



Tübinger Stahlfeinguss und Neander Shark

Nord-Süddeutsche Kooperation ermöglicht Motortrick

Wirkt ein Kolben über zwei Pleuelstangen auf zwei Kurbelwellen, hat dies Vorteile – ist aber nicht ganz einfach zu realisieren. Es setzt vor allem Präzisionsarbeit an einem entscheidenden Bauteil voraus: Dieses Teil wird beim weltweit ersten Turbodiesel-Außenbordmotor mit Doppelkurbelwellen-Technologie (50 PS, mehr als 100 Newtonmeter Drehmoment) im Feinguss hergestellt.

Doch zunächst nochmal einen Schritt zurück: Verbrennungsmotoren erreichen optimale Eigenschaften nur als Kompromiss: Viele Zylinder mit eher kleinen Kolben bedeuten große Laufruhe, aber wenig Kompaktheit. Große Kolben erlauben kompakte Aggregate, erfordern aber ein besonderes Augenmerk auf dem Ausgleich von Massen- und Drehmomenten. Laufruhe und relative Vibrationsfreiheit sind gerade im professionellen Einsatz wichtig; hat der Bootsführer doch über die

Ruderpinne im Wortsinne den ganzen Tag die Hand am Motor.

Im Zweizylinder Dtorque 111 der Neander Shark GmbH ([Aufmacherbild](#), komplette Antriebseinheit im Boot) gibt jeder der beiden Kolben die Kraft an zwei Pleuelstangen weiter, die wiederum jeweils an einer Kurbelwelle angebunden sind. Um die Gleichförmigkeit im Lauf zu garantieren, sind die gegenläufig drehenden Kurbelwellen über eine Verzahnung miteinander verbunden. Damit arbeitet der

Motor so laufruhig wie gewünscht – aber das im Motorenbau schon lange bekannte Prinzip hat seine Tücken.

Seitenführung des Kolbens ist der Schlüssel

Die größte Herausforderung: Die fertigungstechnisch unvermeidbaren Toleranzen der miteinander verbundenen Komponenten (Kurbelwellen, Pleuel, Kolben ...) bzw. die Lage der Teile zueinander: Schon



Dank großer Laufruhe und geringen Betriebskosten ist der wassergekühlte Dtorque 111 im professionellen Einsatz, z. B. bei Fischern, Polizei und Rettungsdiensten, aber auch im Off-shore-Bereich sehr beliebt.

Abweichungen von ein paar Hundertstel Millimetern von der Ideallage führen dazu, dass der Kolben in der Bohrung verkippt (**Bild 1**). Die Folge ist erhöhter Verschleiß – bis hin zum Kolbenfresser. Eine Schlüsselrolle für die langfristige Betriebssicherheit des Motors und für dessen zuverlässige Serienfertigung spielt der Ausgleich der Fertigungstoleranzen.

Da die Fertigungstoleranzen in der Serie nicht zu vermeiden sind, muss das Verkippen des Kolbens anderweitig verhindert werden. Die maschinenbautechnische Lösung dieser Herausforderung ist ein zusätzliches Lager im Kolben, das die Bewegung des stark geschränkten Kurbeltriebs aufnimmt und so für einen verschleißarmen Lauf des Kolbens im Zylinder sorgt (**Bild 2**, kompletter Kolben mit Lager und Pleuellstangen). Dieses zusätzliche Lager, bei Neander Shark „Spaceball“ genannt, ist hochbelastet und muss über eine kalkulierte Betriebsdauer von 10 000 Stunden Kräften widerstehen, die in der Spitze einer Druckbelastung von 160 bar entsprechen.

Die weiteren Anforderungen für den Spaceball waren schnell bestimmt: Nachdem die beiden Kolben, bedingt durch das zusätzliche Lager, ohnehin bereits länger und schwerer ausfielen als bei einer konventionellen Ein-Kurbelwellen-Lösung sollte das zusätzliche Teil möglichst leicht und natürlich gleichzeitig steif sein und damit in der Lage, die entstehenden Druckkräfte ohne Schäden aufzunehmen. Und dies bei ungünstiger Mangelschmierung, denn ein kontinuierlicher Öldruck ist an dieser Stelle nicht zu gewährleisten. Bald war klar: Keine der üblichen Aluminiumlegierungen wäre in der Lage, diese Dauerbelastung zu überstehen. Für diese Aufgabe kam nur ein Teil aus Stahl in Frage.

Leichtbau in Stahl

Nur, und damit stand die nächste Herausforderung im Raum, wie realisiert man Leichtbau in Stahl? Klar, mit möglichst geringen Wandstärken, Bohrungen bzw.

Materialfehlstellen wo möglich und Materialeinsatz nur an den Stellen, wo entsprechende Kräfte aufgenommen werden müssen. Doch aus dem Vollen fräsen bzw. drehen wäre viel zu teuer gewesen. Mit konventionellem Stahlguss hätten die feinen Strukturen nie und nimmer gefertigt werden können, was zumindest zu einem hohen Nachbearbeitungsaufwand geführt hätte.

Mit diesen Herausforderungen im Gepäck begab sich Andreas Roth, heute Geschäftsführer der Neander Shark GmbH, auf die Messe GIFA, um nach einem geeigneten Lieferanten für das anspruchsvolle Teil zu suchen. Aus seiner früheren beruflichen Tätigkeit war ihm, neben dem konventionellen Stahlguss, auch der Stahlfeinguss vertraut und so hoffte er, dass möglicherweise in dieser Technologie der Schlüssel für die Realisierung des Dtorque liegen könnte.

Am Stand von Tübinger Stahlfeinguss Franz Stadler GmbH & Co. KG, kurz tsf, entwickelte sich ein lebhaftes Gespräch

Tübinger Stahlfeinguss Franz Stadler GmbH & Co. KG (tsf)

Das 1968 gegründete Unternehmen steht für Kompetenz im Stahlfeinguss. Gefertigt werden Teile mit Stückgewichten von 10 g bis über 70 kg sowie Bauteilgeometrien bis zu 500 mm.

Verarbeitet wird eine breite Palette an Werkstoffen, von unlegierten Kohlenstoffstählen über legierte Edelstähle bis hin zu hochlegierten, rost-, säure- und hitzebeständigen Stählen.

Der familiengeführte Mittelständler mit rund 75 Mitarbeitern kann auf weit über 3000 Projekte für Prototypen- und Serienteile zurückblicken und verbindet über Jahrzehnte gewachsene feingusspezifisches Know-how mit modernsten Technologien. Ein eingespieltes Netzwerk an Lieferanten und Produktionspartnern sorgt dafür, dass das Unternehmen seinen Kunden einbaufertige Bauteile aus einer Hand anbieten kann.

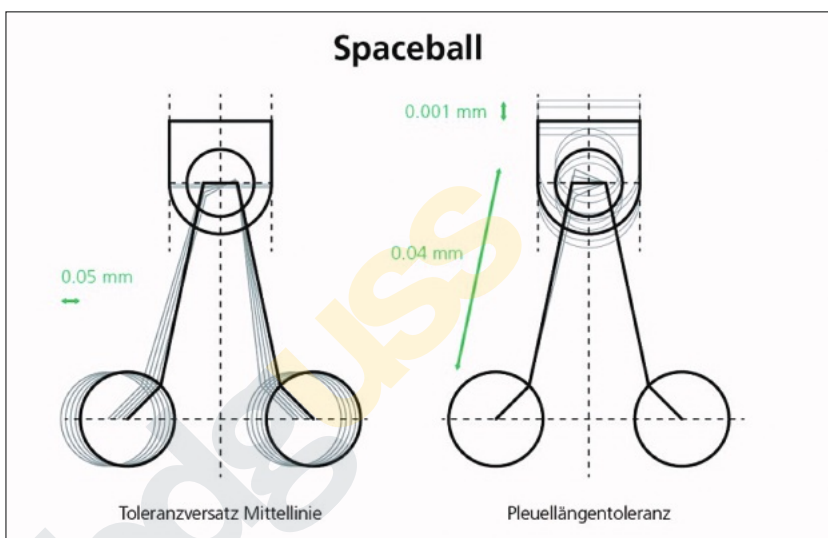


Bild 1: Der Spaceball ist ein Lager im Kolbenboden, das Versatz- und Längentoleranzen der Pleuellstangen ausgleicht und dafür sorgt, dass der Kolben immer mit der Zylinderbohrung fluchtet.



Bild 2: Der reale Kolben mit montiertem Spaceball (Bildmitte) und Kurbeltrieb.

über die Herausforderungen des Bauteils und die technischen Möglichkeiten und Grenzen von Stahlfeinguss nach dem Wachsaußschmelzverfahren.

„Mir war das Verfahren grundsätzlich bekannt“, so Andreas Roth im Rückblick, „aber mich hat dann doch überrascht, dass sich tsf von Anfang an zugetraut hat, Wandstärken von unter einem Millimeter in einem Gussteil zu realisieren“. Auch für tsf war der Spaceball eine Herausforderung: „Die Geometrie des Bauteils weist feine Rippen auf. Ob diese sich so wie geplant abgießen und entformen lassen würden, war anhand der Zeichnungen nicht eindeutig zu klären. Solche kniffligen Anforderungen muss man einfach austesten“, erinnert sich Martin Krämer, Vertriebsleiter bei tsf.

Gesagt, getan. Der Spaceball sollte bei einem Durchmesser von 54 mm und einer Stärke von knapp 56 mm maximal 200 g wiegen. Als Werkstoff dient 42CrMo4 (1.7225), ein in der Automobilindustrie gängiger Vergütungsstahl, der z. B. für Pleuelstangen oder Kurbelwellen eingesetzt wird. Die ersten Zeichnungen des

Spaceball hatten sich rein an motortechnischen Anforderungen orientiert und die Realisierung als Feingussteil nicht berücksichtigt. An manchen Stellen waren daher die Geometrien so gewählt, dass ein sicheres Auslaufen im Guss nicht mehr gewährleistet gewesen wäre: Der flüssige Stahl wäre schon zu stark abgekühlt gewesen, um die Strukturen noch vollständig ausfüllen zu können. Damit war klar, dass die CAD-Zeichnung von Neander nicht 1 : 1 in ein Gussteil umzusetzen war;

Bild 3: Das Wachsmmodell des Spaceball, der Rohguss und das bearbeitete Gussteil vor dem Versand an Neander Shark.



eine gießtechnische Optimierung des Bauteils war unvermeidbar.

Gießtechnische Optimierung ist Teamsport

Für tsf sind solche Optimierungen täglich Brot; kaum ein Konstrukteur verfügt über so viel Erfahrung im Stahlfeinguss, als dass ein komplexes Bauteil ohne weitere Änderungen in eine Gussform überführt werden könnte. Entsprechend findet man das Optimum nur im Team. Der Kunde, der sein Teil in- und auswendig kennt, und weiß, wo er Platz für Material oder Toleranzen hat, und der Gießer arbeiten hier

Firmenprofil Neander Shark GmbH

Die 2003 in Kiel gegründete Neander Motorfahrzeuge GmbH hatte nur ein Ziel: Einen Zweizylinder-Turbodiesel mit doppelter, gegenläufiger Kurbelwelle zu entwickeln, der mit 200 Nm Drehmoment ein Motorrad antreibt. Zwei Jahre später wurde das weltweit erste Turbodiesel-Motorrad zugelassen. 2006 firmierte die GmbH in die Neander Motors AG um.

Bei der Suche nach Märkten für diesen Motor wurde Neander im professionellen Marinebereich fündig: 2009 wurde die Neander Shark GmbH als hundertprozentige Tochter gegründet. In diesem Unternehmen erfolgte die Entwicklung des weltweit ersten Turbodiesel-Außenbordmotors mit doppelter, gegenläufiger Kurbelwelle: Dem Neander Dtorque 111. Mit 50 PS und deutlich über 100 Nm Drehmoment stellt er so machen Vierzylinder-Benzinmotor in den Schatten. Und beim Verbrauch und den Betriebskosten sowieso.

eng zusammen – gegebenenfalls über mehrere Iterationsschritte. So war es auch beim Spaceball. In mehreren Runden gelang es in gemeinsamer Anstrengung, den Spaceball gusstechnisch zu optimieren, dabei sein Gewicht zu minimieren, ohne seine motorenbautechnische Funktion einzuschränken. Auf dem Weg zum finalen Teil musste das Werkzeug mehrfach angepasst werden.

Kurz danach war es dann soweit: „Schon beim Entformen haben wir im ersten Rohgussteil gesehen, dass die feinen Strukturen sehr gut ausgelaufen sind“, weiß Martin Krämer noch. Das entformte Rohgussteil geht anschließend in die mechanische Bearbeitung. Dort wird überdreht, gehont und geschliffen, um Toleranzen im Bereich zwischen 15 und 25 µm zu realisieren. Nach der Endkontrolle liefert tsf den Spaceball einbaufertig an Neander Shark (Bild 3).

„Was uns in der Zusammenarbeit mit tsf begeistert hat: Mit welchem Elan sich die Feingießer unserer Herausforderung angenommen und nicht aufgegeben haben, bis wir ein perfekt optimiertes Leichtbauteil aus Stahl in Händen hielten“, fasst Andreas Roth seine Erfahrungen mit den

Tübinger Feingießern zusammen. Martin Krämer ergänzt: „Für den Feingießer ist der Spaceball ein tolles Bauteil. Das fordert. Das macht Spaß. Solche feinen Konturen mit so wenig Nachbearbeitungsaufwand kann man mit keinem anderen Verfahren realisieren.“

Der wassergekühlte 800-ccm-Turbodiesel mit Ladeluftkühler, offenem Wasserkreislauf und geschlossenem Deck ist durch den Spaceball sehr laufruhig, langlebig und verbraucht deutlich weniger Treibstoff als seine Benzin-Pendants. Den weltweiten Vertrieb und Service des Neander-Aggregats hat Yanmar übernommen, der bis vor kurzem noch einzige Serienhersteller von Dieselmotoren für Außenborder.

Das Wachsausschmelzverfahren

Das Verfahren benötigt ein 1:1-Modell des zu fertigen Teils, das meist aus technischen Wachsen zum Beispiel im Spritzgussverfahren mit Einfach- oder Mehrfachwerkzeugen hergestellt wird (Bild 3). Das Wachs muss mechanisch belastbar sein, damit es beim Einförmigen weder bricht noch deformiert wird. Zudem darf

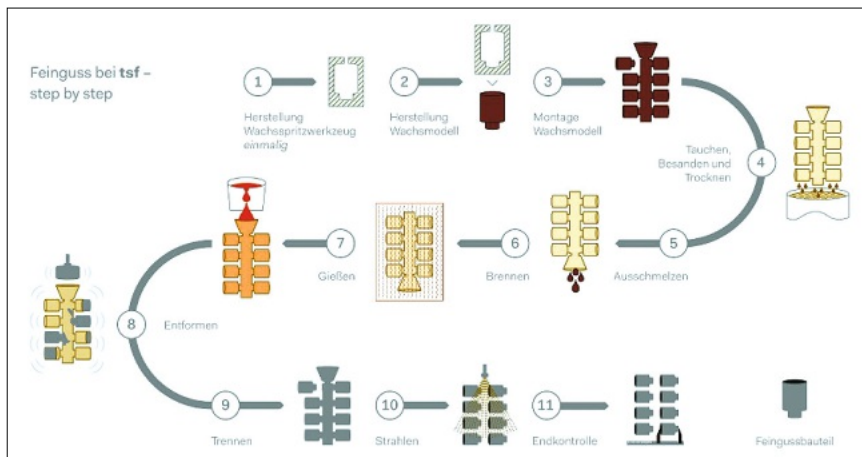


Bild 4: Die einzelnen Prozessschritte des Stahlfeingusses nach dem Wachsausschmelzverfahren.

es keinen Schwund aufweisen – sonst ist das Gussteil hinterher nicht maßhaltig.

Im nächsten Schritt werden die Modelle mit dem Gießsystem (zur Versorgung der zu gießenden Teile mit flüssigem Stahl und den Entlüftungskanälen für die ausströmende Luft) zu sogenannten Modelltrauben zusammengefügt (Bild 4).

Diese Modelltraube wird danach eingeförmigt, also zunächst in einen Schlicker getaucht. Dies ist eine keramische Masse aus feingemahlenem feuerfestem Material und Bindemitteln. Die mit Schlicker benetzte Traube wird anschließend mit feinem Zirkonsand berieselt. Das Tauchen und Besanden wird so oft wiederholt, bis die Formschale die notwendige Stabilität für den Guss erreicht hat.



Bild 5: Das eigentliche Feingießen: Flüssiger Stahl wird in die heiße Form gegossen.

Jetzt wird das Wachs bei ca. 150 °C restlos ausgeschmolzen, daher der Name des Verfahrens. Das Modell geht dabei verloren, daher spricht man auch von einem Verfahren mit verlorenem Modell. Zum Ausschmelzen dienen in aller Regel Autoklaven.

Anschließend wird die Form bei etwa 750 bis 1200 °C gebrannt. Der flüssige Stahl wird direkt in die heiße Form gegossen, damit er möglichst lange flüssig bleibt und auch enge Querschnitte und feine Konturen sauber „auslaufen“ (Bild 5). Nach dem Abguss und dem vollständigen Erstarren der Schmelze wird die Form entfernt, die Gussteile vom Gießsystem getrennt. Es folgt die erforderliche Nacharbeit durch Putzen, Schleifen, Strahlen, CNC-Bearbeitung bis hin zur (Vor-)Montage. Der letzte Schritt ist das Prüfen der Gussteile vor dem Versand.

Tom Weber/Stephan Strohbücker