

CAD-Konvertierung: Motivation, Probleme und Lösungen

Reinhard Reim
München

Peter Cordon
Darmstadt

Andreas Hund
Darmstadt

Dr. Jospip Stjepandic
Darmstadt

Fortschrittliche Unternehmen der Fahrzeug- und Luftfahrtindustrie sowie deren Zulieferindustrie und dienstleistende Ingenieurbüros haben heute 3D-CAD/CAM-Systeme als Werkzeuge für Entwicklung, Konstruktion, Arbeits- und Fertigungsplanung im Einsatz.

Nachdem zu Beginn des neuen Jahrtausends eine gewisse Stagnation des CAD/CAM-Marktes zu beobachten war, die sich einerseits auf eine Sättigung des Absatzmarktes und andererseits auf die Konjunkturschwäche zurückführen lässt, kann in der letzten Zeit eine Belebung des Absatzes infolge von Austausch und Wechsel vorhandener CAD/CAM-Systeme durch Systeme neuer Generation festgestellt werden.

Viele Unternehmen stehen daher vor der einmaligen Aufgabe, wie sie den Systemwechsel möglichst kosteneffizient und geschmeidig, das heißt mit rascher Einführung des neuen Systems und ohne eine größere Beeinträchtigung des Tagesgeschäftes vornehmen können. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die Übernahme des Altdatenbestandes (Datenkonvertierung) dar.

Das Unternehmen MTU Aero Engines bedient als weltgrößter Subsystem-Anbieter die wichtigsten Triebwerkhersteller wie Pratt & Whitney, General Electric, Rolls-Royce und Snecma. Im Zuge der zunehmenden Integration und Partnerschaft mit ihren Kunden schloss die MTU Aero Engines in den vergangenen Jahren exklusive



Bild 1: Das Vorgehensmodell zur CAD-Migration besteht aus insgesamt sechs Phasen (Bild: PROSTEP AG, Darmstadt).

Vereinbarungen über komplette Lebenszyklen, die gemeinsames Design, Entwicklung und Produktion umfassen und der MTU Aero Engines einen festen Anteil an allen Erlösen sichern. Das Geschäftsmodell der MTU Aero Engines fußt auf drei Säulen: dem zivilen Triebwerksgeschäft, das über 40 Prozent des Umsatzes beisteuert, der zivilen Instandhaltung sowie dem militärischen Triebwerksgeschäft. Ein ausgewogenes Produktportfolio sowie eine vergleichsweise junge Triebwerksflotte demonstrieren nicht nur die aktuell starke Marktposition, sondern sorgen auch für die zukünftig hohe Auslastung bei dem weltweit größten unabhängigen Instandhalter. Die erfolgreiche Geschäftspolitik schlägt sich auch im überdurchschnittlichen Wachstum und hoher Profitabilität nieder.

Um die hoch gesteckten Geschäftsziele zu erreichen, tätigt die MTU Aero Engines kontinuierlich hohe Investitionen in die Werkzeuge für die moderne Produktentwicklung

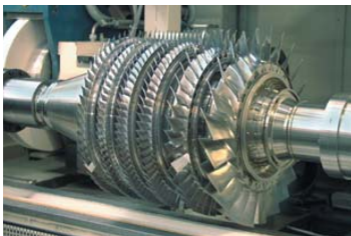
und Produktionsplanung. Seit den 1980iger Jahren ist bei der MTU Aero Engines das CAD/CAM-System CATIA V4 im Einsatz. Da aber die Premium-Partner General Electric und Pratt & Whitney das CAD/CAM-System UGS NX einsetzen, gab es bei der MTU Aero Engines die permanente Aufgabe, größere Mengen von CAD-Daten in kurzer Zeit und mit hoher Qualität zu konvertieren.

CATIA V4 sollte Innerhalb weniger Jahre abgelöst werden

Hierfür setzt die MTU Aero Engines seit dem Jahr 1998 die Konvertierungslösung HOK (Hochoptimierte Kopplung) auf Basis neutraler Schnittstellen (STEP, IGES) der Firma PROSTEP ein. Steigende Kundenanforderungen hinsichtlich der Lieferzeit und Qualität der CAD-Daten führten schließlich zu Einführung von UGS NX in bestimmten Bereichen der Produktentwicklung. So setzte die MTU



Die MTU Aero Engines ist Deutschlands führender Triebwerkshersteller und entwickelt und fertigt unter anderem für Airbus (Bilder: MTU Aero Engines).



Aero Engines Ende des Jahres 2003 etwa 400 CATIA-V4- und 25 NX-Arbeitsplätze ein. Die sich abzeichnende Notwendigkeit, CATIA V4 innerhalb weniger Jahre ablösen zu müssen, initiierte schließlich die interne Analyse über den potentiellen Umstieg auf ein neues CAD-System, wobei UGS NX und CATIA V5 zur Auswahl standen.

Ein Vorprojekt im ersten Halbjahr 2004 brachte das Ergebnis, dass der Umstieg auf UGS NX als einziges CAD-System kostengünstiger und den Geschäftsprozessen besser angepasst erschien, als zwei CAD-Systeme beizubehalten beziehungsweise auf CATIA V5 zu wechseln. Neben den üblichen methodischen Arbeitspaketen, zum Beispiel die

Erarbeitung von CAD-Methoden und -Applikationen sowie von Schulungskonzepten, bringt ein Wechsel des CAD-Systems auch eine nicht alltägliche, dafür sehr umfangreiche und risikoreiche Aufgabe mit sich, nämlich die Konvertierung des kompletten Altdatenbestandes ins neue CAD-System. So mussten über 340.000 CATIA-V4-Modelle, die bei der MTU Aero Engines im Laufe von 20 Jahren entstanden waren, nach UGS NX2 konvertiert werden.

Für eine Grundsatzentscheidung wurde bei der MTU Aero Engines ein Konvertierungs-Vorprojekt durchgeführt und der Markt für Konvertierungs-Produkte ausgelotet. Aufgrund der Komplexität und der starken 2D-Lastigkeit des Datenbe-

standes, der teilweise über 50 Jahre zur Verfügung stehen muss, entschlossen sich die Verantwortlichen bei der MTU Aero Engines, die PROSTEP AG mit der Entwicklung der entsprechenden Konvertierungs-Software und der fachlichen Unterstützung bei der Konvertierungsdurchführung zu beauftragen. Für diese Entscheidung war der bereits seit Jahren erfolgreiche Einsatz der HOK-Lösung aber auch die jahrelange Erfahrung der PROSTEP AG auf dem Gebiet der CAD-Datenkonvertierung mit ausschlaggebend.

Mit einer entsprechend ausgearbeiteten Methodik wurden von der PROSTEP AG in den vergangenen zehn Jahren mehr als 20 Konvertierungsprojekte mit einem Datenvolumen von über 4 Terabyte durchgeführt. Danach gliedert sich ein Konvertierungsprojekt in sechs Phasen (Bild 1).

Die Problematik der CAD-Konvertierung hat sich nicht grundlegend geändert

Jede Phase schließt mit einem Meilenstein ab, bei dem auch die Entscheidung über den nächsten Schritt zu treffen ist. Diese Projektorganisation ist zwingend notwendig, damit das Projektergebnis, das heißt die Ergebnisqualität, die Projektdauer und die Kosten, mit hoher Treffsicherheit bereits im Vorfeld ermittelt werden können. Die Proble-

matik der Konvertierung von CAD-Daten aus dem einen ins andere Format ist so alt wie die CAD-Technologie selbst.

Ausschlaggebend hierfür ist die Notwendigkeit, die Neueingabe der Daten beim Übergang zu einem anderen CAD-System zu vermeiden. Zu diesem Zweck sind vielfältige Schnittstellen und Formate, die zum Teil auf internationalen Normen basieren, entwickelt worden /1/. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von so genannten Direktkonvertern, mit denen die 3D-CAD-Daten des Systems A - mitunter ohne das System selbst nutzen

Produktgestalt gewährleisten, wie es der einschlägige Benchmark für die STEP-Schnittstellen regelmäßig zeigt /2/. Allerdings bleibt eine verlustfreie Konvertierung meistens eine Illusion, da zusätzliche Datenanteile wie die Konstruktionshistorie und die Parametrik nicht übertragen werden.

Während die Benchmarks unter vergleichsweise günstigen Voraussetzungen ablaufen, da die System-einstellungen für die Konvertierung angepasst und die Anwendungsmethodik optimal darauf ausgerichtet werden, zeigt die Anwendung in einem produktiven Umfeld häufig ein

reiche prozesskettenorientierte Konvertierung sicher stellen.

Keine praktikable Standard-Software-Lösung für die Konvertierung von 2D-Daten

Für die Konvertierung von 2D-Zeichnungen gibt es derzeit keine praktikable Standard-Software-Lösung, die den Erhalt aller Zeichnungsinformationen ermöglicht. Ausschlaggebend hierfür ist erstens die abnehmende Bedeutung der Zeichnung als Produktdokument und zweitens deren hohe Datenkomplexität, die eine lückenlose



Bild 2: Die grundsätzliche Problematik der CAD-Konvertierung wird durch eine mehrstufige Adaptierung gelöst (Bild: PROSTEP AG, Darmstadt).

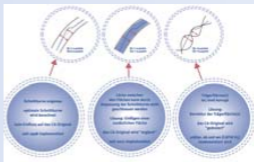
zu müssen - gelesen und im Datenformat des Systems B direkt geschrieben werden können. Die grundsätzliche Problemstellung, die sich seit Jahren nicht mehr verändert hat, ist in Bild 2 dargestellt.

Demnach entstehen die Probleme bei der CAD-Konvertierung infolge der grundsätzlichen Unterschiede zwischen zwei nativen CAD-Formaten. Eine nicht adäquate Anwendung der CAD-Systeme, beispielsweise durch unterschiedliche Toleranzeinstellungen für die Freiformgeometrie, potenziert diese Unterschiede und folglich deren negative Auswirkungen. Eine gut funktionierende Schnittstelle kann eine nahezu hundertprozentige Übertragungsrage bezüglich der

deutlich ungünstigeres Bild. Zwar lassen sich die kleineren 3D-Modelle aus frühen Entwicklungsphasen mit noch geringem Anteil komplexer Geometrie-Features im CAD-Modell meist problemlos übertragen. Aber bei den größeren, fein ausdetaillierten 3D-Modellen sind die Verluste oft signifikant, bisweilen tritt ein Totalverlust durch den Absturz des Schnittstellenprozessors ein.

Solche Diskrepanzen lassen sich durch den dominanten Einfluss der Datenqualität auf das Konvertierungsergebnis erklären. In umfangreichen Pilotprojekten /3, 4/ wurden bei der PROSTEP AG die Ursachen ermittelt und daraus geeignete Methoden entwickelt, die eine erfolg-

Bild 3: Verschiedene Healing-Algorithmen werden bei der 3D-Konvertierung verwendet (Bild: PROSTEP AG, Darmstadt).



und im Wesentlichen fehlerfreie Software-Implementierung für CAD-Lieferanten wenig attraktiv erscheinen lassen. Die Anwender sind daher gezwungen, entweder auf Rasterformate auszuweichen oder die Zeichnungen mit Hilfe von nicht so leistungsfähigen IGES- oder DXF-Schnittstellen grob zu konvertieren und sich anschließend auf eine umfangreiche manuelle Nachbearbeitung der Ergebnisse einzustellen.

Bei sehr alten CAD-Zeichnungen werden die ohnehin vorhandenen Probleme bei der Konvertierung durch die oft schlechte Datenqualität weiter verschärft, da diese Daten häufig aus bereits vorangegangenen CAD-Konvertierungen stammen. Im Falle der MTU Aero Engi-

nes haben die älteren Zeichnungsbestände beispielsweise bereits eine Konvertierung vom CADAM-System nach CATIA hinter sich.

Aleine die Aufgabe, den Ressourcenbedarf und die Erfolgsaussichten für die Übertragung eines hohen Datenvolumens an CAD-Daten zu beziffern, ist selbst für einen erfahrenen CAD-Systemadministrator eine hohe Herausforderung. Eine umfangreiche Nachbearbeitung der konvertierten CAD-Daten als Regelfall ist aber nicht nur aus finanziellen, sondern auch aus Kapazitätsgründen ausgeschlossen. Aus den vorgenannten Grundsatzüber-

ckelten Adaptern für native und neutrale Daten gekoppelt sind. Hinter dieser Lösung verbirgt sich der Leitgedanke der so genannten vorge-schalteten Adaptierung.

Vereinfacht dargestellt wird davon ausgegangen, dass die Standard-Schnittstellenprozessoren für neutrale Formate – STEP für 3D- und IGES für 2D-Daten – im Normalfall fehlerfrei funktionieren beziehungsweise die ausnahmsweise auftretenden Fehler hinreichend bekannt und daher vorhersehbar sind. Mit Hilfe von Analyse- und Adaptierungsbausteinen, die den Standardprozessoren vor- und nachgeschaltet werden, las-

zerspezifischen Datentypen wie Fonts, Sonderzeichen und Linientypen abgebildet und nach UGS NX übertragen werden.

Ein grundsätzliches Problem bei der Übertragung der 3D-Modelle

Dagegen stand der Übertragung der 3D-Modelle ein grundsätzliches Problem im Wege. Viele Altdaten wurden im Bereich der Frei-formgeometrie mit einer höheren Modellierungstoleranz erstellt, als es in der neuen UGS-NX-Umgebung vorgesehen ist. Bei einer Kon-

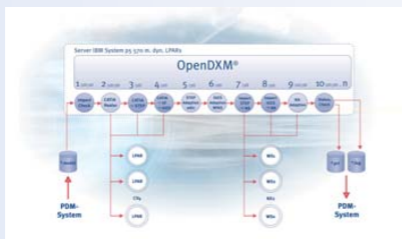


Bild 4: Die Konvertierungspipeline von CATIA V4 nach UGS NX2 wird mit Hilfe der OpenDXM-Lösung gesteuert (Bild: MTU Aero Engines).

legungen ist in diesem Fall eine robuste Konvertierungslösung erforderlich, die ein hohes Datenvolumen mit großem Durchsatz im Dauerbetrieb gewährleisten kann, flexibel beim Hardware-Bedarf ist und sich zwecks Export beziehungsweise Import der CAD-Daten an PDM-Systeme anbinden lässt.

CAD-Konvertierung mit Hilfe der vorge-schalteten Adaptierung

Basierend auf den langjährigen Erfahrungen mit der CAD-Konvertierung hat die PROSTEP AG bereits vor Jahren eine modulare Lösung /5/ entwickelt, bei der die Standard-schnittstellen mit den selbst entwi-

sen sich die Fehler automatisch identifizieren und – sofern überhaupt möglich – automatisch korrigieren. Damit wird die methodische Vorgehensweise eines geübten Anwenders bei der manuellen Konvertierung /6/ nachgebildet. Zusätzliche kundenspezifische Funktionen erlauben außerdem die Anpassung der Modellstruktur im Zielsystem NX, zum Beispiel Layer-Belegung, Umbenennungen und Textformatierungen.

Für die Konvertierung der Zeichnungsbestände der MTU Aero Engines wurde die Vielfalt der Entities, die das neutrale IGES-Format bietet, vollständig ausgeschöpft. Mit Hilfe der nativen Adapter und des IGES-Adapters konnten – mit nur wenigen Ausnahmen – alle benut-

vertierung über die Standard-STEP-Schnittstelle oder gängige Direktkonverter treten deswegen erhebliche Datenverluste auf oder führen sogar zum Abbruch, weil solche Entities – streng genommen – nicht gültig sind.

Daher müssten solche Modelle während der Konvertierung entsprechend angepasst (geheilt) werden, wofür auch geeignete Algorithmen entwickelt wurden (Bild 3). Der Nutzen solcher Algorithmen wird immer dann kontrovers diskutiert, wenn dabei die Originalgeometrie (das CA-Original) verändert werden muss. Letztendlich stellte sich jedoch heraus, dass bei Modellen mit größeren Toleranzabweichungen eine andere Anpassung

sinnvoll ist. Denn in UGS NX – wie auch in anderen CAD-Systemen – ist eine interaktive Funktionalität, das so genannte »Tolerant Modelling«, verfügbar, die eine lokale und temporäre Toleranzhöhung für bestimmte Operationen mit Freiformflächen ermöglicht. Von der Verstellung der Systemgenauigkeit wird grundsätzlich abgesehen, weil die Toleranzhöhen grundsätzlich mit einer Verschlechterung der Datenqualität einher gehen. In unserem Falle bot sich die Implementierung einer solchen Funktion für die STEP-Konvertierung aus prag-

matik OpenDXM verwendet, die neben dem Workflow-Management auch erweiterte Funktionen wie die Lastverteilung und Parallelisierung der Prozesse in einem Rechner-Cluster, die Anbindung an ein PDM-System sowie Auswertungen und Statistik bietet. Dadurch konnte eine Konvertierungspipeline realisiert werden, mit der die Kriterien »hohe Übertragungsqualität«, »Robustheit« und »großer Durchsatz« im hohen Maße erfüllt wurden (Bild 4). Zudem ist die Pipeline insofern skalierbar, als mehrere Ein- und Mehrprozessorenrechner parallel betrie-

nach dem Ampelprinzip durchzuführen. Auf diese Weise wurde das Monitoring wesentlich vereinfacht und die Störungsbehebung beschleunigt. Zudem bekam die Projektleitung die Möglichkeit, jederzeit auch einen zeitnahen Fortschrittsbericht abrufen zu können.

Wichtige Kriterien waren das Datenvolumen, die Datenqualität und die Zeitdauer

Die Planung und Durchführung von CAD-Konvertierungen ist seit geraumer Zeit Gegenstand intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten [7], die auch die organisatorischen Belange einer Konvertierung betreffen. Bei der MTU Aero Engines wurde für das Projekt »Ab-löse CATIA V4« ein Team mit Spezialisten aus den Bereichen IT-Infrastruktur, CAD, PDM und Konvertierung gebildet, um die Massenkonzertierung umzusetzen. Zusätzlich wurden externe Experten für spezielle Fragestellungen zu Rate gezogen. Bei allen Planungen blieb eine Restunsicherheit, denn die Konvertierung bei der MTU Aero Engines übertraf ähnliche, öffentlich bekannte Projekte in vielen Merkmalen deutlich, unter anderem im Datenvolumen, in der Datenqualität, dem Nachbereitungsaufwand sowie der Zeitdauer. Auch wenn die Tests die hoch gesteckten Erwartungen erfüllen konnten, galt die größte Sorge zu diesem Zeitpunkt den Daten, die nach der Konvertierung manuell zu korrigieren sein würden. In diesem nicht zu beziffernden Nacharbeitsaufwand bestand das höchste wirtschaftliche Risiko des Projektes.

Auch der Hardware-Bedarf verdient in diesem Zusammenhang das Prädikat »einmalig«. Da Vergleichswerte für Durchlaufzeiten fehlten, erfolgte eine Hochrechnung basierend auf den Erfahrungswerten aus dem Pilotbetrieb. Schließlich wurde eine eigene, skalierbare, von den übrigen Anwendungen getrennte Rechnerumgebung mit bis zu 15 physischen (UGS NX Workstations) und virtuellen Maschinen (OpenDXM- und CATIA V4-Hardware) aufgebaut,

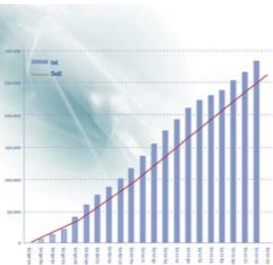


Bild 5: In der Massenkonzertierungsphase wurden durchschnittlich 2.000 CAD-Modelle pro Tag konvertiert (Bild: MTU Aero Engines).

matischen Überlegungen an. Damit konnte nämlich sichergestellt werden, dass die entsprechenden Altdaten weitestgehend im »Originalzustand« konvertierbar waren. Die Objekte mit »grober Toleranz« wurden farblich markiert, um sie bei einer späteren Verwendung beziehungsweise Änderung des konvertierten 3D-Modells sofort identifizieren zu können. Dadurch war die Gefahr einer nicht beachteten automatischen Änderung filigraner Geometrie, zum Beispiel von Turbinenschaufeln, gebannt.

Um die beschriebene, aus mehreren Komponenten bestehende Konvertierungskette steuern zu können, wurde die PROSTEP-Lö-

sen werden können. Diese Flexibilität schien unerlässlich, weil die Laufzeiten im Einzelnen und die Projektdauer insgesamt nur sehr schwer vorausbestimmbar waren. Daher wurde beschlossen, den Durchsatz bei Bedarf durch Zuschalten zusätzlicher Rechner zu erhöhen.

Auch dem Prozessmonitoring wurde hohe Aufmerksamkeit gewidmet. Folglich lieferten sämtliche beteiligte Komponenten umfangreiche Logfiles, die bei dieser Datenmenge nicht ohne Weiteres interaktiv ausgewertet werden konnten. Daher wurde die Konvertierungspipeline um eine weitere Komponente, den Logfile-Scanner, erweitert, um eine automatische Auswertung

die sowohl der Last als auch dem erwarteten Durchsatz gerecht wurde (Bild 4). Nachdem alle Vorbereitungs- und Implementierungsarbeiten abgeschlossen waren, konnte die Massenkonzertierung im Sommer 2005 gestartet werden. Hieraus ist der längste Batch-Lauf der Geschichte von MTU Aero Engines geworden, denn die bis zu 15 parallele Konvertierungsaufträge liefen über 142 Tage.

Der Durchsatz pendelte sich auf etwa 2.000 Modelle pro Tag ein und erreichte einen Spitzenwert von rund 3.600 Modellen pro Tag (Bild 5). Die automatische Auswertung aller Zwischen- und Endergebnisse der Konvertierung für jedes CAD-Modell durch die von PROSTEP bereitgestellten Werkzeuge einschließlich der Fehlerkategorisierung durch den Logfile-Scanner hat sich hierbei sehr bewährt.

Jedem konvertierten CAD-Modell wurde im PDM-System das individuelle Konvertierungsprotokoll beigelegt. Sicherheitshalber wurden im PDM-System auch noch die Original-Modelle mit aufgehoben. Damit konnte eine lückenlose Rückverfolgbarkeit der Konvertierung sichergestellt werden.

Die Fehlerkategorisierung erfolgte nach dem »Ampelprinzip«:

- Status »grün«: erfolgreiche Konvertierung, keine Nacharbeit erforderlich.
- Status »gelb«: (zum Beispiel Meldung aus CATIA »CATCLN Kategorie 2«) bei Verwendung des konvertierten Modells im NX ist mit eingeschränkter Modellqualität zu rechnen, die bei Bedarf zu bereinigen ist.
- Status »rot«: (zum Beispiel Meldung aus NX »Body Validation Fault«) vor Weiterverwendung des konvertierten Modells im NX ist eine Modellbereinigung durchzuführen.

Die Ausfallquote, also Konvertierungsversuche, die in einem Konvertierungsabbruch endeten und damit keinerlei Konvertierungsergebnis lieferten, lag unter 1,5 Prozent und damit unter den Ver-

gleichswerten aus anderen bekannten Konvertierungsprojekten. Bei diesen Modellen mussten entweder die Originalgeometrie manuell bereinigt oder gegebenenfalls Systemfehler beseitigt werden, bevor die Modelle erneut einem Konvertierungslauf zugeführt wurden.

Konvertierungsergebnisse waren aufzuarbeiten

Nach Abschluss der Massenkonzertierung am Anfang des Jahres 2006 galt es, die Konvertierungsergebnisse aufzuarbeiten. Die Anwender wurden aufgefordert, die mit Status »rot« gekennzeichneten Konvertierungsergebnisse zu be-

haftete CATIA-Modelle und um Modelle mit MTU-Aero-Engines-spezifischen »application data«.

Außerdem wurde dem Wunsch der Anwender entsprochen, die Abbildung von »NO-SHOW/NO-PICK«-Daten und Layer-Filtern aus CATIA im NX anders als ursprünglich geplant durchzuführen. Die hierfür notwendigen Werkzeuge hat die MTU Aero Engines selbst erstellt, wobei die PROSTEP AG die erforderlichen Anpassungen an der Konvertierungspipeline übernahm. Mit diesen Aktivitäten konnten die restlichen CATIA-Modelle bis Ende des Jahres 2006 konvertiert werden. Am 31.12.2006 wurde CATIA V4 abgeschaltet. Das Pro-

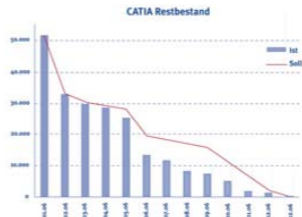


Bild 6: Die Konvertierungskonsolidierung führte dazu, dass CATIA V4 zum Jahreswechsel 2006/2007 abgeschaltet werden konnte (Bild: MTU Aero Engines).

werten und festzulegen, wie sie bis Ende des Jahres 2006 mit diesen umgehen wollten, wobei die Alternativen Löschen oder Bereinigen zur Verfügung standen. Durch ein entsprechendes Management-Commitment wurde das Ziel erreicht, so dass es bei der MTU Aero Engines seither keine mit dem Status »rot« markierten konvertierten NX-Modelle mehr gibt.

2006 war auch das Jahr, in dem bei der MTU Aero Engines spezielle CATIA-Modelle außerhalb der Massenkonzertierung aufbereitet und nach NX konvertiert wurden (Bild 6). Es handelte sich dabei im wesentlichen um NCMill-datenbe-

jekt bei der MTU Aero Engines dauerte insgesamt drei Jahre.

Das Projektziel, die Konvertierung des gesamten CAD-Datenbestandes von CATIA V4 nach NX2 in ausreichender Qualität, wurde vollständig erreicht. Die festgestellten Konvertierungskosten von etwa 4 Euro pro CAD-Modell lagen unter allen anderen vor Projektbeginn evaluierten Vorgehensalternativen und rechtfertigten damit sowohl das pragmatische Konzept der MTU Aero Engines als auch seine Umsetzung. Δ