

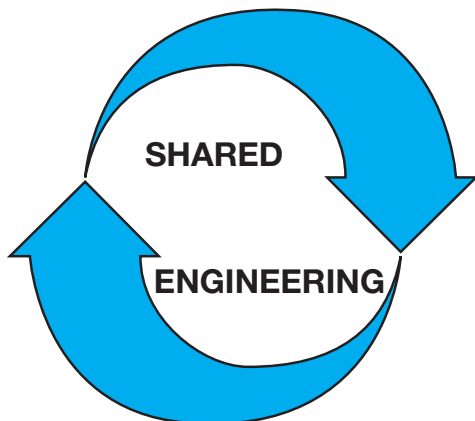


**Siempelkamp**

Giesserei

Prof. Ernst-Peter Warnke

# **Shared Engineering – Der Schlüssel zur erfolgreichen Produktentwicklung**



Sonderdruck aus „konstruieren + giessen“ 2/99, Seite 20–26  
Herausgeber und Verlag:  
ZGV-Zentrale für Gußverwendung im Deutschen Gießereiverband  
Sohnstr. 70, 40237 Düsseldorf  
Nachdruck verboten.

# Shared Engineering – Der Schlüssel zur erfolgreichen Produktentwicklung

Die Anforderungen an Neuentwicklungen in unserer heutigen Industriegesellschaft steigen ständig und stellen uns immer wieder vor neue Herausforderungen. Die geforderten Leistungen sind im Prinzip überall gleich: schneller, größer, leichter, kostengünstiger, sicherer und umweltverträglich.

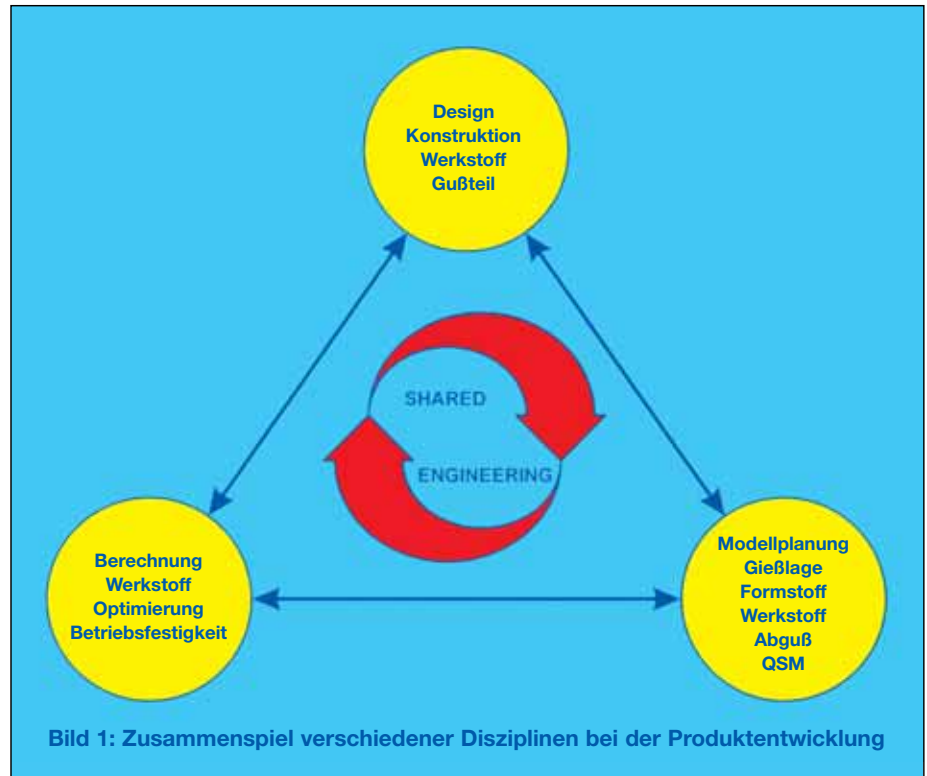
Um alle Aspekte optimal zu berücksichtigen, sind große Anstrengungen notwendig: Es müssen alle am Entwicklungsprozeß Beteiligten gemeinsam einen Konsens finden. Dies gilt für alle Branchen der Industrie. Nur dann ist es möglich, den erfolgreichen Standort Deutschland auch in der Zukunft sicher zu erhalten.

Die nachfolgend beschriebenen Erkenntnisse bei der Produktentwicklung, entstanden aus der Sicht einer Gießerei, sind auch auf andere Bereiche entsprechend übertragbar. Die gesammelten Erfahrungen basieren auf der langjährigen, vertrauensvollen Zusammenarbeit mit mehreren Kunden.

Ein neues Produkt oder eine Weiterentwicklung sind eng an einen Werkstoff gebunden. Der diesem Beitrag zugrunde liegende Werkstoff ist das duktile Gußeisen mit Kugelgraphit EN-GJS-400 – Sphäroguß – nach DIN EN 1563 (alt: GGG-40 nach DIN 1693).

## Entwicklungsverfahren

Das Vorgehen bei der Produktentwicklung beziehungsweise bei der Bauteilgestaltung kann grundsätzlich unterschiedlich sein. Ein Extrem ist, wenn der Kunde ein Gußteil bei der Gießerei bestellt, es so auch geliefert bekommt und außer über den Einkauf beziehungsweise den Verkauf kein weiterer Kontakt besteht. Jeder ist für seinen Part selbst zuständig. Ein Kontakt wird notwendigerweise dann stattfinden, wenn ein Versagen der Komponente eintreten sollte. Um dies im Vorfeld zu vermeiden, und das ist die vernünftige Vorgehensweise, ist ein intensiver Kontakt aller beteiligten Partner erforderlich. Durch dieses integrierende Entwick-



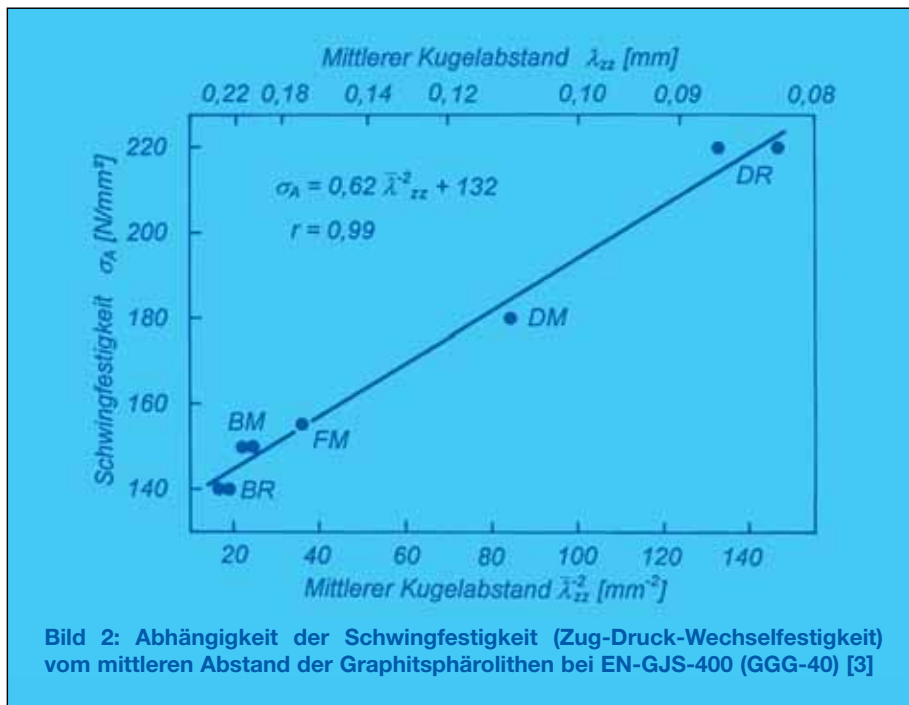
lungsverfahren werden Entwicklungszeiten und Entwicklungskosten reduziert, die Herstellung optimiert und die Betriebssicherheit gewährleistet.

Eine allgemeine Richtlinie über die Möglichkeiten eines Entwicklungsprozesses unter Einbeziehung der Europäischen Normung ist in Abschnitt 8 der DIN EN ISO 9004-1 gegeben [1]. Ein weiterer Leitfaden ist in der Broschüre Qualitätsmanagement in der Entwicklung [2] zu finden.

Aus der langjährigen anwendungsspezifischen Erfahrung im Zusammenwirken von Konstrukteuren, Ingenieuren, Qualitätsverantwortlichen, Berechnern, Modellbauern und Gießern ergibt sich eine Konstellation, die die Entwicklung eines optimalen Bauteils garantiert. In Bild 1 sind schematisch die Zuständigkeiten und wechselseitigen Beziehungen aufgezeigt, wobei der Werkstoff eine zentrale Bedeutung hat.

In der Designphase eines Gußprodukts, die zunächst durch die Anforderungen aus dem Prozeß durch den Konstrukteur bestimmt wird, müssen bereits die Kenntnisse über den einzusetzenden Werkstoff mit allen Facetten seiner Herstellbarkeit einfließen. Durch den intensiven Gedanken- und Erfahrungsaustausch und durch die Abstimmung aller Randbedingungen unter den Partnern in dieser frühen Phase wird die Möglichkeit geschaffen, im Stadium des Designs Belange der Gießtechnologie, wie Gießlage und zulässige Spannungen, mit den Belangen des Kunden zu verbinden.

Dieser integrierende Entwicklungsprozeß ist gewissermaßen als ein „Shared Engineering“ anzusehen. Es werden hier Erfahrungen und Erkenntnisse mit den Partnern geteilt und in das gemeinsame Projekt eingebracht. Je mehr alle Beteiligten über die Möglichkeiten und



Grenzen eines Herstellungsprozesses von der anderen Seite Kenntnis haben, desto mehr Qualität und Sicherheit gelangt in das Produkt. Es wird eine höhere Wertschöpfungsstufe erreicht. Andererseits ist es selbstverständlich, daß jeder Partner seine eigene Kompetenz behält und auf seinem jeweiligen Fachgebiet Experte ist.

## Designschritte

Schon in der Frühphase einer Entwicklung muß die Gießtechnik hinsichtlich optimaler Herstellungsbedingungen in das Entwicklungsverfahren einbezogen werden. Die Gießlage ist für die meisten Gußteile von großer Bedeutung, vor allem dann, wenn der duktile Gußwerkstoff EN-GJS-400 eingesetzt wird. Hierbei ergeben sich gießoberseitig sogenannte Droßzonen, die von der Steighöhe, von den Einsatzstoffen und von der Gießtemperatur abhängig sind. Gießoberseitig bedeutet dabei nicht nur die Oberseite des Gußteils, sondern auch alle Bereiche, die nach oben von der Form begrenzt werden. Hier können sich aufsteigende Reaktionsprodukte nach dem Abguß sammeln und bilden einen Droßbereich. Kann das Gußteil so gestaltet werden, daß alle Droßansammlungen mechanisch abgearbeitet werden können, so brauchen keine Einschränkungen gemacht zu werden. Ist dagegen das Gußteil komplex, mit Verrippungen, Hohlräumen und Kernöffnungen, muß ein Kompromiß bei der Wahl der Gießlage gefunden werden zwischen Aufwand an mechanischer Bearbeitung, roh verbleibender

Gußoberfläche und zulässigen Spannungen. Die Höhe der Spannungen wird zu einem späteren Zeitpunkt während der Berechnung ermittelt.

Zu dieser zunächst ohne Berechnung erfolgenden Beurteilung des Gußteils gehört ein erfahrener Konstrukteur, der eventuell in Abstimmung mit einem erfahrenen Berechnungsingenieur bereits sagen kann, wo die höchsten Belastungen liegen werden, um so eine optimale Abstimmung aller Belange für das jeweilige Gußteil treffen zu können. Über den Werkstoff selbst liegen sehr fundierte Kenntnisse vor, die in den letzten 20 Jahren von Firmen, Forschungseinrichtungen und Zulassungsbehörden ermittelt und gesammelt wurden.

## Werkstoff EN-GJS-400

Das duktile Gußeisen mit Kugelgraphit-Sphäroguß – EN-GJS-400 hat durch seine Weiterentwicklung über viele Jahre hinweg eine Zuverlässigkeit erreicht, die seine verstärkte Verwendung für hochbeanspruchte Gußkomponenten rechtfertigt. Durch den Einsatz dieses Werkstoffes seit vielen Jahren in verschiedenen Anwendungsbereichen liegt eine Fülle von Erfahrungen über sein Betriebsverhalten vor. Sein generelles Verhalten bei unterschiedlichen Belastungsarten kann als „gutmütig“ bezeichnet werden. Durch die Gefügeausbildung mit den in die Metallmatrix eingelagerten Graphitsphärolithen ist die Kerbempfindlichkeit im Vergleich zu Stahlguß weitaus geringer. Auch eine

nicht optimale Oberflächenbeschaffenheit mindert das Dauerfestigkeitsverhalten nur wenig.

Die Anzahl der Graphitsphärolithen bestimmt das Ermüdungsverhalten von Gußeisen mit Kugelgraphit, sie wird durch das Erstarrungsintervall gesteuert. Wenn normale Verhältnisse in der Schmelze vorliegen (optimale Abstimmung von Behandlungsmitteln, Impfmitteln und chemischer Zusammensetzung), bilden sich bei schneller Erstarrung viele kleine und bei langsamer Erstarrung wenige große Graphitkugeln. Im ersten Fall hat der Werkstoff ein hervorragendes und im zweiten Fall je nach Erstarrungsdauer ein abgemindertes Dauerfestigkeitsverhalten. Den Zusammenhang in Abhängigkeit der Kugelabstände verdeutlicht Bild 2. Sind viele kleine Sphärolithen vorhanden, ist auch der mittlere Kugelabstand  $\lambda_{zz}$  klein und die Wechselfestigkeit (Punkte DR) ist entsprechend hoch. Sind andererseits wenige große Sphärolithen im Gefüge, so stellt sich ein großer Kugelabstand ein (Punkte BR, BM, FM). Die Korrelation kommt über den Kehrwert des Abstandsquadrats  $\lambda_{zz}^{-2}$  zustande. Der Erfüllungsgrad ist mit  $r = 0,99$  sehr gut. Sind andere Einflüsse wie Seigerungen, Carbide, Mikroporositäten, Droß oder Lunken vorhanden, ergibt sich dennoch für jede Fehlerart ein verlässliches Bild mit genau definierten Abminderungsfaktoren der Schwingfestigkeit, bezogen auf den normalen Werkstoff [4].

Die Verlässlichkeit und die Reproduzierbarkeit wurde in den letzten Jahren ständig durch F-&-E-Vorhaben verbessert; durch genaue Eingrenzung der Analysevorgaben werden Graphitentarten vermieden, durch gezielte Kühlmaßnahmen können die Werkstoffeigenschaften positiv beeinflusst werden. Gegenüber dem Kenntnisstand von vor 10 Jahren liegen heutzutage Erfahrungen vor, den Werkstoff duktiler Gußeisen im Gefügeaufbau, beim Ermüdungsverhalten und bei der Bruchzähigkeit gezielt einzustellen.

Der Anwendungsbereich von Sphäroguß erstreckt sich vom Automobilbau, Pressenbau, Motorenbau, Kunststoffspritzgießmaschinenbau, Turbinenbau bis hin zur kerntechnischen Anwendung für Transport- und Lagerbehälter. Die Stückgewichte reichen momentan bis etwa 250 Tonnen. Doch höhere Gewichte sind jederzeit realisierbar. Die Begrenzung wird wahrscheinlich in den Bauteilabmessungen liegen, die nicht mehr transportiert und bewegt werden können.

# Berechnungen und Simulationen

Die bisher durchlaufenen Entwicklungsschritte Design, Konstruktion, Werkstoffwahl und Gießlage führen nun zum nächsten Schritt, bei dem mit Hilfe von bewährten Berechnungsmethoden festgestellt werden kann, ob die Anforderungen an das Verformungsverhalten und die Einhaltung zulässiger Betriebsspannungen erfüllt werden.

Zum Einsatz kommen Finite Elemente-beziehungsweise Finite Differenzen-Programme, die weltweit erprobt und im Einsatz sind. Es können Probleme der Elastostatik und der Dynamik, nichtlineares Verhalten und Temperaturfelder berechnet werden. Der Berechnungsingenieur übernimmt dabei eine hohe Verantwortung bei der Lösung von komplexen Aufgabenstellungen. Die Güte des Ergebnisses hängt von seiner Erfahrung ab.

Bei der Lösung einer statischen Aufgabe zum Beispiel kann ein erfahrener Berechnungsingenieur schon durch die Netzgestaltung, die Wahl von Symmetrien und die genaue Erfassung der Lastrandbedingungen eine gute Basis schaffen, die, wenn die Vorgaben nicht erreicht werden, in einer weiteren Analyse optimiert werden kann. In Bild 3 ist eine solche Vorgehensweise dargestellt. Hier wird die Zulässigkeit der Spannungsamplituden in der optimierten Struktur nachgewiesen. Dazu wird das Dauerfestigkeitsverhalten des Werkstoffes mit den Beanspruchungen aus dem Betrieb bewertet, wobei ein ausreichender Sicherheitsfaktor vorhanden sein muß.

Der Sicherheitsfaktor hängt insbesondere von der Vertrauenswahrscheinlichkeit der Meßwerte (Anzahl der Wöhlerlinien) und von der Eintrittswahrscheinlichkeit der Belastung ab. Je nach Berücksichtigung von Ausfall- und Eintrittswahrscheinlichkeiten liegen die Sicherheitsfaktoren zwischen 1,4 und 2,0 [5].

Neben der statischen Berechnung von Gußteilen wird in vielen Fällen vom Kunden beziehungsweise auch aus der Notwendigkeit der Fertigungssicherheit in der Gießerei eine Erstarrungsberechnung gefordert. Zur Durchführung von Formfüll- und Erstarrungssimulationen gibt es seit einigen Jahren leistungsfähige Programme. Vor allem dann ist man auf die Berechnung von Temperaturfeldern und der resultierenden thermo-mechanischen Kopplung angewiesen, wenn die Abkühlbedingungen für verschiedene Bereiche eines Gußteils

nicht gleichmäßig sind und sich Temperaturdifferenzen bilden können, die wiederum nach dem völligen Abkühlen auf Raumtemperatur zum Aufbau von Eigenspannungen führen.

Fast alle Berechnungsprogramme zur Simulation des Erstarrungsverhaltens erfassen nur den Bereich der Thermodynamik beim Formfüllen, Abkühlen und Phasenwechsel. Dies ist im Prinzip bei fast allen Anwendungen richtig. Doch es gibt auch Fälle, bei denen große Flüssigeisenmengen in der Form nicht nur entsprechend den Phänomenen Wärmeleitung, Wärmekapazität und Wärmeübergang abkühlen, sondern bei

denen sich auch das Phänomen Strömung am Wärmetransport beteiligt. Hierfür muß das Temperaturfeld formelmäßig mit dem Strömungsfeld (mit den Feldgrößen Geschwindigkeit, Viskosität) gegenseitig gekoppelt werden, so daß jedes Feld das andere beeinflussen kann.

Die mathematische Kopplung der Navier-Stokes-Gleichung einschließlich Auftriebsglied mit der Fourier-Gleichung ist sehr anspruchsvoll. Die praktische Anwendung erfordert sehr viel Rechenaufwand, da alle Kennwerte, vor allem die Viskosität, sehr stark nichtlinear sind [6].

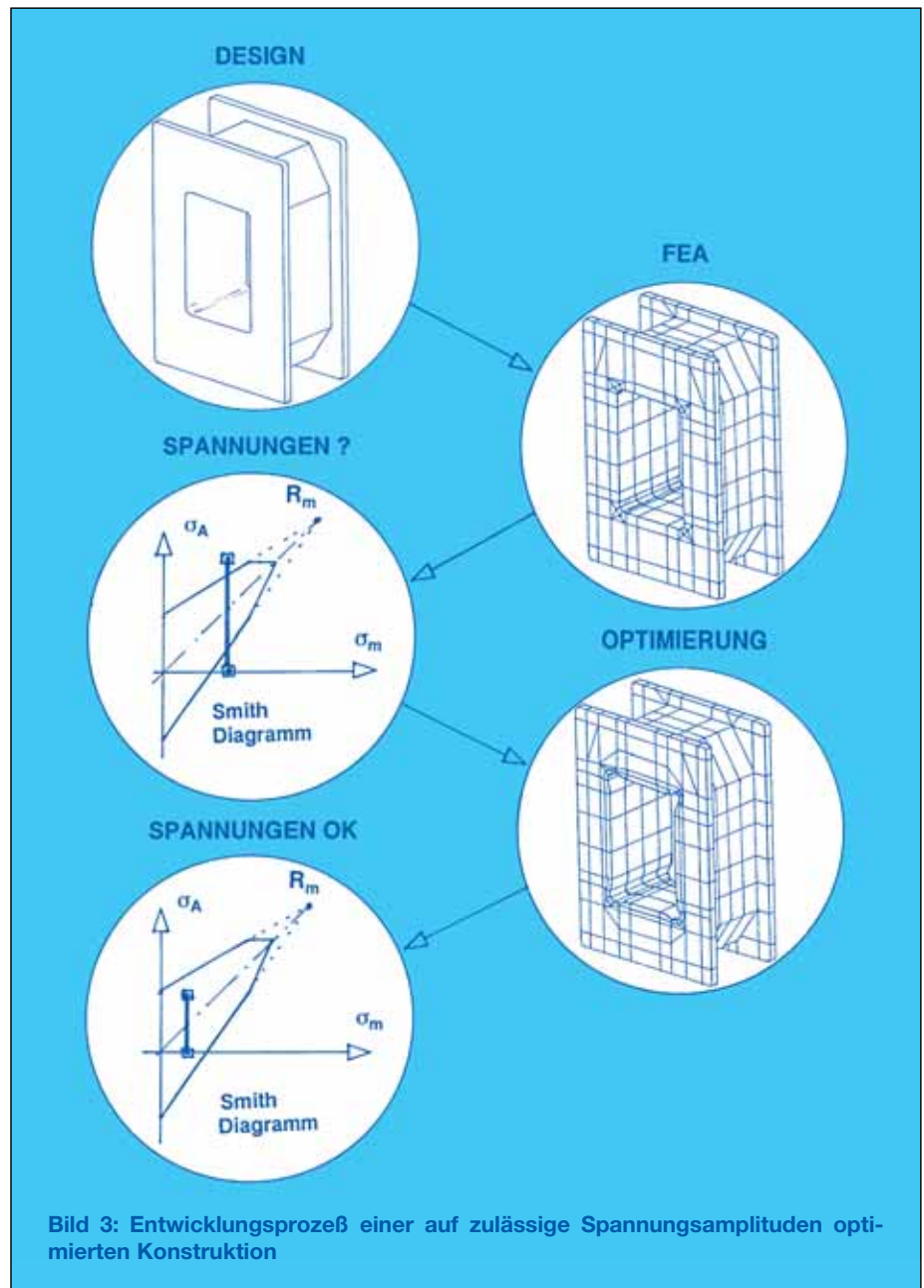


Bild 3: Entwicklungsprozeß einer auf zulässige Spannungsamplituden optimierten Konstruktion

## Beispiel einer Produktentwicklung



◀ Bild 4: Fliesenpresse mit einer Preßkraft von 42 MN (4200 t) mit einem nach den Bildern 5 und 6 optimierten Ständer aus EN-GJS-400 (Bild: Laeis Bucher, Trier)



Bild 5: FEM-Gesamtnetz der Fliesenpresse nach Bild 4; links: unverformt, rechts: durch den Preßvorgang hervorgerufene Verformungen, überhöht dargestellt in einem Viertelsektor

Die bisher beschriebenen Schritte sollen nun an einem Produkt veranschaulicht werden. Es handelt sich um eine Fliesenpresse, Bild 4, auf der Keramikfliesen unterschiedlicher Formate gepreßt werden. An diese Fliesen werden sehr hohe Maßgenauigkeitsanforderungen bereits im ungebrannten Zustand gestellt, so daß beim Pressen von zum Beispiel 8 quadratischen Fliesen im Format  $300 \times 300$  mm alle Fliesen exakt gleich aus der Presse kommen müssen.

Um die Anforderungen an die Maßgenauigkeit zu erreichen, dürfen im Zusammenspiel der Kräfte keine Verformungsdifferenzen an allen 8 Positionen auf dem Pressentisch entstehen. Die Preßkraft von 42 MN wird im Oberteil der Presse in einem Zylinder-/Kolbensystem hydraulisch erzeugt und über eine Kolbenplatte auf das Preßwerkzeug beziehungsweise den Formrahmen und dann auf den Unterholm weitergeleitet. Der Kraftschluß wird über vorgespannte Zuganker hergestellt. Beim Pressen verformt sich die Presse jedoch nur soweit, daß keine unzulässigen Verformungen oder Verformungsdifferenzen auftreten. Gleichzeitig dürfen die maximal zulässigen Spannungsamplituden nicht überschritten werden.

Um alle Anforderungen und Bedingungen, wie Modellplanung, Gießlage, Einförmigkeit, Gießparameter, Werkstoffverhalten, Berechnung, Konstruktion, mechanische Bearbeitung und das Endprodukt Fliese wirtschaftlich und umweltgerecht miteinander ins Gleichgewicht zu bringen, war ein langer Entwicklungsprozeß notwendig.

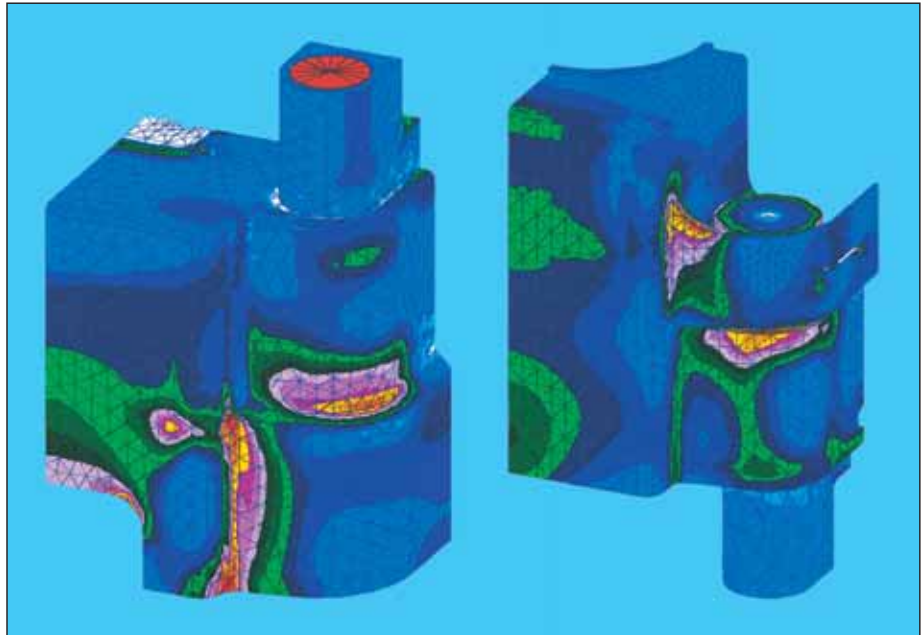
Die Fliesenpresse ALPHA 4200 (Bild 4) steht an bisher oberster Position einer Reihe von 8 Pressentypen mit unterschiedlicher Preßkraft [7]. Die Vorgängerpressen arbeiten nach dem gleichen Prinzip und sind sich konstruktiv ähnlich. Und jedesmal mußten sich Planer, Konstrukteure, Berechner, Werkstofffachverständige und Gießer zusammensetzen, um gemeinsam die eigene Erfahrung in das neue Produkt einzubringen und so ein „Shared Engineering“ zu betreiben. Jeder Beteiligte ist für sein Fachgebiet kompetent und kann im Team sein Fachwissen den anderen vermitteln. Doch es gibt auf allen Fachgebieten Weiterentwicklungen und Neuerungen, die wiederum nur der Fachkompetente in seinen Erfahrungsschatz einbeziehen und nur er in einer neuen Projektphase in das „Shared Engineering“ einbringen kann. So ist gewährleistet, daß Neuerungen aus

allen Bereichen in das gemeinsame Vorhaben einfließen und eine hohe Wertigkeit erreicht wird.

Das Pressenunterteil, der Unterholm, muß so gestaltet sein, daß die Durchbiegung möglichst klein und das Gewicht minimal ist. Diese beiden Forderungen können nur durch konstruktive Gestaltung über das Widerstandsmoment erreicht werden. Die Anbindung des Unterholms an das Oberteil erfolgt über vorgespannte Distanzstücke, die durch ihre Steifigkeit ein Rückstellmoment auf den Unterholm ausüben. Gleichzeitig bringt die Zugankermutter durch die Vorspannung eine Spannungskonzentration in den Unterholm. Alle diese Einflüsse können nur durch eine Finite Elemente-Analyse erfaßt werden. In *Bild 5, links*, ist das Gesamtnetz dargestellt.

Am Oberholm kommt zu den komplexen Steifigkeitsverhältnissen noch der mit Öldruck beaufschlagte Zylinderraum hinzu. Hier ist die genaue Vorausberechnung der Verformungen im Dichtungsbereich und die Höhe der Spannungsamplituden in den Übergangsradien wichtig. Diese Betriebsspannungen müssen dauerhaft ertragen werden. Die Berechnungsergebnisse werden mit den Vorgaben verglichen und bewertet. Wenn die Vorgaben überschritten werden, muß eine Optimierungsberechnung erfolgen und so oft wiederholt werden, bis alle Vorgaben erfüllt sind.

Die Ergebnisse dieser Berechnungsschrittfolgen zeigen die *Bilder 5, rechts*,



**Bild 6: Größte Hauptspannungen (gelbe und rote Bereiche) am Unterholm (links) und Oberholm (rechts) des Pressenständers**

und 6. In Bild 5, rechts, sind die Verformungen in einem Viertelsektor als überhöhte Werte dargestellt. In Bild 6 sind die größten Hauptspannungen als sogenannte „hot spots“ zu sehen. Im vorliegenden Fall liegen diese Spannungsspitzen innerhalb der zulässigen Grenzen. In der Darstellung der größten Hauptspannungen lassen sich immer die Bereiche des höchstbeanspruchten Volumens erkennen.

Bei allen Pressenentwicklungen dieser Baureihe wurden an jedem Prototyp

Messungen durchgeführt, die die auftretenden Verformungen und Spannungen bei der Auslegungsbelastung dokumentierten und so einen Vergleich mit den Berechnungsergebnissen zuließen. Dabei konnte immer wieder festgestellt werden, daß die an der Fliesenpresse gemessenen Verformungen und Spannungen um etwa 5% bis 10% unter den Ergebnissen der Berechnungen lagen. Auch hier zeigt sich, daß der duktile Sphäroguß ein gutmütiges, konservatives Verhalten in sich birgt.



◀ **Bild 7: Aufspanntisch für eine Werkzeugmaschine; Abmessungen: 5000 × 6000 mm, Gewicht: 72,7 t, Werkstoff: EN-GJS-600**

## Entwicklungen bei Großguß



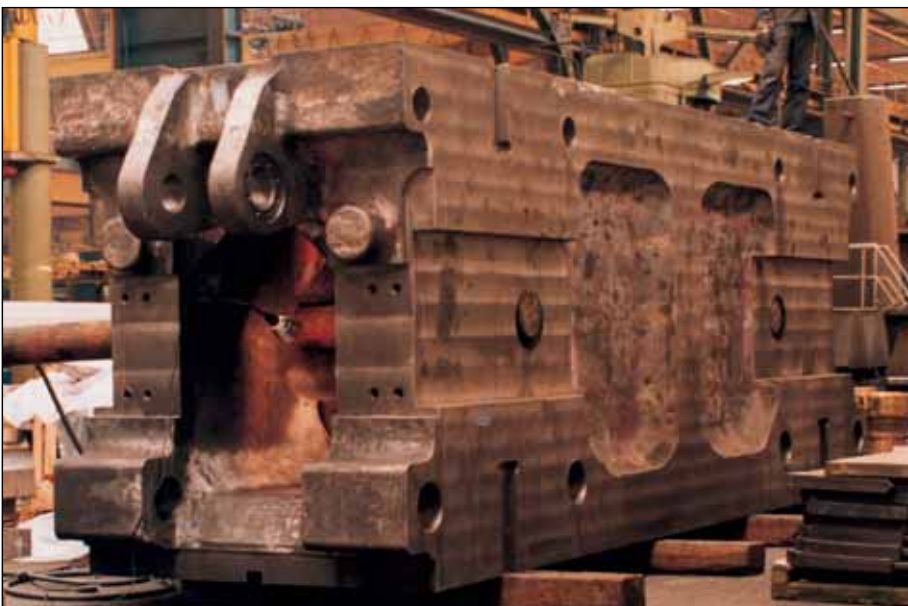
▲ 8



▲ 9



▲ 10



▼ 11

**Bild 8:** Preßzylinder aus EN-GJS-400 für eine 30-MN-Spritzgießmaschine, Gewicht: 43,9 t, Abmessungen: 3200 × 3000 × 2900 mm

**Bild 9:** 12-Zyl.-V-Motorblock aus EN-GJS-400, Gewicht: 80 t

**Bild 10:** Ständer aus EN-GJS-400 für eine 40-MN-Schmiedepresse; Abmessungen: 11300 × 3800 × 3000 mm, Gewicht: 165 t

**Bild 11:** Laufholm aus EN-GJS-400 für eine Schmiedepresse, Gewicht: 185 t

Mit den Erfahrungen bei der Herstellung von duktilem Sphäroguß wuchs auch der Bedarf an größeren Bauteilen. Nicht nur das Gewicht stieg an, auch das Volumen der Stücke nahm ständig zu, wie die *Bilder 7 bis 9* Beispiele zeigen.

Lange Jahre war zwar aufgrund der Schmelzkapazität, der Schmelzföhrung und der Krankkapazität „nur“ ein Stückgewicht bis etwa 100 Tonnen realisierbar, dennoch wurde Ende 1983 der Abguß eines einteiligen Pressenständers mit einem Rohgußgewicht von 160 Tonnen gewagt, *Bild 10*; damit war ein neuer Sphäroguß-Weltrekord aufgestellt worden. Die Fertigung dieses Ständers wurde damals in [8] ausführlich beschrieben.

Der nächste Weltrekord wurde mit dem Laufholm für eine Schmiedepresse 1985 aufgestellt. Diesmal betrug das Rohgußgewicht 185 Tonnen, *Bild 11*.

Mit Mahlschüsseln für die Zementindustrie wurden die beiden folgenden Weltrekorde aufgestellt, 1991 mit 195 Tonnen (*Bild 12*) und 1996 mit 205 Tonnen.

Mit der Erweiterung des Schmelzbetriebes im Jahr 1996 wurden die Voraussetzungen geschaffen, noch größere

Stückgewichte zu realisieren. Mitte 1998 war es dann soweit, es wurden zwei Holme – Laufholm und Tisch – für eine Rohrbiegepresse abgegossen. Sie sind jeweils 14 Meter lang und haben ein Stückgewicht von 245 Tonnen; Bild 13 zeigt den Laufholm und vermittelt einen Eindruck des für das Gießen notwendigen Aufwandes.

Zum Gelingen solcher Pioniertaten war immer wieder die enge Zusammenarbeit aller Beteiligten erforderlich.

## Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag zeigt das Zusammenwirken verschiedener Disziplinen bei der Produktentwicklung einer Fliesenpresse, bei der die Werkstoffeigenschaften, die Konstruktion und auch die Engineeringseite optimal zusammengeführt wurden. Zusätzlich wurde auf eine Folge von Weltrekordabgüssen verwiesen, die hinsichtlich Stückgewicht und Werkstoffanforderungen stets gewachsen sind und so Meilensteine in der Entwicklung darstellen.

Das „Shared Engineering“ ist ein Verfahren beziehungsweise ein Werkzeug, das die langjährige Erfahrung bei der Entwicklung neuer Produkte bündelt und in die Praxis umsetzt. Das Verfahren und seine Anwendung kann ein Garant für Stabilität bei der Produktentwicklung sein.

Nur die Verknüpfung komplexer Zusammenhänge auf einer gemeinsamen Ebene ermöglicht eine langfristige Entwicklung nicht nur im Ermessensraum von Produktentwicklungen, sondern auch übergreifend zu globalen Aufgabenstellungen in der Zukunftssicherung.

## Schrifttum

- [1] DIN EN ISO 9004-1, Abschnitt 8
- [2] Qualitätsmanagement in der Entwicklung. Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V., DGQ-Band 13–51, 1995
- [3] Mark-Markowitch, M., F. Schubert, R. Arkush, H. Nickel und E. P. Warnke: Fatigue Failure of Ferritic Nodular Cast Iron in Heavy-Section Castings. Paper No P 01–19, 9th International Conference on the Strength of Metals and Alloys, Haifa, July 1991
- [4] Kaufmann, H., und C. M. Sonsino: Einfluß von Gußfehlern in duktilem Gußeisen mit Kugelgraphit auf die Schwingfestigkeit von dickwandigen Bauteilen aus GGG-40. LBF Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit, Darmstadt, Bericht Nr. 6953, 1997
- [5] Fillipini, M., und K. Dieterich: An Approximative Formula for Calculating the



**Bild 12: Mahlschüsseln für Zement werden heute einteilig mit Stückgewichten von über 200 t aus EN-GJS-400 gegossen**



◀ **Bild 13: Laufholm aus EN-GJS-400 für eine O-Pressen, Gewicht: 245 t; der Abguß dieses Laufholms erfolgte gleichzeitig aus fünf Pfannen.** ▼



Probability of Failure. LBF Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit, Darmstadt, TM-Nr. 111, 1997

- [6] Argyris, J., G. Beddies, J. Szimmat, und E. P. Warnke: Numerical Simulation of Casting Processes Including Phase Change Effects and Conductive-Conductive Heat Transfer. Paper presented at the VIII Int. Conference on Finite Elements in Fluids, Barcelona, Sept. 1993

[7] Laeis Bucher GmbH, Trier: Technische Spezifikationen, Fliesenpressen der Reihe ALPHA

- [8] Siempelkamp: 160-t-Pressenständer – Weltrekord in Gußeisen mit Kugelgraphit. Z. konstruieren + gießen 9 (1984) 1, S. 4 bis 13

## Bildnachweis

Sämtlich Werkbilder Siempelkamp, Krefeld