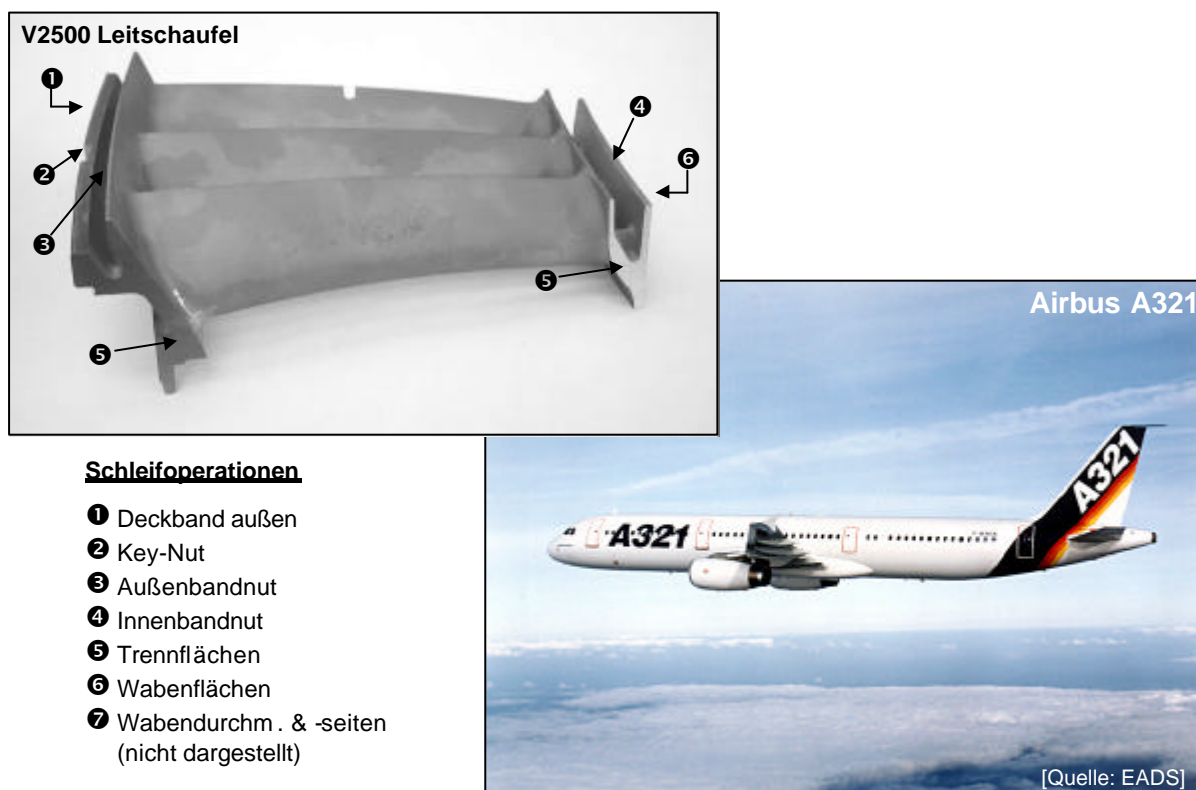


# NEUES KONZEPT FÜR DIE SCHLEIFBEARBEITUNG VON TURBINENSCHAUFELN

Dr.-Ing. Thilo Wagner, MTU Aero Engines, München

Schleifen ist eines der wichtigsten Verfahren bei der Herstellung von Turbinenschaufeln im Triebwerksbau. Der Einsatz gegossener Teile aus Nickel- und Kobaltbasislegierungen erlaubt bisher keine wirtschaftlich Bearbeitung mit definierter Schneide. Infolge dessen wird Schleifen als formgebende Bearbeitung eingesetzt, wobei höchste Anforderungen an die Oberfläche und die Formgenauigkeit gestellt werden.

Die konventionelle Bearbeitung von Turbinenschaufeln umfasst Flach-, Einstich-, Profil- sowie Bogenschleifen. Je nach Schaufeltyp können dabei bis zu 12 verschiedene Operationen pro Schaufel erforderlich sein. In Bild 1 und Bild 3 sind Schleifoperationen beispielhaft für eine Leit- und eine Laufschaufel dargestellt.



**Bild 1:** Schleifarbeitsfolgen an einer Niederdruck-Turbinenleitschaufel

Zur Fertigung von Laufschaufeln kamen in der Vergangenheit bei der MTU Doppelspindel- und Flachsleifmaschinen verschiedener Hersteller zum Einsatz. Ergänzt wurden diese Maschinen durch eine Schleifzelle. Bei der Herstellung von Leitschaufeln setzte man in München auf Rundtisch-, Bogen- und Flachsleifmaschinen, ebenfalls von unterschiedlichen Herstellern.

Die Bearbeitung mit geometrisch unbestimmter Schneide stellt nach wie vor eines der kostenintensivsten Verfahren in der Herstellung von Turbinenschaufeln dar. Um signifikante Einsparungen zu erreichen wurde die gesamte Fertigungsstrategie in

Frage gestellt und ein neuer Ansatz entwickelt. Die neue Strategie basiert auf folgenden Grundgedanken:

- 1) Reduzierung der Maschinenvielfalt – Schaffung von Synergien
- 2) Steigerung der Maschinenverfügbarkeit - Verringerte Maschinenkomplexität
- 3) Verkürzung der Taktzeiten – Gewährleistung einer Linienfähigkeit

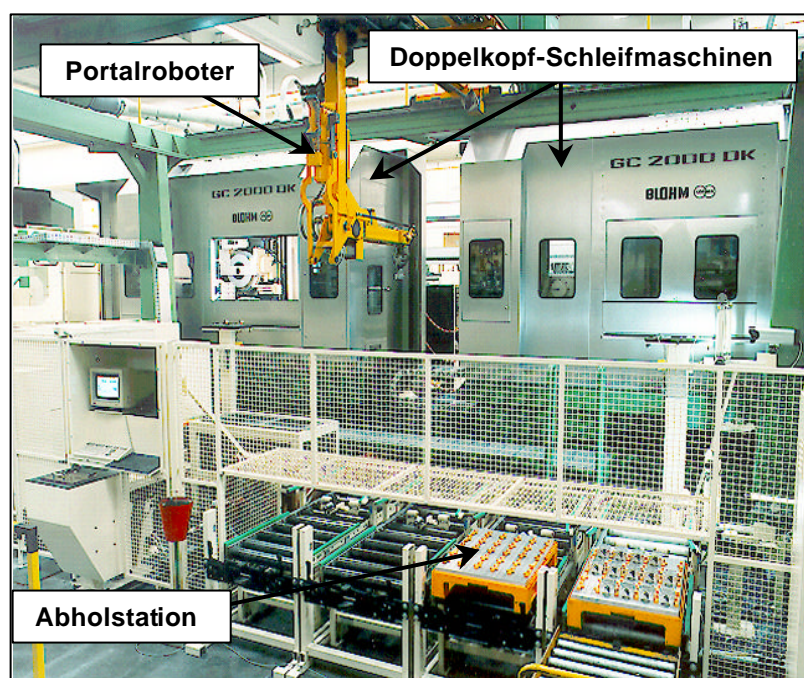
Die Verkürzung der Taktzeit ist dabei eine Forderung, die aus einer Überarbeitung der gesamten Fertigungskonzeptes resultiert. In Anbetracht der hohen Kapitalbindung einer Inselfertigung durch hohe Lagerbestände wurde die Fertigung in ein Linienkonzzept umgewandelt. Diese neue Fertigungskonzept fordert robuste Prozesse mit geringen Taktzeiten. Eine Forderung, die insbesondere beim Schleifen nicht erfüllt wurde.

Die verschiedenen Maschinentypen wurden auf Bogenschleifmaschinen reduziert, die sowohl für Lauf- als auch für Leitschaufeln auf einer identischen Basismaschine beruhen. In der Fertigung von Leitschaufeln wurden Rundtisch- durch Bogenschleifmaschinen ersetzt. Zusätzlich zum Synergieeffekt durch den Einsatz einer einheitlichen Basismaschine mit identischer Steuerung, resultierten hieraus weitere direkte Einsparungen durch:

- 1) Eine Reduzierung der Rüst- und Bearbeitungszeiten (20%) durch das Zusammenlegen der Arbeitsfolgen Flach- und Bogenschleifen
- 2) Einen geringeren Platzbedarf ( $40\text{m}^2 \rightarrow 18\text{m}^2$ )
- 3) Eine Kostenreduzierung für Vorrichtungen um 72%, für Schleifmittel um 35% und Betriebsmittel um 80%.

Das einheitliche Maschinenkonzept setzt nicht nur Einsparpotential durch eine bessere Ersatzteilsituation und vereinfachten Service frei, sondern ermöglicht auch einen flexiblen Einsatz von Personal um Auslastungsschwankungen zu kompensieren. Ein besonderer Nutzen ist, dass sich Erkenntnisse aus einmal untersuchten Schleifoperationen besser auf andere Arbeitsfolgen übertragen lassen und Verbesserungen übergreifend Wirkung zeigen. Beispielweise profitieren alle Schleifmaschinen von einer verbesserten Abrichtvorrichtung oder Kühlmittelzufuhr.

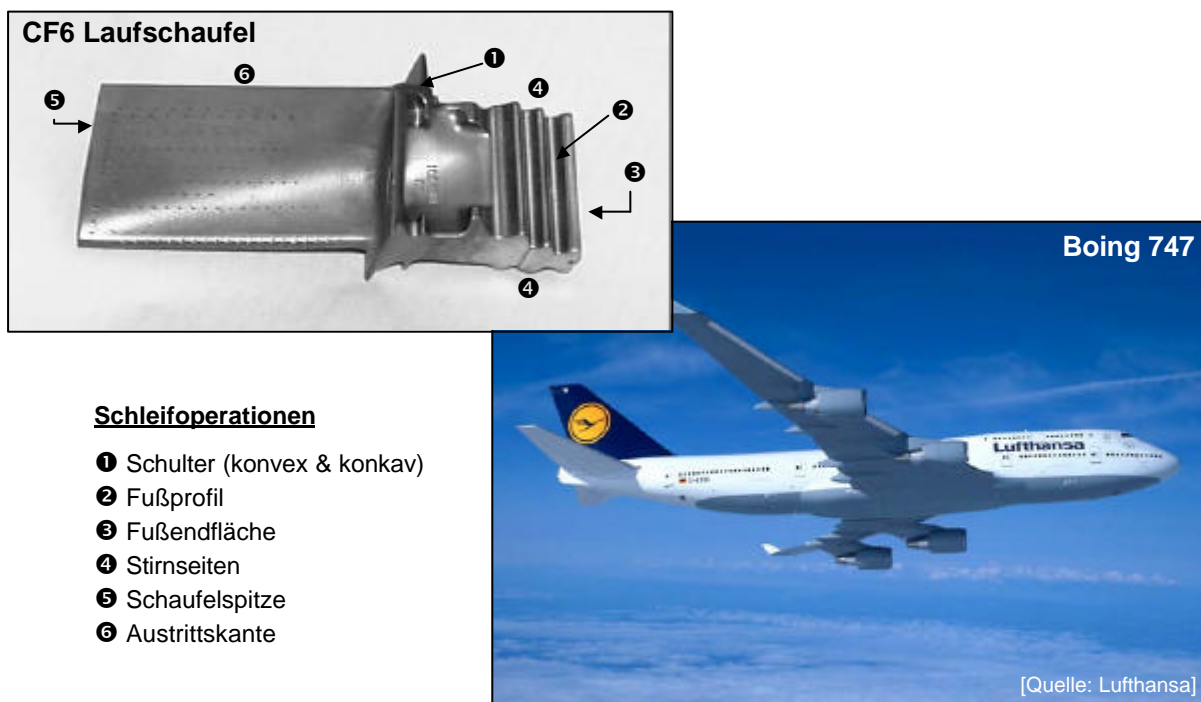
Bei der Herstellung von Laufschaufeln steht der Nutzen des neuen Fertigungsstrategie durch den Ersatz der bis dahin verwendeten Schleifzelle (siehe Bild 2) im Vordergrund, welche die Forderungen nach einem robusten Prozess mit kurzen Taktzeiten nicht mehr erfüllte. Die Schleifzelle besteht aus zwei Doppelkopf-Schleifmaschinen und verfügt über einen integrierten Messmaschine, Schleifscheibenwechsler, Reinigung und Handhabung zum Umspannen.



**Bild 2:** Schleifzelle

Der Schleifzelle wurden verschiedene Maschinenkonzepte gegenüber gestellt. Berücksichtigt wurden dabei VIPER (Bridgeport), SmP<sup>1</sup> (Elb) und Blade-Grinder (Blohm). Eine Beurteilung von Auslastung, Investitions- und Variablen Kosten ergab, dass die Schleifzelle für Hochdruck-Laufschaukeln durch Blade-Grinder und für Niederdruck-Laufschaukeln durch eine SmP-Linie substituiert wurden. Die Basismaschine des Blade-Grinders entspricht dabei der des Vane-Grinders für Hochdruck-Leitschaukeln. Die Notwendigkeit für zwei unterschiedliche Schleifmaschinenkonzepte ergibt sich aus den unterschiedlichen Anforderungen an die Schleifoperationen für Hoch- und Niederdruckschaukeln.

Am Beispiel einer CF6 Hochdruck-Laufschaukel (Bild 3) stellt sich der Vergleich wie folgt dar. Die Komplettbearbeitung in der Schleifzelle erforderte zunächst ein Eingießen der Laufschaukeln. Im Anschluss wird die Schleifzelle automatisch mit Hilfe eines 4-Achs Portalroboters bestückt, nachdem die Teile mit einem Laserscanner für die Dokumentation erfasst wurden. Die Bearbeitung erfolgt auf zwei Doppelspindelschleifmaschinen im CD-Korundscheifen. Vor dem manuellen Ausschmelzen wird die Arbeitsfolge mit einer integrierten Messmaschine in der Schleifzelle abgeschlossen. Die Austrittskante kann dabei nicht bearbeitet werden.



#### Schleifoperationen

- ❶ Schulter (konvex & konkav)
- ❷ Fußprofil
- ❸ Fußendfläche
- ❹ Stirnseiten
- ❺ Schaufelspitze
- ❻ Austrittskante

**Bild 3:** Schleifarbeitsfolgen an einer Hochdruck-Turbinenlaufschaukel

Dem gegenüber steht eine Bearbeitung auf drei Profimat MC607 Schleifmaschinen (Blohm, Hamburg) und einer Messmaschine Prismo (Zeiss, Jena). Sämtliche Maschinen sind gemäß der Fertigungskette in einer Linie aufgebaut um die Transportwege zu minimieren und die Betreuung mehrerer Maschinen von einem Werker zu ermöglichen (siehe Bild 4). Die Schleifbearbeitung am Fuß und an der Schulter erfolgt auf den ersten beiden Maschinen und wird durch die Bearbeitung an der Schaufelspitze und der Austrittskante auf der dritten Maschine abgeschlossen. Im unmittelbaren Anschluss werden die Teile auf einer Messmaschine qualifiziert, um

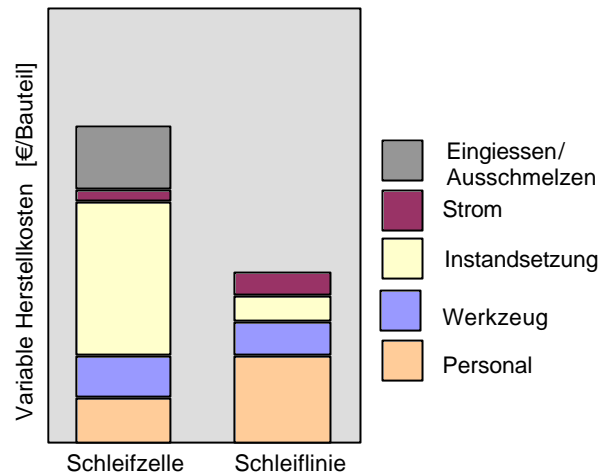
<sup>1</sup> SmP = Schlankes materialflußorientiertes Produktionssystem

weitere Wertschöpfung an Ausschussteilen zu vermeiden. Für die insgesamt 4 Arbeitsfolgen werden 2 Werker benötigt, die in einer Taktzeit von ca. 5 Minuten alle Maschinen bedienen.

Das Ergebnis der Gegenüberstellung ist in Bild 4 dargestellt. Insgesamt ergibt sich eine Kostenreduzierung um ca. 50%. Vor allem die Einsparung der Kosten durch nicht wertschöpfende Prozesse Eingiessen und Ausschmelzen sowie Instandhaltung wirken sich positiv zugunsten der Schleiflinie aus. Darüber hinaus passt die Schleifzelle nicht mehr in das Linienkonzept der gesamten Fertigung. Die Durchlaufzeit in der gesamten Linien konnte gegenüber der Inselfertigung um 30% reduziert werden.



Schleiflinie



**Bild 4:** links: Schleifbearbeitung im Linienkonzept (Messmaschine nicht dargestellt)  
rechts: Vergleich der variablen Herstellkosten für Schleifzelle und -linie

Entgegen dem bekannten Trend zum vollautomatisierten Alleskönner, hat die MTU München mit ihrer Strategie auf einfache Maschinen gesetzt und eine signifikante Einsparung realisiert. Trotzdem gilt noch immer: Schleifen ist *nach wie vor* eines der kostenintensivsten Verfahren in der Herstellung von Turbinenschaufeln. Neue Ansätze zur weiteren Optimierung werden in Anbetracht des wirtschaftlichen Wettbewerbs dringend benötigt. Wesentliche Impulse können dabei durch eine Reduzierung der Schleifmittel- und Ausschusskosten ausgehen.