

**Zeitschrift:** Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft  
**Band:** 87 (1994)

**Artikel:** Komplettbearbeitung auf einem 5-Achsen-Bearbeitungszentrum  
**Autor:** Breuer, Edgar  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-832733>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Komplettbearbeitung auf einem 5-Achsen-Bearbeitungszentrum

Edgar Breuer

### Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	319
1. Das Bearbeitungszentrum als wirtschaftliche Alternative .....	320
2. Aufgabenstellung Getriebegehäuse .....	320
3. Das Werkstück .....	321
4. Die benutzte Werkzeugmaschine ..	321
5. Der Bearbeitungsablauf .....	324
6. Die Komplettbearbeitung im Vergleich .....	325

### Zusammenfassung

Die Komplettbearbeitung komplizierter und hochpräziser Werkstücke auf 5-Achsen-Bearbeitungszentren gewinnt immer mehr an Bedeutung. Die dafür erforderlichen Bearbeitungszentren, gekennzeichnet durch eine überdurchschnittliche Anpassungsfähigkeit, Schnelligkeit und Genauigkeit, gewährleisten den kompromisslosen Einsatz moderner Werkzeuge. Ein flexibler und schneller Werkstückwechsel durch konsequente Palettierung trägt den verschiedensten Wünschen bezüglich Automatisierung und Durchlaufzeit Rechnung. Eine solche Komplettbearbeitung und die damit erreichten Vorteile werden am Beispiel eines Getriebegehäuses für Flugzeug-Triebwerke näher erörtert. Dabei handelt es sich um ein im ersten Halbjahr 1993 realisiertes Projekt.

### Anmerkung:

Dieser Artikel ist erstmals in der Schweizer Präzisions-Fertigungstechnik Ausgabe August 1993, Carl-Hauser-Verlag veröffentlicht worden.

## 1. Das Bearbeitungszentrum als wirtschaftliche Alternative

Geht man beim Einsatz von 5-Achsen-Bearbeitungszentren von dem zu bearbeitenden Teilespektrum aus, dann sind vor allem 2 Gruppen von Werkstücken zu unterscheiden:

1. Werkstücke, die aufgrund ihrer geometrischen Form einen simultanen Bewegungsablauf (3D) in allen 5 Maschinenachsen erfordern.
2. Werkstücke, die alle 5 Freiheitsgrade einer Maschine nur nacheinander und in beliebiger Kombination benötigen ( $2\frac{1}{2}D$ ) und dadurch mit einem Minimum an Aufspannungen auskommen.

Zu den Werkstücken der ersten Gruppe zählen Verdichter-, Vorschalt- und Pumpenräder sowie Gas- und Dampfturbinenschaufeln. Sie werden beispielsweise mit der dafür geeigneten CAM-Software PSI und RBS der Starrfräsmaschinen AG programmiert und komplett bearbeitet. Diese Art der NC-Bearbeitung komplexer Oberflächen zählt schon seit gut 15 Jahren zum Stand der Fertigungstechnik. Dagegen werden Werkstücke der zweiten Gruppe recht selten auf 5-achsigen Maschinen bearbeitet, obwohl sie hinsichtlich Vielfalt und Stückzahl wesentlich häufiger anzutreffen sind. Die Notwendigkeit zur Umstellung der Fertigung ist hierbei nicht in dem Masse gegeben wie bei den 3D-Teilen, da durchaus akzeptable und bewährte Alternativen zur Verfügung stehen. So ist es üblich, die Bearbeitungsgänge aufzugliedern, mehrere sich ergänzende Maschinen einzusetzen und die <unbequemen> Arbeitsgänge, wie beispielsweise das Einbringen schräger Bohrungen, je nach verfügbarer Fertigungstechnik gar manuell auszuführen. Solche manuellen Bearbeitungseingriffe werden jedoch bei Werkstücken mit besonders hohen Präzisionsanforderungen nicht mehr akzeptiert.

## 2. Aufgabenstellung Getriebegehäuse

Viele Arbeitsprozesse zukünftiger Prägung müssen wegen der hohen Forderungen bezüglich Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit in möglichst wenigen Aufspannungen vollautomatisch ablaufen. Dies beginnt beim richtigen Spannen, um eine ungehinderte Werkzeug-Zugänglichkeit von maximal 5 Seiten zu erreichen.

Wegen der hohen Genauigkeitsforderungen wird jedes Werkstück vor der Bearbeitung mit einem Messfühler abgetastet, die exakte Lage gegenüber dem Koordinatensystem der Maschine festgestellt und Abweichungen in der CNC-Steuerung entsprechend korrigiert. Um grösstmögliche Prozesssicherheit zu erreichen, ist bei der Bearbeitung unter anderem auf den kontrollierten Spanbruch sowie auf das fortlaufende Entleeren von Spänen zu achten. Bevor das fertig bearbeitete Werkstück den Arbeitsraum der Maschine verlässt, werden besonders kritische Stellen mittels Messtaster kontrolliert und evtl. protokolliert.

In der vorliegenden Aufgabe erfolgt die gesamte Bearbeitung des Werkstückes in 3 Aufspannungen auf 2 Vorrichtungsplatten bei einer Doppelspannung. Das manuelle Umspannen wird an der Maschine ausgeführt, so dass die Teile nicht zwischengelagert oder transportiert werden. Sämtliche Werkzeuge, Schwesterwerkzeuge und Messtaster müssen jederzeit aus dem Werkzeugmagazin abrufbar sein.

Mit dieser Aufgabenstellung definierte ein sehr renommiertes Unternehmen der Triebwerkbranche die Forderungen für die vollständige Bearbeitung hochpräziser Getriebegehäuse und weiterer ähnlicher Teile.

### 3. Das Werkstück

Dabei handelt es sich um ein bogenförmig ausgebildetes Getriebegehäuse aus Magnesiumguss (90–95 Mg) nach der Luftfahrtnorm 3.6204, das sich später an die äussere Form des Flugzeugtriebwerkes anschmiegt. Im montierten Zustand nimmt es die Öl- und die Kraftstoffpumpen, die Kraftstoff- und die Drehzahlregler sowie den Generator auf (Abb. 1, Pfeil). Bei der Bearbeitung des Werkstückes steht zunächst das Getriebebohrbild im Vordergrund. Dabei wird an Präzision alles gefordert, was solche Teile kennzeichnet, wie Bohrungstoleranzen, Konzentritäten, Achsdistanzen, Parallelitäten und Winkeligkeit der Lagersitze zueinander und zu funktionsbedingten Flanschpartien. Ausserdem sind Flächen, Nuten, Passbohrungen, eine Vielzahl von Gewindebohrungen und Schrägbohrungen unter verschiedenen Winkeln einzubringen.

### 4. Die benutzte Werkzeugmaschine

Zum Einsatz kommt ein horizontales 5-Achsen-Hochleistungs- und Präzisionsbearbeitungszentrum aus der Serie ZT-800 mit der Palettengrösse 800x800 (1000) mm der STARRAG, mit integrierter schwenkbarer Arbeitsspindelinheit als A-Achse (Abb. 2). Diese Maschine ermöglicht u.a. durch ihre robusten Gestellbauteile und durch ihre hohe Arbeitsgenauigkeit in allen Achsen die Komplettbearbeitung des dargestellten Magnesiumgehäuses.

Die Verfahrswege der Maschine betragen  $X=1600$  mm,  $Z=1320$  mm und  $Y$  bis 1500 mm. Es stehen Arbeitsspindeln mit 30 und 40 kW bei 100% ED und Drehzahlvarianten von 5000 und 10000 U/min mit hohem Drehmoment in Getriebeausführung sowie 15000 und 24000 U/min als Motorspindeln zur Verfügung. Die Maschine wiegt ca. 30 t und ermöglicht trotzdem Eilgänge von 20 m/min. Die zulässige

Tischbelastung beträgt 4000 kg. Die garantierte Positioniergenauigkeit liegt bei 0,01 mm in allen Achsen der gesamten Verfahrswege.

Für die stark belasteten linearen Achsen sind hydrostatische Führungen eingesetzt. Diese bieten als wichtigste Eigenschaften eine geringe Reibung und somit eine hohe Positioniergenauigkeit in Kombination mit einem hohen Dämpfungsgrad. Da sie absolut verschleissfrei sind, kann eine hohe Langzeitgenauigkeit garantiert werden.

Das STARRAG-Zentrum ist mit einem patentierten Werkzeugmagazin in Trommelbauweise ausgestattet, das sich auch nachträglich noch für eine grössere Werkzeuganzahl ohne zusätzlichen Platzbedarf und ohne Software-Eingriffe kostengünstig erweitern lässt.

Dazu werden lediglich Werkzeugkassetten mit je 8 Speicherplätzen in das Grundmagazin eingehängt. So lässt sich das Magazin in Stufen zu jeweils 8 von 48 auf 192 Werkzeuge ausbauen. Das Werkzeugmanagement übernimmt standardmässig ein separater Personal Computer (PC/AT), der auch Aufträge einplanen kann. Wird die Maschine mit einem Werkstück-Speicher ausgerüstet und als Fertigungszelle eingesetzt, so fungiert der PC zusammen mit der Verwaltungssoftware als Zellenrechner (Abb. 3). Maschinen- und Steuerungskonzept sind modular aufgebaut und ermöglichen den stufenweisen Ausbau von der Stand-Alone-Maschine bis zum voll ausgebauten flexiblen Fertigungssystem. Auf Wunsch sind verschiedene Steuerungstypen anbaubar. Mit diesem modularen System lässt sich für jeden Anwender eine optimale Maschinenkonfiguration zusammenstellen, um spezifische Bearbeitungsaufgaben kompromisslos zu lösen.

Das Bearbeitungszentrum ZT-800 ist technologisch sehr vielseitig einsetzbar. Aufgrund seiner Konstruktionsmerkmale wird es den heutigen Qualitäts-, Fertigungs- und Leistungsanforderungen voll gerecht. Darauf muss man immer wieder

Abb. 1  
Schaubild des RR-Tay-Triebwerkes, Schub 12 500 lb bis 18 100 lb. Das Triebwerk ist in folgenden Flugzeugen eingebaut: Boeing 727 und 737, Fokker 100, Gulfstream IV, McDonnell Douglas DC-9, BAe one-eleven. Hinweis: Das Schaubild des Triebwerkes und weitere Unterlagen wurden von der Firma BMW Rolls-Royce, Aero Engines in Oberursel/D zur Verfügung gestellt. Wir danken allen Beteiligten dieser Firma aus Beschaffung, Fertigungsplanung, NC-Programmierung und Fabrikation für die fruchtbare Zusammenarbeit sowie der PR-Abteilung für die Zustimmung zur Veröffentlichung.

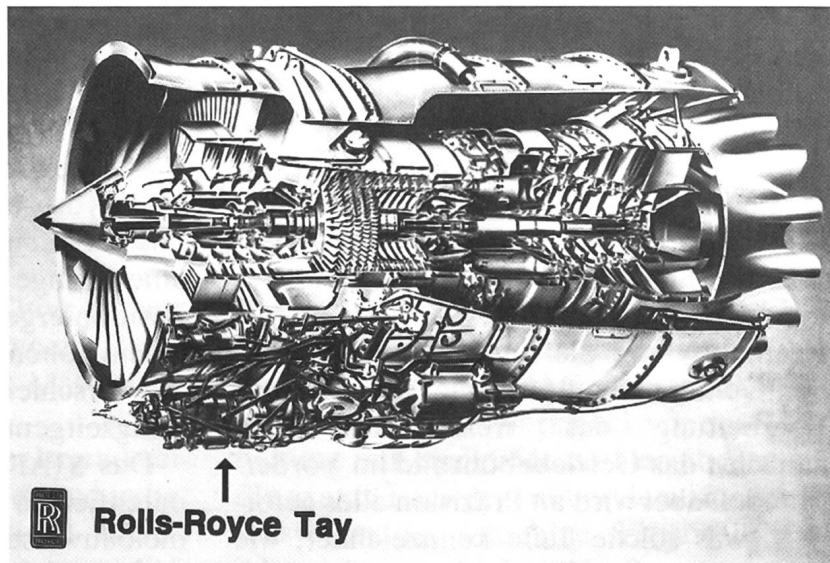


Abb. 2  
Das 5-Achsen-Bearbeitungszentrum ZT-800/130 mit schwenkbarer Arbeitsspindel-einheit und Vollraumschutz der Starrfräsmaschinen AG, Rorschacherberg/Schweiz

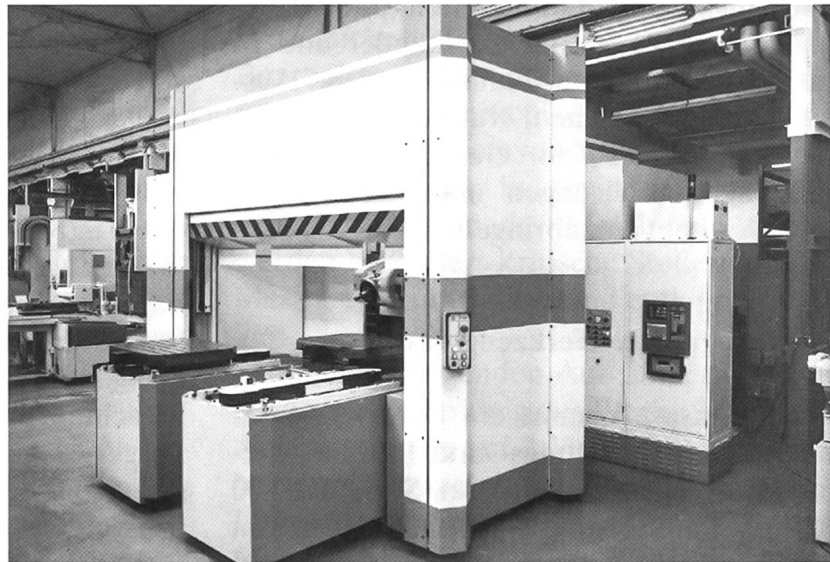
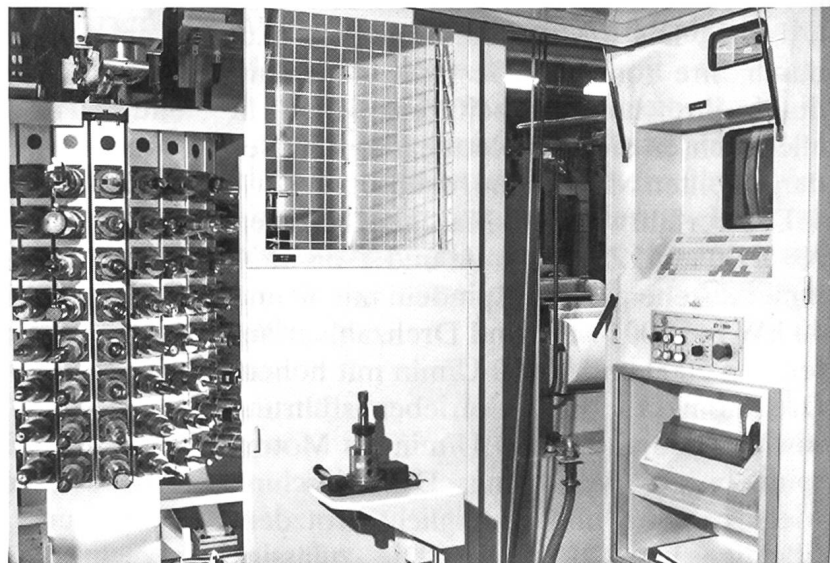


Abb. 3  
Das Werkzeugmagazin in Trommelbauweise mit einhängbaren Werkzeugkassetten. Die maximale Speicherkapazität beträgt 192 Werkzeuge. Die Werkzeugverwaltung übernimmt der Personal Computer, rechts im Bild.



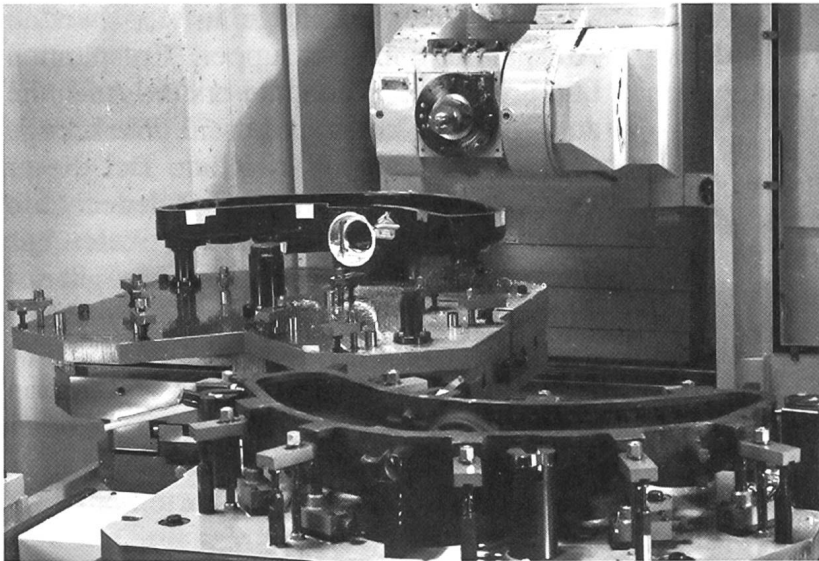


Abb. 4  
Der Arbeitsraum des ZT-800/130 mit schwenkbarer Arbeitsspindelinheit. Im Vordergrund sind zwei gespannte Getriebegehäuse in den Aufspannungen 1 und 3 zu erkennen.

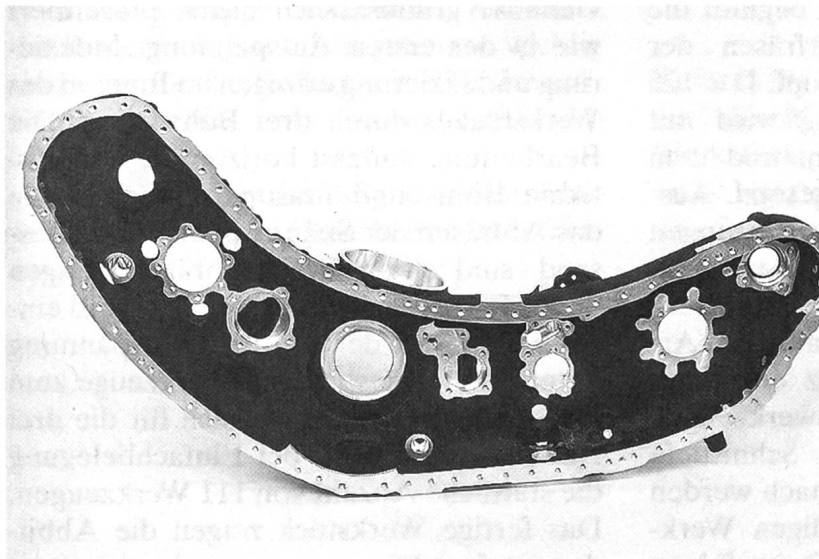


Abb. 5  
Ansicht des fertigen Getriebegehäuses. Der Grossteil der hier sichtbaren Bearbeitungen erfolgt in der ersten Aufspannung.

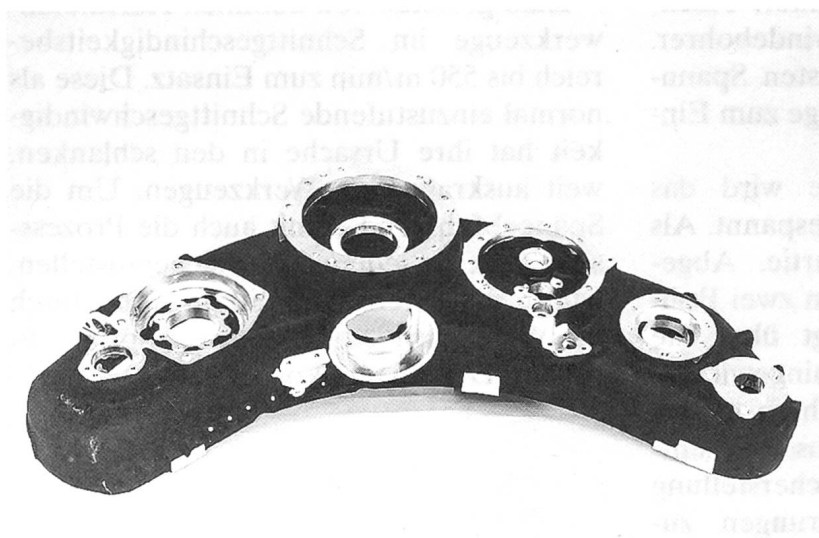


Abb. 6  
Ansicht des fertigen Getriebegehäuses. Die Bearbeitung auf der konvexen Werkstückseite wird in der zweiten Aufspannung durchgeführt.

hinweisen, denn trotz aller Automatisierungsperipherie bleibt die Werkzeugmaschine der Mittelpunkt jeder spanenden Fertigung.

## 5. Der Bearbeitungsablauf

Auf dem Rüstplatz wird das rohe Gehäuse nach Anriss ausgerichtet und mittels der angegossenen Spannplatten gespannt. Diese sind nutenförmig ausgebildet, so dass keines der Spannmittel die Oberkante des Werkstückes überragt, um eine optimale Zugänglichkeit zu den Bearbeitungsstellen zu gewährleisten (Abb. 4).

In der ersten Aufspannung beginnt die Bearbeitung mit dem Überfräsen der Flanschpartie mittels Messerkopf,  $D = 125$  mm. Die Schruppbearbeitung wird mit dem Messerkopf  $D = 63$  mm und dem Schaftfräser  $D = 32$  mm fortgesetzt. Ausserdem werden sechs grosse Bohrungen mit zweischneidigen Bohrstangen-vorbearbeitet. Nach dieser groben Beseitigung der Gusshaut wird das Werkstück aus dem Arbeitsraum ausgeschleust, kurz entspannt und mit den gleichen drei Fräsworkzeugen wie vorhin bei geringer Schnitttiefe nochmals leicht überfräst. Danach werden die Lagersitze mit einschneidigen Werkzeugen fertig ausgespindelt. Dann folgen diverse Spiralbohrer, Stirnsenker, Flachsenker, Fassenker und Gewindebohrer. Insgesamt kommen in der ersten Spann-lage 37 verschiedene Werkzeuge zum Einsatz.

In der zweiten Spann-lage wird das Gehäuse auf der Gegenseite gespannt. Als Auflage dient die Flanschpartie. Abgesteckt und ausgerichtet wird in zwei Bohrungen. Das Spannen erfolgt über die Spannplatten. Es sei darauf hingewiesen, dass dem Messen und Ausrichten in den Aufspannungen 2 und 3 eine ausserordentlich grosse Bedeutung zur Sicherstellung der hohen Qualitätsanforderungen zukommt.

Die Bearbeitungsfolge in der zweiten Aufspannung mit Schruppen, Entspannen und Schlichten gleicht der ersten. Auch die zum Einsatz kommenden 73 Werkzeuge sind weitgehend die gleichen. Bei dieser zweiten Aufspannung erfolgt jedoch ein ständiger Wechsel von der vertikalen zur horizontalen Spindelstellung. Dies gilt sowohl für das Fräsen als auch für alle Bohr- und Ausspindeloperationen. Ausserdem ist eine Schrägbohrung unter dem Winkel von 15 Grad einzubringen, wobei die numerisch gesteuerte, schwenkbare Arbeitsspindel-einheit des ZT-800/130 vorteilhaft zum Einsatz kommt (Abb. 4).

In der dritten Aufspannung wird das Gehäuse grundsätzlich gleich präsentiert wie in der ersten Aufspannung. Indexierung und Fixierung erfolgen im Inneren des Werkstückes durch drei Bohrungen. Die Bearbeitung umfasst horizontale und vertikale Bohr- und Fräsoperationen sowie das Abfräsen der Spannplatten. Abschliessend sind noch drei Schrägbohrungen unter den Winkeln 25, 50 und 29 Grad einzubringen. In der dritten Aufspannung kommen 27 verschiedene Werkzeuge zum Einsatz. Insgesamt ergibt sich für die drei Aufspannungen und bei Einfachbelegung die stattliche Anzahl von 111 Werkzeugen. Das fertige Werkstück zeigen die Abbildungen 5 und 6.

Zum grössten Teil kommen Hartmetallwerkzeuge im Schnittgeschwindigkeitsbereich bis 550 m/min zum Einsatz. Diese als normal einzustufende Schnittgeschwindigkeit hat ihre Ursache in den schlanken, weit auskragenden Werkzeugen. Um die Späneabfuhr und damit auch die Prozesssicherheit in jedem Falle sicherzustellen, wurde die innere Kühlmittelzufuhr durch das Werkzeug bis zum kleinsten Spiralbohrer von  $D = 4,6$  mm konsequent realisiert.

## 6. Die Komplettbearbeitung im Vergleich

Ein Vergleich zwischen dem früheren und dem neuen Fertigungsstand bezieht sich immer auf eine ganz konkrete Unternehmenssituation. Liegt das Ausgangsniveau tief, dann ist es relativ einfach, imponierende Zahlen auszuweisen. War der Fertigungsgrad jedoch bereits auf einem hohen Stand, wie in vorliegendem Fall, dann sehen die Zahlen etwas bescheidener aus. Eine Relativierung der Zahlen ist in jedem Falle vorzunehmen. Ausserdem beziehen sie sich nur auf gut quantifizierbare Kriterien wie Stück, Minuten, Prozente etc.

Unberücksichtigt sind dabei die nicht oder schlecht quantifizierbaren Kriterien, die längerfristig gesehen genau so wichtig sind oder für die Richtigkeit eines Investitionsentscheides noch massgebender sein können.

Durch die Bearbeitung des Getriebegehäuses auf dem Bearbeitungszentrum ergaben sich folgende Vorteile:

- Reduzierung der Aufspannungen von 7 auf 3.
- Reduzierung der Stückzeit um ca. 35% infolge
  - Präsentation des Werkzeuges unter beliebigem Winkel
  - höherer Eilganggeschwindigkeiten
  - kürzerer Werkzeugwechselzeiten
  - Palettenwechsler
  - leistungsfähiger Werkzeuge.
- Rüstzeitreduzierung ca. 40% infolge
  - 2 statt 5 Vorrichtungen
  - direkter Übernahme der Werkzeugkorrekturdaten.
- Durchlaufzeitverkürzung ca. 50%.

Zusätzliche Einsparungen sind zu erwarten durch das Hinzunehmen weiterer Werkstücke der gleichen Teilefamilie und volle Nutzung der zur Verfügung stehenden Speicherkapazität des Trommelmagazins von 192 Werkzeugen.



