Gestaltoptimierung aus gießtechnischer Sicht erst ein Programm geschaffen werden.

3 RHOST - ein alternatives System zum gießgerechten Gestalten von Bauteilen

Die Programmsysteme zur Simulation der Gußkörperbildung, die so weit entwickelt wurden, daß sich neben Gußfehlern, wie Lunkern und Eigenspannungen, heute bereits das Mikrogefüge in Abhängigkeit von den thermischen Bedingungen berechnen und darstellen läßt [2], haben einen entscheidenden Nachteil. Es sind im Prinzip Nachrechensysteme. Eine automatische Gestaltänderung ist mit ihnen 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.

Deswegen wurde am Institut für Mechanik und Maschinenelemente der TU Bergakademie Freiberg ein alternatives System geschaffen, das zum generischen Gestalten von Gußteilen geeignet ist [3-4]. Es beruht auf dem Prinzip der gerichteten Erstarrung. Ein virtuelles Gußteil wird aus Elementen entlang von Erstarrungspfaden so aufgebaut, daß die (in Erstarrungsrichtung) nachfolgenden Elemente alle davor liegenden Elemente speisen können müssen. Auf diese Weise wächst das virtuelle Gußteil gemäß der dem Gußwerkstoff, dem Formstoff und dem Gießverfahren eigenen Gesetzmäßigkeiten in einem Lösungsraum, der durch die geometrischen Restriktionen des Konstrukteurs begrenzt ist.

Die Gesamtheit der Erstarrungspfade und die Zuordnung der Elemente wird hier "Speisungsgraph" und die Wachstumsvorschrift des virtuellen Gußteiles "Generischer Code" genannt. Der Speisungsgraph kann bei einfach gestalteten Gußteilen linear, bei komplizierteren dagegen stark verzweigt sein. In jenen Fällen muß er unter Verwendung der Abkühlungssimulation mit Mitteln der Künstlichen Intelligenz aus dem verfahrensneutralen Bauteilentwurf bestimmt werden. Der generische Code wird einmal für eine Gußwerkstoff-Formstoff-Gießverfahrenskombination aus experimentellen Untersuchungen ermittelt und ist dann gußstückunabhängig.

Mit der Methode des generischen Gestaltens zwingt der Konstrukteur nicht wie bisher den Gußwerkstoff in eine gußfehlerlatente Geometrie, sondern gibt ihm die Möglichkeit, ohne

technologische Sonderaufwendungen fehlerarm zu erstarren. Das setzt eine neue Denkweise bei der Gestaltung von Gußteilen voraus. Der Konstrukteur wird die geometrischen

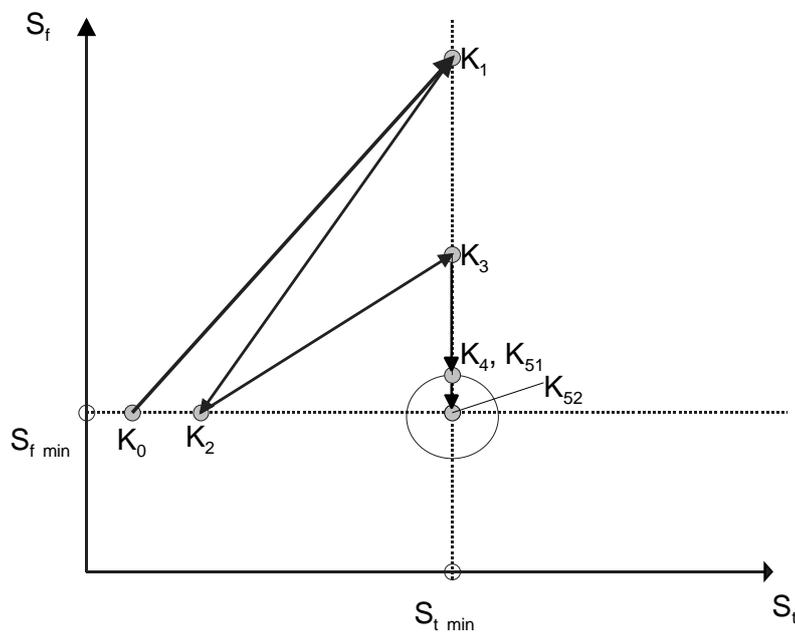
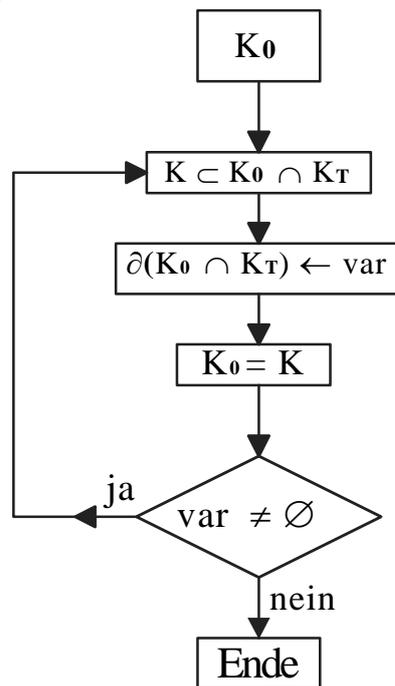


Bild 2. Strategie der konvergierenden Restriktionen

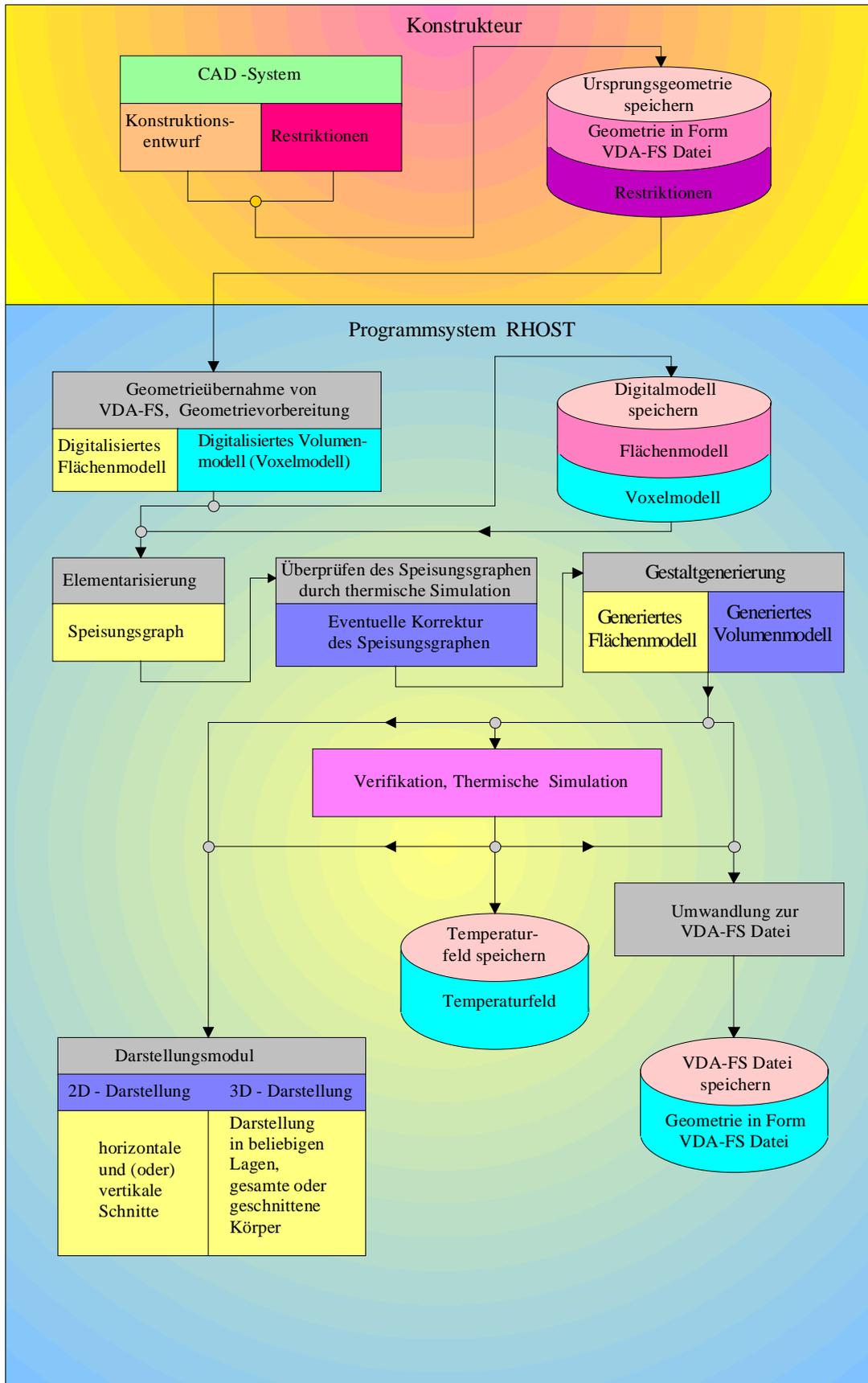


Bild 3. Programmablauf mit dem System RHOST

Begrenzungen des Gußteiles künftig mit unterschiedlicher Verbindlichkeit ausstatten müssen. Es wird Begrenzungen geben, die wegen ihrer funktionalen Bestimmung zur Restriktion für die automatische Generierung werden. Andere dagegen werden mit einem höheren Freiheitsgrad versehen, da sie vielleicht ohnehin spanend bearbeitet werden sollen oder für die Funktion des Gußstückes von untergeordneter Bedeutung sind.

In Bild 3 ist der prinzipielle Ablauf des generischen Gestaltens mit dem System RHOST dargestellt.

Literatur

- [1] Weck, M., Büßenschütt, A.: Gieß- und belastungsgerechte Auslegung von Bauteilen.
VDI Berichte 1324. Fortschritt mit Gußkonstruktionen '97. VDI Verlag GmbH Düsseldorf 1997, S. 153-169.
- [2] Sahm, P. R.: Forschungsarbeiten am Gießerei-Institut der RWTH Aachen
- [3] Hartmann, R., Martin, A., Poliakov, S., Popkov, V. Prasser, K., Tscherner, M.: Entwicklung eines alternativen Systems zum speisungsgerechten Gestalten von Stahlgußteilen. Gießereiforschung 47(1995)173-181
- [4] Hartmann, R., Poliakov, S., Popkov, V.: Generisches Gestalten von Gußteilen.
Vortrag auf dem 2. Workshop Konstruktionstechnik der Universität Rostock, September 1998

Prof.Dr.-Ing.habil. Roland Hartmann
Dr.-Ing. Sergej Poliakov
Dr.-Ing. Viktor Popkov
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