

Einsatz von RP-Technologien im Workflow bei der MTU Aero Engines

Dr. Karl-Heinz Dusel

1. Einleitung

Nachdem Rapid Prototyping-Verfahren und davon abgeleitete Prozessketten in der Anfangszeit vor allem in der Automobil- und Konsumgüterindustrie zum Einsatz kamen, spielen diese Techniken heute auch im Luftfahrtbereich eine zunehmende Rolle.

Dies gilt auch für den Bereich der Triebwerksentwicklung. Die MTU Aero Engines ist der führende Triebwerkshersteller in Deutschland. Sowohl im militärischen, als auch im zivilen Bereich, entwickelt, fertigt und betreut die MTU Antriebe für Flugzeuge und Hubschrauber. Kunden sind Hersteller und Betreiber von Flugzeugen und Industriegasturbinen auf der ganzen Welt. Komponenten der MTU kommen weltweit in jedem dritten Verkehrsflugzeug zum Einsatz

Sowohl im zivilen, wie auch im militärischen Bereich kommen heute Rapid Prototyping & Manufacturing Verfahren in vielen Bereichen des Produktlebenszyklus zum Einsatz.

Aktuelle Beispiele sind folgende Triebwerksprogramme:

- **EJ 200 (Antrieb für den Eurofighter):**

Das EJ200, ein neuartiges Zweiwellen-Zweistromtriebwerk mit Nachbrenner in der 90kN-Kategorie, entsteht in Zusammenarbeit mit Rolls-Royce, FiatAvio und ITP. Es wird im Eurofighter und seiner Exportversion Typhoon eingesetzt.

Der MTU-Anteil beträgt 30% und umfasst die Entwicklung und Fertigung von Nieder- und Hochdruckverdichter, des elektronischen Reglers, Arbeiten an der Hochdruckturbine sowie die Durchführung von Triebwerksmontagen und Prüfläufen. Die Serienzulassung ist abgeschlossen

Max. Schub ohne (mit) Nachbrenner	60 (90) kN
Länge mit Nachbrenner	ca. 4000 mm
Max. Durchmesser	850 mm

- **TP 400 D6 (Antrieb für den Militärtransporter Airbus A 400 M)**

An der Entwicklung dieses militärischen Propellerturbinen-Triebwerks der Zukunft ist die MTU zusammen mit Rolls-Royce, Snecma und ITP beteiligt. Für die Entwicklung, Herstellung und Betreuung des TP400-D6 wurde von den Partnerfirmen das gemeinsame Unternehmen Europrop International (EPI) gegründet. Das TP400-D6 soll im Militärtransporter A400M zum Einsatz kommen. Die MTU ist beim TP400-D6 für die Mitteldruckwelle inklusive Verdichter und Turbine verantwortlich sowie an der Regelung beteiligt. Darüber hinaus wird die Endmontage und das Testing aller TP400-D6 europaweit ausschließlich bei der MTU Maintenance Berlin-Brandenburg erfolgen.

Leistung	10.000+ wps in Seehöhe
Propellerdurchmesser	5,30 m

- **PW 6000 (Antrieb für den Airbus A 318)**

Das PW6000, dessen Zulassung für 2004 erwartet wird, wird seit 1998 in Kooperation mit Pratt & Whitney entwickelt. Erstmals in ihrer Geschichte fertigt und liefert die MTU für das PW6000 das gesamte Subsystem Niederdruckturbine sowie den Hochdruckverdichter.

Hauptmerkmale des PW6000 sind der hohe Wirkungsgrad, die einfache Konstruktion und der vergleichsweise günstige Preis. Das Triebwerk ist für den Einsatz im Kurzstrecken-Bereich bestimmt und wird im Airbus A318 zum Einsatz kommen. Das PW6000-Triebwerk zeichnet sich durch den Einsatz innovativster Fertigungstechniken und Werkstoffe aus und wird den Verbrauch von Kraftstoff deutlich senken.

Schub	67 - 107 kN
Länge	2743 mm
Max. Durchmesser	1435 mm

- **GP 7000 (Antrieb für den Airbus A 380)**

Zusammen mit ihren Partnern General Electric, Pratt & Whitney und Snecma ist die MTU an der Entwicklung dieses neuen Triebwerkstyps beteiligt. Die völlig neue GP7000-Triebwerksfamilie wird im Langstreckenbereich zum Einsatz kommen. Vorgesehen ist sie für den Airbus A380 sowie für mögliche weitere Maschinen von Airbus und Boeing. Der Erstflug des Airbus A380 mit GP7000-Triebwerken ist für 2006 geplant.

Schub	340 kN
Länge	4740 mm
Fan-Durchmesser	2950 mm

Die Amortisation eines Triebwerks erfolgt im allgemeinen erst nach einem Zeitraum von ca. 15 – 20 Jahren (mit dem Ersatzteilgeschäft). Diese Tatsache und der auch im Luftfahrtbereich ständig zunehmende Wettbewerbsdruck führen zu der Forderung nach einer deutlichen Reduzierung von Entwicklungszeiten und -kosten.

An dieser Stelle bieten die sogenannten Rapid Prototyping & Manufacturing Verfahren und davon abgeleiteten Prozessketten Möglichkeit zum Erreichen der Zeit- und Kostenziele.

2. Einsatz von RP&M Technologien bei der MTU Aero Engines

Bereits heute werden RP&M Technologien in allen Produktlebenszyklen eingesetzt:

- Produktgestaltung
- Erprobung
- Entwicklungsfertigung
- Serienfertigung
- Reparatur und Triebwerksüberholung

2.1 Produktgestaltung

In der Phase der Produktgestaltung kommen die klassischen Verfahren des Rapid Prototyping vielfach zum Einsatz. Handhabungs- und Anschauungsmodelle leisten einen wichtigen Beitrag zur Optimierung von Konstruktionen sowie in der Diskussion mit Fertigung und Lieferanten. Eigene Anlagenkapazitäten (3D Printing ZCorp, FDM) bieten

Konstrukteuren und Einkäufern die Möglichkeit, kurzfristig auf aktuellste Modelle zurückgreifen zu können.

Gerade die Feingießtechnik ist ein im Triebwerksbau weit verbreitetes Serienfertigungsverfahren. Die Verfügbarkeit von Rapid Prototyping Techniken bietet heute die Möglichkeit, bereits in einer frühen Phase der Produktentwicklung Fertigungsversuche durchzuführen, ohne auf eine kosten- und zeitintensive Werkzeugherstellung angewiesen zu sein. Neuartige Konstruktionen und verschiedene Varianten, die früher aus Risikogründen verworfen worden wären, können zu einem frühen Zeitpunkt erprobt und abgesichert werden. Dies eröffnet zusätzlichen Spielraum bei der Bauteilgestaltung, aber auch eine höhere Absicherung gegen Risiken im späteren Fertigungsprozess.

2.2 Erprobung (Rig)

Die zweite Phase umfasst die Erprobung neu entwickelter Triebwerksmodule. Hierunter zu verstehen sind einerseits kalt bzw. heiß (mit Brennkammer) laufende Rigs (Testaufbau eines Triebwerks bzw. Triebwerkmoduls in Originalgröße). Mit Hilfe dieser Rig- Aufbauten sollen bestimmte Funktionen, wie beispielsweise der Wirkungsgrad, eines neu entwickelten Triebwerksmoduls (z. B. GP 7000 Niederdruckturbine) getestet werden. Die Anforderungen an die eingesetzten Bauteile orientieren sich allein an der Funktion des Testaufbaus und sind weder material-, gewichts- oder funktionsoptimiert. Entsprechend können im Hinblick auf eine zeit- und kostengünstige Fertigung Konstruktionsänderungen, die die Funktion nicht beeinflussen, durchgeführt werden.

Ein Beispiel für den Einsatz von RP&M Technologien ist das RIG der GP 7000 Niederdruckturbine, die von der MTU entwickelt wird. Hier wurde zum einen die komplette Beschaukelung (Laufschaufeln und Leitsegmente) durch den Einsatz verschiedener, z. T. neu entwickelter Aluminiumguss-Prozessketten hergestellt. Besondere Anforderungen lagen hier im Erreichen einer Formgenauigkeit von max. 0,25 mm im aerodynamischen Bereich der Schaufelblätter.

Ein weiteres Anwendungsgebiet umfasst die Herstellung von Gehäusen. Hier handelt es sich vorwiegend um integrale Gussgehäuse (Einlauf und Austrittsbereich) mit Durchmessern von 700 – 1900 mm. Die meist geforderte Stückzahl „1“ und die Tatsache, dass diese Komponenten üblicherweise zu den terminbestimmenden Bauteilen gehören, erfordert einen möglichst sicheren Prozess. Erste im Sandguss hergestellte Gehäuse, deren Formen mit RP-Verfahren hergestellt wurden, wurden bereits erfolgreich eingesetzt.

2.3 Entwicklungsfertigung

Im Gegensatz zu Test-Rigs entsprechen Demonstratortriebwerke in ihrem Aufbau und ihren Anforderungen bereits einem voll funktionsfähigen Triebwerk, wenn auch nur als Prototyp für den Prüfstand. Gleiches gilt für die sogenannten „Flying Testbeds“, die als ebenfalls voll funktionsfähiger Prototyp an ein Flugzeug montiert werden, dort allerdings nicht für den Antrieb erforderlich sind.

Die Anforderungen an die Bauteile entsprechen denen eines Serienbauteils, wenn auch der Fertigungsprozess noch nicht zwingend der spätere Serienprozess sein muss. Insbesondere bei der Herstellung verlorder Modelle für den Guss, z. B. von Gehäusen, helfen RP&M Techniken Zeit- und Kosten einzusparen. So kann ein Werkzeug für ein Turbinenausstrittsgehäuse, das deutlich im 6-stelligen Dollarbereich liegt und eine Lieferzeit von üblicherweise mindestens 18 Wochen besitzt, durch ein Stereolithographiemodell ersetzt werden. Andererseits gibt es allerdings heute noch keine RP-Prozesskette, mit der die Beschaukelung eines heiß laufenden Triebwerks wirtschaftlich hergestellt werden kann. Existierende Werkzeugtechniken können zwar Stückzahlen von 100-200 Wachslingen

liefern, jedoch werden die geforderten maßlichen und Oberflächenqualitäten bisher nicht erreicht.

2.4 Serienfertigung

RP&M Verfahren zielen vornehmlich auf die Herstellung von Prototypen und geringe Stückzahlen. Auch wenn im Luftfahrtbereich vergleichsweise kleine Serien hergestellt werden, kommen Bauteile aus RP in Serientriebwerken nicht zum Einsatz. Dies liegt nicht zuletzt auch an den strengen Sicherheitsvorschriften, denen die Luftfahrtbranche unterliegt und den sich daraus ergebenden aufwendigen Zulassungsverfahren, die auch den punktuellen Einsatz von RP-Teilen verhindert.

Indessen werden RP-Verfahren aber in anderen Bereichen der Serienfertigung zunehmend zum Einsatz gebracht. Ein Beispiel ist die Herstellung von Kunststoffmodellen zur Fertigungsvorbereitung vor Verfügbarkeit der ersten Serienteile, insbesondere bei terminkritischen Programmen. Die Anwendung umfasst die Programmierung von Messmaschinen, die Anpassung von Fertigungsmitteln sowie auch das Einstellen von Fertigungsmaschinen.

Auch werden zunehmend Prüf- und Bearbeitungsvorrichtungen über RP-Gussprozessketten hergestellt, da hier zum Teil deutliche Zeit- und auch Kostenvorteile gegenüber frästechnisch hergestellten Vorrichtungen nutzbar sind. Ein aktuelles Beispiel ist hier der Serienanlauf des GP 7000 Triebwerkes, in dem erstmals auf diese Techniken zurückgegriffen wird.

2.5 Reparatur und Triebwerksüberholung

In der letzten Phase des Produktlebenszyklus eines Triebwerks gewinnen neben dem Ersatz von Komponenten zunehmend Reparaturverfahren an Bedeutung. RP Verfahren kommen hierbei bisher nicht zum Einsatz, jedoch laufen verschiedene Entwicklungsvorhaben mit dem Ziel, beschädigte Schaufelblätter durch feingegossene und möglicherweise später auch direkt generativ aufgebaute Einsätze zu reparieren. Die Hauptanforderungen liegen dabei auf den Materialeigenschaften, die mit denen des Restbauteils kompatibel sein müssen, sowie in der Wirtschaftlichkeit des Reparaturverfahren. Erprobt wird dieses neue Reparaturverfahren derzeit an einem Leitsegment des CF6-80 Triebwerks, welches von der MTU Maintenance gewartet wird.

Während bei dem gezeigten Beispiel RP-Verfahren nur im Zeitraum der Verfahrensentwicklung zum Einsatz kommen werden, ist der direkte Einsatz von RP-Verfahren im Reparaturprozess bei der Herstellung individueller Einsätze, z. B. für beschädigte Gussgehäuse denkbar. Gerade hier werden kurze Durchlaufzeiten von entscheidender Bedeutung sein.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Der Überblick über den Einsatz von RP&M Verfahren und Prozessketten bei der MTU Aero Engines zeigt, dass diese Verfahren bereits heute im gesamten Produktentstehungsprozess und darüber hinaus eingesetzt werden. Möglich wurde dies nicht zuletzt durch intensive Entwicklungsaktivitäten, deren Ziel es war und ist, diese neuen Techniken für die spezifischen Anforderungen im Triebwerksbereich nutzbar zu machen.

Ziel ist es in allen Fällen, nicht nur punktuelle Lösungen für bestimmte Fertigungsschritte zu besitzen, sondern den gesamten Herstellweg vom CAD bis zum einbaufertigen Teil optimal zu gestalten. D. h. zum Beispiel auch, dass Prüfverfahren und spanende Fertigbearbeitung als Teil der RP-Fertigung zu sehen und optimal in die Abläufe zu integrieren sind. Um dies zu erreichen bietet sich u. a. der Einsatz optischer, CAD-basierter Messverfahren an.

Durch Weiterentwicklung und Anpassungen der Prozessketten kann das heutige Anwendungsspektrum noch deutlich erweitert werden.

Schwerpunkte sind dabei:

- Erprobung und Validierung neuer Rapid Prototyping Verfahren zur Herstellung von Anschauungsmustern und Funktionsmodellen im frühen Stadium der Produktentwicklung
- Neue und optimierte Herstellverfahren für Kleinserien (z. B. Voll- und Hohl-schaufeln, Stückzahlen 50-500)
- Alternative Herstellverfahren für Gehäuse / Gehäusekomponenten (Stückzahl 1-5)
- Unterstützende Techniken im Bereich Mess- und Prüftechnik

Betrachtet man die bisherige Innovationsgeschwindigkeit der RP-Verfahren, ist in Zukunft mit einer weiteren Zunahme an Einsatzmöglichkeiten zu rechnen.