

## Gestaltungsfreiheit von Gusskonstruktionen richtig nutzen

### Topologieoptimierung führt zu überlegenen Funktionsbauteilen

A. Schilling, Neuffen; Th. Schmidt, Mölln

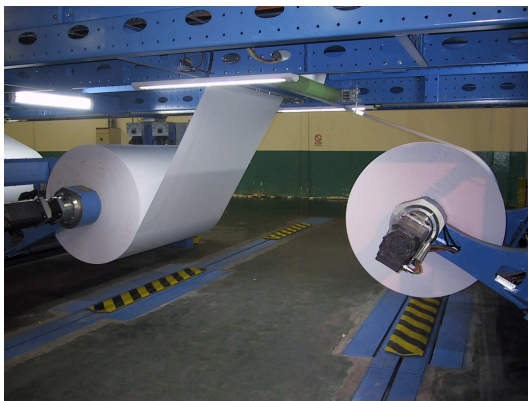
*Topologie- und Formoptimierung haben sich im Flugzeug- und Automobilbau auf breiter Front durchgesetzt. Jetzt halten sie auch im Maschinenbaubereich Einzug und tragen hier zur Entwicklung funktional überlegener Bauteile bei. Am wirtschaftlichsten lassen sich die vom Optimierungsprogramm erzeugten Gestaltungsvorschläge mit dem Fertigungsverfahren Gießen in reale Bauteile umsetzen.*

Aufgrund des sich verschärfenden internationalen Wettbewerbs und den ständig wachsenden Anforderungen an die Produktivität sehen sich Maschinenkonstruktoren bei der Ausübung ihrer Tätigkeit zunehmend einem Zielkonflikt ausgesetzt: Einerseits gilt es, anspruchsvolle funktionale Anforderungen (z.B. erhöhte Lasten, Genauigkeiten oder Beschleunigungen) zu erfüllen, auf der anderen Seite sind Herstellkosten zu senken. Bei dynamisch bewegten Komponenten sind im Hinblick auf die späteren Betriebskosten zudem noch Gewichtsvorgaben zu erfüllen. Die Topologieoptimierung trägt hier zur Entwicklung funktionsgerechter und gleichzeitig materialsparender Bauteile bei. Mit dem Fertigungsverfahren Gießen lassen sich die vom Optimierungsprogramm erzeugten Gestaltungsvorschläge sehr wirtschaftlich in reale Bauteile umsetzen.

Bei Heidenreich & Harbeck wurden bereits rund 150 Gussteile unter Einsatz der Topologieoptimierung entwickelt. Bereits bei den ersten Anwendungen stellte sich heraus, dass dieses Werkzeug sowohl effizient als auch effektiv ist. So konnten für einen zu Benchmark-Zwecken ausgewählten HSC-Schlitten die Verformungswerte gegenüber einem bereits manuell optimierten Bauteil bei identischem Gewicht nochmals um 30% gesenkt werden, und das –bei durchaus vergleichbaren Voraussetzungen– in weniger als der Hälfte der ursprünglichen Entwicklungszeit. Nach Veröffentlichung dieses Ergebnisses wurden schnell weitere Anwendungen wie der nachfolgend beschriebene Tragarm gefunden.

Dieses Bauteil wird in großen Papierabrollungen (**Bild 1**) des Maschinenbauunternehmens **bielomatik Leuze GmbH & Co** eingesetzt, die typischerweise leistungsfähige Formatschneider mit meterbreiten Papierbahnen versorgen. Aus diesen Endlosbahnen werden dann durch den Formatschneider Einzelbogen unterschiedlichster Größen für die Druckindustrie, oder auch Massensapapier für Druck-, Kopier- und Privatanwendungen geschnitten.

Der zunehmende Wettbewerb auf globalisierten Märkten zwang zur Kostensenkung bei diesen großen Anlagen. Gleichzeitig sollte mit dem Redesign die Leistungsfähigkeit der Papierabrollungen den wachsenden Anforderungen hinsichtlich größerer und schwererer Papierrollen angepasst werden. Die Komponenten der bestehenden Anlage waren diesen Anforderungen nur noch teilweise gewachsen. Dem Vorbild der Automobilindustrie folgend, wurde die Neuentwicklung gemeinsam mit der **Heidenreich & Harbeck AG** durchgeführt.



**Bild 1:** Tragarme der Abrollung halten die bis zu 6 Tonnen schwere drehende Papierrolle



**Bild 2:** Für Tragarmkonstruktion verfügbarer Bauraum

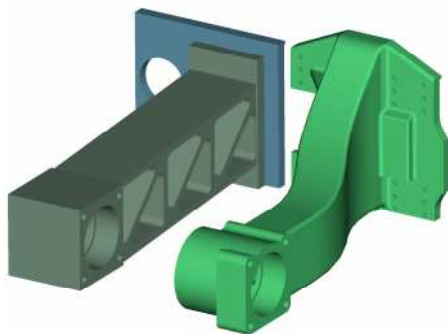
Auf Basis einer den Bauraum beschreibenden Anfrageskizze (**Bild 2**) und definierter Lastfälle (max. Nutzlast in verschiedenen Arbeitsstellungen) sollte ein kraftfluss- und gleichzeitig fertigungsgerechtes Bauteil in mehreren Längenvarianten sowie die spiegelbildlichen Funktionspartner entwickelt werden. Dabei waren Montagerestriktionen zu beachten sowie die Dauerfestigkeit des Bauteiles zu gewährleisten.

Für die schnelle und treffsichere Ermittlung von Gestaltungsvorschlägen setzt Heidenreich & Harbeck ein modernes Topologie-Optimierungstool ein. Natürlichen Wachstumsvorgängen nachempfunden ermittelt dieses Werkzeug unter Berücksichtigung aller definierten Lastfälle innerhalb eines vorgegebenen Bauraums für ein vorzugebendes Restvolumen die steifste Struktur. Im Falle des Tragarms, der im Wesentlichen durch das exzentrisch angreifende Rollengewicht auf Torsion beansprucht wird, ist das vorgeschlagene Hohlprofil (**Bild 3**, Mitte) eine durchaus plausible Lösung, die allerdings den Ansprüchen an eine einfache Montage der vier Führungswagen nicht genügt.

Daher wurde ein zweiter Optimierungslauf durchgeführt, bei dem die Aushebefähigkeit als Fertigungsrestriktion berücksichtigt wurde. Die nun vorgeschlagene Geometrie (**Bild 3**, rechts) könnte aufgrund der Ausbildung von zwei Streben kernlos eingeformt werden. Auch das Montageproblem wäre gelöst, da diese Streben genau zwischen den unteren und oberen Führungswagen auf die Befestigungsebene treffen und somit eine gute Zugänglichkeit der Schrauben gegeben wäre.



**Bild 3:** Ergebnis der Topologieoptimierung (Restvolumen im FEM-Modell (links), geglättete Gestaltungsvorschläge aus der Topologieoptimierung ohne (Mitte: Querschnitt) und mit Fertigungs-Restriktionen (rechts))



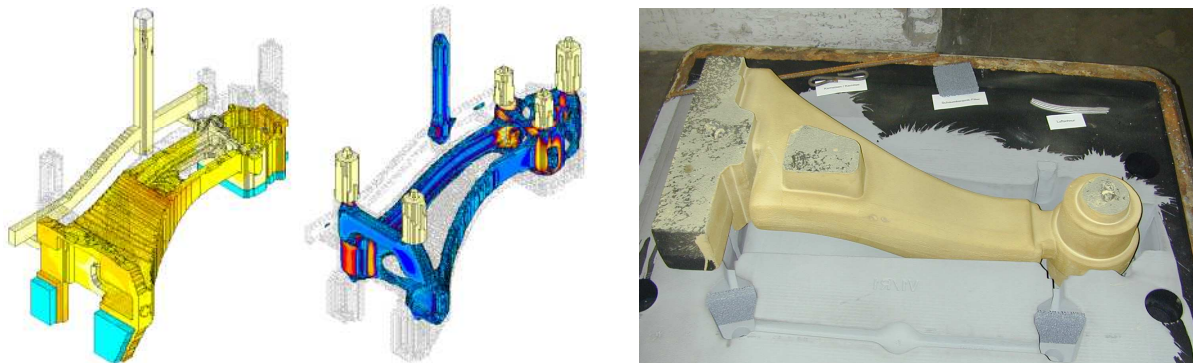
**Bild 4:** Vergleich der Tragarme vor und nach wertanalytischer und topologischer Optimierung

Die erfahrenen Entwicklungsingenieure der Heidenreich & Harbeck AG haben allerdings nicht den Anspruch, derartige Gestaltungsvorschläge akribisch genau umzusetzen. Vielmehr lassen sie sich von den Optimierungsergebnissen inspirieren, um diese dann zielgerichtet und schnell in gleichzeitig kraftfluss- und fertigungsgerechte Konstruktionen umzusetzen.

Gleichzeitig dienen diese Vorschläge als Grundlage für die frühe Diskussion mit dem Entwicklungspartner, um die Grundrichtung bei der weiteren Konstruktion abzustimmen. Das Zwischenergebnis einer Hohlprofilausführung ermöglichte hier die Erweiterung des bestehenden Lastenheftes. Zukünftig sollte der Hohlraum auch für die unsichtbare Verlegung der zahlreichen Elektro-, Hydraulik- und Pneumatikleitungen genutzt werden. In der alten Ausführung wurden für diesen Zweck spezielle Zeichnungsteile angefertigt.

Letztendlich wurden die Vorteile beider Gestaltungsvorschläge zu einem Integralbauteil zusammengeführt, das sowohl den funktionalen als auch den Anforderungen an eine wirtschaftliche Herstellung und Montage gerecht wird (**Bild 4**). Denn bereits während der Konstruktionsphase wurden Aspekte einer besonders wirtschaftlichen Kern- und Formfertigung berücksichtigt. Die Diskussionen zwischen den Entwicklungspartnern führten schließlich auf eine besonders wirtschaftliche Lösung, bei der die gesamte Innengeometrie mit einem gemeinsamen Kern abgebildet wird. Zudem konnte die prozesssichere und kostengünstige Herstellbarkeit durch entsprechende gießtechnische Simulationen noch vor der eigentlichen Zeichnungserstellung abgesichert werden (**Bild 5**). Ebenso wurden Fragestellungen zur Bearbeitung des Bauteils mit den Zerspanungsfachleuten der Heidenreich & Harbeck AG im direkten Kontakt geklärt.

Besonders der Verzicht auf die zuvor benötigte Adapterplatte trägt wesentlich zur Reduzierung der Funktionskosten und der Reduzierung von Montagekosten bei. Durch die Kostenersparnis in Höhe von 30 % pro Tragarmsatz amortisierte sich die Entwicklungsdienstleistung bereits nach weniger als einem halben Jahresbedarf.



**Bild 5:** Ergebnis der entwicklungsbegleitend durchgeführten gießtechnischen Simulation (links: Formfüllung, Mitte: Erstarrung). Rechts: Untere Formhälfte mit einteiligem Kern

Aufgrund des Zeitgewinns in der Entwicklungsphase leistete die Topologie-Optimierung einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der Durchlaufzeit von der Idee bis zum einbaufertigen Prototypen. Gegenüber der abzulösenden Konstruktion ergaben sich Gewichtseinsparungen und Steifigkeitserhöhungen jeweils im zweistelligen Bereich. Dank des im Sinne eines 'Rundum-sorglos-Paketes' in den Entwicklungsprozess integrierten Festigkeitsnachweises und gezielter Prüfvorschriften für die in der FEM-Berechnung identifizierten höher belasteten Bauteilbereiche sowie der Auswahl einer duktilen Werkstoffsorte verlief die Umstellung des Sicherheits-Bauteils auf die neue Tragarm-Ausführung für den Kunden ohne Risiko.



**Bild 6:** Links: Grundierter Rohguss in kurzer Ausführung. Rechts: Detailansicht des bearbeiteten Ausstellungsstückes. Material: EN-GJS 400-15, Gewicht: 170 kg

Im weiteren Verlauf des Wertanalyseprojektes wurde intensiv von der Gestaltungsfreiheit des Fertigungsverfahrens Gießen zur Integration zusätzlicher Funktionen insbesondere in den Tragarm-Kopf Gebrauch gemacht (**Bild 6**). Aufgrund der guten Resultate sind mittlerweile beinahe alle lasthaltenden und somit sicherheitsrelevanten Struktur-Bauteile der Papierabrollung (**Bild 1**) als optimierte Integral-Gussbauteile ausgeführt worden.

Ein Exemplar des hier vorgestellten Tragarms ist in der neu eingerichteten Gießereiausstellung des Deutschen Museums als Exponat ausgestellt. Es versinnbildlicht die Chancen, die sich bei einer frühzeitigen Zusammenarbeit von Maschinenbauer und Gießerei ergeben. Wenn die Möglichkeiten zur Funktionsintegration konsequent genutzt und Geometrie und Werkstoff funktionsgerecht – z.B. mittels Einsatz bionischer Optimierungsverfahren - gewählt werden, ergeben sich besonders wirtschaftliche Lösungen, die entscheidend zur Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Maschinenbaus beitragen können.