



Abschlussbericht

Gemäß NKBF 98/8.1

Thema:

INNOREGIO MAHREG – MECHANISCHE KOMPLETTBEARBEITUNG UND MONTAGE VON MOTORENKOMPONENTEN

Förderkennzeichen: 03i1215

Zuwendungsempfänger:

ProfilSchleif-, Fertigungs- & Umwelttechnik GmbH

Zeitraum: 01.01.2002 bis 31.12.2004

Projektleiter: Dipl. –Ing. (FH) Andreas Schubert

Berichtersteller: Dipl. –Ing. Günther Karle

Inhaltsverzeichnis

1	Vorhabensbeschreibung.....	3
1.1	Aufgabenstellung und Vorsetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	3
1.2	Planung und Ablauf des Projektes.....	6
1.3	Stand der Wissenschaft und Technik.....	8
1.4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	10
2	Ergebnisse des Vorhabens	11
2.1	Schleifen von Nockenwellen mit konkaver Nockengeometrie.....	11
2.2	Bearbeitungssimulation im Maschinenraum einer 5-Achs-Fräsmaschine.....	15
2.3	APS-Advanced Planning and Scheduling.....	32
2.4	„Inline“ Qualitätskontrolle mittels optischer Methodik.....	37
3	Zielerreichung und Verwertung der Projektergebnisse bei der PSFU GmbH	45
3.1	Erreichung der Gesamtzielsetzung.....	45
3.2	Technologische und personelle Effekte der Projektarbeit.....	46
3.3	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	46

1 Vorhabensbeschreibung

1.1 Aufgabenstellung und Vorsetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.

Das gesamte Vorhaben ist eingebettet in das Gesamtkonzept Mahreg Automotive, die einen **Verbund gewerblicher Wirtschaft-Wissenschaft und Finanzwirtschaft der Region Magdeburg - Anhalt – Harz** darstellt und das Ziel verfolgt die regional ansässigen Unternehmen zu einem Entwicklungspartner der Automobilhersteller und Zulieferindustrie heranzubilden. Dazu sind inhaltlich folgende Grundlagen zu schaffen.

- Kooperationen für hohe Komplexität der Zulieferung
- Gesamtfahrzeugkompetenz
- F/E Dienstleistungen -Berechnung-Konstruktion-Simulation-Visualisierung-Prototyping-Testing
- Innovationskultur über moderne Information und Kommunikation
- Ausbildung und Qualifizierung von technisch-wissenschaftlichem Nachwuchs
- Sicherung hoher Qualitätsstandards

Die Sicherung dieser Zielstellung für die Region ist durch vielfältige Maßnahmen und Einzelprojekte untersetzt. Für die PSFU GmbH, als ein Unternehmen der Metallverarbeitenden Industrie war die Mitarbeit am Leitprojekt "**Komplett bearbeiteter und montierter Zylinderkopf, einschließlich Zylinderkurbelgehäuse**" von großer Bedeutung.

Die PSFU GmbH bearbeitete innerhalb des Leitprojektes das Thema

„ Mechanische Komplettbearbeitung und Montage von Motorenkomponenten“

Die Teilnahme an dem sehr anspruchsvollen Projekt stellte für unser Unternehmen einen weiteren Schritt zur Sicherung einer zukunftsorientierten und stabilen Geschäftstätigkeit dar. Es gilt nicht nur die Geschäftserfolge der Vergangenheit zu sichern, sondern vielmehr durch innovative Strukturen, Fertigungsverfahren und Ein-

satz modernster virtueller Produktionsablaufplanungs- und Fertigungssimulationssoftware ein Potenzial gerade für die Automobilbranche zu entwickeln und zu dokumentieren, die unserer Unternehmen zunehmend für Kunden auch überregional interessant macht. Der zunehmende Trend, auch und gerade in der Automobilindustrie, zur Verlagerung der Produktion von kompletten Aggregaten und Baugruppen in andere Unternehmen setzt neue Anforderungen für zukünftige Fertigungs- und Planungsabläufe.

Generell bedeutet dies, nicht nur durch die Nutzung modernster Fertigungstechnik sowie motiviertem und qualifiziertem Personal das Unternehmen zu sichern, sondern durch die Einbeziehung des eigenen Unternehmens in regionale Gesamtkonzepte, auf der Basis entsprechender Vernetzungen, die Reaktionszeiten zwischen Angebotsanfrage und der Fertigung z.B. eines Prototyps zu senken um damit auch den Ansprüchen eines Zulieferers für die Automobilindustrie gerecht zu werden. Die Entwicklung einer virtuell geplanten, ablaufgesteuerten und mechanischen Bearbeitung Bauteilen, wie z.B. von Zylinderköpfen und Nockenwellen mittels netzgesteuerter 5-Achs-Profil-Schleiftechnik und 5-Achs-Fräs-Bearbeitung bildet dabei einen entscheidenden Schritt in diese Richtung. Auf dieser Basis werden optimale Bedingungen geschaffen, die nicht nur kurze Reaktionszeiten ermöglichen sondern auch ein enormes Einsparungspotential an Material sowie Forschungs- und Entwicklungszeit bedeuten. Dieses Projekt hatte als Zielstellung nicht nur optimale Bedingungen für die Fertigung haben, sondern soll eine Montage von zugelieferten Komponenten zu einbaufertigen, geprüften Modulen auf qualitätsüberwachten, robotergestützten Montageplätzen mit Einrichtung über virtuelle Modelle ermöglichen. Dabei soll die Qualitätssicherung als TQM mit flexibler Laser- und CCD- Technik garantiert werden. Der Bau einer Testmontagestrecke soll innerhalb des Projektes die entsprechenden Daten der virtuellen Simulationen bestätigen.

Die Verwertbarkeit des Projektes und der Ergebnisse lässt wie folgt darlegen.

Durch die Möglichkeit der Kommunikation zwischen Firmen und Einrichtungen mit Basis CAD- Daten, der virtuellen Fertigungssimulation und Planungssimulation und –optimierung bestimmter Prozesse ist für die Lösung von Problemen z.B. bei der Prototypenentwicklung oder der Anpassung von Fertigungs- und Montageprozessen an Detailveränderungen der Konstruktion kurzfristig eine Reaktion durch die entspre-

chenden Firmen und Einrichtungen, die an der Fertigung beteiligt sind, zu organisieren.

Angestrebte Effekte:

- Durch die Bereitstellung von auftragsbezogenen CAD- Daten der zu bearbeitenden Teile können kurzfristig Aussagen über die generelle Möglichkeit zur Bearbeitung auf den zur Verfügung stehenden Werkzeugmaschinen getroffen werden – Machbarkeitsanalyse mittels Simulation
- Die virtuelle Bearbeitungssimulation im Maschinenraum der Teile und der durchzuführenden Bearbeitungsschritte ermöglichen schon im Angebotsstadium sichere Aussagen über Fertigungsabläufe, Fertigungszeiten sowie einzusetzende Werkzeugmaschinen und den damit verbundenen Fertigungskosten – sichere Kalkulation ohne Belegung von Maschinenkapazitäten.
- Die Integration von CCD- oder Lasermesstechnik in die laufende Fertigung, ohne diese zu unterbrechen, soll hohe Genauigkeiten und geringe Ausschussquoten garantieren.
- Komplexe Steuerung des Prozesses der spanenden Bearbeitung und der anschließenden Produktions- und Montageplanung durch Einsatz einer innovativen Planungssoftware – **A**dvanced **P**lanning and **S**cheduling (APS)
- Komplexe Kommunikation mit Lieferanten und Kunden zur sofortigen Einarbeitung von technischen Veränderungen in den laufenden Fertigungs- bzw. Montageprozess.
- Sicherung bestehender und Entwicklung neuer Firmenbeziehungen durch kurze Reaktionszeiten und zuverlässige Fertigungs- und Montageprozesse
- Schaffung von Grundlagen zur Qualifizierung und Ausbildung von Fachkräften ohne Eingriffe in die laufenden Fertigungs- und Montageprozesse auf der Basis virtueller Schulungsmöglichkeiten
- Ausbau der personellen Struktur und Erhöhung der Firmenumsätze
- Optimierung der Qualitätsüberwachung und Qualitätssicherung durch die Anwendung der neuen Messmethoden im Fertigungsprozess
- Sammeln von Erfahrungen und Erkenntnissen für den Aufbau von Montagestrecken zur Produktion eigener marktfähiger Produkte auch für andere Zielgruppen

1.2 Planung und Ablauf des Projektes

Das Teilprojekt der PSFU GmbH umfasste 7 Arbeitspakete

Arbeitspaket 1

Inhalt: Literatur-, und Patentrecherche zu den Arbeitspaketen 3-7

Arbeitspaket 2

Inhalt: Auswertung der Recherchen und Lösungsfindung zu den Arbeitspaketen 3-7

Arbeitspaket 3

Inhalt: Entwicklung und Einsatz einer neuen, virtuell gestützten, ablauforientierten und flexiblen Technologie für das Nockenwellenschleifen gefügter Nockenwellen mit konkaven und konvexen Konturen in einer Aufspannung.

Arbeitspaket 4

Inhalt: Entwicklung und Einsatz einer neuen, virtuell gestützten, ablaufgesteuerten 5- Achs- Bearbeitungstechnologie zur Komplettbearbeitung von Zylinderköpfen.

Arbeitspaket 5

Inhalt: Entwicklung und Einsatz von Laser- und CCD- Messtechnik für das Messen in der Bearbeitungszone.

Arbeitspaket 6*

Inhalt: Entwicklung und Einsatz von flexibler Montagetechnik mittels virtueller Modelltechnik einschließlich Aufbau einer Testmontagestrecke.

Arbeitspaket 7

Inhalt: Entwicklung selbstlernender und regelnder TQM- Module für die Bearbeitungs-, Montage- und Logistikprozesse der entwickelten Verfahren.

*Im Projektverlauf wurde das Arbeitspaket 6 in Abstimmung mit dem Projektträger geändert. Der ursprüngliche Inhalt „Entwicklung und Einsatz von flexibler Montagetechnik mittels virtueller Modelltechnik einschließlich Aufbau einer Testmontagestrecke“ wurde ersetzt durch die Aufgabenstellung „Innovative Planungsmethoden für den Mittelstand → APS (Advanced Planning and Scheduling)“. In diesem Arbeitspaket wurden folgende Zielstellungen definiert.

- Erreichung hoher Termintreue
- Optimierung der Durchlaufzeiten
- Transparente Planungsergebnisse
- Optimierte Ressourcenbelegung nach betriebswirtschaftlichen Zielfunktionen
- Entwicklung eines Maßnahmenplan bei Störfällen als Rückkopplung aus dem APS

In Abbildung 1 ist Projektablauf schematisch dargestellt.

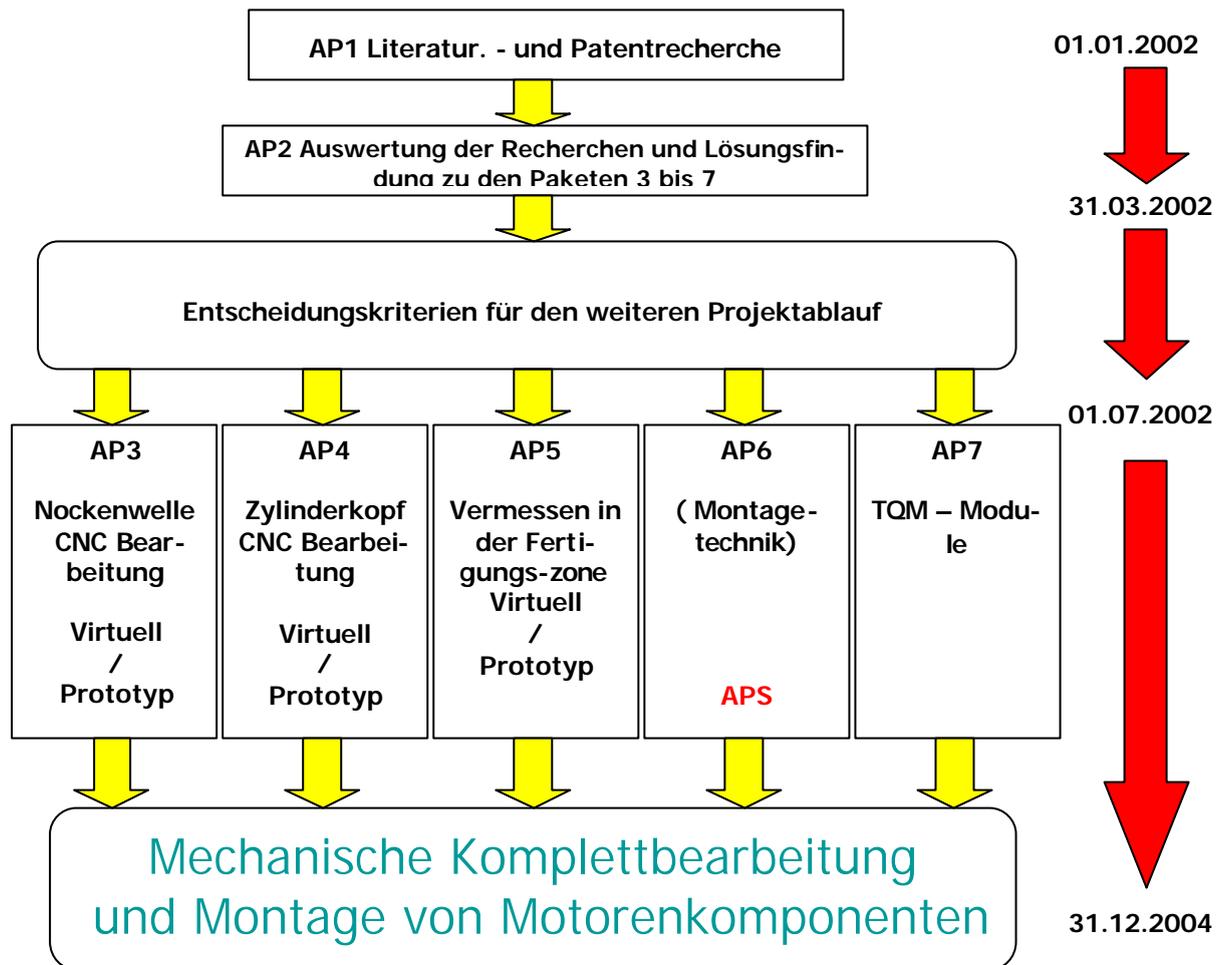


Abbildung 1: Schema Projektablauf

1.3 Stand der Wissenschaft und Technik

Im Mittelpunkt des Projektes stand die Aufgabe einen Fertigungsprozess im Maschinenraum virtuell zu simulieren und unter Berücksichtigung sämtlicher Organisationsressourcen, sowie der Schnittstellen anderer am Prozess beteiligter Organisationen im APS darzustellen und direkt in die Produktionsplanung zu integrieren und zu optimieren.

- Entwicklung und Einsatz einer neuen, virtuell gestützten, ablaufgesteuerten 5-Achs- Bearbeitungstechnologie zur spanenden Bearbeitung von Bauteilen des Automotive Sektors.
- Entwicklung und Einsatz einer neuen, virtuell gestützten, ablauforientierten und flexiblen Technologie für das Nockenwellenschleifen gefügter Nockenwellen mit konkaven und konvexen Konturen in einer Aufspannung

- Entwicklung und Einsatz von geeigneter Messtechnik für das Messen in der Bearbeitungszone.
- Einführung, Anpassung und Integration eines APS-Systems zur optimierten Prozessablaufplanung in einem KMU

Kernpunkt ist die virtuelle Simulation des gesamten Fertigungsprozesses auf der Grundlage von bereitstehenden CAD- Daten für alle Teile der Gesamtbaugruppe einschließlich der Daten der Bearbeitungszone der Maschine selbst. Dies beinhaltet natürlich auch die Daten für den Bewegungsbedarf von Werkzeugen und Werkstück, sowie der Spannvorrichtung.

Bisher sind Simulationen nur im Bereich der Produktwerbung und zur Darstellung von Einzelteilen komplexer Baugruppen bekannt.

Für die Durchführung von Qualitätssicherungsaufgaben in der Bearbeitungszone sind die Maschinen auch der neuesten Generation nicht ausgerüstet.

Der technische Stand der virtuellen Simulation beschränkt sich zum Projektstart auf die 3- D Darstellung von klar definierten Strukturen. Die Maschinenhersteller waren mit der Umsetzung der Konstruktionsdaten in 3- D- Darstellungen beschäftigt und sind so auch in der Lage entsprechend Daten, die für eine Simulation der eigentlichen Fertigungsprozesse notwendig sind, bereitzustellen. Innerhalb des Fraunhofer Instituts werden entsprechende Entwicklungen durchgeführt, die eine virtuelle Darstellung von Prozessen und Abläufen mit dem Schwerpunkt Virtuelles Training für Wartungspersonal sowie die detaillierte Darstellung von Einzelteilen innerhalb eines Baugruppe ermöglicht und so auch einzelne Montage- als auch Demontageschritte unter Beachtung von Bewegungen im Raum unter Einhaltung entsprechender Toleranzen visualisiert.

Für die Überwachung der Fertigungstoleranzen entsprechend bearbeiteter Produkte ist die Qualitätsüberwachung über installierte und vernetzte Lasertechnik speziell im Bereich der Serienproduktion bereits realisiert. Die eigentliche Überwachung der Fertigung im Wirkbereich der Werkzeugmaschine zum Beispiel zur Sicherung der Maßgenauigkeit der Bearbeitung auch bei durch Abnutzung der Werkzeuge entstehenden Abweichungen der Ausgangskordinaten ist aus den zur Verfügung stehenden Datenbanken nicht als gelöstes Problem zu entnehmen. So ist es bei komplexen Fertigungsabläufen mit nur einer Aufspannung sehr wichtig Abweichungen zu erkennen um den Wertschöpfungsprozess und damit auch die Kosten kontrollieren zu können.

Die Komplettbearbeitung von Zylinderköpfen einschließlich der Montage ist in der Praxis der Automobilindustrie im Stadium der Prototypenfertigung keine Realität und im Zusammenhang mit Visualisierung von Daten und der entsprechenden Kopplung mit permanenter Qualitätsüberwachung eine Aufgabe, die Entwicklungszeiträume und damit Kosten reduziert.

Im Bereich der Prozess- und Produktionsplanung gibt es zwar aufwändige und teure Softwarelösungen (z.B. SAP). Diese sind für KMU der Größe der PSFU GmbH nicht praktikabel. Daher wurde hier an eine günstigere Lösung angeknüpft und auf die speziellen Anforderungen der PSFU angepasst.

1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Innerhalb des Leitprojektes waren folgende Partner eingebunden:

Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung, Uni Magdeburg

Institut für Maschinenmesstechnik und Kolbenmaschinen, Uni Magdeburg
Institut für Automatisierung und Informatik GmbH, Wernigerode

Rautenbach Guss, Wernigerode

Innerhalb des Teilprojektes der PSFU GmbH fand eine Zusammenarbeit mit folgenden Industriepartnern statt:

Deckel Maho Gildemeister

CG Tech

ProALPHA Software AG

ISM

INB Vision

2 Ergebnisse des Vorhabens

2.1 Schleifen von Nockenwellen mit konkaver Nockengeometrie

Die Arbeit innerhalb des Projektes ermöglichte die Entwicklung einer einzigartigen Technologie zur Fertigung von Nockenwellen mit einer konkaven Nockengeometrie. Mittels einer eigen entwickelten Software kann schon im Vorfeld eine Machbarkeitsanalyse durchgeführt werden.

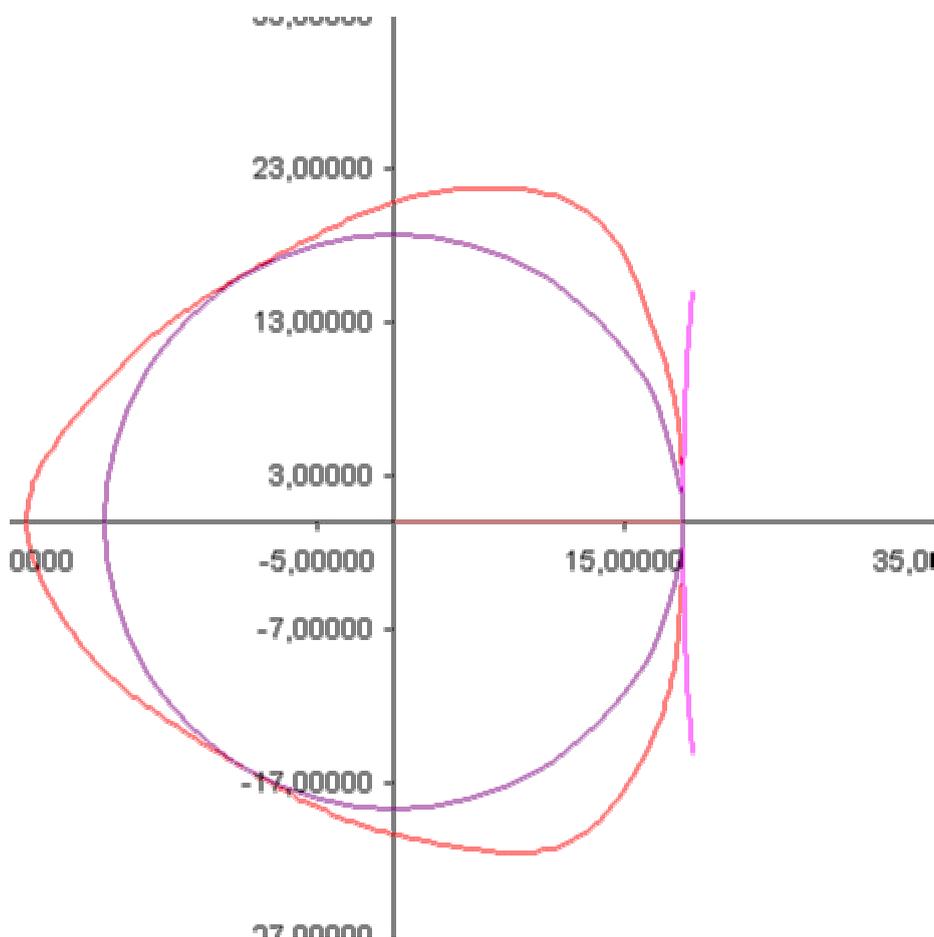


Abbildung 2: Graphische Darstellung einer erzeugten Schleifsimulation

Im Zuge dieser Berechnung und Simulation werden die Hubkurve der einzelnen Nocken, die letztendlich die Kundenanforderung darstellen, zu Grunde gelegt und der optimale Schleifscheibendurchmesser ermittelt. Optimal bedeutet bei dieser Techno-

logie den größtmöglichen Durchmesser, da der Durchmesser der Schleifscheibe maßgeblich die Bearbeitungskräfte und damit das Verschleißverhalten des Prozesses beeinflusst. Dieses Verschleißverhalten muss zur maßgenauen Fertigung entsprechend durch Abrichten und Zustellen kompensiert werden. Für das Schleifen von konventionellen Nockengeometrien werden daher Schleifscheiben mit großen Durchmessern eingesetzt. (vgl. Abbildung 3)

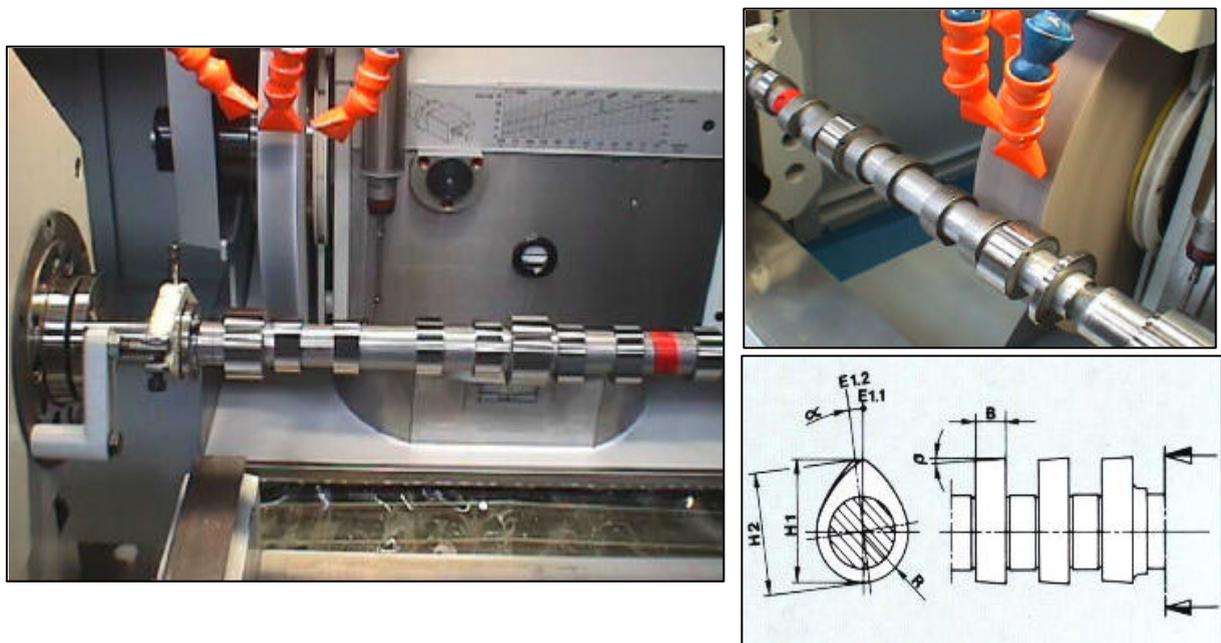


Abbildung 3: Schleifen konventioneller Nockengeometrien

Beim hier entwickelten Fertigungsverfahren, für das eine Rundschleifmaschine aufwendig umgebaut und umgerüstet wurde, werden Schleifscheiben mit einem Durchmesser bis hinunter zu 25 mm eingesetzt. Dies ermöglicht die Fertigung von vergleichsweise stark konkaven Konturen. Die geometrischen Gegebenheiten zwischen Nockenwelle und Schleifeinheit lassen keine kleineren Schleifscheibendurchmesser zu als die Höhe der am ungünstigsten stehenden Nocke der Welle, da es sonst zu einer Kollision zwischen Schleifeinrichtung und Nockenwelle kommen kann. In Abbildung 4 sind diese räumlichen Konflikte gut zu erkennen.

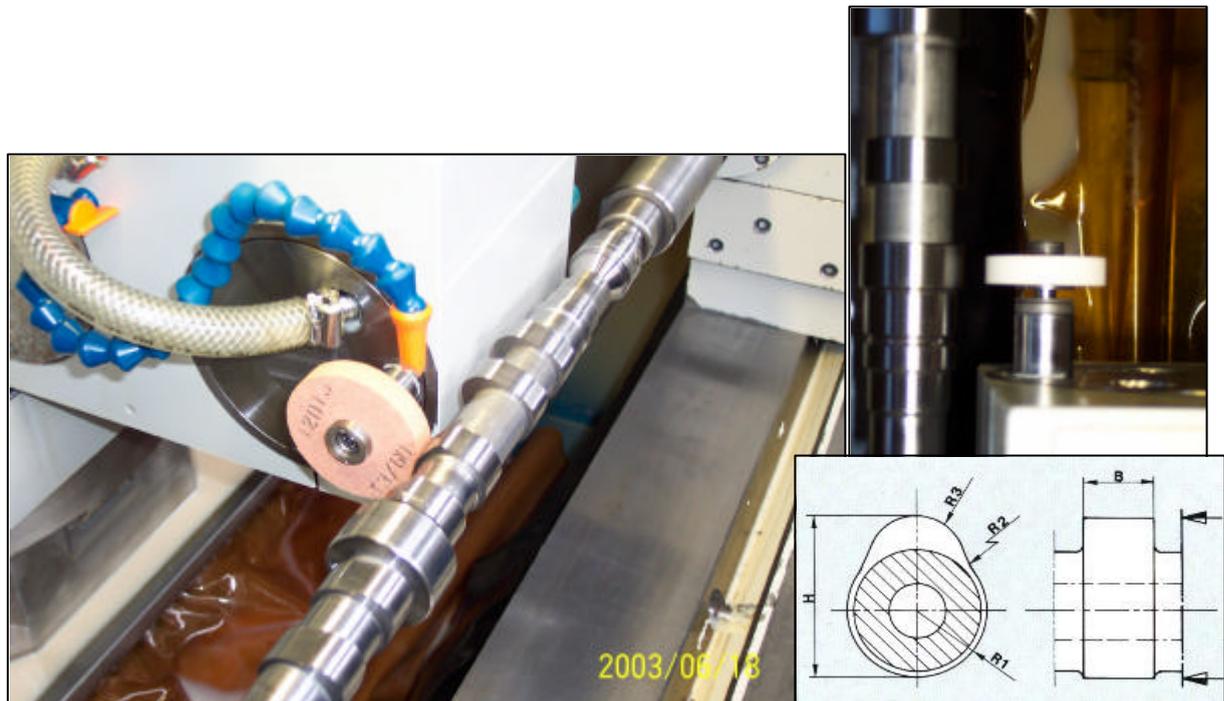


Abbildung 4: Schleifen konkaver Nockengeometrien

Die Arbeiten zur Aufgabe Nockenwellenvermessung in der Fertigungszelle mit CCD oder Lasertechnik ergaben sich folgende Ergebnisse.

Mit denen zu diesem Zeitpunkt verfügbaren CCD Kameras (Digitales Bild wird verarbeitet) konnte man Nockenkonturen nur im Schnitt vermessen. Die Vermessung erfolgt aber in diesem Fall von Oben (Ventilrichtung), deshalb wäre nur eine Vermessung nach dem Schattenwurfprinzip möglich. Da der Schatten aber nur von den höchsten Konturpunkten gebildet wird können keine konkaven Hubkurven vermessen werden.

Bei der Laservermessung gibt es 2 Verfahren zur Abstandsbestimmung.

Beim Winkelverfahren (Triangel ...) wird in einem bestimmten Winkel der Laser auf das Werkstück gerichtet. Der reflektierte Strahl wird mit einer CCD Kamera ausgewertet. Je weiter das Messobjekt entfernt ist, desto weiter bewegt sich der Laser auch auf dem CCD- Chip.

Beim Phasenmessverfahren dabei wird der Laserstrahl senkrecht auf das Messobjekt gerichtet und über die Laufzeit des Laserlichtes die Entfernung gemessen.

Beide Verfahren setzen eine matte Oberfläche für gute Messergebnisse voraus. Beim Schleifen haben wir aber eine unterschiedlich reflektierende Oberfläche, die den größten Teil des Laserstrahls undefiniert streut. Daraus folgte, dass die Anforderungen beim Nockenwellenschleifen, insbesondere die Vermessung von konkaven Oberflächen in der Bearbeitungszone mit einem optischen Messverfahren noch nicht ausreichend erfüllt werden können.

Eine Alternative bieten taktile (berührenden) Messverfahren. Sie Erlauben eine Vermessung mit Rollen oder Flachtaster so dass das Messergebnis direkt die Hubkurve ist. Dadurch ist keine weitere Umrechnung nötig was die Messsicherheit deutlich erhöht.

Technisch soll an die Schleifmaschine eine Messvorrichtung montiert werden die zur Messung automatisch einschwenken kann. Das CNC Programm welches das Messen erledigt wird dann die C-Achse immer um einen bestimmten Winkel ($0,5^\circ$) drehen und eine Messung veranlassen. Die Messwerte werden automatisch in eine Excelta-belle eingelesen und ausgewertet.

Effekt:

Durch die, innerhalb des Projektes, gemachten Entwicklungen hat die PSFU GmbH ihr Leistungsspektrum erweitert und ist derzeit einziger Anbieter dieser Technologie.

Die konkave Nockengeometrie ermöglicht kompaktere Bauformen von Nockenwellen. Für einen renommierten Automobilhersteller hat die PSFU bereits Nockenwellen-prototypen mit konkaver Nockenform gefertigt.

2.2 Bearbeitungssimulation im Maschinenraum einer 5-Achs-Fräsmaschine

Die virtuelle Bearbeitungssimulation einer 5-Achs-Fräsbearbeitung im virtuellen Maschinenraum war ein weiteres Kernelement des Projektes. Nach einem umfangreichen Vergleich der am Markt verfügbaren Softwareprodukte wurde das Simulationssoftware VERICUT von der Firma CG Tech angeschafft. In der folgenden Übersichtstabelle sind die untersuchten Produkte dargestellt.

Firma	Software
COSCOM	ProfiCAM oder ProfiSIM
CENIT	NCSIMUL
OPUS	Module zur Simulation
CGTech	Vericut
TechniSoft Rand	Goèlan V4
Open Mind	hyperMILL/hyperVIEW V5
CAMTech	SurfCAM
PTC	Pro/Engineer NC
EMCO	WinCAM

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Simulationssoftware

Im Folgenden sind kurz die Merkmale der unterschiedlichen Softwareprodukte aufgeführt.

ProfiCAM

- 3-Achsbearbeitung möglich, 5-Achsbearbeitung ist in der Entwicklung

ProfiSIM

- Simulationsmodul unter ProfiCAM auch einzeln einsetzbar
- Kinematik einer Maschinen kann selbst erstellt werden bzw. kann auch von Coscom erstellt werden
- Schnittstelle für CAD- Daten des Maschinenraumes : IGES, SAT, STL

- Quelle sind die NC- Daten vor dem PP
- Simulation kann in Echtzeit, Einzelschritt, Zeitraffer, Turbomodus durchgeführt werden
- während der Simulation Möglichkeit der Kamerafunktionen, Zoom, Drehen
- unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten Draht, Umriss ...
- Bei Kollision wird der fehlerhafte NC- Satz angezeigt
- Änderungen können sowohl in der Originaldatei als auch in einer Modify- Datei gespeichert werden

NCSIMUL

- CAD/CAM - systemneutrale Software
- Visualisierung von NC- Programmen
- Verifikation und Optimierung von NC- Programmen
- Simulation von NC- Maschinen
- Schnittstellen : IGES, DXF, STL
- Quelle ist der NC- Code nach dem PP
- Standard- Maschinen und Steuerungen sind vorhanden
- weitere Maschinenkinematiken sind definierbar
- Erkennen sämtlicher NC- Probleme
- direkter Link zw. Fehlermeldung, NC- Programmzeile und graphischen Darstellung
- NC- Optimierung anhand vorhandener Technologiedatenbank
- NC- Editor

Virtual NC

- eigenständige Simulation
- Schnittstellen: IGES, STL, DXF, DWG, STEP
- Quelle ist der NC- Code vor dem PP

- Maschinenkinematik durch konfigurierbare Steuerungsnachbildung „Mimic“ darstellbar
- automatisches Erkennen von Fehlern und Kollisionen
- bei Kollision wird Prozess gestoppt oder protokolliert
- Werkzeugbahnen werden überprüft und optimiert durch eine Datensammlung während des Maschinenprozesses
- Soll/ Ist- Vergleich
- Werkstück / Werkzeugbahn Verifikation und/ oder NC- Programmverifikation

OPUS

- Simulationsmodul aus OPUS
- Quelle ist NC- Code vor dem PP
- Schnittstellen: IGES, DXF
- Maschinen können durch OPUS oder selbst erstellt werden
- Werkzeugverwaltung
- simuliert Dreh- und Fräsbearbeitung
- bei Kollision werden die betroffenen Teile farblich gegenzeichnet
- NC- Editor
- Änderungen können in Originaldatei gespeichert werden
- Darstellung: Bahndarstellung
2½ D / 3D Werkzeug/Werkstück
3D Kollisionsbetrachtung
3D Maschinenmodell
- Auswertung Maschinenlaufzeit
- Zeitauswertung kann in Tabellenkalkulation übernommen werden

GOèlan V4.5

- Komplettes CAD/CAM
- Schnittstellen DWG, DXF, JGES, SAT, STEP
- Maschinencharakteristik und Kinematik voll definierbar
- komplexe Formen durch Volumenmodeller erstellt werden
- 2-5 Achs Fräsen
- Flächenbearbeitung
- Drehen
- Änderungen ziehen sich automatisch durch
- Maschinensimulation mit Kollisionskontrolle der Werkzeugwege, Spannmittel und des Werkstücks

SurfCAM 2002

- CAM/ Modul zur Simulation
- Schnittstelle IGES, SAT, DXF, DWG, STL
- Maschinenmodell kann von CAMTech oder selbst erstellt werden (Modul)
- Module für Drehen, Erodieren, Laserschneiden und Fräsen bis 5 Achs Simultan
- Werkzeugdatenbank in MS Access
- NC- Operationsmanager
- Konstruktion 2D/3D
- Restmaterialbearbeitung
- 2 Achs Fräsen und Drehen
- 3-5 Achs Fräsen
- 4/5 Achs Simultanbewegung

Pro/NC

- Produktionslösung von Pro/E für die NC- Bearbeitung

- schließt Werkzeugweigerung, NC- Simulation und NC- Post- Processing ein
- sämtliche Konstruktionsänderungen werden in allen nachgeordneten Programmteilen einschließlich der NC- Daten nachgeführt
- Import Data Doctor
Reparatur importierter Geometriedaten
- Expert Maschinist
3- Achs- Fräsen
Lösung für alle relevanten Vorgänge bis zur Generierung de NC- Codes
- Complete NC Maschining
3-5 Achs Fräsen(auch simultan),2 und 4 Achs Drehen
Dreh- und Fräsen als Komplettbearbeitung
- Computer Aided Verifikation
Qualitätsprüfung und -sicherung bearbeiteter Teile und Baugruppen
- Vericut für Pro/E

Vericut

- eigenständige Simulationssoftware
- Schnittstellen IGES, STL, DXF
- Quelle ist der NC- Code vor oder nach dem PP
- Modul Machine Builder ermöglicht Nachbildung jeder Maschine
- simuliert mehrachsiges Fräsen, Bohren, Drehen, Drahterodieren und die Kombination Fräs-/Drehbearbeitung
- Fehler schnell erkannt und korrigiert
- permanente Überwachung auf Konturverletzungen
- Soll/Ist- Vergleich
- Vermessen des Werkstücks möglich
- automatische Programmoptimierung mit OptiPath
hohe Geschwindigkeit und Genauigkeit bei Kollisionsbetrachtung

VERICUT ermöglichte nach intensiven Anpassungsschritten und parallelen Eigenentwicklung bestimmter Tools (z.B. Werkzeugdatenbank, Vorrichtungsdatabank, Erfassung und Integration der Maschinenraumdaten, sowie notwendige Verknüpfungen u.a.) eine Vielzahl von features und Vorteilen:

1. Bearbeitungssimulation basierend auf realem NC-Programm
2. Kollisionskontrolle durch Maschinenraumsimulation mit Werkzeug und Vorrichtung
3. Aussage über Werkzeuglaufzeiten und Zerspanvolumen
4. Optimierung der Vorrichtung (minimale Anzahl der Aufspannungen)
5. Optimierung der Fahrgeschwindigkeit – Softwaremodul „OptiPath“
6. Vergleich mit dem Sollergebnis – Softwaremodul „AutoDiff“
7. Werkzeugbedarf, Vorrichtungsdesign ermöglicht die Optimierung der Rüstzeit
8. VERICUT liefert genaue Maschinenlaufzeit
9. VERICUT liefert zuverlässige Eingangsdaten ins APS-System

zu 1. Ein entscheidender Vorteil dieses Programms ist die Problemlose Verarbeitung unterschiedlicher Dateiformate, da der „reine“ NC- Code die Simulationsgrundlage zur Weiterverarbeitung ist. Die Herkunft der Daten spielt keine Rolle.

zu 2. Durch simultane Verarbeitung von Maschinenraum-, Werkzeug- und Vorrichtungsdaten ist eine exakte Kollisionskontrolle möglich.

zu 3. Vericut arbeitet nicht mit konstanten Vorschubgeschwindigkeiten sondern mit werkzeug- und materialabhängigem Zerspanvolumen. Abhängig von der Schnitttiefe sind also, bei sonst gleichen Randbedingungen, optimale Vorschubgeschwindigkeiten das Resultat. Dies verkürzt die Bearbeitungszeit. Im folgenden Bild ist beispielhaft ein Programmblatt dargestellt aus dem man u.a. die Anzahl der Werkzeuge und deren Laufzeit entnehmen kann. Den verschiedenen Werkzeugen sind unterschiedliche Farben zugeordnet.



Abbildung 5: Programmblatt aus Vericut

- zu 4. Die Maschinenraumsimulation unter Berücksichtigung der Werkzeuge und Vorrichtungen ermöglicht dem Konstrukteur die Spannvorrichtung optimal zu konstruieren, um die Anzahl der Aufspannungen zu minimieren und Kollisionen zu vermeiden.
- zu 5. Das Modul „Optipath“ maximiert die Fahrgeschwindigkeit während der „Nichtbearbeitung“
- zu 6. Die Funktion „AutoDiff“ ermöglicht den direkten Vergleich des virtuell gefertigten Bauteils mit den Solldaten des Fertigteils. Abweichungen werden sofort

angezeigt und beispielsweise mit einem „Klick“ auf die gekennzeichnete Stelle werden die entsprechenden Zeilen im NC-Programm angezeigt

- zu 7. Die Ergebnisse der Simulation ermöglichen in Verbindung der von PSFU gefertigten Wechsellspanplatten eine Verkürzung der Rüstzeit
- zu 8. Exakte Maschinenlaufzeiten verbessern die Planungsgrundlage für die Fertigung, Kalkulation und Logistik
- zu 9. Eine moderne Planungssoftware bedient sich einer Vielzahl von Eingangsdaten. Hierfür ist VERCUT eine unverzichtbare Datenquelle.

Der wichtigste Vorteil für ein Unternehmen ist jedoch, dass all diese Erkenntnisse und Daten erlangt werden ohne kostbare, weil teure, Maschinenzeiten zu belegen. Alles erfolgt virtuell am Computer und die eigentliche Fertigung bleibt von diesen Prozessen ungestört.

Als Ergebnis konnte die weltweit erste 5-Achsbearbeitung im Maschinenraum in einer DMU 70 evo realisiert werden. Dies war nur mit einer engen und intensiven Zusammenarbeit zwischen den Mitarbeitern von CG Tech, dem Maschinenhersteller Deckel Maho Gildemeister (DMG) und den Spezialisten der PSFU möglich. Besonderer Dank sei an dieser Stelle DMG ausgesprochen die uns uneigennützig die Maschinenraumdaten zu Verfügung stellten. In den folgenden Abbildungen sind typische Darstellungen in VERICUT zu sehen. Hierbei handelt es sich um einen Hydraulikblock eines PKW. Die rot gekennzeichneten Bohrungen sind in diesem Beispielfall fehlerhaft.



Abbildung 6: 5 – Achsfräszentrum DMU 70 eVolution

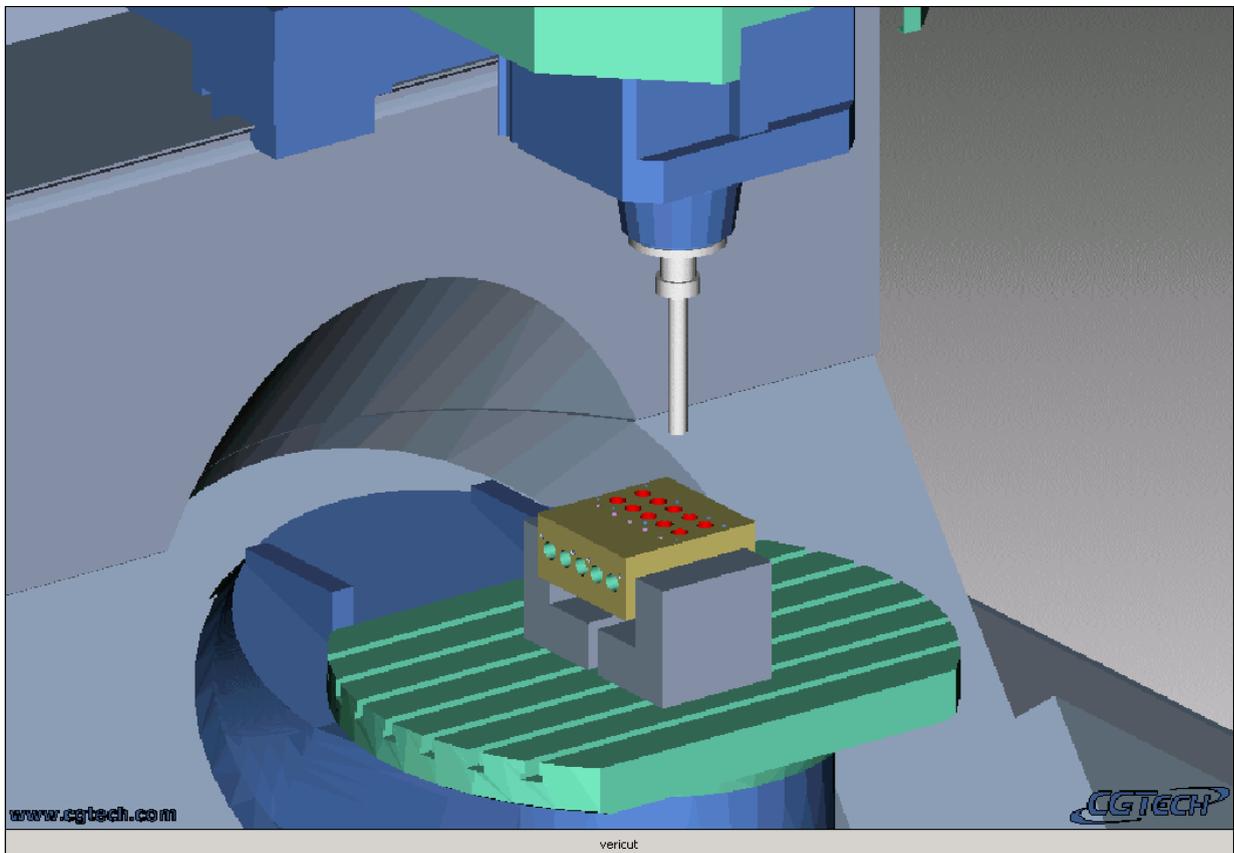


Abbildung 7: Hydraulikblock in VERCUT mit Spannvorrichtung und Werkzeug

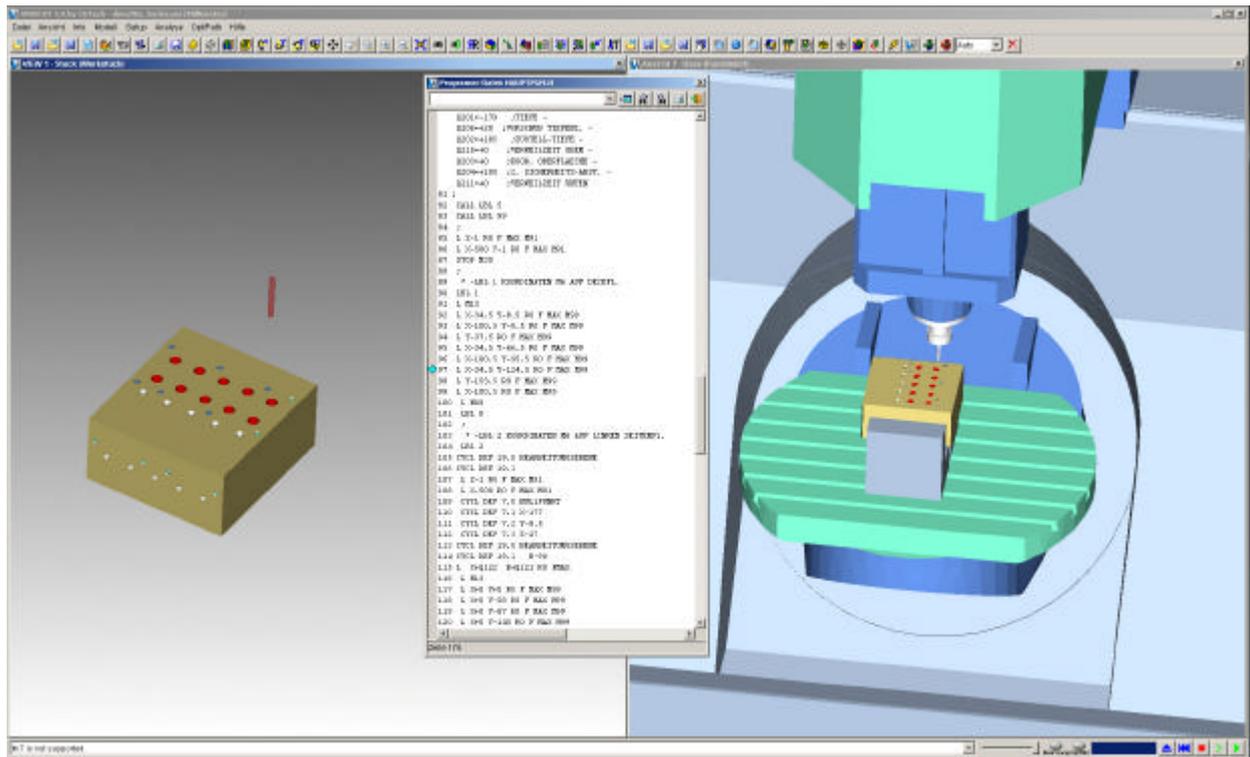


Abbildung 8: Fehleranalyse in VERICUT. Fehlerhafter Datensatz wird im NC-Programm gekennzeichnet. Das ermöglicht eine schnelle Korrektur.

Die Maschinenraumsimulation konnte im Verlaufe des Projektes an vielen realen Beispielen erprobt und getestet werden. Einige sind im folgendem vorgestellt.

MDE-Zylinderkopf

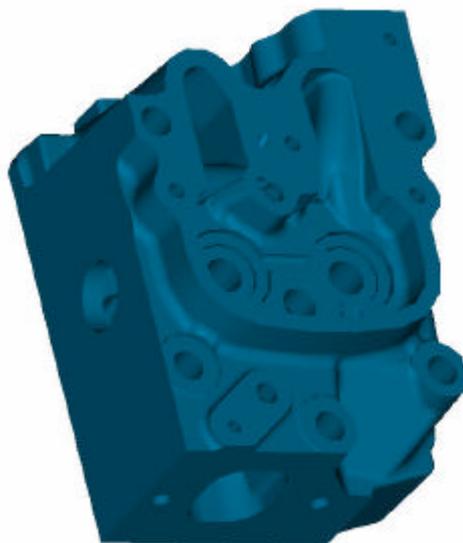


Abbildung 9: Modelldarstellung MDE-Zylinderkopf

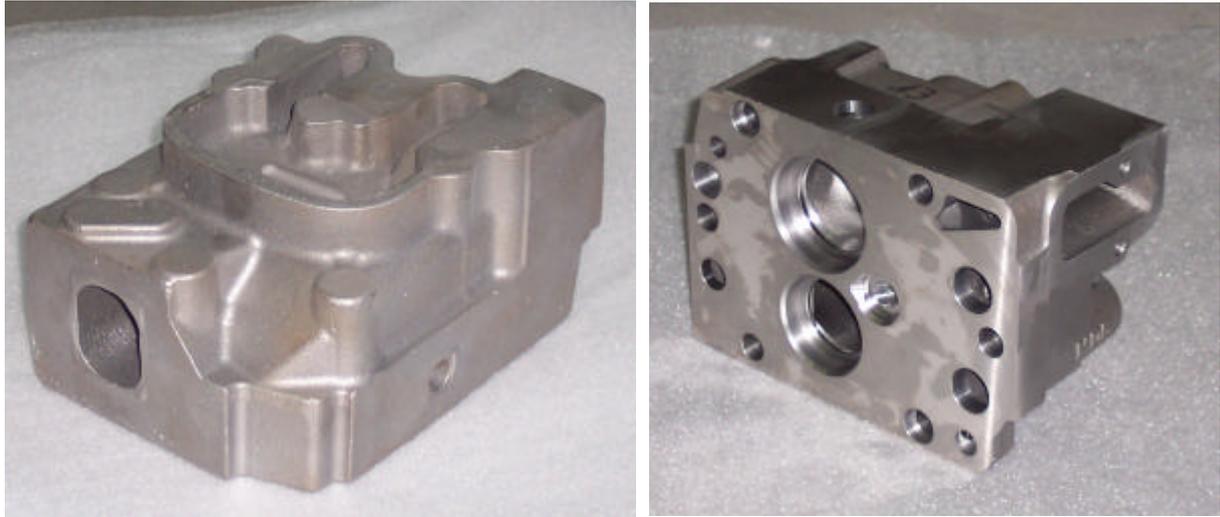


Abbildung 10: Rohteil und Fertigteil MDE-Zylinderkopf
Datengrundlage: 3D CAD-Daten des Fertigteils

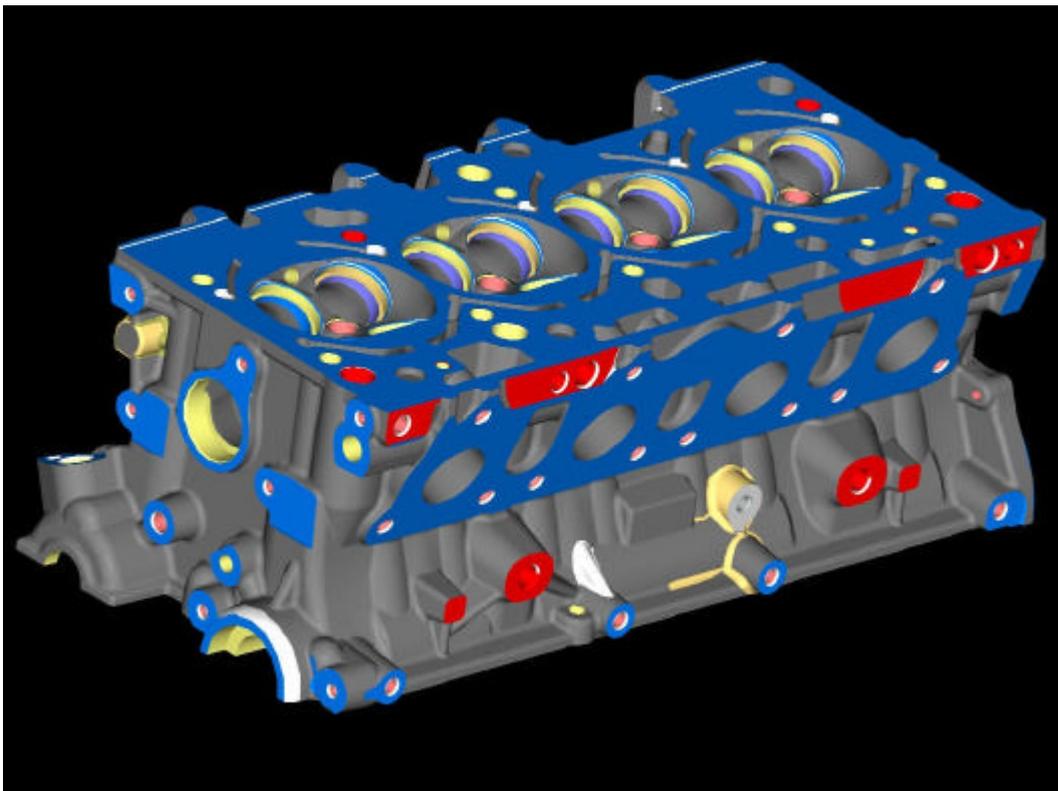


Abbildung 11: Modelldarstellung eines FSI-Zylinderkopfes

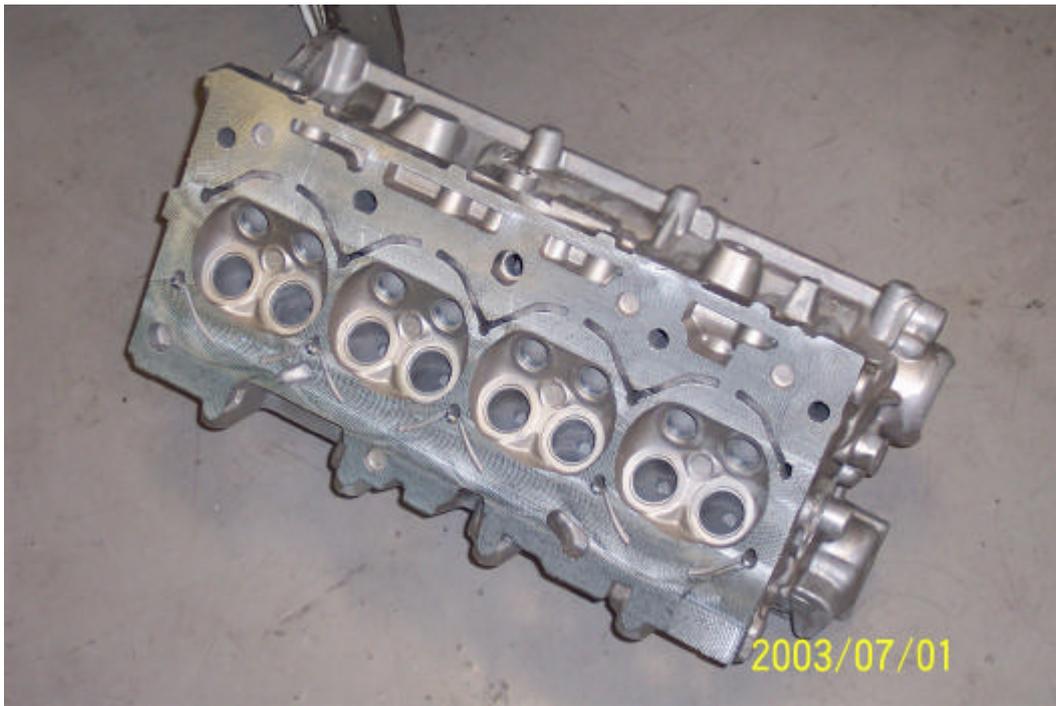


Abbildung 12: Teilbearbeiteter FSI-Zylinderkopf

Effekt:

Einsatz der Bearbeitungssimulation ermöglicht die angestrebten kurzen Reaktionszeiten auf Kundenanfragen - daraus resultierend die Fertigung eines Zylinderkopfprototypen aus Aluminium (innerhalb von 10 Tagen nach Anfrage) sowie die dazugehörige Nockenwelle und Zwischenglieder für Tyssen-Krupp-Lichtenstein.

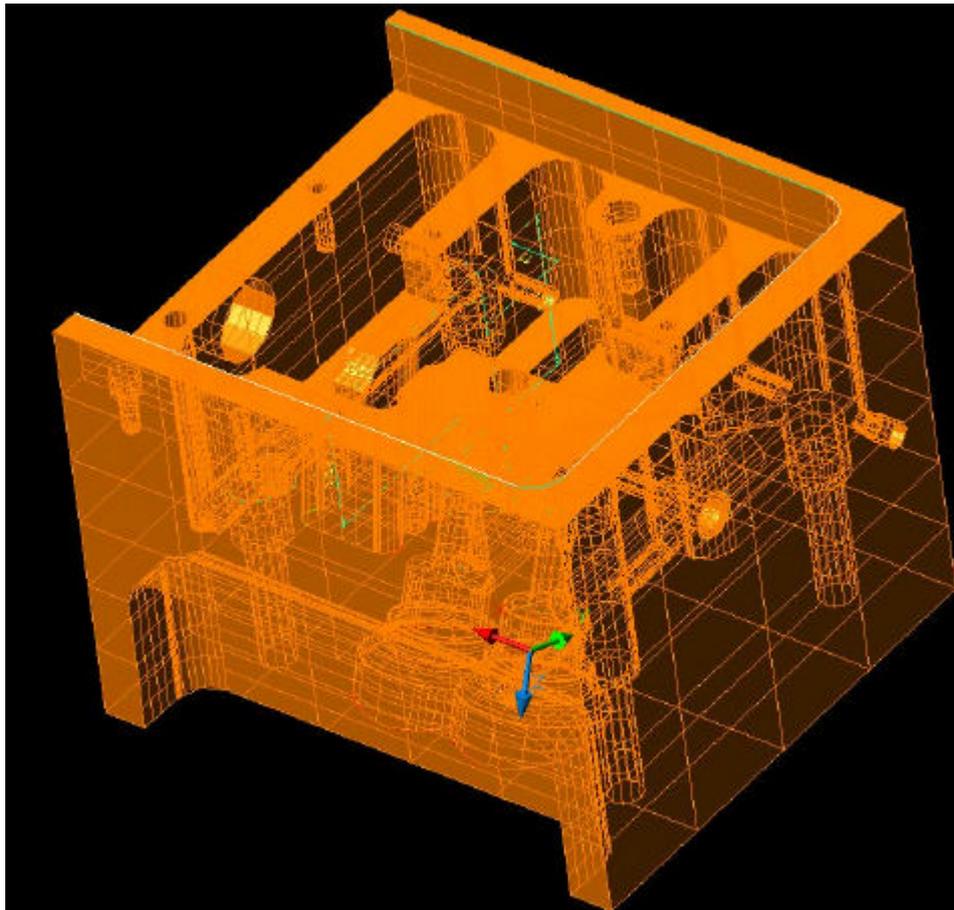


Abbildung 13: Modelldarstellung Zylinderkopfprototyp

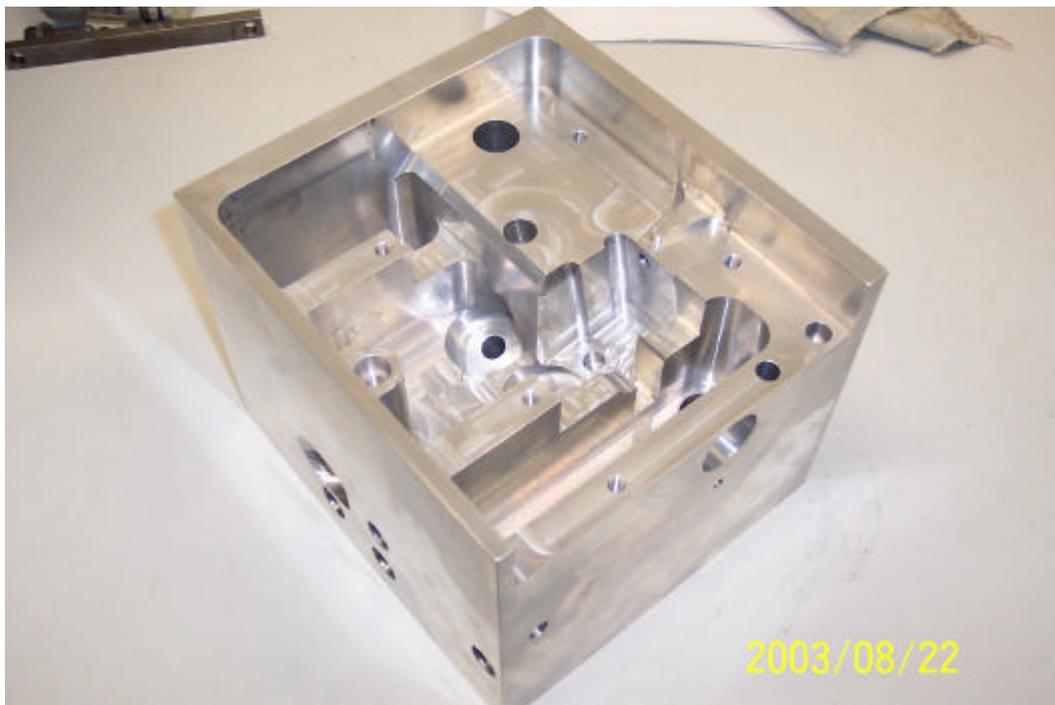


Abbildung 14: Zylinderkopfprototyp aus Aluminium gefräst

Ein weiterer erfolgreicher Einsatz der Simulation ist bei der Fertigung von Verdichterslaufrädern sog. Impellern, da bei diesem Bau die CNC-Fräsprogramme vom Kunden beigestellt werden. Hierbei handelt es sich um ein Paradebeispiel wo die Maschinenraumsimulation effektiv eingesetzt werden kann. Bislang wurden diese sehr komplexen Programme der 5-Achsbearbeitung mit Wachsmodellen direkt auf der Bearbeitungsmaschine getestet.

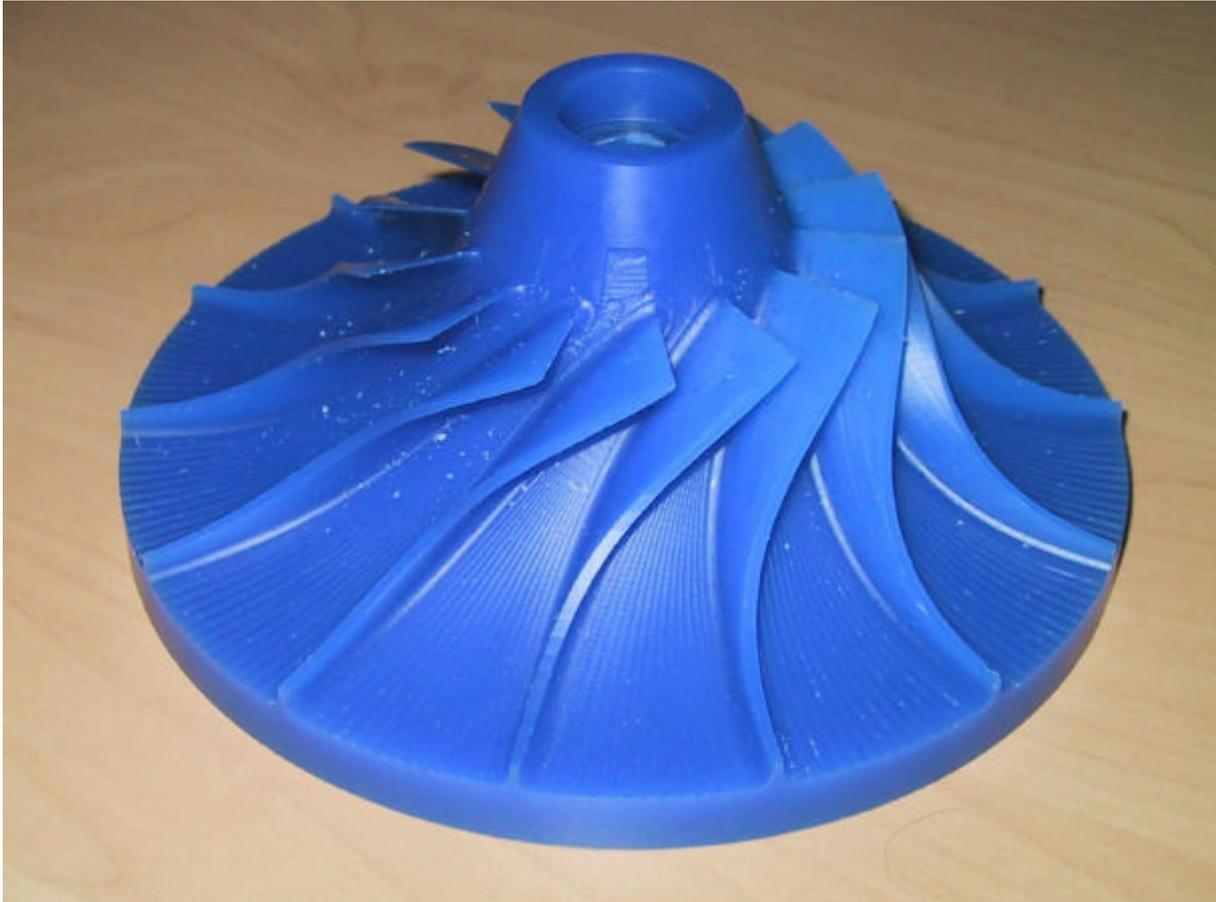


Abbildung 15: Wachsmodell Impeller

Diese Testbearbeitung dauert nicht nur sehr lange, sondern belegt auch Maschine. Ein weiterer Nachteil der bisherigen Vorgehensweise ist, dass die Ergebnisse nicht exakt übertragbar sind. Des weitern werden keine Informationen über Laufzeiten, Werkzeugbedarf, Schnittparameter etc. erlangt, da Wachs und Metall zu unterschiedliche Eigenschaften besitzen.

Dies hatte zur Folge, dass es auch bei getesteten Programmen immer wieder zu Ausschussteilen kam. Und das nach zum Teil mehrstündiger Bearbeitung.

Der Einsatz der Simulationssoftware ermöglicht nun, ohne Maschinebelegung die Bearbeitung zu simulieren und Fehler in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden via E-mail oder anderer moderner Kommunikationstechnologie sehr zeitnah zu beheben.

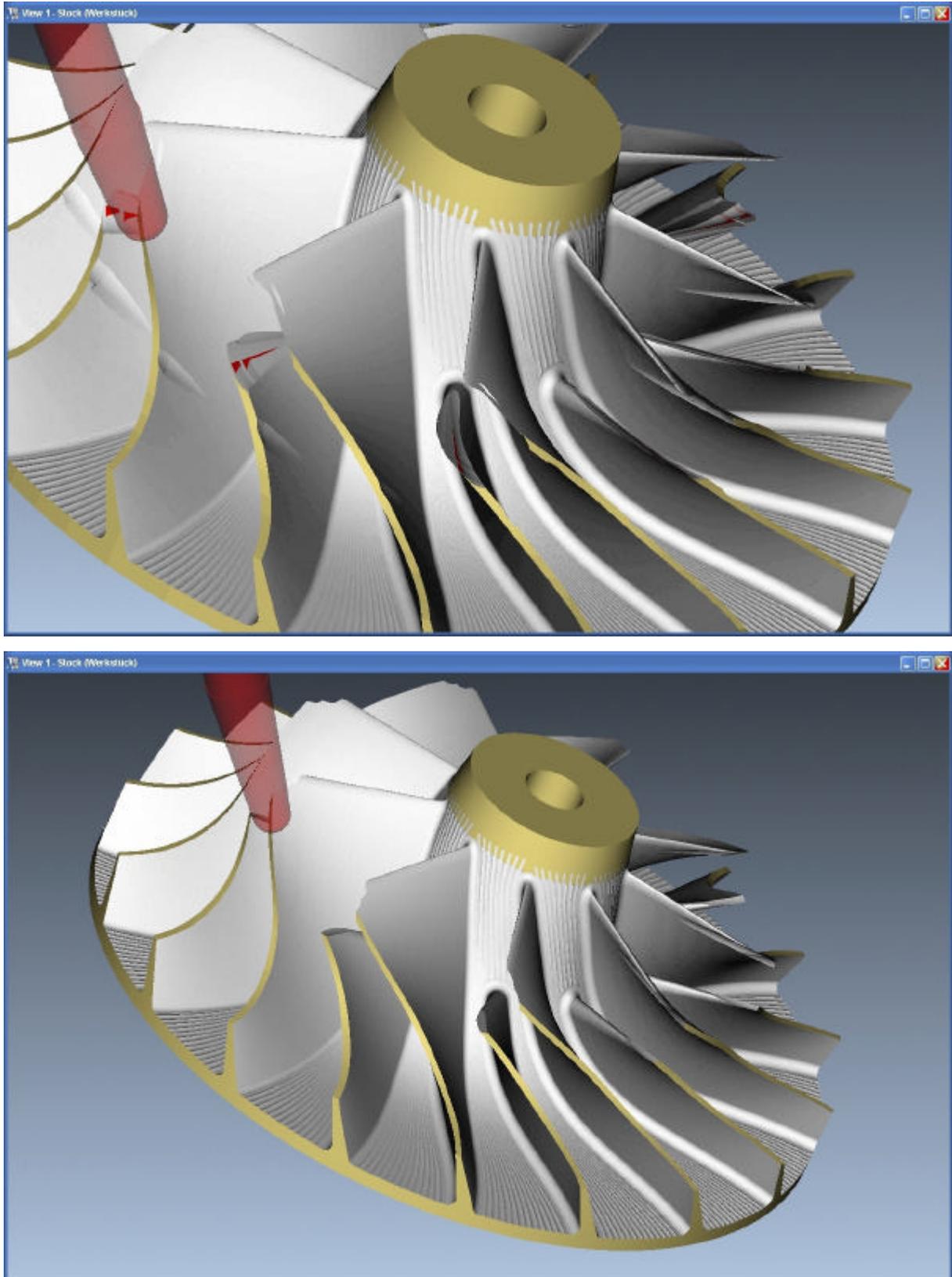


Abbildung 16: Vericut-Darstellungen Impeller mit Fehlern

Dies mündet in einer starken Zeit und Kostenersparnis und es sind entscheidende Vorteile für den Kunden und für die PSFU als Bearbeitungsbetrieb. In den folgenden Abbildungen sind Impellerimpressionen dargestellt.

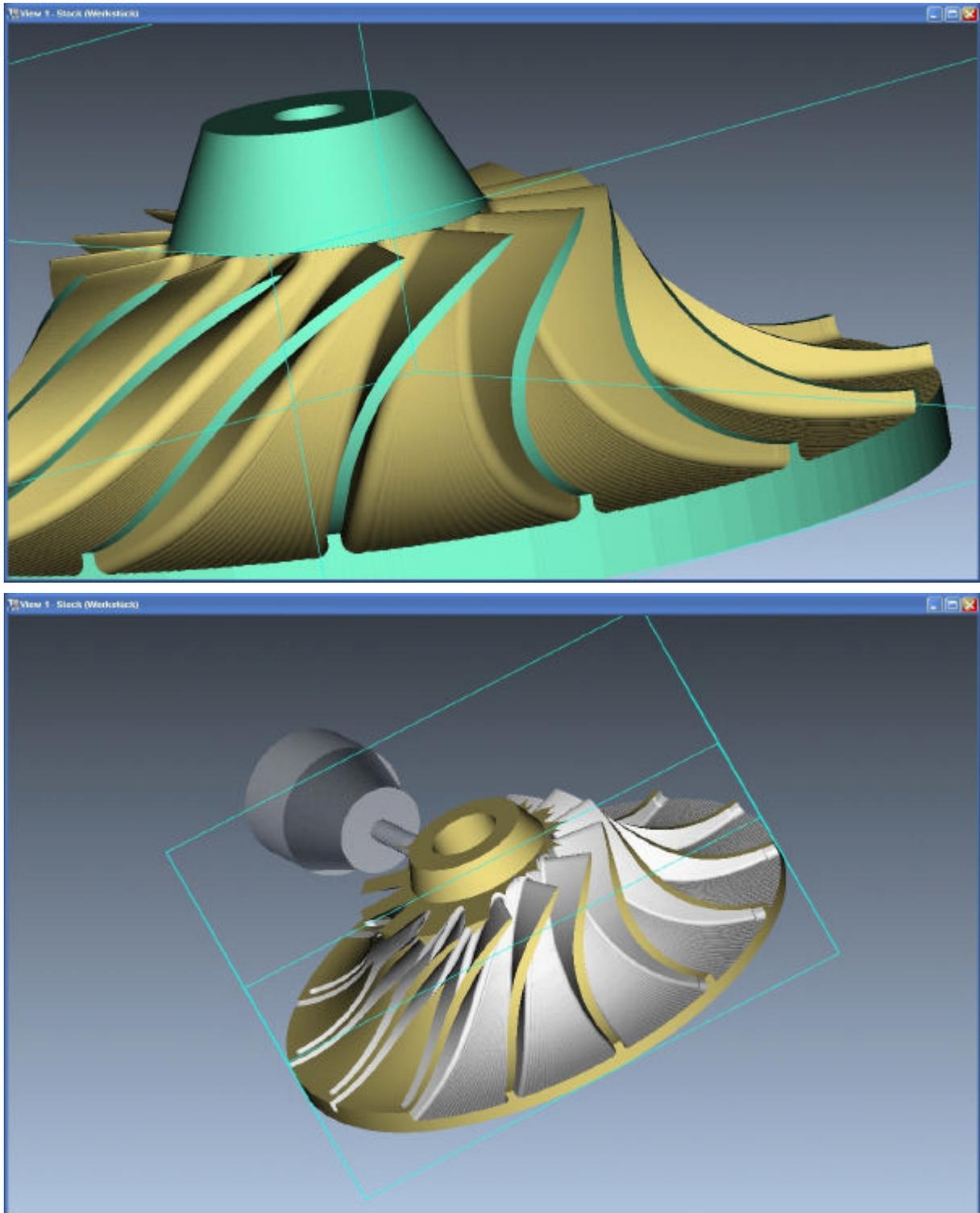


Abbildung 17: Vericut-Darstellungen Impeller

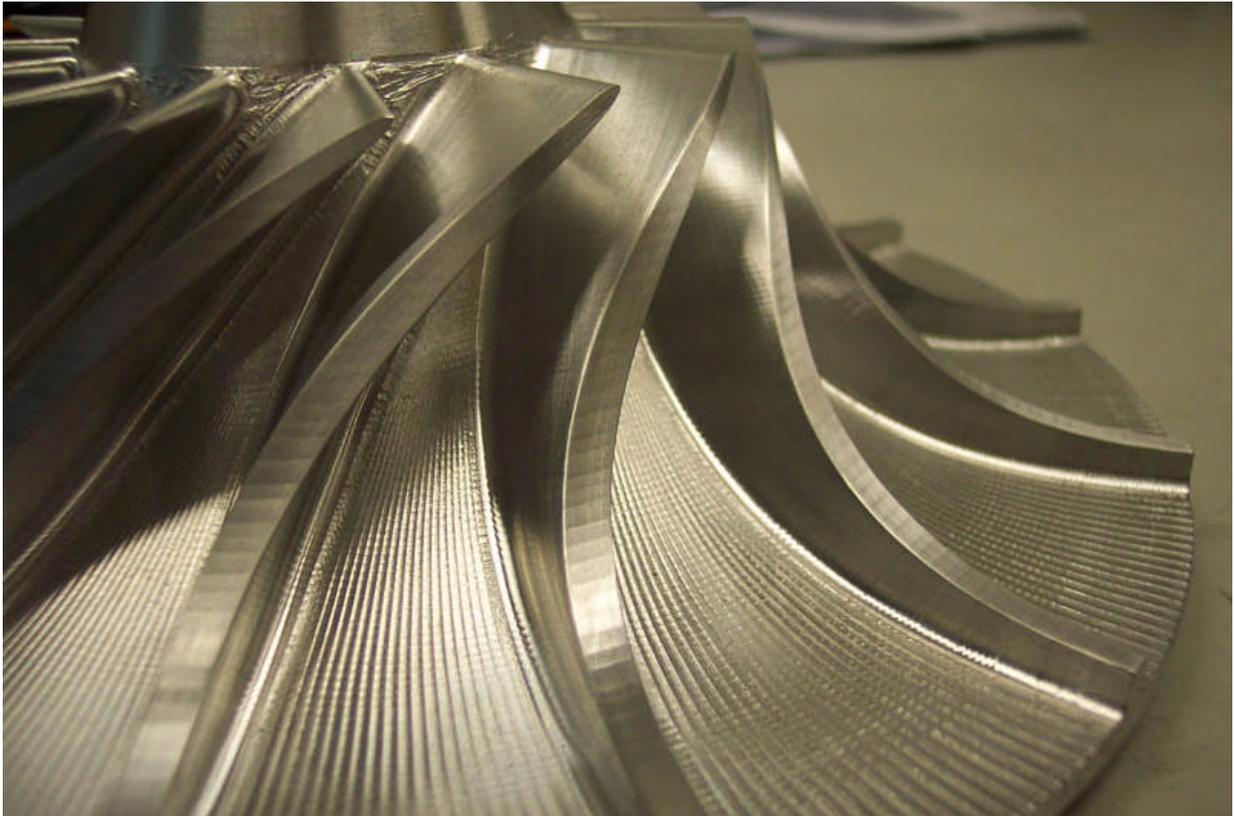


Abbildung 18: Impeller – Turbinenlaufrad aus Titan



Abbildung 19: Impeller – Turbinenlaufrad aus Aluminium

Begleitend zur Entwicklung der technischen Simulation, wurde aber auch sehr deutlich, dass der technische Aspekt nur einen Baustein am gesamten Prozess darstellt, der zu einer ganzheitlichen Markt- und Kundenbetreuung notwendig ist.

Daher hat sich die PSFU GmbH, als klassischer Vertreter eines KMU, die Aufgabe gestellt die technische Simulation in eine moderne Prozessablaufplanungssoftware (APS) zu integrieren und in einem, vergleichsweise kleinem, Unternehmen umzusetzen.

2.3 APS-Advanced Planning and Scheduling

Dazu galt es die 5-Achs-Maschinenraumsimulation über VERICUT mit dem proAlpha APS-System zu verknüpfen zu einem innovative Fertigungs- und Prozessablaufplanung zur nachhaltigen Entwicklung eines CNC- Fertigungsbetriebes zu entwickeln.

Eine moderne Organisationsplanung ist auch für mittelständische Unternehmen zukünftig notwendig um den ständig steigenden Anforderungen der Kunden gerecht werden. Das **A**dvanced **P**lanning and **S**cheduling – System (APS) der proAlpha Software AG bietet eine solche innovative Lösung. Die überwiegende Mehrheit heute verfügbarer ERP-Systeme basiert auf einer über 30 Jahre alten Planungsphilosophie – dem MRP-Ansatz. Hierbei handelt es sich um eine phasenbezogene Sukzessivplanung, bei der die klassischen Funktionen eines PPS-/ERP-Systems in ihrer festen Reihenfolge abgearbeitet werden. (vgl. Bild 20)

Multi-Ressourcen-Planungssystem

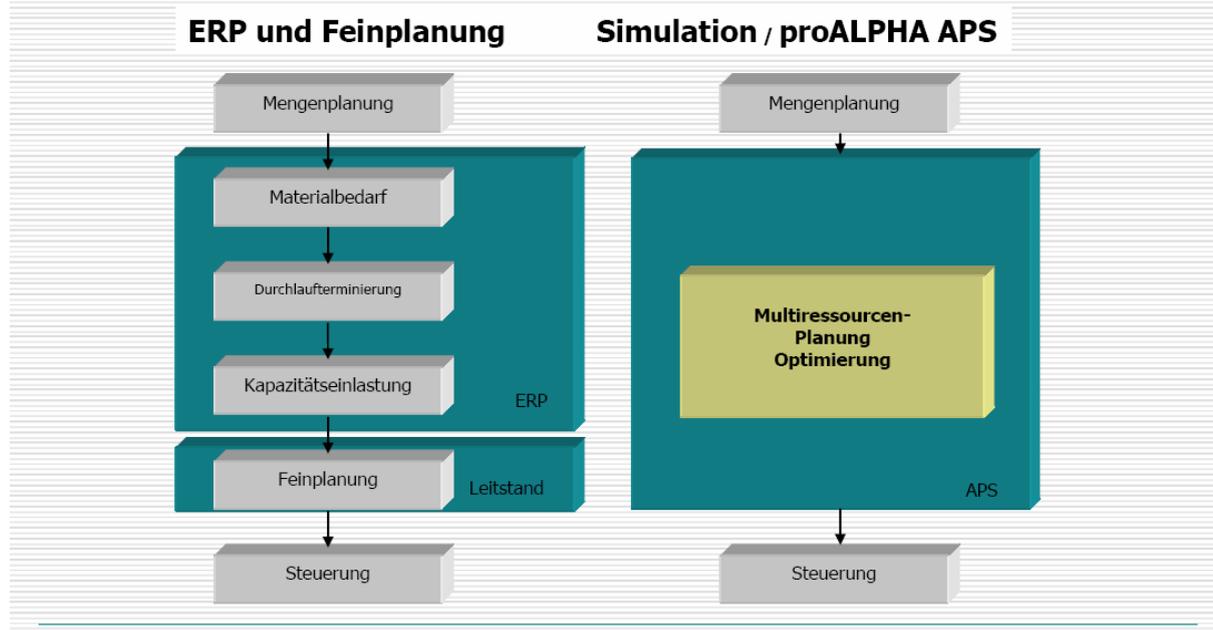


Abbildung 20: Unterschiede zwischen ERP mit MRP und Feinplanung und proALPHA APS

Mit proAlpha APS hingegen werden die Planungsschritte integriert, die Ressourcenverfügbarkeit synchronisiert und die Ressourcenbelegung nach betriebswirtschaftlichen Zielfunktionen optimiert. (vgl. Bild 20)

Die Betrachtung eines einfachen Fertigungsdurchlaufes zeigt anschaulich die Wirkungsweise des APS.

APS – Ein Beispiel

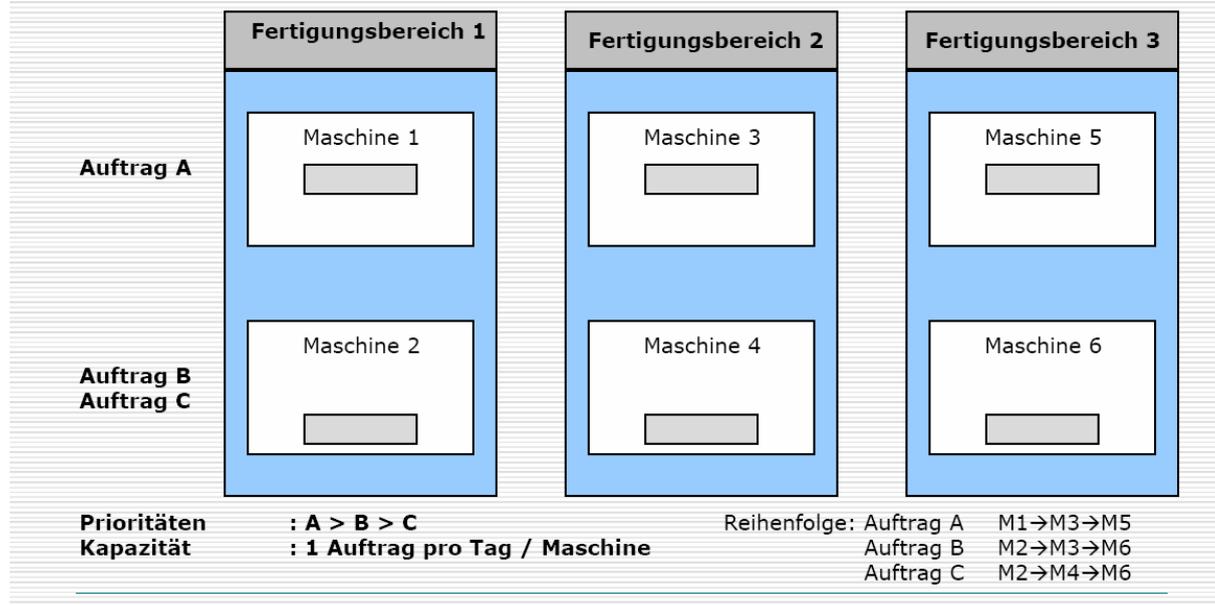


Abbildung 21: Beispiel APS

Planung gestern ...

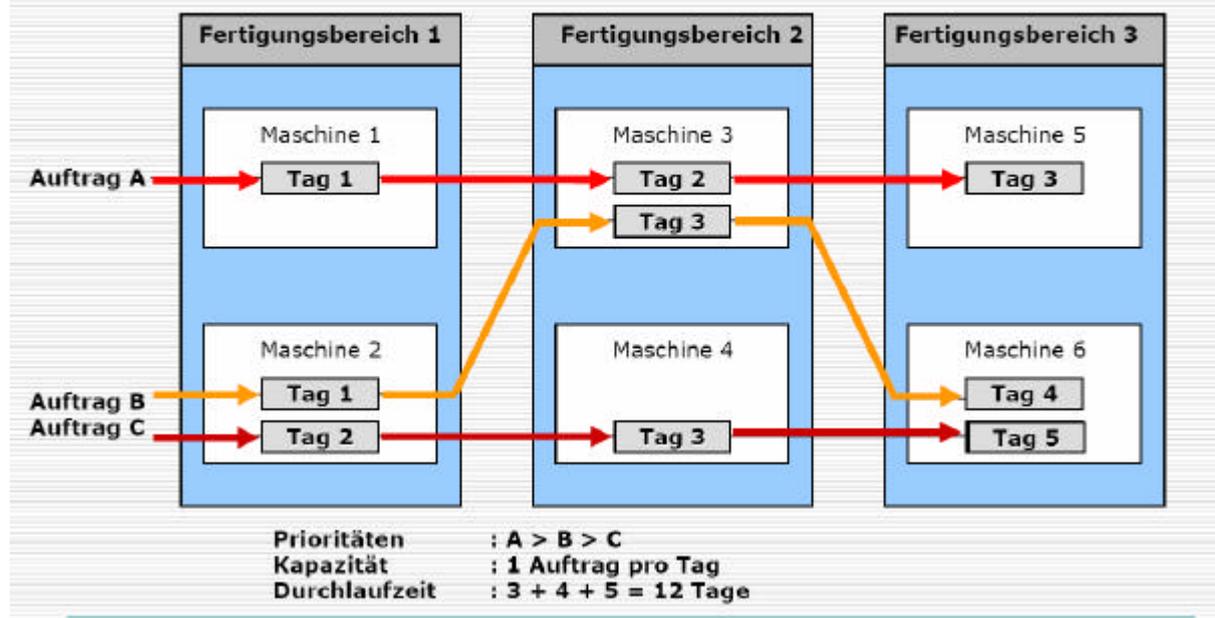


Abbildung 22: Beispiel APS –Planung gestern

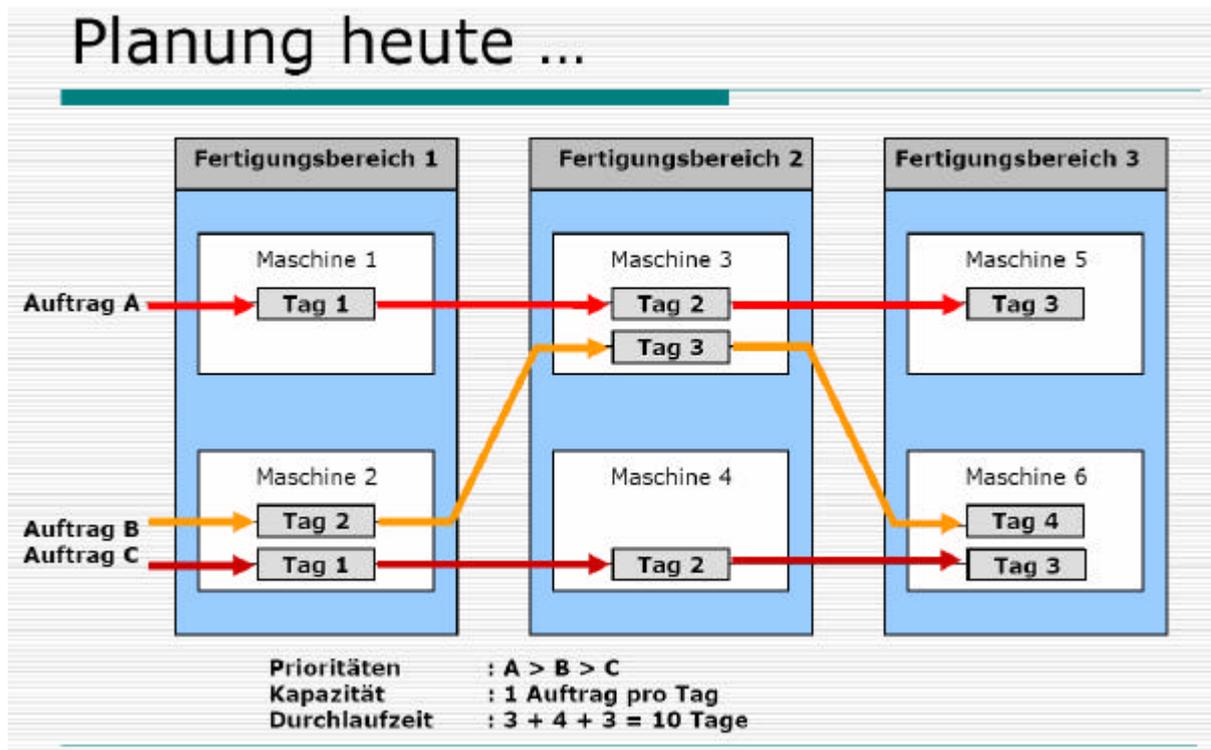


Abbildung 23: Beispiel APS – Planung heute

Durch den Einsatz der ProALPHA-Optimierung werden Aufträge effizienter eingetaktet, ohne dass die Prioritäten verändert werden. Die Durchlaufzeit für alle Aufträge konnte so um 2 Tage oder 17% reduziert werden.

Die Basis einer erfolgreichen Anwendung eines APS-Systems ist jedoch eine hohe Datenqualität. Diese Datenqualität ist nur mit Einsatz modernster Informationstechnologie und mit gut geschultem Personal und entsprechend straffen organisatorischen Regeln zur Erfassung und Pflege der relevanten Daten zu erzielen.

Sämtliche Organisationsressourcen, sowie organisationsübergreifende Abhängigkeiten mussten in eigens programmierte oder angepasste Datenbanken zeitnah und „lebend“ zugeführt werden.

Wichtige hierbei Parameter sind:

- Personalressourcen mit Zeit- und Anwesenheitserfassung
- Betriebswirtschaftliche Größen
- Werkzeugdatenbank
- Vorrichtungsdatenbank
- Maschinendatenbank mit aktueller Verfügbarkeit
- Betriebsdatenerfassung mittels mobilen „handheld“-Systemen

- Kunden- und Lieferantendatenbanken sowie
- Wichtige Bearbeitungsparameter wie Maschinenlaufzeiten, Werkzeugbedarf aus Vericut

Das Zusammenspiel zwischen dem APS-System und Vericut ist in folgendem Schema dargestellt.

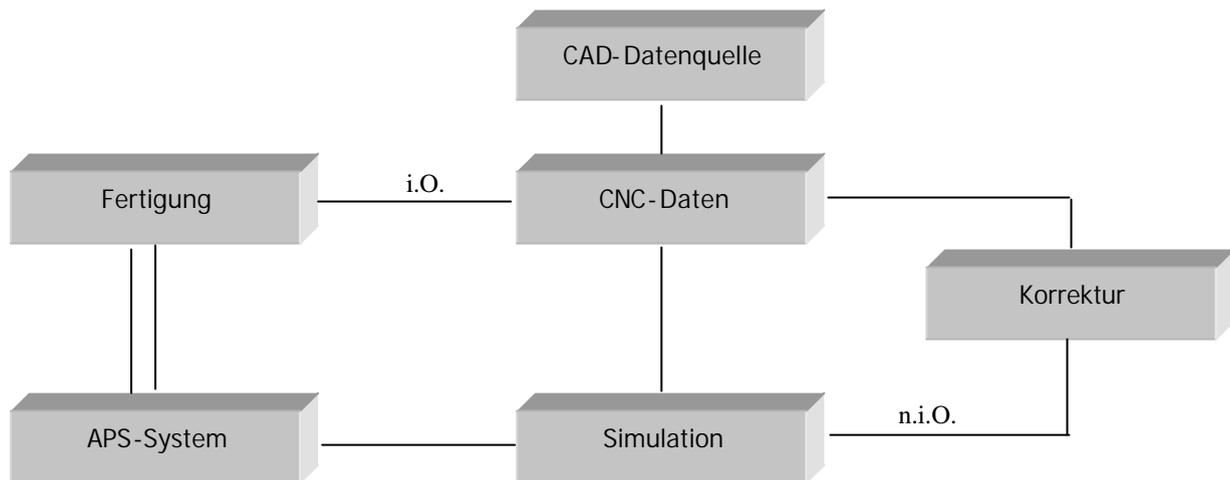


Abbildung 24: Zusammenspiel zwischen Vericut und proALPHA APS

Das komplexe Zusammenspiel dieser Simulationen kommt bei PSFU nicht nur in der Fertigungsplanung zum Einsatz, sondern auch schon im Vorfeld bei der Anfragenbearbeitung.

In folgende Schema ist der Durchlauf einer Anfrage vom Eingang bis zum Angebot skizziert.

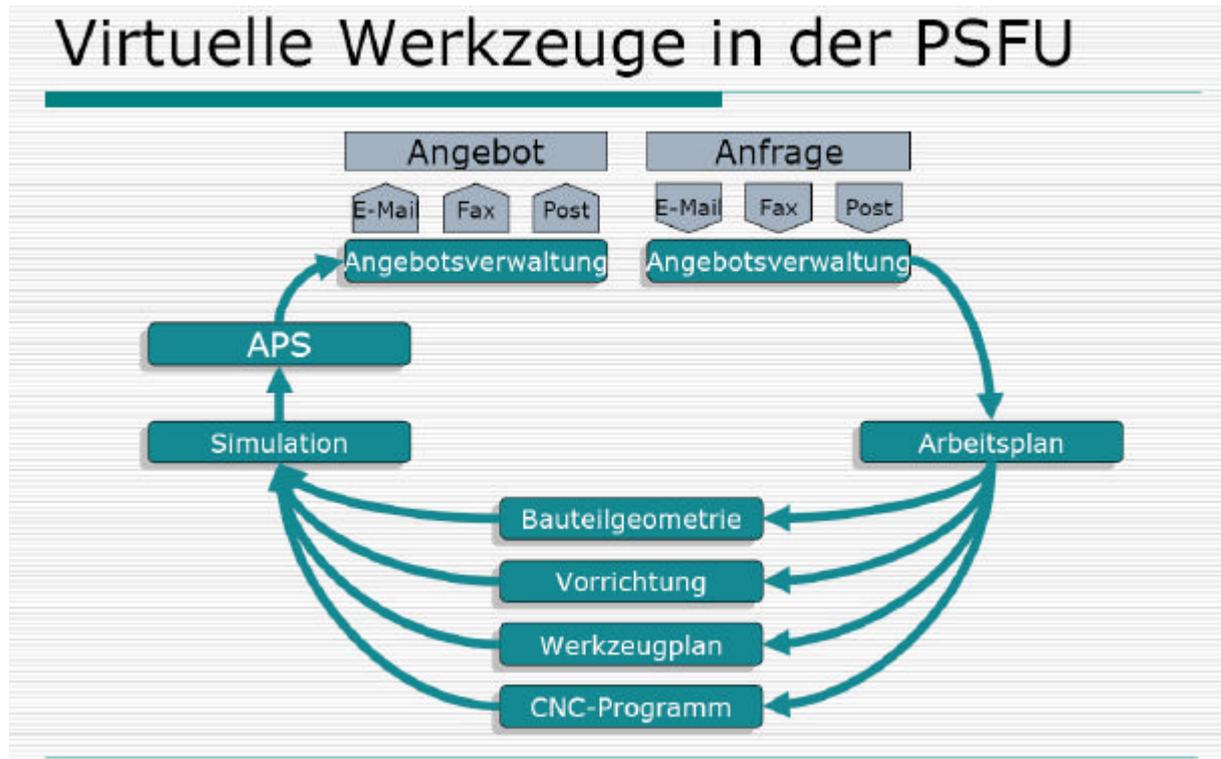


Abbildung 25: Virtuelle Werkzeuge zur Anfragenbearbeitung

2.4 „Inline“ Qualitätskontrolle mittels optischer Methodik

Die Struktur des ganzheitlichen Qualitätsmanagementsystems wurde auf einen Beispielprozess fokussiert. In diesem Prozess ist PSFU Systemlieferant an einen Automobilhersteller. Er umfasst neben mehreren Bearbeitungsschritten auch Prozessschritte die in Kooperation mit anderen KMU ausgeführt werden und somit auch organisationsübergreifende Logistikelemente enthält.

Es handelt sich um ein Aluminiumschmiedeteil welches mit verschiedenen Schleif- und Fräsprozessen bearbeitet wird.



Abbildung 26: Bauteil – Längslenker

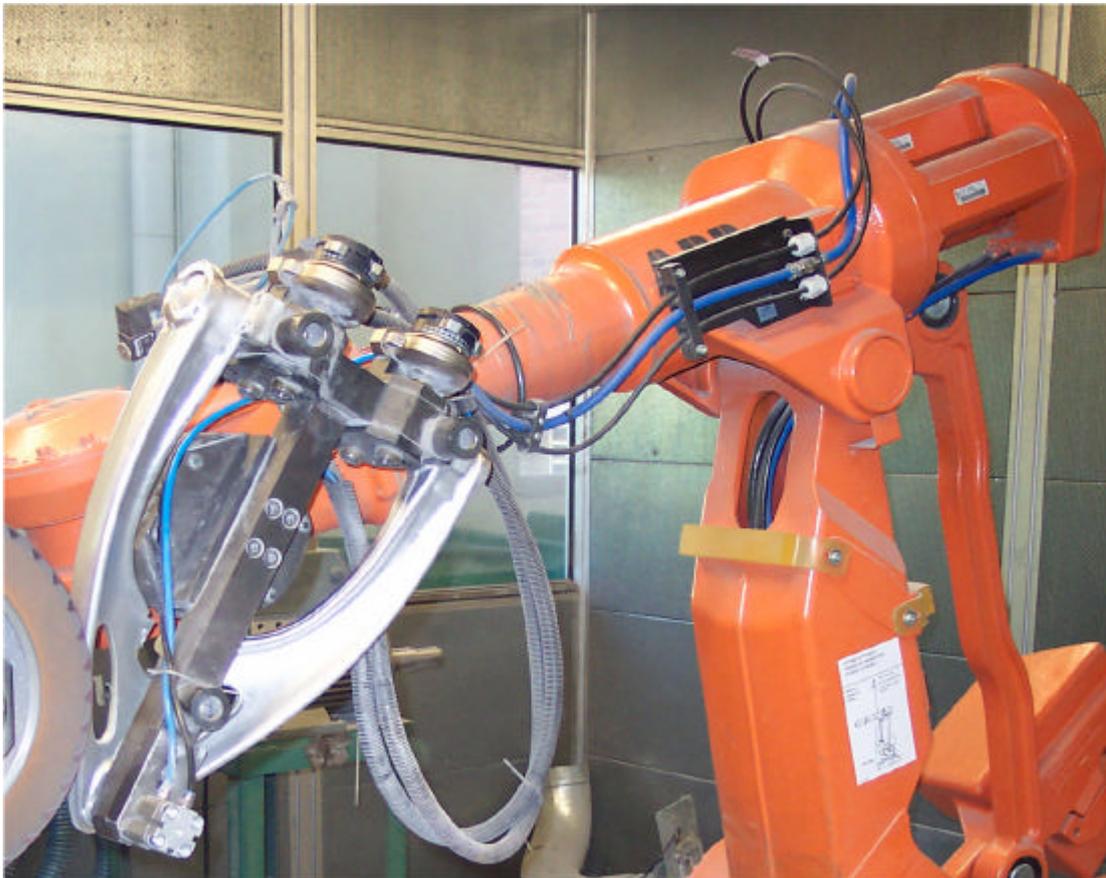


Abbildung 27: Bauteilbearbeitung Roboterschleifen

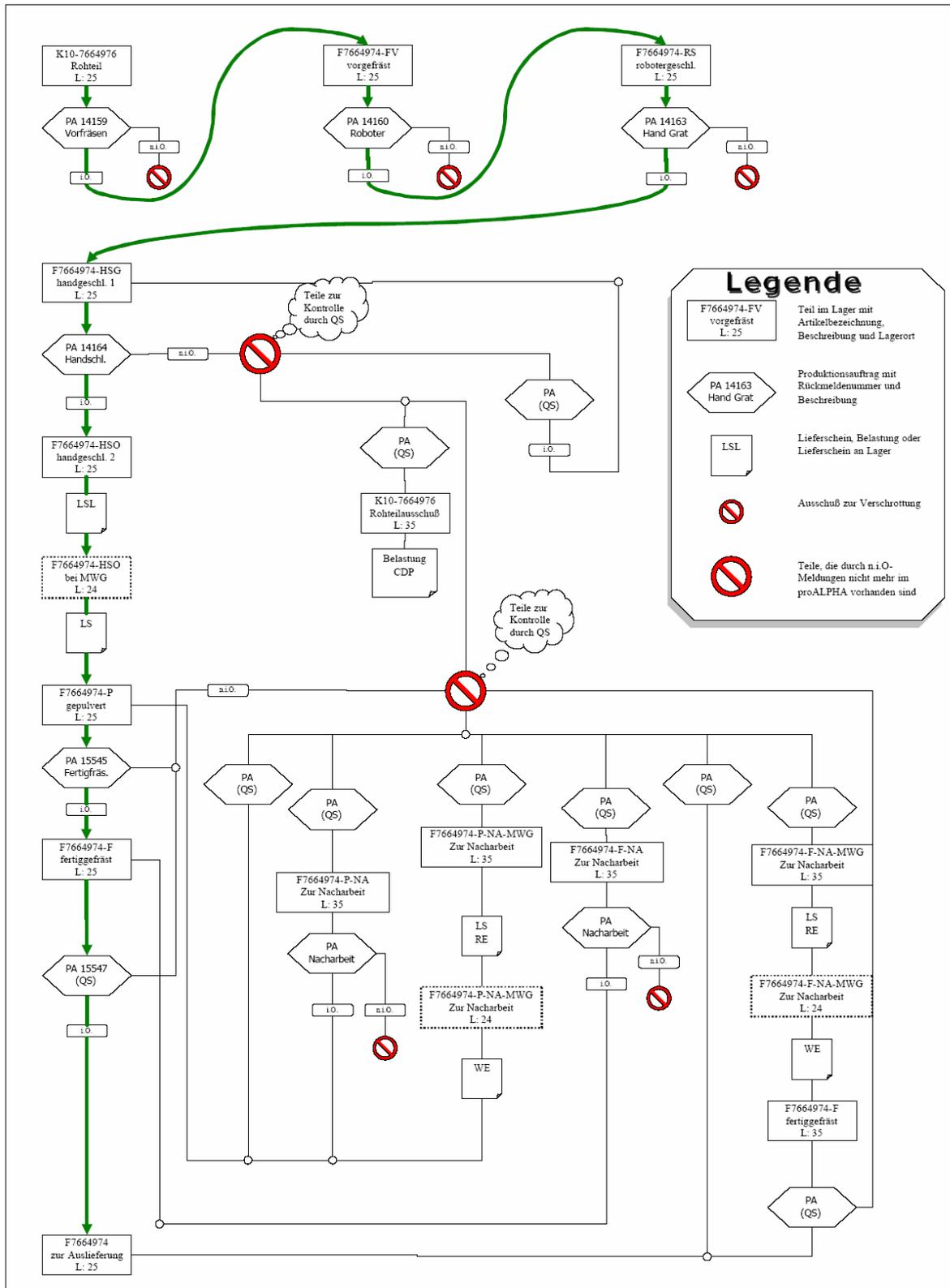


Abbildung 28: Fertigungsablauf Längslenker

Da eine abschließende Oberflächenbehandlung mittels Pulverbeschichtung erfolgt und sich das Bauteil im Sichtbereich des Endproduktes befindet, sind extreme Anfor-

derungen an die Oberfläche seitens des Kunden gefordert. Kleinere Mängel in der Schleifoberfläche sind erst nach der Pulverbeschichtung mit bloßem Auge erkennbar und nur äußerst aufwendig nach zuarbeiten. Eine in den Prozess integrierte inline-Qualitätsüberwachung wurde zur frühen Fehlererkennung und -vermeidung projektiert.

Am Prozess sind entsprechende Analysen (z.B. FMEA, Multiplan) durchgeführt worden und charakteristische Regelkreise erarbeitet worden. Für das Roboterschleifen wurde ein Qualitätsregelkreis erarbeitet. Mit implementiert ist eine computergestützte optische Qualitätskontrolle, die selbstlernende Operationen beinhaltet. Diese wurde erprobt, ist aber noch nicht in den Serienprozess eingebunden.

Bei dem erprobten System handelt es sich um eine optische 3D-Qualitätskontrollsystem welches von der INB Vision AG, einem Mahreg – Netzerkpartner entwickelt wurde.

Als optische Komponenten verfügt dieses System über zwei Standard Industrie CCD-Kameras. Das System verfügt über einen Assoziativspeicher, der zuerst mit i.O.-Teilen „trainiert“ wird. Danach werden Teile mit definierten Fehlern mit dem Assoziativspeicher untersucht. Vom System werden dann alle Abweichungen vom i.O.-Zustand als Defekt map oder 3D-Graphik ausgegeben.

In den folgenden Darstellungen sind die 3D-Bilder und Defekt maps für verschiedene aufgetretene Fehler und in der letzten Darstellung die eines fehlerfreien Bauteils aufgeführt.

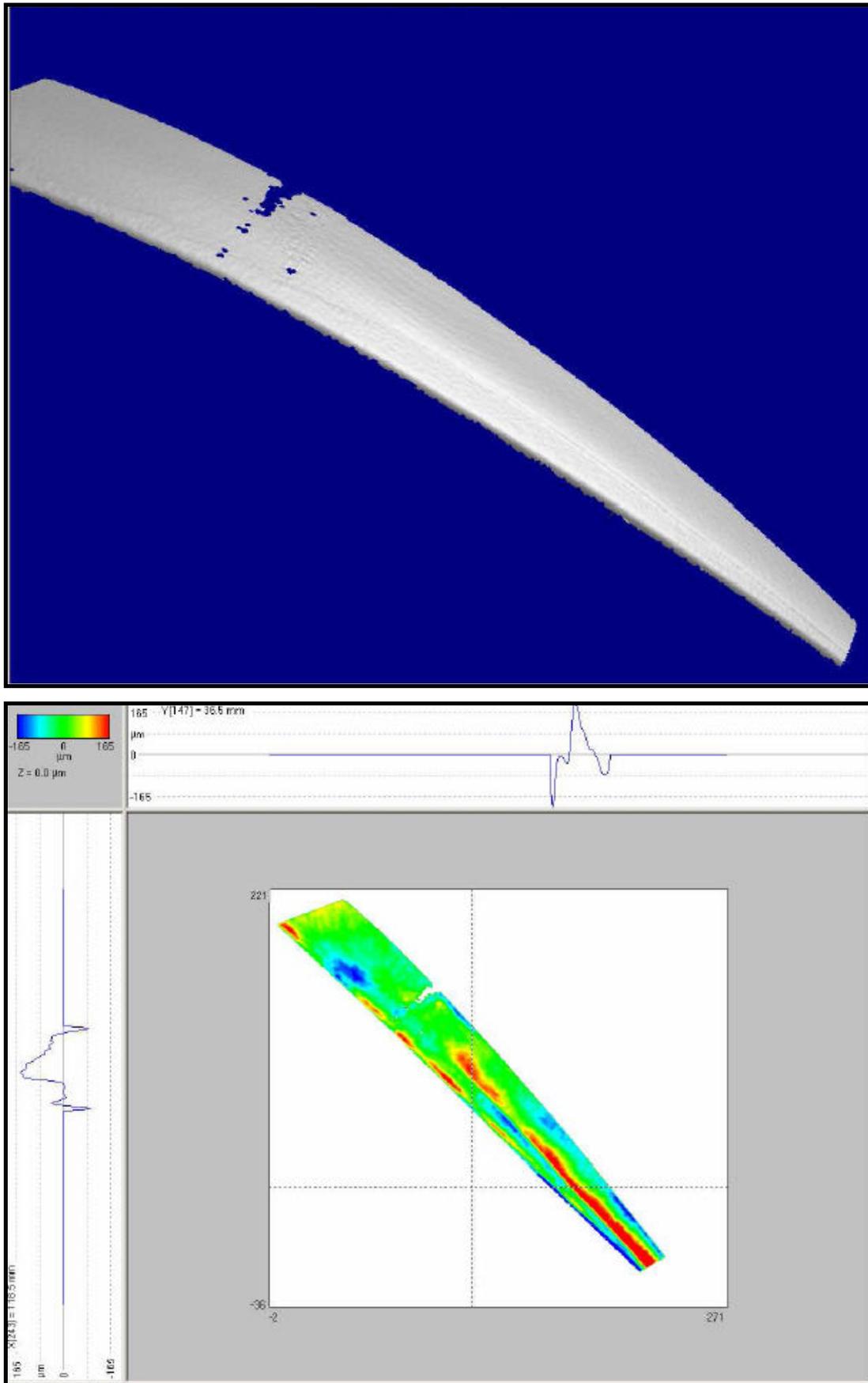


Abb.29: Längslenker: 3D-Darstellung (oben); Defekt map (unten)
Fehler: Kante längs

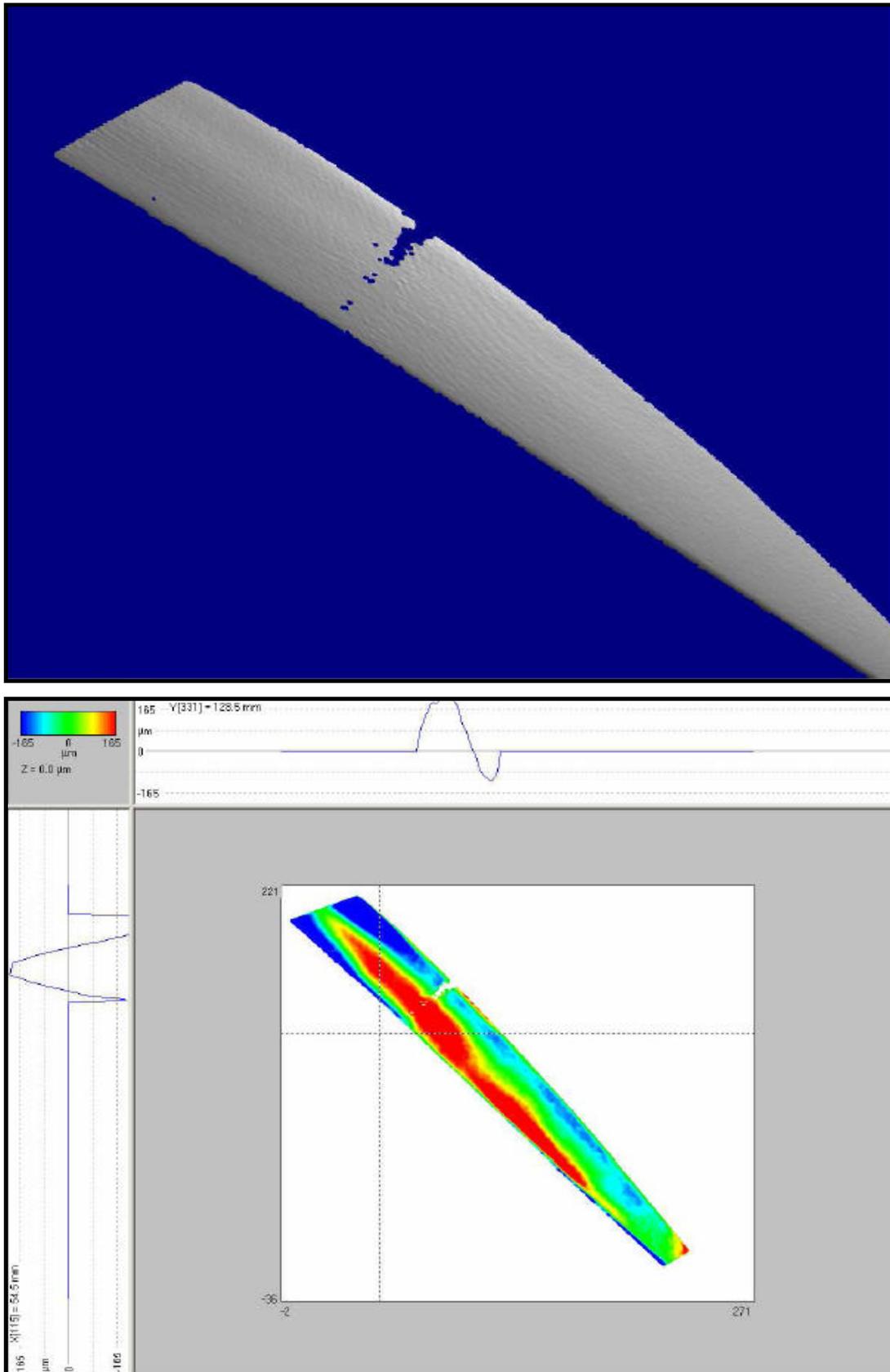


Abb. 30: Längslenker: 3D-Darstellung (oben); Defekt map (unten)
Fehler: Beule längs

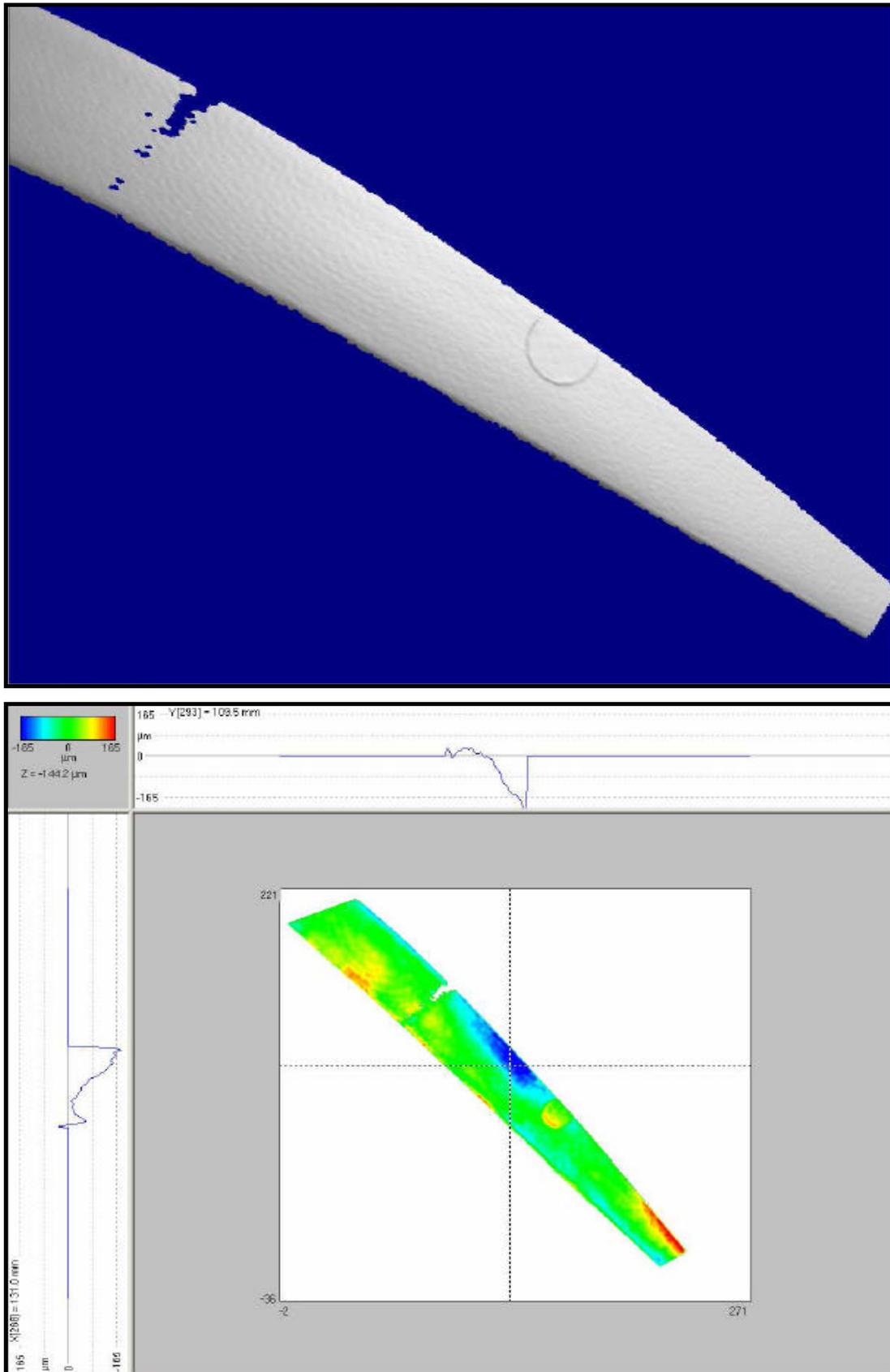


Abb. 31: Längslenker: 3D-Darstellung (oben); Defekt map (unten)

Fehler: Delle

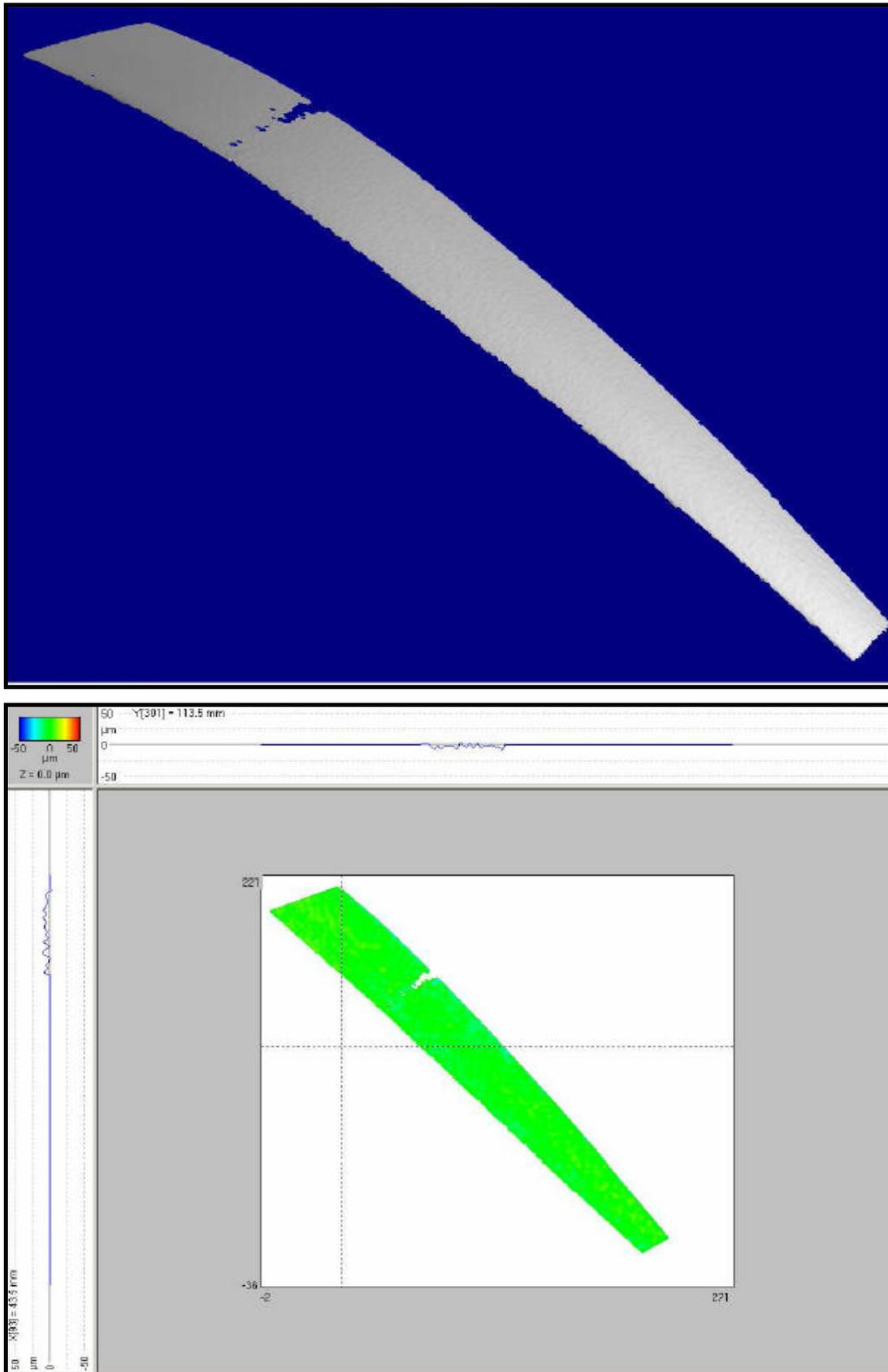


Abb. 32: Längslenker: 3D-Darstellung (oben); Defekt map (unten)
kein Fehler

Mit diesem System lassen sich für das untersuchte Bauteil auch kleinste Oberflächenfehler erkennen, lokalisieren und bewerten. Somit wird direkt „inline“ auf den Bearbeitungsprozess eingewirkt. So kann bei einem einmaligen Fehlerauftreten ein nochmaliges Roboterschleifen erfolgen, bei Fehlern durch Schleifbandverschleiß oder geänderter Rohteileigenschaften kann direkt und automatisch auf die Bearbeitungsparameter (Roboterprogrammierung) korrigierend eingewirkt werden.

Die Ergebnisse für das Bauteil „Längslenker“ waren gut verwertbar, wohingegen bei anderen Bauteilen die Ergebnisse vorerst nicht zufriedenstellend waren.

3 Zielerreichung und Verwertung der Projektergebnisse bei der PSFU GmbH

3.1 Erreichung der Gesamtzielsetzung

Die von Mahreg im Rahmen des InnoRegio Programms initiierten Projekte hatten zum Ziel die Formung und Entwicklung von kleinen mittelständischen Unternehmen KMU oder Unternehmensnetzwerken zu potenten Partnern der Automobilindustrie.

Durch die Weiterentwicklung der PSFU innerhalb der Projektarbeit konnte sich das Unternehmen als ein Systemlieferant für BMW etablieren. Mit dem Unternehmen Metallveredelung Wernigerode (MWG) Sparte Pulverbeschichtung konnte ein weiteres Mahregmitglied in die Zulieferkette an BMW integriert werden. Weitere Projekte in dieser erfolgreichen Zusammenarbeit sind in der Vorbereitungsphase.

Desweiteren konnte die PSFU GmbH einen festen Platz in der Zulieferkette für einen Systemlieferanten an Volkswagen einnehmen. (Mittelarmlehnenmechanik Golf V)

Durch diese wichtigen Aufträge konnte der Rückgang anderer Schlüsselkunden mehr als nur kompensiert werden. Eine deutliche Umsatzsteigerung konnte verzeichnet werden.

Somit konnte das Ziel: Partner der Automobilindustrie voll erreicht werden.

3.2 Technologische und personelle Effekte der Projektarbeit

Die Technologischen Effekte sind die Entkopplung der Simulation von der Maschine und eine verbesserte Arbeitsvorbereitung durch optimales Vorrichtungsdesign und Werkzeugbereitstellung. D.h. alle vorbereitenden Arbeiten finden ohne Belegen der Maschinenkapazitäten statt.

Dies führt zu einer effektiveren Nutzung aller vorhandenen Ressourcen. Die verbesserte Maschinenutzung verlagert zwangsläufig den „bottle neck“ der Fertigung von der Maschine in Richtung der Planung. Um diesen Effekt zu kompensieren wurden bei der PSFU GmbH in diesem Bereich bisher bereits fünf hochwertige Arbeitsplätze (Ingenieure und Techniker) neu geschaffen. Zwangsläufig führt diese Effizienzsteigerung dazu, dass die Maschinen die bislang zweischichtig im Einsatz waren, dreischichtig genutzt werden und somit ein zusätzlicher Bedarf an Facharbeitern entsteht, aber auch der Gewinn gesteigert wird.

Nach erfolgreicher Etablierung der neuen Simulations- und Planungssoftware stellt die PSFU GmbH ein „best practice“ für ähnlich aufgestellte KMU dar, die dann von den Erfahrungen der PSFU profitieren können.

3.3 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Mahreg Innovationsforum; Oktober 2002

Poster, Vortrag

Mahreg Innovationsforum; November 2004

Poster, Vortrag

Leipziger Zuliefermesse Z 2005

Teilnahme am Mahreg Gemeinschaftsstand

Teilnahme an INNOVA dem Innovationspreis der Wirtschaftsregion Wernigerode

Präsentation vor Expertenjury

Unter die 4 innovativsten Projekte nominiert. Endgültige Entscheidung fällt im September 05

Geplant:

Teilnahme auf dem Mahreg Gemeinschaftsstand auf der IAA 2005, Frankfurt; Termin September 2005

Wernigerode, den 21.08.05