



FOTOS UND GRAFIKEN: MGE

Topologieoptimierter Maschinenträger

Maschinenträger für Windkraftanlagen – links der herkömmliche Maschinenträger FWT2000 und rechts der topologieoptimierte Maschinenträger FWT3000.

VON HERBERT WERNER UND INGO LAPPAT, MEUSELWITZ

Die Meuselwitz Guss Eisengießerei GmbH (MGE), Meuselwitz, stellt heute mit modernsten Gießereianlagen in einer Hand- und Großgussformerei sowie einer mechanisierten Anlagenformerei Gussteile hoher Maßgenauigkeit und Oberflächengüte im Furanharzformverfahren bis 80 t Stückgewicht her. In den Jahren 1993 bis 2013 wurden dazu 65 Mio. Euro in die Modernisierung und den Ausbau des Unternehmens und speziell in den Bereich Groß- und Schwerguss investiert.

Das Unternehmen berät seine Kunden bereits in der Konstruktionsphase, sodass sie ihre Konstruktionsteile optimal für den Gießprozess auslegen können. Das Gießen der einzelnen Teile erfolgt nach den

Richtlinien und Kontrollvorschriften des Qualitätsmanagementhandbuchs der Meuselwitz Guss Eisengießerei. Die hohe Reproduzierbarkeit von Werkstoffqualität und Werkstückbeschaffenheit ist ein Qualitätsmerkmal, für das die Mitarbeiter des Unternehmens garantieren [1].

Mit den neuen Möglichkeiten zur Herstellung von Großgussteilen gelang es der Meuselwitz Guss Eisengießerei, sich speziell in den Bereichen Windkraft, Maschinen- und Anlagenbau zu etablieren. Durch umfangreiche Investitionen entstanden jedoch in der Hochkonjunkturphase Überkapazitäten, welche in die Marktstrategie einfließen sollten. Die Verschärfung der Wettbewerbssituation erforderte zielstrebige Aktivitäten, um den zunehmenden Qualitätsansprüchen an die Gusserzeugnisse zu entsprechen. Dabei kristallisierten sich nachfolgende Schwerpunkte heraus:

- > Erzielung einer Oberflächengüte, welche ohne erhebliche Schleifaufwendungen einer erfolgreichen MT-Prüfung (Magnetpulverprüfung) standhält;
- > Werkstoffentwicklungen mit metallurgischen Eigenschaften abweichend von den EN-DIN-Werten (wie ausreichende Zähigkeit bei gleichzeitig höheren Festigkeiten), um den Anforderungen des Leichtbaus im Bereich von Großdimensionen zu entsprechen;
- > ein frühzeitiger Einfluss auf die Konstruktions- und Entwicklungsphase soll eine Prozess- und Fertigungsoptimierung mit dem Ziel möglichst geringer Herstellungskosten bei hoher Effektivität unterstützen.

Die im Unternehmen in 2012 gebildete Projektgruppe bearbeitet themenorientiert und losgelöst vom operativen Gießereibetrieb erfolgreich diese Themen.

Die Meuselwitz Guss Eisengießerei ist seit dem Start der Windenergiebranche in dieser tätig und verfügt somit über entsprechende Erfahrungen bei der Herstellung von Bauteilen wie Maschinenträger, Rotornaben, Adapter und Achszapfen. Überwiegend kommt hier der Werkstoff EN-GJS-400-18-LT zum Einsatz. Zunehmend sind Kundenanforderungen erkennbar, welche über die in der Norm genannten Eigenschaften hinausgehen. So wird teilweise ein Einsatz bei Temperaturen bis -40 °C gefordert, sodass die üblichen Kerbschlagarbeitswerte von -20 °C bei Temperaturen von -40 °C nachzuweisen sind. Nur mit einer ausgereiften Metallurgie und Impftechnologie sowie entsprechender Optimierung der Prozessführung kann dieser Forderung entsprochen werden.

Infolge der langjährigen Partnerschaft, der frühzeitigen Einbindung der Gießerei bereits in der Entwicklungsphase solcher Bauteile und durch die konsequente Ausnutzung des Eigenschaftspotentiales des Werkstoffes lassen sich in vielen Fällen ressourcenschonende Fertigungsmöglichkeiten erschließen.

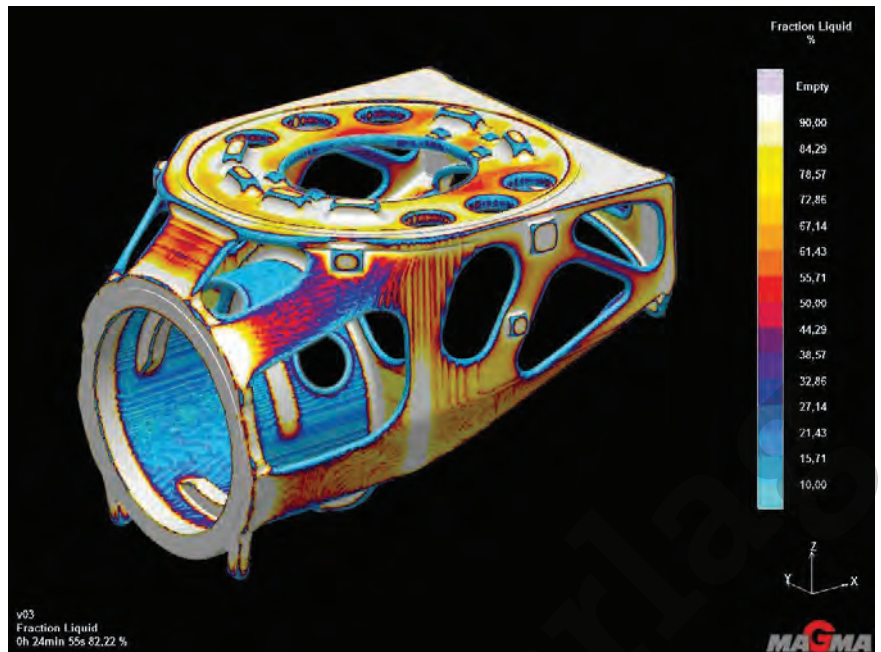


Bild 1: Temperaturverteilung im Maschinenträger unmittelbar nach dem Formfüllen.

Aufgabenstellung

Die Meuselwitz Guss Eisengießerei fertigt seit zwei Jahren für die FWT Energy GmbH & Co. KG, Waigandshain, einen Maschi-

nenräger aus EN-GJS-400-18-LT, der das Herzstück der Windkraftanlage darstellt. Bei diesem Bauteil für die Anlage FWT 2000 handelt es sich um ein Bauteil mit 28,5 t Gewicht und räumlichen Ausdeh-

Bild 2: Explosionsdarstellung des gewählten Modellkonzepts mit sicheren Kernlagerungen.

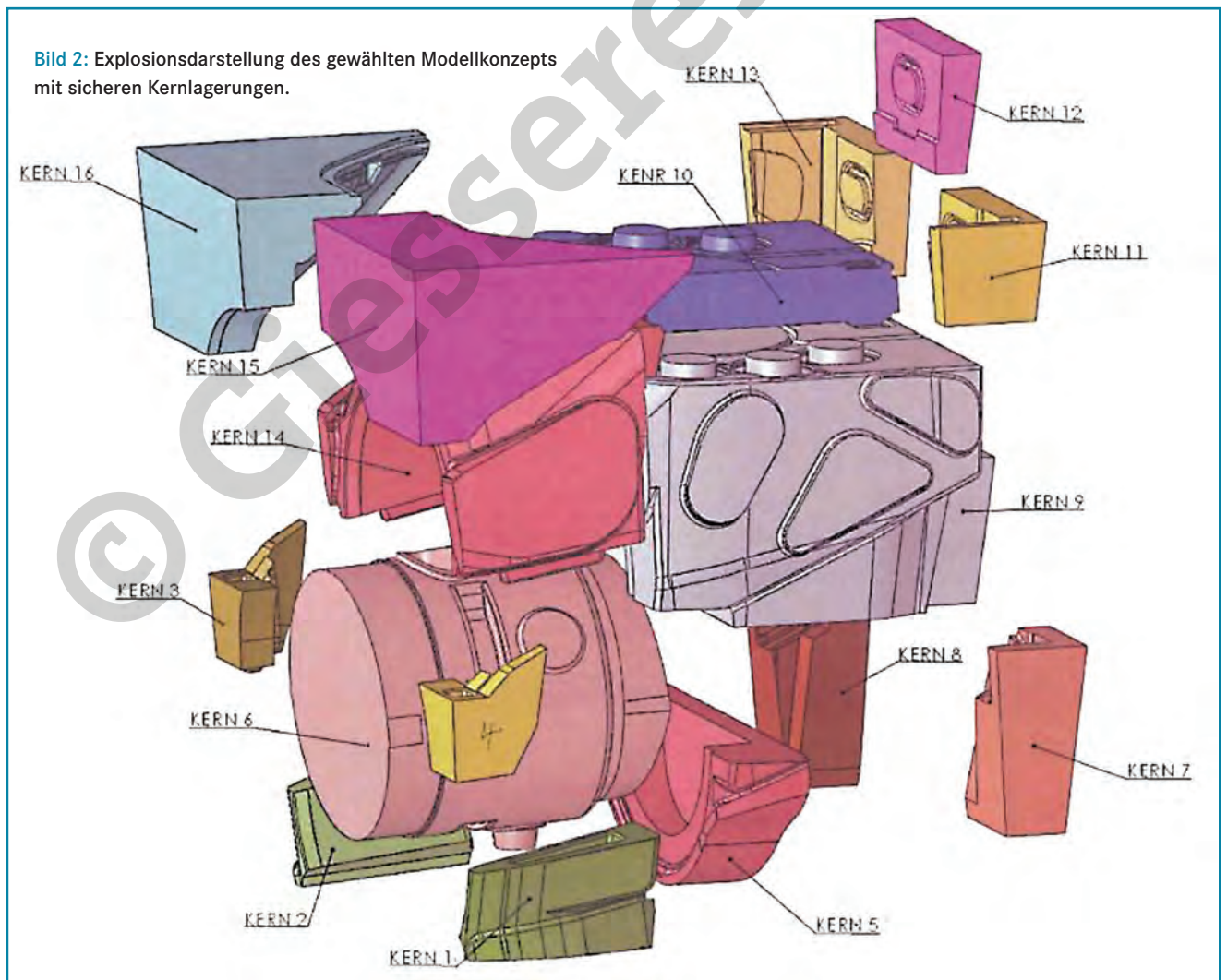




Bild 3: Die Form des Maschinenträgers mit bereits eingelegten Kernen.



Bild 4: Optimierter Maschinenträger beim Transport.

Tabelle 1: Kennwerte von Gussteilen aus mischkristallverfestigtem Gusseisen (Wanddicke 60-200 mm).

Kennwert	Kundenvorgabe	Bei MGE realisierte Werte
R_m in N/mm ²	≥∇ 540	570
R_p in N/mm ²	≥∇ 410	455
A_5 in %	≥∇ 12,5	13,4
Härte (HB 30)	-	200 Einheiten
Kerbschlagarbeit bei -20 °C an ungekerbten Proben in J (durchschnittlich)	-	12,8

nungen von etwa 5,5 m × 4,3 m × 3,7 m. Dieses Teil wurde bereits mehrfach in Serie erfolgreich abgegossen.

Im Rahmen einer Weiterentwicklung für die nächstgrößere Leistungsstufe wurde auf der Basis der Leichtbauweise ein

topologieoptimierter Ansatz gewählt, um das Gewicht der Rotorgondel nicht über Gebühr zu erhöhen.

Aufgabe der Gießerei war es, die gießtechnische Machbarkeit zu durchleuchten und schlussendlich das Rohgussteil zu

fertigen. Das Bild S. 40 zeigt einen Vergleich der beiden Maschinenträger FL 2000 und FL 3000, die in etwa die gleiche räumliche Ausdehnung aufweisen. Hierbei ist deutlich der topologieoptimierte Ansatz (rechts im Bild zu erkennen), der nur dort Material zulässt, wo es kraftflussoptimiert tatsächlich der Steifigkeit und Festigkeit des Bauteiles dient. Die Umsetzung dieses Konzeptes stellt allerdings hohe Anforderungen an die Gießtechnik.

Realisierung

In enger Zusammenarbeit mit FWT wurden grundsätzliche Parameter, wie Wanddickenverhältnisse, Radien, Wanddickenübergänge und Materialanhäufungen als Grundlage der Konstruktion diskutiert und ein entsprechender Konsens gefunden.

Zeitgleich zu den Festigkeitsrechnungen begannen bei der Meuselwitz Guss Eisengießerei die gießtechnischen Simulationen zum Formfüllen und zur Erstarrung des Maschinenträgers. Entsprechend dem konstruktiven Fortschritt wurden mehrere Iterationen durchgeführt. Im stetigen Austausch der Ergebnisse fanden dann Optimierungen ihren Eingang.

Bild 1 zeigt die Temperaturverteilung unmittelbar nach dem Formfüllen. Auf der Basis der vorhergesagten Porositätsverteilung wurden zusätzlich zu der metallurgischen Anpassung gefährdete Geometrien mit Kühlelementen oder Speisern versehen, um die in den Spezifikationen geforderten Gütestufen zu erfüllen.

Nach der Festlegung des Designs und der Genehmigung der Anlage wurde der Auftrag zur Prototypenfertigung erteilt. Die Gießerei erarbeitete dazu ein Modellkonzept, das eine entsprechend sichere Lagerung der Kerne vorsah, da sich – wie üblich bei Gussteilen für die Windenergie – Kernstützen als Fremdmaterial wegen der Gefahr einer möglichen Anrissbildung verbieten. Bild 2 zeigt das gewählte Konzept. Das Modell wurde in einer Gießgrube eingeformt, wo auch die Kerne entsprechend eingelegt wurden. Bild 3 zeigt einen Teil dieses Vorgangs.

Als Gießmaterial kam der Werkstoff EN-GJS-400-18-LT zum Einsatz, der so optimiert wurde, dass eine Kerbschlagarbeit von mindestens 10 J bei Temperaturen von -40 °C erreicht werden konnte. Durch eine ausgereifte Schmelzföhrung und flankierende metallurgische Maßnahmen war dies problemlos möglich. Alle anderen mechanischen Kennwerte entsprachen dem Niveau der einschlägigen DIN-Norm.

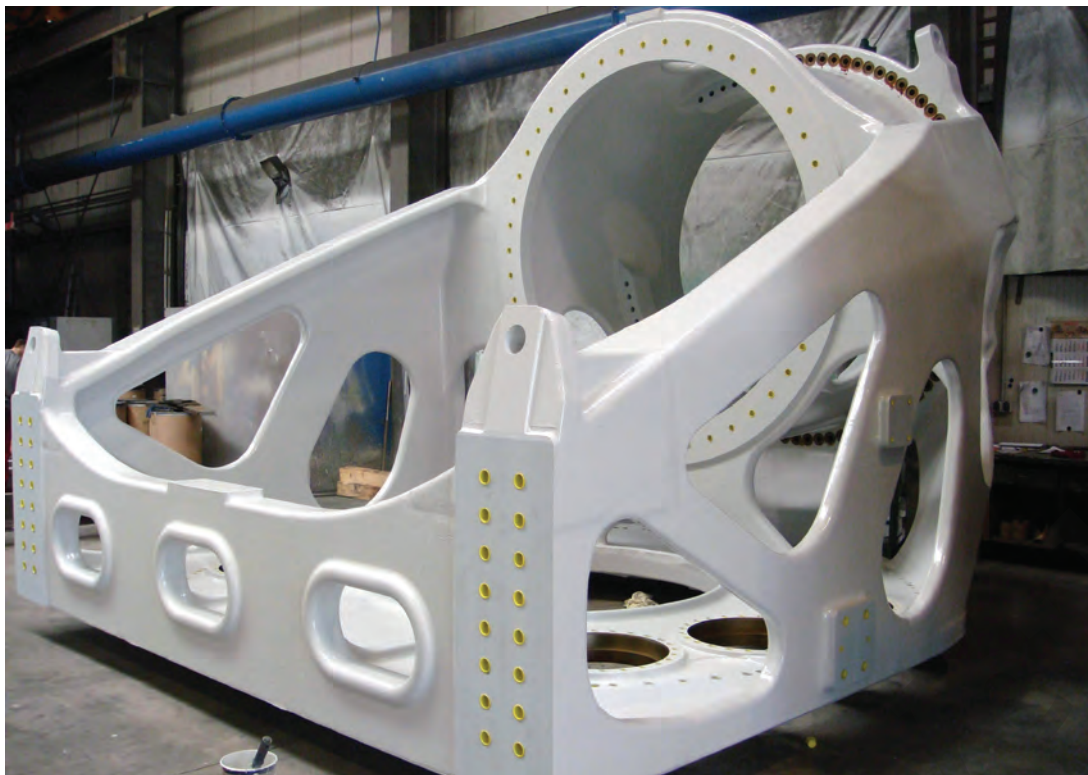


Bild 5:
Optimierter
Maschinenträger
oberflächen-
beschichtet.

Das im Vorfeld ermittelte Rohgussgewicht von etwa 28,8 t erforderte ein Flüssigeisengewicht von 38 t, welches mit Hilfe zweier Pfannen vergossen wurde. Die Gießtemperatur lag dabei bei 1370 °C.

Nach einer Abkühlzeit von 240 h wurde der Maschinenträger dem Gussnachbehandlungsprozess und anschließend einer umfangreichen Prüfung zugeführt. Schlussendlich konnten alle geforderten Parameter hinsichtlich der Ultraschall- und Rissprüfung nachgewiesen werden.

Nach einer gemeinsamen Abnahme des Bauteils wurde es zur Bearbeitung und Beschichtung überführt (Bilder 4 und 5).

Zusammenfassung

Infolge des regen Austausches zwischen Konstruktion und Gießerei schon in einem sehr frühen Stadium der Entwicklung konnten frühzeitig Problembereiche eliminiert und eine für beide Seiten sichere Fertigung erreicht werden. Dadurch wurde es möglich, einen Maschinenträger der nächst höheren Leistungsklasse mit der Größe und dem Gewicht der vorherigen kleineren Leistungsklasse zu fertigen und ihn somit ressourcenschonend herzustellen.

Um ähnliche Einsparungseffekte zu generieren, wurden bei einem anderem Windenergieanlagenhersteller erste Versuche unternommen, weitere Bauteile (Rotornabe und Maschinenträger) in einem mischkristallverfestigtem Gusseisen mit Kugelgraphit abzugießen, was eine

weitere Reduktion des Gewichts über geringere Wanddicken ermöglichte. Als Material kam hierbei der kundenspezifische Werkstoff Ferrocast* zum Einsatz, der den in **Tabelle 1** aufgeführten Anforderungen genügen musste.

Diese Teile befinden sich derzeit in der Erprobungsphase, wobei die nachgewiesenen Werkstoffeigenschaften im Bauteil bereits zur Bestellung einer Prototypenserie führten.

Diese Beispiele zeigen eindeutig die

erforderlichen Entwicklungstendenzen der Gießereibranche, um den Gießereistandort Deutschland auch für die Zukunft wettbewerbsfähig zu halten.

Dipl.-Ing. Herbert Werner und Dipl.-Ing. Ingo Lappat, Meuselwitz Guss Eisengießerei GmbH, Meuselwitz

Literatur:

[1] Meuselwitz Guss 2014. Firmeninterne Veröffentlichung zur HMI.

Gegendarstellung

In der GIESSEREI 09/2014 wurde in der Rubrik „Technologie & Trends“ der Beitrag „Aluminiumlegierungen mit einstellbaren Eigenschaften – Herstellungsprozess und praktischer Einsatz“ von Dr.-Ing. Evgenij Sterling, Esslingen, veröffentlicht. Dazu erreichte die Redaktion folgende Richtigstellung der Nematik Europe GmbH:

„Bei Nematik Slovakia (ebensowenig in anderen Nematik Produktionswerken) wurden die im Artikel genannten Vorzüge des AMS Metalls gegenüber herkömmlicher Gießtechnik mit Al-Legierungen im Schwerkraft-Kokillenguss nicht erreicht. Im Einzelnen ist festzustellen:

- > Eine Absenkung des Gießtemperaturbereichs von 730 °C auf 625 °C ohne Qualitätsverlust ist nicht realisiert worden.
- > Eine Reduzierung der Abkühlzeit von 360 s auf 202 s ist nicht realisiert worden.
- > Die mechanischen Kennwerte liegen nicht über denen von konventionell hergestellten Köpfen; eine Verbesserung der Dehnung bei gleichzeitiger Einhaltung der Streckgrenze ist nicht erzielt worden.
- > Eine Steigerung der Wärmeleitfähigkeit ist an den Gussteilen nicht nachgewiesen worden.“

Nematik Europe GmbH, THE SQUAIRE 17, Am Flughafen, 60549 Frankfurt am Main