



Deutsches  
Forschungszentrum  
für Künstliche  
Intelligenz GmbH

**Document**  
D-91-16

**Wiederholungs-, Varianten- und  
Neuplanung bei der Fertigung  
rotationssymmetrischer Drehteile**

**Jörg Thoben, Franz Schmalhofer, Thomas Reinartz**

**Dezember 1991**

**Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz  
GmbH**

Postfach 20 80

Stuhlsatzenhausweg 3

D-6750 Kaiserslautern  
Tel.: (+49 631) 205-3211/13  
Fax: (+49 631) 205-3210

D-6600 Saarbrücken 11  
Tel.: (+49 681) 302-5252  
Fax: (+49 681) 302-5341

# Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

The German Research Center for Artificial Intelligence (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, DFKI) with sites in Kaiserslautern and Saarbrücken is a non-profit organization which was founded in 1988. The shareholder companies are Atlas Elektronik, Daimler Benz, Fraunhofer Gesellschaft, GMD, IBM, Insiders, Mannesmann-Kienzle, Philips, SEMA Group Systems, Siemens and Siemens-Nixdorf. Research projects conducted at the DFKI are funded by the German Ministry for Research and Technology, by the shareholder companies, or by other industrial contracts.

The DFKI conducts application-oriented basic research in the field of artificial intelligence and other related subfields of computer science. The overall goal is to construct *systems with technical knowledge and common sense* which - by using AI methods - implement a problem solution for a selected application area. Currently, there are the following research areas at the DFKI:

- Intelligent Engineering Systems
- Intelligent User Interfaces
- Intelligent Communication Networks
- Intelligent Cooperative Systems.

The DFKI strives at making its research results available to the scientific community. There exist many contacts to domestic and foreign research institutions, both in academy and industry. The DFKI hosts technology transfer workshops for shareholders and other interested groups in order to inform about the current state of research.

From its beginning, the DFKI has provided an attractive working environment for AI researchers from Germany and from all over the world. The goal is to have a staff of about 100 researchers at the end of the building-up phase.

Prof. Dr. Gerhard Barth  
Director

# **Wiederholungs-, Varianten- und Neuplanung bei der Fertigung rotationssymmetrischer Drehteile**

**Jörg Thoben, Franz Schmalhofer, Thomas Reinartz**

DFKI-D-91-16



# Wiederholungs-, Varianten- und Neuplanung bei der Fertigung rotationssymmetrischer Drehteile

Jörg Thoben  
Franz Schmalhofer  
Thomas Reinartz

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz  
Erwin-Schrödinger-Str.  
D-6750 Kaiserslautern

e-mail: schmalho@informatik.uni-kl.de

**Zusammenfassung** Diese Arbeit beschreibt eine empirische Studie zum Planungsverhalten menschlicher Experten bei der Fertigungsplanung im Maschinenbau. Im Rahmen der Studie wurden zwei Teiluntersuchungen durchgeführt. In der ersten Untersuchung waren eine Reihe von Planungsaufgaben für die Herstellung eines Werkstückes (definiert durch die Geometrie und den Werkstoff) in einer bestimmten Werkstatt (Drehmaschine) zu bearbeiten. Dabei wurden verschiedene Geometrien, Werkstoffe und Drehmaschinen einbezogen. Es wurde gezeigt, daß Experten bei der Fertigungsplanung zunächst eine erste Lösung auf einem abstrakteren Niveau, die als Planskelett (skeletal plan) bezeichnet wird, erarbeiten. Bei der Erstellung solcher wird auf bereits vorliegende Lösungen zurückgegriffen, die gegebenenfalls modifiziert werden. In einer zusammenfassenden Strukturierung der Variantenplanungen konnten verschiedene Vorgehensweisen bei der Übertragung vorhandener Planskette auf neue Fertigungsaufgaben unterschieden werden. In der zweiten Untersuchung war im Paarvergleich von Planungsaufgaben einzuschätzen, wie ähnlich deren resultierende Fertigungspläne sind. Dabei sollte Aufschluß darüber gewonnen werden, wie das Ähnlichkeitsurteil von den Faktoren Geometrie, Werkstoff und Drehmaschine abhängt.

## 1 Einleitung

Diese Arbeit beschreibt eine empirische Studie zum Planungsverhalten menschlicher Experten bei der Fertigungsplanung im Maschinenbau. Die Studie wurde im Rahmen des ARC-TEC-Projektes [Richter, Boley, Wetter, & Warnecke, 1989] durchgeführt.

In diesem Projekt werden grundsätzliche Lösungen zu Fragen der Akquisition, Repräsentation und Kompilation von technischem Wissen für die Entwicklung von Expertensystemen erarbeitet. Die Anwendungsdomäne des Projektes ist der Maschinenbau. Als repräsentativer Anwendungsbereich wurde die Fertigungsplanung bei der Herstellung rotationssymmetrischer Drehteile auf CNC-Maschinen ausgewählt. Die ARC-TEC Shell wird durch modellbasiertes Knowledge-Engineering mit Hilfe der KADS-Methodologie entwickelt.

Ausgangspunkt der Studie ist das in dem Projekt erarbeitete „Modell der Expertise“ der Fertigungsplanung [Kühn, Schmalhofer, & Schmidt, 1990].

In der Studie soll weiterer Aufschluß darüber gewonnen werden, wie Experten bereits existierende Lösungen für Fertigungsaufgaben bei der Bearbeitung neuer Fälle einsetzen.

## **INHALTSVERZEICHNIS**

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                     | <b>1</b>  |
|          | <b>1.1 Fertigung rotationssymmetrischer Drehteile</b> | <b>2</b>  |
|          | <b>1.2 Modell der Expertise der Fertigungsplanung</b> | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>Wiederholungs-, Varianten- und Neuplanung</b>      | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>Untersuchung eins</b>                              | <b>5</b>  |
| <b>4</b> | <b>Untersuchung zwei</b>                              | <b>21</b> |
| <b>5</b> | <b>Zusammenfassung</b>                                | <b>24</b> |
|          | <b>Literatur</b>                                      | <b>25</b> |
|          | <b>Anhang A</b>                                       | <b>26</b> |
|          | <b>Anhang B</b>                                       | <b>28</b> |
|          | <b>Anhang C</b>                                       | <b>34</b> |
|          | <b>Anhang D</b>                                       | <b>41</b> |

Die Untersuchung soll auch darüber Information liefern, wie in der Industrie vorliegende, hochwertige Fertigungspläne für andere Kontexte nutzbar gemacht werden können.

## 1.1 Fertigung rotationssymmetrischer Drehteile

Rotationssymmetrische Drehteile (im folgenden auch als *Werkstücke* bezeichnet) werden auf CNC-Drehmaschinen gefertigt. Das Werkstück ist spezifiziert durch geometrische Angaben über die Zielkontur in Form einer CAD-Zeichnung und technologische Angaben, die z.B. den Werkstoff und die Oberfläche betreffen.

Bei der Fertigung wird zunächst ein *Rohling* in der Drehmaschine mit Hilfe einer *Aufspannung* fixiert. Aufspannung und Rohling werden dann in eine Drehbewegung versetzt, wobei die Längsachse des Rohlings mit dem Zentrum der Rotationsbewegung zusammenfällt. Die Aufspannung ist dabei charakterisiert durch die verwendeten Spannmittel, die ausgeübte Spannkraft und die Orientierung des Werkstückes. Bei einer Fertigung kann es durchaus erforderlich sein, verschiedene Aufspannungen nacheinander zu wählen.

Die Bearbeitung des Rohlings erfolgt durch ein schrittweises Abtragen von Material, bis die gewünschte Zielkontur erreicht wird. Die einzelnen Schritte werden als *Schnitte* bezeichnet. Jeder Schnitt ist festgelegt durch das verwendete (Schneid-) Werkzeug einschließlich des Schneidkörpers (die Werkzeuge werden als *Meißel* bezeichnet), den zu fahrenden Schnittpfad und die gewählten Schneidparameter (z.B. die Rotationsgeschwindigkeit des Werkstückes, die Tiefe des Schnittes und seine Geschwindigkeit, die auch als *Vorschub* bezeichnet wird). Das Resultat jeden Schnittes ist eine neue Kontur des Werkstückes.

Damit ein Werkstück automatisch auf der CNC-Maschine gefertigt werden kann, muß ein Fertigungsplan erstellt werden. Der Fertigungsplan setzt sich zusammen aus der Abfolge von Aufspannungen und Schnitten mit den notwendigen Festlegungen, sowie dem Abspannen des fertigen Werkstückes. Die Hauptaufgaben bei der Fertigungsplanung umfassen somit die Festlegung der Aufspannung(en), die Schnittaufteilung und die Werkzeugauswahl.

## 1.2 Modell der Expertise der Fertigungsplanung

Für Planungsaufgaben bei der Fertigung rotationssymmetrischer Drehteile wurde von Kühn, Schmalhofer und Schmidt (1990) ein konzeptuelles Modell [Breuker, & Wielinga, 1989] erstellt. Dieses beschreibt das Problemlöseverhalten bei der Fertigung und wird im folgenden auch als „Modell der Expertise“ bezeichnet. Es werden im Modell mehrere Wissensarten unterschieden, die in Ebenen (Domänen-, Inferenz-, Aufgaben- und Strategieebene) organisiert werden können.

Das „Modell der Expertise“ der Fertigungsplanung läßt sich wie folgt skizzieren: Bei der Bearbeitung einer Planungsaufgabe geht der Experte von der konkreten Beschreibung des Werkstückes (Geometrie und Werkstoff) und der Werkstatt (Drehmaschine und Werkzeuge) aus. Das herzustellende Werkstück wird einer Werkstückklasse zugeordnet. Ebenso wird eine abstrakte Spezifikation der Werkstatt erzeugt. Die abstrakten Beschreibungen des Werkstückes und der Werkstatt sind mit einem groben Fertigungsplan - der im folgenden als *Planskelett* (skeletal plan) bezeichnet wird - assoziiert. Das Planskelett wird dann unter Einbeziehung der konkreten Werkstück- und Werkstattdaten zu einem ausführbaren Fertigungsplan verfeinert. Kommt diese Verfeinerung zu keinem Ergebnis, wird ein neues Planskelett gewählt oder unter Umständen sogar eine neue abstrakte Beschreibung erzeugt.

Das „Modell der Expertise“ implementiert somit zusammengenommen eine Planskelettverfeinerungsstrategie [Schmalhofer, Kühn, & Schmidt, 1990]. Beim zur Planung benötigten Wissen lassen sich verschiedene Wissensarten unterscheiden: (1) Wissen zur Abstraktion der konkreten Werkstückbeschreibungen, (2) Wissen zur Abstraktion der konkreten Werkstattbeschreibungen, (3) Wissen zur Zuordnung von Planskeletten (bzw. einzelnen Schritten) zu den abstrakten Beschreibungen von Werkstück und Werkstatt und (4) Wissen zur Verfeinerung der Planskelette zu konkreten, ausführbaren Fertigungsplänen.

Die Akquisition des Expertenwissens kann fallorientiert gestaltet werden. Konkrete Fälle - d.h. Herstellung eines Werkstückes in einer bestimmten Werkstatt mit ausgearbeitetem Fertigungsplan - werden als Ausgangspunkt zur Identifizierung des relevanten, generischen Wissens benutzt.

Dies macht insbesondere dadurch Sinn, daß in der Industrie eine Vielzahl qualitativ hochwertiger Fertigungspläne vorliegen. Diese wurden von Planungsexperten erstellt und sind umfangreich getestet worden. Solche Fallsammlungen sind normalerweise in den Archiven der einzelnen Firmen verfügbar. Einzelne Fälle wurden jedoch auch veröffentlicht [SPK-Feldmühle Werkzeuge, 1988]. Deshalb ist es sinnvoll, diese hochwertigen Fertigungspläne derart aufzubereiten, daß sie in verschiedenen Kontexten einsetzbar werden. So können in mittelständischen Betrieben neue oder andere Maschinen und Werkzeuge zur Verfügung stehen oder ein Werkstück soll aus verändertem Material gefertigt werden.

## 2 Wiederholungs-, Varianten- und Neuplanung

In einer empirischen Studie wurde die Wiederholungs-, Varianten- und Neuplanung bei der Fertigung rotationssymmetrischer Drehteile untersucht. Die Studie sollte vor allem Aufschluß darüber geben, welche Rolle Planskelette im Planungsprozeß spielen, wie Planskelette zu ausführbaren Fertigungsplänen verfeinert werden und wie von Experten bereits existierende Lösungen für Fertigungsaufgaben bei der Bearbeitung neuer Fälle eingesetzt werden.

Der Studie zugrunde gelegt wurde das bereits skizzierte „Modell der Expertise“ der Fertigungsplanung [Kühn, Schmalhofer, & Schmidt, 1990]. Dies ist deshalb sinnvoll, da das Modell durch psychologische Untersuchungen des Problemlöseverhaltens von Experten (systematische Befragungen und Prozeßanalysen von Laut-Denk Protokollen) entwickelt wurde [Schmidt, Legleitner & Schmalhofer, 1990] und somit - global gesehen - auch die Performanz der Experten widerspiegelt.

Jede Planungsaufgabe war definiert durch die zur Verfügung stehende Drehmaschine (Werkstattmodell), sowie durch die gewünschte Geometrie und den Werkstoff des Werkstückes (Werkstückmodell).

Es wurden drei Drehmaschinen betrachtet, die im folgenden mit  $d_1$ ,  $d_2$  und  $d_3$  bezeichnet werden.  $d_1$  ist eine CNC-Drehmaschine, die in der Ausbildung eingesetzt wird. Die CNC-Drehmaschinen  $d_2$  und  $d_3$  werden in der Fertigung rotationssymmetrischer Drehteile eingesetzt, wobei  $d_3$  eine Hochleistungsdrehmaschine mit zwei Werkzeugrevolvern ist. Die Kenngrößen der drei Maschinen sind in Abbildung 1 aufgelistet. Es wurden fünf geometrische Formen ( $g_1 \dots g_5$ ) betrachtet. Die Geometrie beschreibt die Merkmale der Kontur, sowie spezielle Konturelemente, wie z.B. Nuten oder Gewinde. Die einzelnen Geometrien wurden durch eine CAD-Zeichnung repräsentiert, in der zusätzlich die genauen Bemessungen und Toleranzen des Werkstückes spezifiziert sind. Die Geometrien  $g_1$ ,  $g_2$  (Antriebswellen) und  $g_3$  (Ritzelwelle) haben eine auf- und absteigende



|       | Bezeichnung       | Geschwindigkeit | Leistung | Werkzeuge | Revolver | Stabilität |
|-------|-------------------|-----------------|----------|-----------|----------|------------|
| $d_1$ | Emcoturn 140      | 2500 U/MIN      | 5,5 kW   | 4         | 1        | instabil   |
| $d_2$ | Böhringer PNE 480 | 5000 U/MIN      | 70 kW    | 6         | 1        | stabil     |
| $d_3$ | Böhringer XY      | 7000 U/MIN      | 90 kW    | 12        | 2        | stabil     |

Abbildung 1: Kenngrößen der Drehmaschinen  $d_1$ ,  $d_2$  und  $d_3$

Kontur; die Geometrien  $g_4$  und  $g_5$  (Achswellen) haben eine monoton absteigende Kontur. Es treten unter anderem die Konturelemente Nut (breit und schmal), Zapfen und Gewinde auf. Die Abbildungen der einzelnen Geometrien finden sich in Anhang A. Es wurden vier Werkstoffe betrachtet: unlegierter Vergütungsstahl C45 ( $w_1$ ), Gußeisen GG25 ( $w_2$ ), Aluminium AlMgSi ( $w_3$ ) und hochlegierter Edelstahl X5CrNi 18 9 ( $w_4$ ).

Die Kombination von jeweils einer Geometrie  $g_x$ , eines Werkstoffes  $w_y$  und einer Maschine  $d_z$  ergibt 60 mögliche Planungsaufgaben. Die einzelnen Kombinationen sind in einer Matrix in Abbildung 2 dargestellt. Ein Stern in einer Zelle deutet an, daß in der Studie für diese Planungsaufgabe ein Planskelett und ein Fertigungsplan vom Experten erarbeitet wurde. Ein Minuszeichen deutet an, daß eine Fertigung des Werkstückes auf der entsprechenden Drehmaschine in der Praxis unüblich ist. Bei fünf Fertigungsaufgaben standen Musterlösungen aus der Industrie ( $m_1 \dots m_5$ ) zur Verfügung.

|           |    | Werkstück           |    |    |    |                     |    |    |    |                   |    |    |    |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
|-----------|----|---------------------|----|----|----|---------------------|----|----|----|-------------------|----|----|----|-----------------|----|----|----|-----------------|----|----|----|
|           |    | Antriebswelle<br>g1 |    |    |    | Antriebswelle<br>g2 |    |    |    | Ritzelwelle<br>g3 |    |    |    | Achswelle<br>g4 |    |    |    | Achswelle<br>g5 |    |    |    |
|           |    | w1                  | w2 | w3 | w4 | w1                  | w2 | w3 | w4 | w1                | w2 | w3 | w4 | w1              | w2 | w3 | w4 | w1              | w2 | w3 | w4 |
| Werkstatt | d1 | -                   | -  | -  | -  |                     |    |    | -  |                   |    |    | -  |                 |    |    | -  |                 |    |    | -  |
|           |    |                     |    |    |    |                     |    |    |    | *                 | *  | *  | *  |                 |    |    |    |                 |    |    | *  |
|           | d2 |                     |    |    |    |                     |    |    |    | m3                |    |    |    |                 |    |    |    |                 |    |    |    |
|           |    | *                   |    | *  |    | *                   |    |    | *  |                   |    |    |    |                 |    |    |    |                 |    | *  |    |
| d3        | m1 |                     |    |    | m2 |                     |    |    |    |                   |    |    | m4 |                 |    |    | m5 |                 |    |    |    |
|           | *  | *                   | *  | *  |    |                     | *  |    | *  |                   |    |    |    |                 |    |    |    |                 |    | *  |    |

Abbildung 2: Matrixdarstellung der 60 möglichen Planungsaufgaben

In der Studie wurde zwischen Wiederholungs-, Varianten- und Neuplanungen unterschieden. Eine Variantenplanung wird dann durchgeführt, wenn der Experte einen fertiges Planskelett und/oder einen fertigen Fertigungsplan auf die zu bearbeitende Fertigungsaufgabe überträgt. Zur Verfügung standen ihm dabei neben den von ihm selbst erstellten Plänen auch fünf Vorlagen aus der Industrie. Eine Wiederholungsplanung liegt

dann vor, wenn ein vorliegender Fertigungsplan unverändert angewendet wird. Wiederholungsplanung wird somit als Spezialfall der Variantenplanung behandelt.

Die Studie gliederte sich in zwei Teiluntersuchungen, die im folgenden als Untersuchung eins und Untersuchung zwei bezeichnet werden. In der Untersuchung eins hatte ein Experte eine Reihe von Planungsaufgaben zu bearbeiten, d.h. das Planskelett und den Fertigungsplan zu erstellen. In der Untersuchung zwei hatten zwei Experten im Paarvergleich von Planungsaufgaben einzuschätzen, wie ähnlich deren Fertigungspläne sind. Die beiden Untersuchungen sollen nun detailliert beschrieben werden.

### 3 Untersuchung eins

In der Untersuchung eins hatte ein Experte<sup>1</sup> eine Reihe vorgegebener Planungsaufgaben zu bearbeiten.

Wegen der großen Zeitanforderungen bei der Bearbeitung einer Planungsaufgabe konnte nur eine Auswahl der insgesamt möglichen Aufgaben (siehe Abbildung 2) bearbeitet werden. Die zu bearbeitenden Aufgaben wurden in Abstimmung mit dem Experten ausgewählt. Dabei sollten nur übliche, d.h. in der Praxis vorkommende Fälle bearbeitet werden. Einzelne Werkstücke sollten auf verschiedenen Drehmaschinen bearbeitet werden und umgekehrt. Die Reihenfolge der Planungen wurde ebenfalls mit dem Experten abgestimmt. Hierbei wurde versucht den Experten zu entlasten: ähnliche Fälle konnten nacheinander bearbeitet werden. Es wurden acht Planungsaufgaben als nicht üblich ausgeschlossen (diese sind in der Abbildung 2 mit einem Minuszeichen gekennzeichnet) und 17 Planungsaufgaben bearbeitet (gekennzeichnet mit einem Stern).

Bei jeder Planungsaufgabe war die Geometrie und der Werkstoff des Werkstückes ( $g_x w_y$ ) und die Drehmaschine ( $d_z$ ) vorgegeben. Bei den benötigten Werkzeugen gab es keine Einschränkungen. Gefordert wurde eine zeitoptimale Planung. Die Pläne waren für Kleinserien, d.h. niedrige Stückzahlen bis 50 Stück, zu erstellen. Dies hat zur Konsequenz, daß mit weniger Werkzeugen (im Gegensatz zu Großserien) gearbeitet werden kann, da der höhere Verschleiß der einzelnen Werkzeuge nicht oder kaum zu Rüstzeiten (Werkzeugwechsel) während der Fertigung der Kleinserie führt.

Bei der Planung hatte der Experte zunächst zu prüfen, ob Neu- oder Variantenplanung durchgeführt werden soll. Dabei konnte der Experte auf die fünf Musterlösungen und auf die von ihm selbst erstellten Planskelette bzw. Fertigungspläne zurückgreifen. Danach wurde eine abstrakte Beschreibung von Werkstück und Werkstatt erstellt. Anschließend wurde vom Experten ein Planskelett erarbeitet und dieses zu einem konkreten Fertigungsplan verfeinert.

Dem Experten standen Kataloge Tabellen und Zeichnungen

## Ergebnisse

Es wurden 17 Planungsaufgaben durchgeführt. Dabei konnte bei 15 eine Variantenplanung mit Hilfe eines übertragbaren Planes beobachtet werden. Bei einer Aufgabe wurde ein bereits erstellter Fertigungsplan unverändert angewendet und bei einer Aufgabe mußte eine Neuplanung durchgeführt werden. Die Durchführung einer Neuplanung dauerte im Durchschnitt 2-2.5 Stunden, die einer Variantenplanung 1-1.5 Stunden. Eine zusammenfassende Darstellung der bearbeiteten Planungsaufgaben findet sich in Abbildung 3.

| Nr. | Planungsart  | Aufgabe     |
|-----|--------------|-------------|
| 1   | Variation    | $g_3w_3d_1$ |
| 2   | Variation    | $g_3w_1d_1$ |
| 3   | Neu          | $g_5w_4d_1$ |
| 4   | Variation    | $g_3w_4d_1$ |
| 5   | Variation    | $g_3w_2d_1$ |
| 6   | Variation    | $g_1w_2d_3$ |
| 7   | Variation    | $g_1w_1d_3$ |
| 8   | Variation    | $g_2w_1d_3$ |
| 9   | Variation    | $g_1w_1d_2$ |
| 10  | Variation    | $g_1w_4d_2$ |
| 11  | Variation    | $g_5w_3d_2$ |
| 12  | Variation    | $g_1w_4d_3$ |
| 13  | Variation    | $g_5w_3d_3$ |
| 14  | Wiederholung | $g_3w_2d_3$ |
| 15  | Variation    | $g_3w_2d_2$ |
| 16  | Variation    | $g_2w_4d_3$ |
| 17  | Variation    | $g_2w_3d_2$ |

Abbildung 3: Bearbeitete Planungsaufgaben in Untersuchung eins

Detaillierte Baumdarstellungen der durch Variantenplanung gelösten Fertigungsaufgaben zeigen die Abbildungen 4 und 5. Jeder Knoten eines Baumes enthält das entsprechende Kürzel und die kurze verbale Beschreibung der Fertigungsaufgabe. Rechts unten in jedem Knoten findet sich die Nummer der Fertigungsaufgabe. Bei der Bezeichnung der Aufgaben wurde unterschieden zwischen in der Industrie gelösten Aufgaben (bezeichnet als „Vorlage“) und in der Untersuchung gestellten Aufgaben (bezeichnet als „Aufgabe“). Die Kanten haben die Bedeutung „wurde-verwendet-als-Muster-für“.

Bei der Fertigungsplanung zeigte sich, daß der Experte zunächst auf Planskelette zurückgriff. So wurden z.B. die Abschätzungen, welcher Plan übertragbar ist, auf diesem Niveau vorgenommen. Dieser diente dem Experten dann als Vorlage und (zusätzliche) Datenbasis für die durchzuführende Planung. Das Planskelett konnte dann vom Experten ausschließlich aufgrund seines Erfahrungswissens und der Vorlage (bei Variantenplanung) gefunden werden. In einem Planskelett sind die einzelnen Aufspannungen und Schnitte qualitativ beschrieben. Die einzelnen Schritte definieren Klassen von Aufspannungen und Schnitten („Schruppen“), für die bestimmte Einschränkungen („linker Schruppdrehmeißel, mittlere Schnittgeschwindigkeit, etc.“) angegeben werden. Das Planskelett wurde daraufhin zum Fertigungsplan verfeinert.

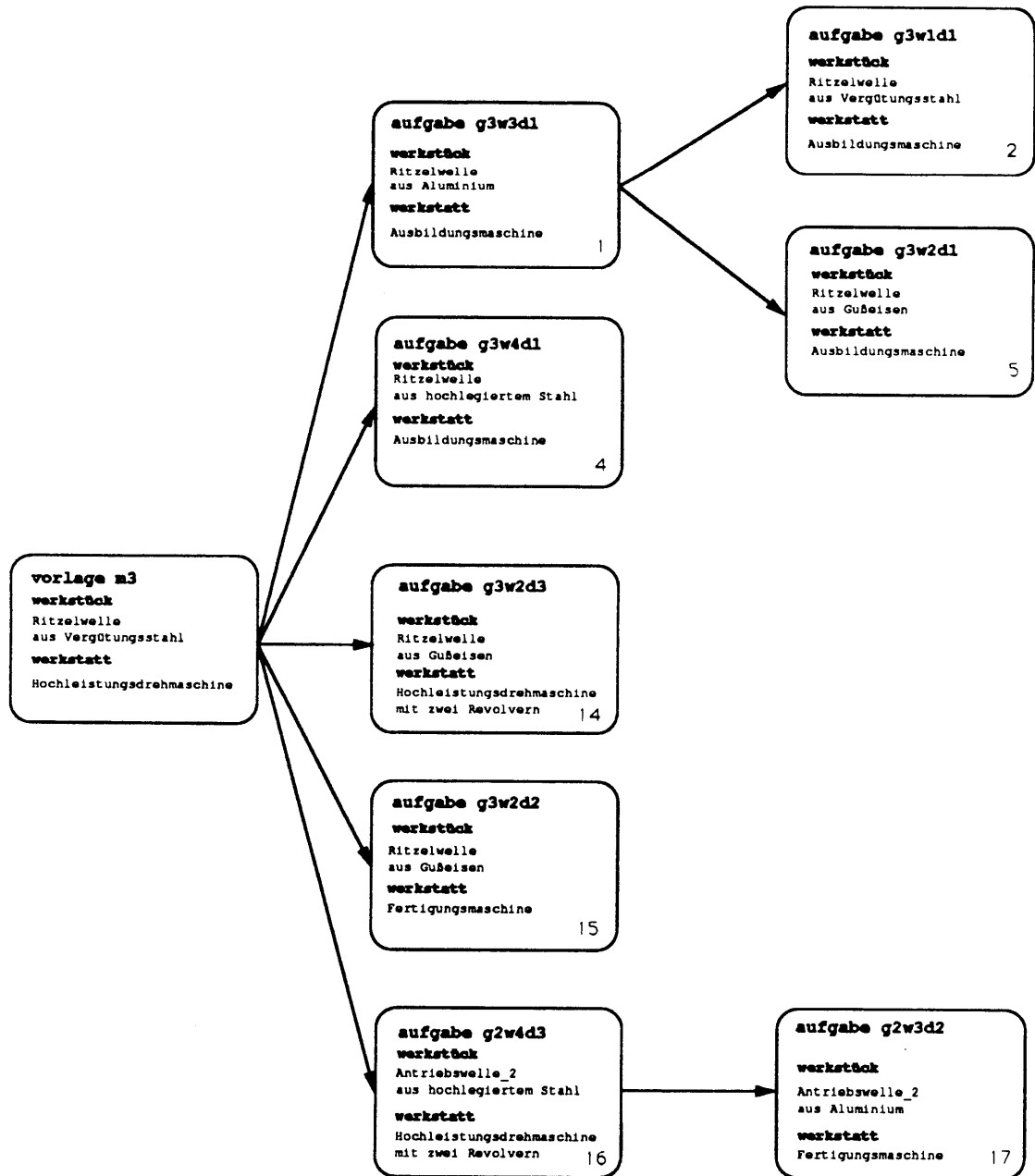


Abbildung 4: Variantenplanungen ausgehend von der Musterlösung  $m_3$

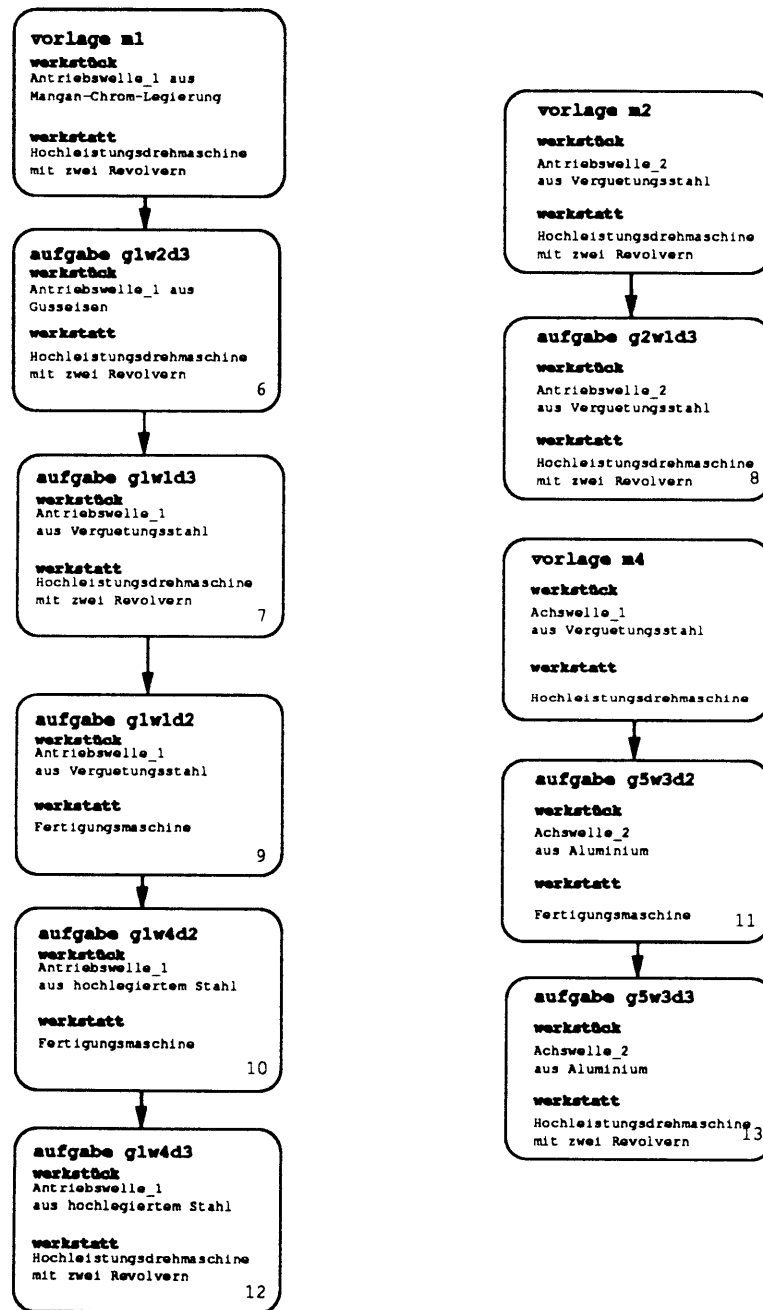


Abbildung 5: Variantenplanungen ausgehend von den Musterlösungen  $m_1$ ,  $m_2$  und  $m_4$

Die Verfeinerung der einzelnen Schritte eines Planskelettes ist als Instantiierung beschreibbar: Aus der Klasse der potentiell erlaubten Werkzeuge wird mit Hilfe des Verfeinerungswissens ein konkretes Werkzeug ausgewählt, welches die im Planskelett festgelegten Einschränkungen erfüllt. Bei der Verfeinerung war der Experte auf externe Hilfsmittel angewiesen. Die Bezeichnungen der Werkzeuge wurden vor allem mit Hilfe der Vorlage (bei Variantenplanung) und Katalogen festgelegt. Der Experte legte die konkreten Schnittdaten durch Abschätzung fest. Grundlage der Abschätzung waren die im Planskelett festgehaltenen (Bereichs-) Angaben. Lediglich in kritischen Fällen oder bei Unsicherheit berechnete er einzelne Werte. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel einer Verfeinerung eines Schnittes. Die für jede der Planungen erhobene abstrakte Werkstück- und Werkstattbeschreibung, das Planskelett und der Fertigungsplan sind in Anhang D enthalten.

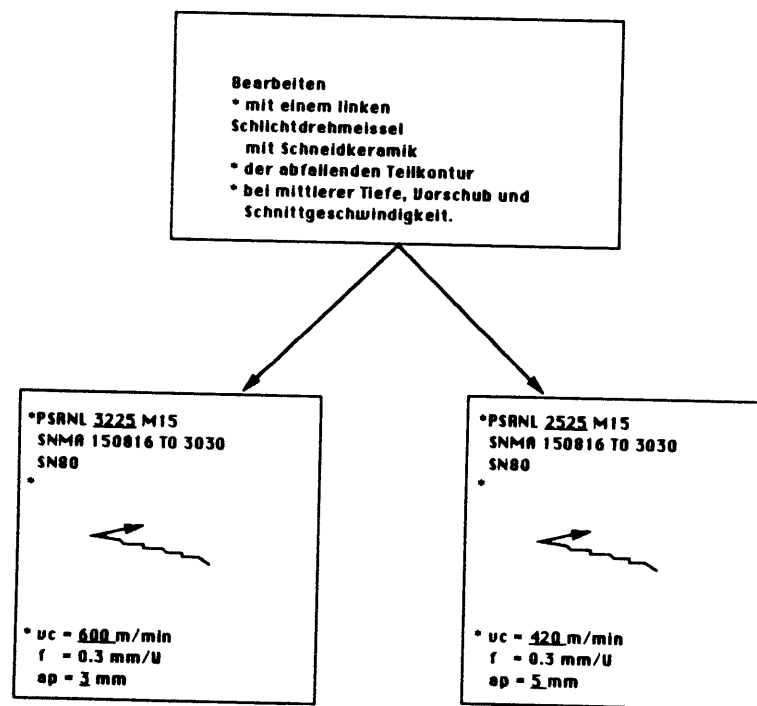


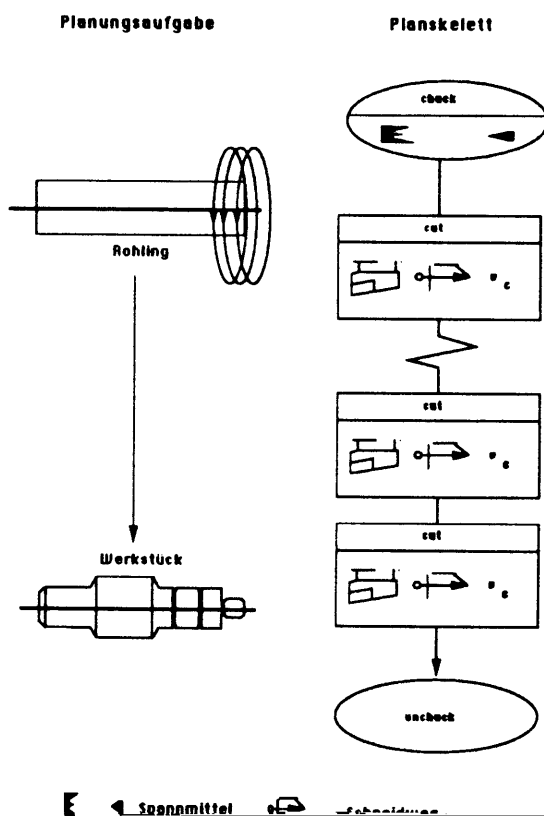
Abbildung 6: Verfeinerung eines Planskelettschrittes

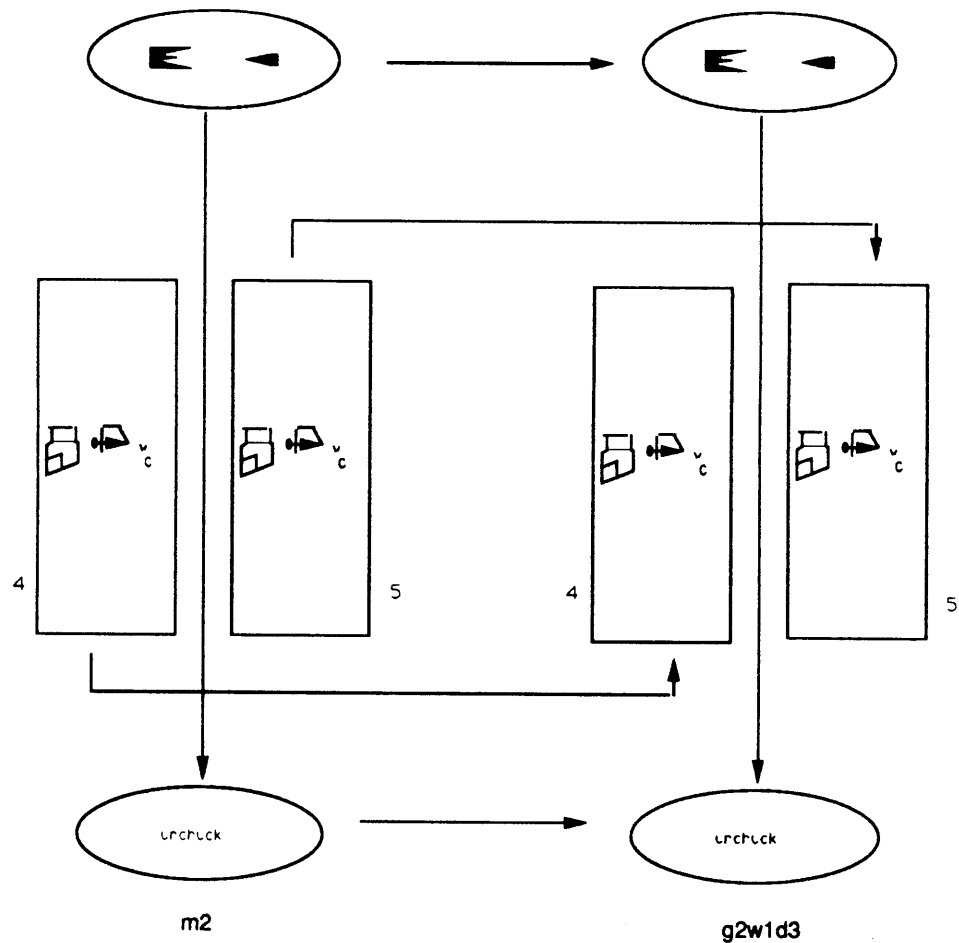
### Variantenplanung durch Übertragen eines Planskelettes

Das Planungsverhalten des Experten bei der Variantenplanung wurde anschließend genauer analysiert. Von besonderem Interesse war dabei, welche Veränderungen bei Werkstück und/oder Werkstatt, welche Modifikationen im Planskelett zur Folge haben. Darüberhinaus wurde versucht, diese Modifikationen zu klassifizieren. Dabei wurde die Sequenz der einzelnen Schritte des Vorgängerplanes mit der Sequenz des Nachfolgerplanes verglichen.

Abbildung 7 zeigt die graphische Repräsentation einer hypothetischen Planungsaufgabe und der Sequenz des zugehörigen Planskelettes. Die Sequenz besteht aus der Aufspan-

nung, einer Abfolge von Schnitten mit den notwendigen Festlegungen, sowie dem Abspannen des fertigen Werkstückes. In der Abbildung 7 werden Aufspannungen als Ovale und Schnitte als Boxen dargestellt. Für einzelne Festlegungen (Spannmittel, Werkzeug, Schneidstoff, Schnittdaten) werden eigene Symbole eingeführt. Werden mehrere Schnitte durch eine Box symbolisiert, wird dies neben der Box durch eine Zahl angezeigt.

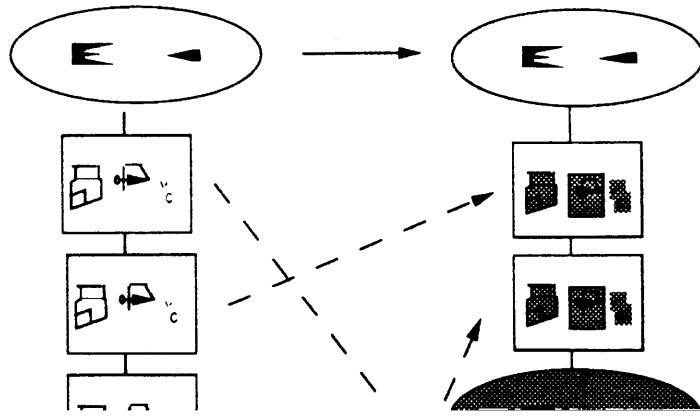


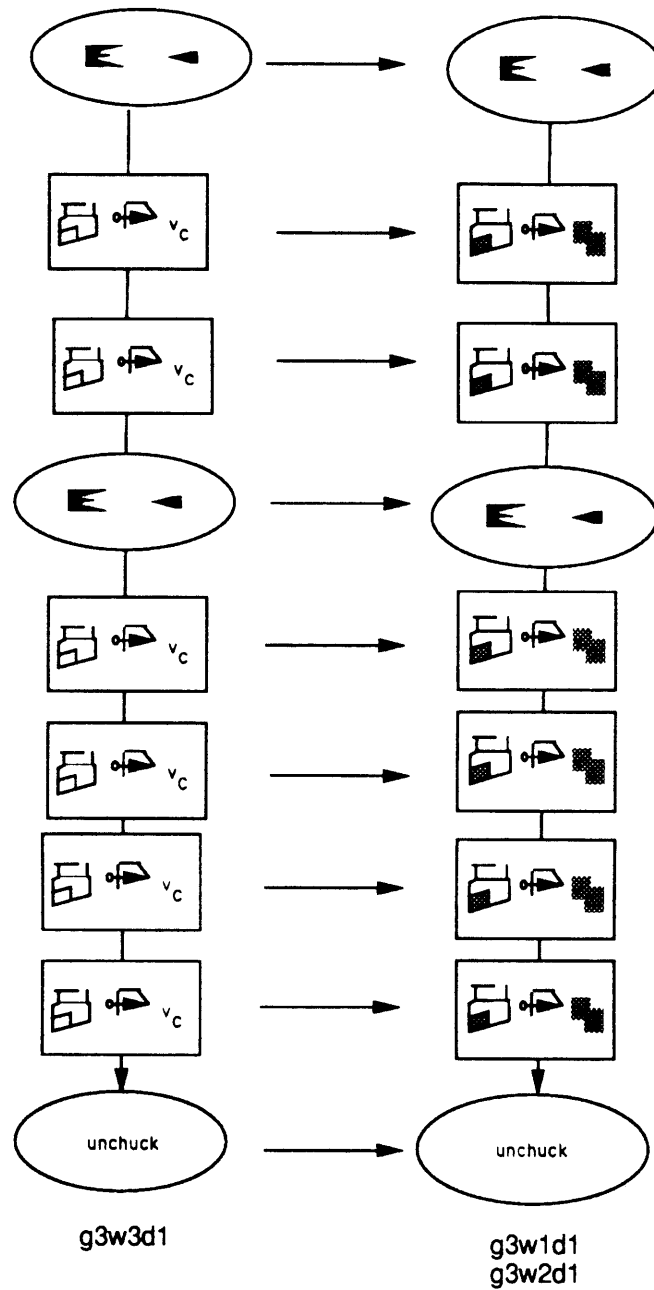


Die Vorlage  $m_2$  wurde in der Industrie erarbeitet. Gefertigt wird eine Antriebswelle<sub>2</sub> aus Vergütungsstahl auf einer Hochleistungsdrehmaschine mit der Möglichkeit paralleler Schnitte.

In der Aufgabe  $g_2w_1d_3$  ist ebenfalls eine Antriebswelle<sub>2</sub> aus Vergütungsstahl auf einer Hochleistungsdrehmaschine mit der Möglichkeit paralleler Schnitte zu fertigen. Das Planskelett kann unverändert übertragen werden.



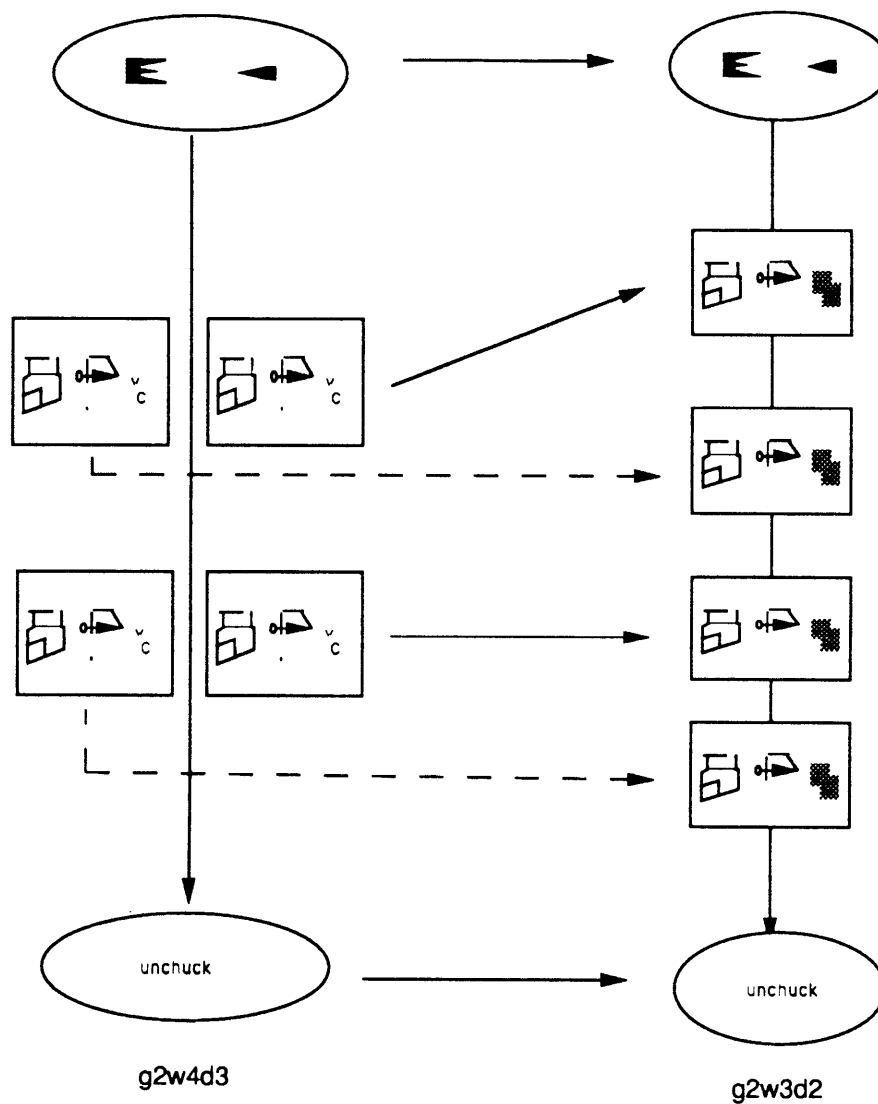




Bei der Aufgabe  $g_{3w3d1}$  ist eine Ritzelwelle aus Aluminium auf einer Ausbildungsmaschine zu fertigen.

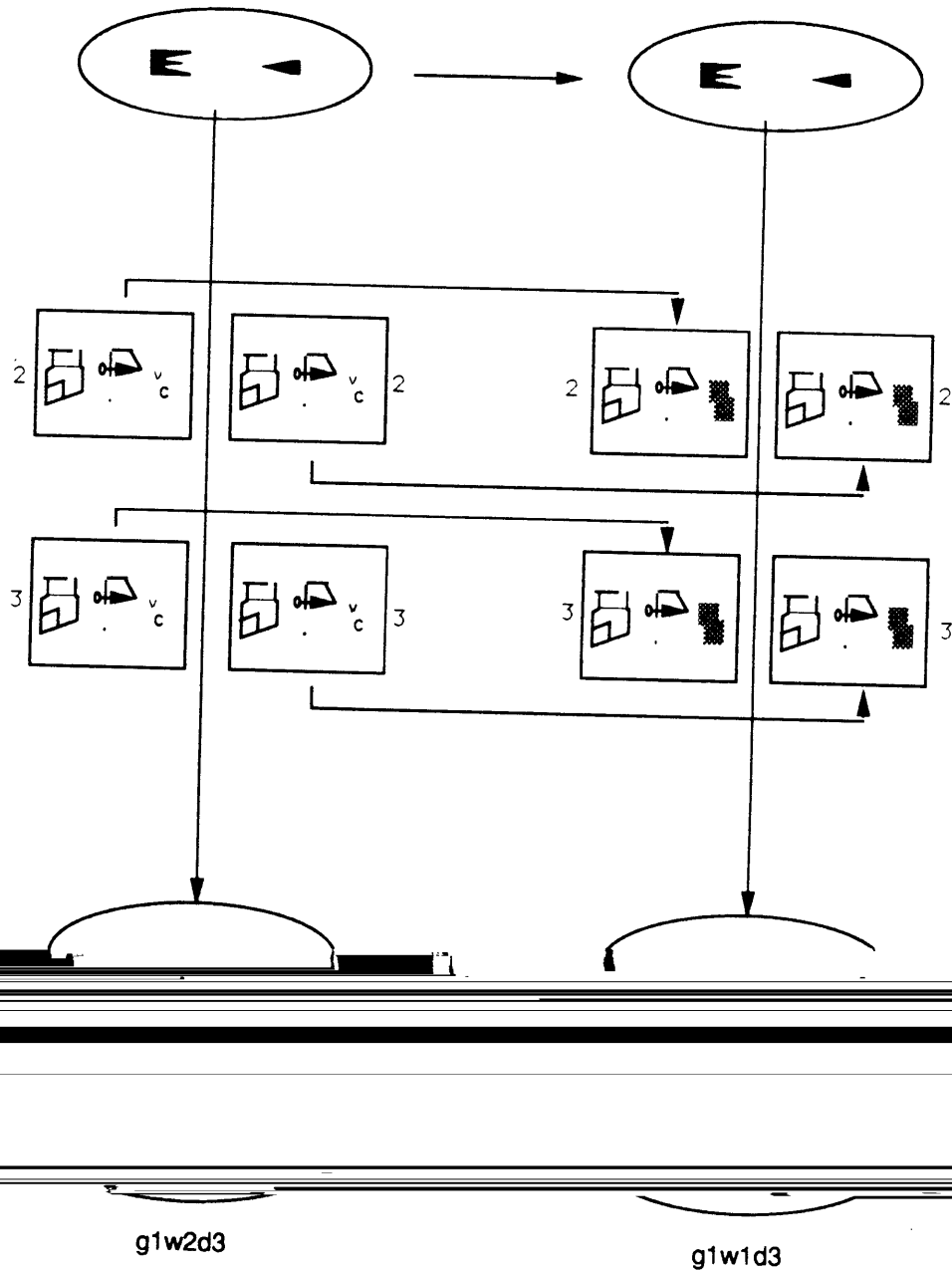
Bei der Aufgabe  $g_{3w1d1}$  ist die Ritzelwelle aus *Vergütungsstahl* auf derselben Maschine herzustellen. Die Reihenfolge der Aufspannungen und Schnitte wird übernommen. Die Abschätzungen der zu fahrenden Schnittdaten und die Schneidstoffklasse werden angepaßt.

Dieselben Modifikationen werden auch bei der Aufgabe  $g_{3w2d1}$  vorgenommen.



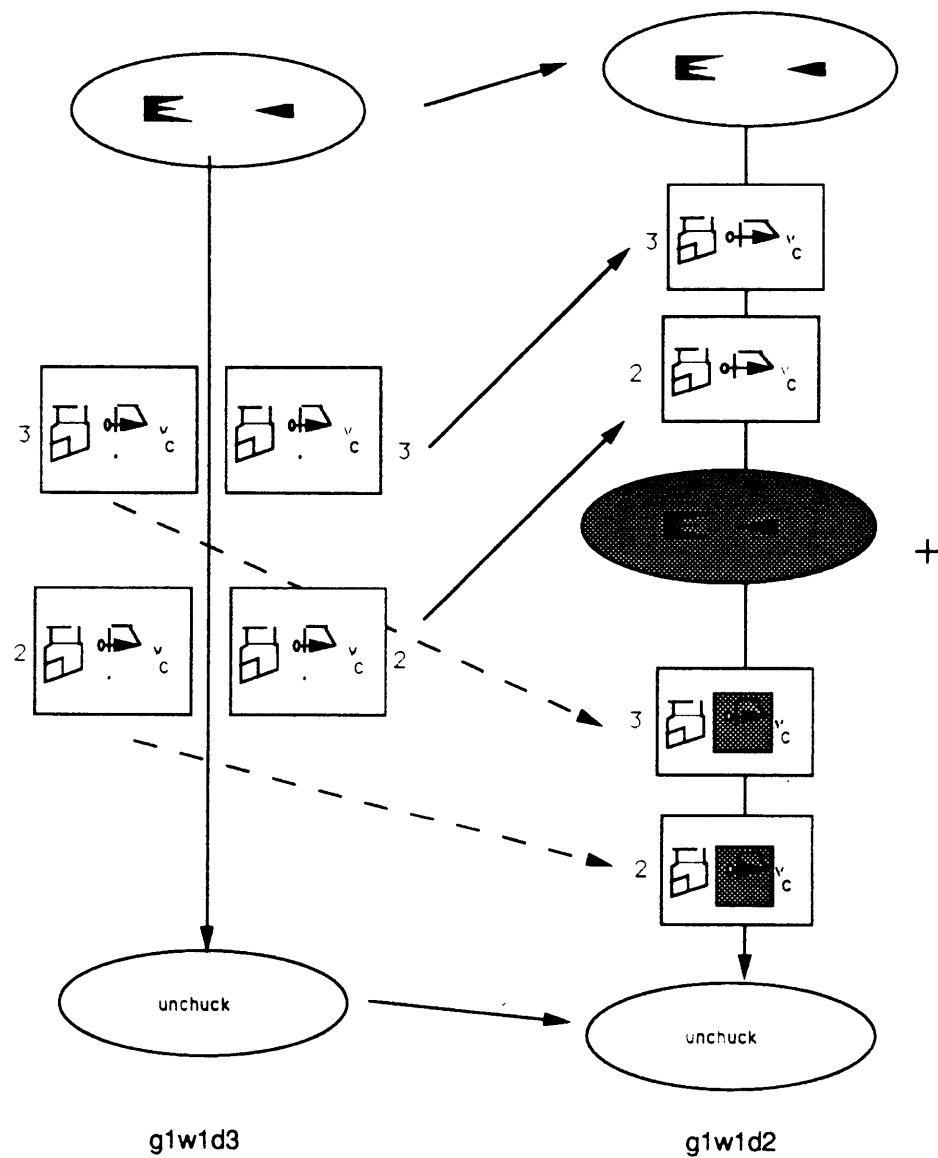
Bei der Aufgabe  $g_2w_4d_3$  ist eine Antriebswelle<sub>2</sub> (beidseitig abfallende Kontur) aus hochlegiertem Stahl auf einer Hochleistungsdrehmaschine mit der Möglichkeit paralleler Schnitte zu fertigen.

Bei der Aufgabe  $g_2w_3d_2$  ist die Antriebswelle<sub>2</sub> aus *Aluminium* auf einer *Fertigungsmaschine* herzustellen. Die vorher parallel ausgeführten Schnitte werden nun sequentiell miteinander verzahnt. Dadurch werden beide Konturen wechselweise bearbeitet. Die Abschätzungen der zu fahrenden Schnittdaten werden angepaßt.



Bei der Aufgabe  $g_1w_2d_3$  ist eine Antriebswelle<sub>1</sub> (beidseitig abfallende Kontur, relativ lang und schlank, ohne besondere Oberflächenanforderungen) aus Gußeisen auf einer Hochleistungsdrehmaschine mit der Möglichkeit paralleler Schnitte zu fertigen.

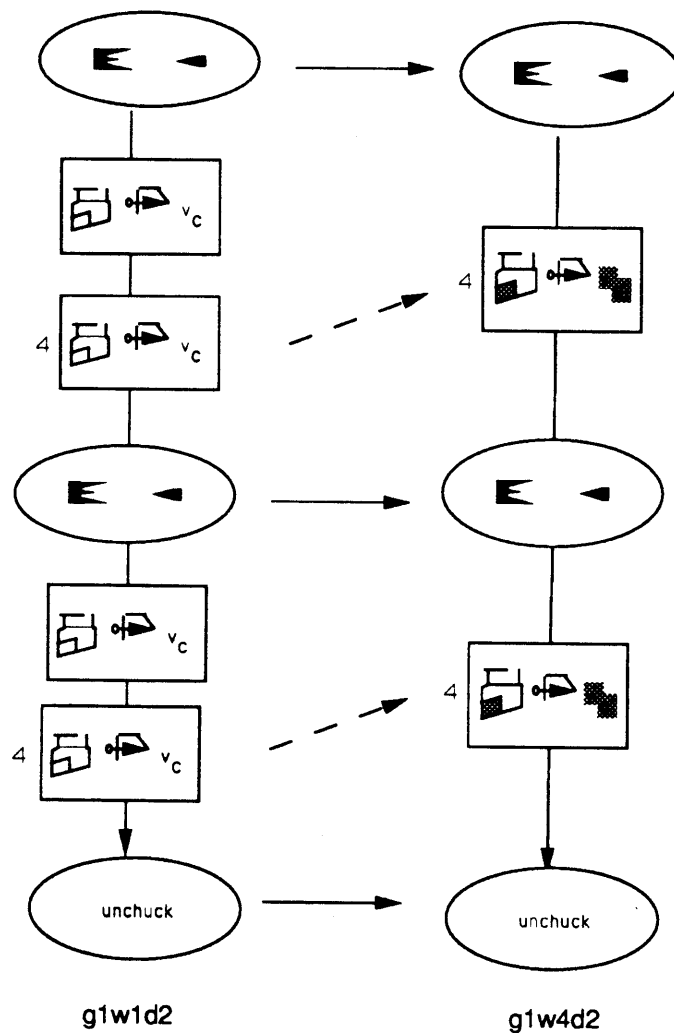
Bei der Aufgabe  $g_1w_1d_3$  ist die Antriebswelle<sub>1</sub> aus *Vergütungsstahl* auf derselben Hochleistungsdrehmaschine herzustellen. Die Reihenfolge der Aufspannungen und Schnitte wird übernommen. Die Abschätzungen der zu fahrenden Schnittdaten werden angepaßt.



Bei der Aufgabe  $g_{1w1d3}$  ist eine Antriebswelle<sub>1</sub> (beidseitig abfallende Kontur, relativ lang und schlank, ohne besondere Oberflächenanforderungen) aus Vergütungsstahl auf einer Hochleistungsdrehmaschine mit der Möglichkeit paralleler Schnitte zu fertigen. Dabei werden 10 verschiedene Werkzeuge verwendet.

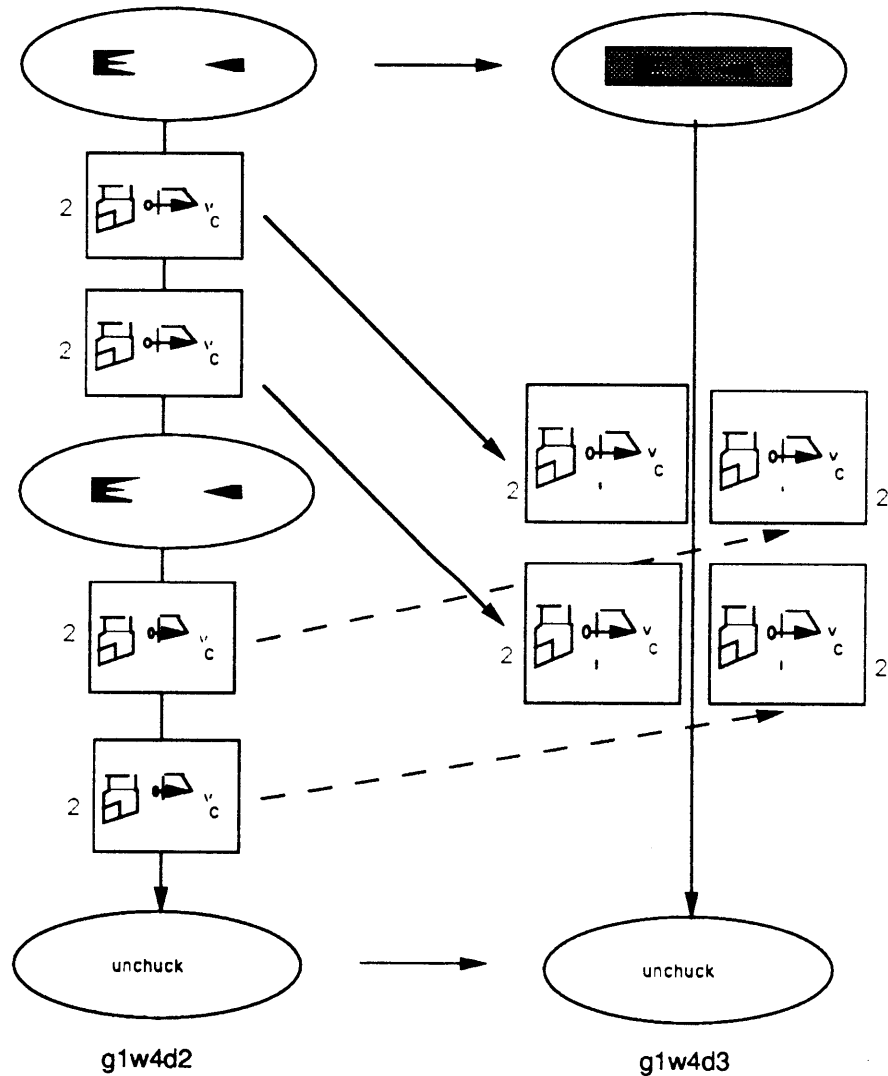
Bei der Aufgabe  $g_{1w1d2}$  ist die Antriebswelle<sub>1</sub> aus Vergütungsstahl auf einer *Fertigungsmaschine* herzustellen. Diese kann jedoch gleichzeitig nur sechs Werkzeuge aufnehmen und bietet keine Möglichkeit paralleler Schnitte. Da nicht mehr Werkzeuge verwendet werden sollen, als gleichzeitig zur Verfügung stehen (Erfahrungswissen), werden Werkzeuge eingespart. Die parallelen Schnitte müssen nun sequentiell abgearbeitet werden. Aus diesen Gründen werden die einzelnen Schritte so umgruppiert (gestrichelte Pfeile), daß zunächst mit fünf Werkzeugen eine Teilkontur bearbeitet, das Werkstück

umgedreht (unterlegte neue Aufspannung), abschließend die zweite Teilkontur (mit angepaßten Schnittwegen) bearbeitet wird.



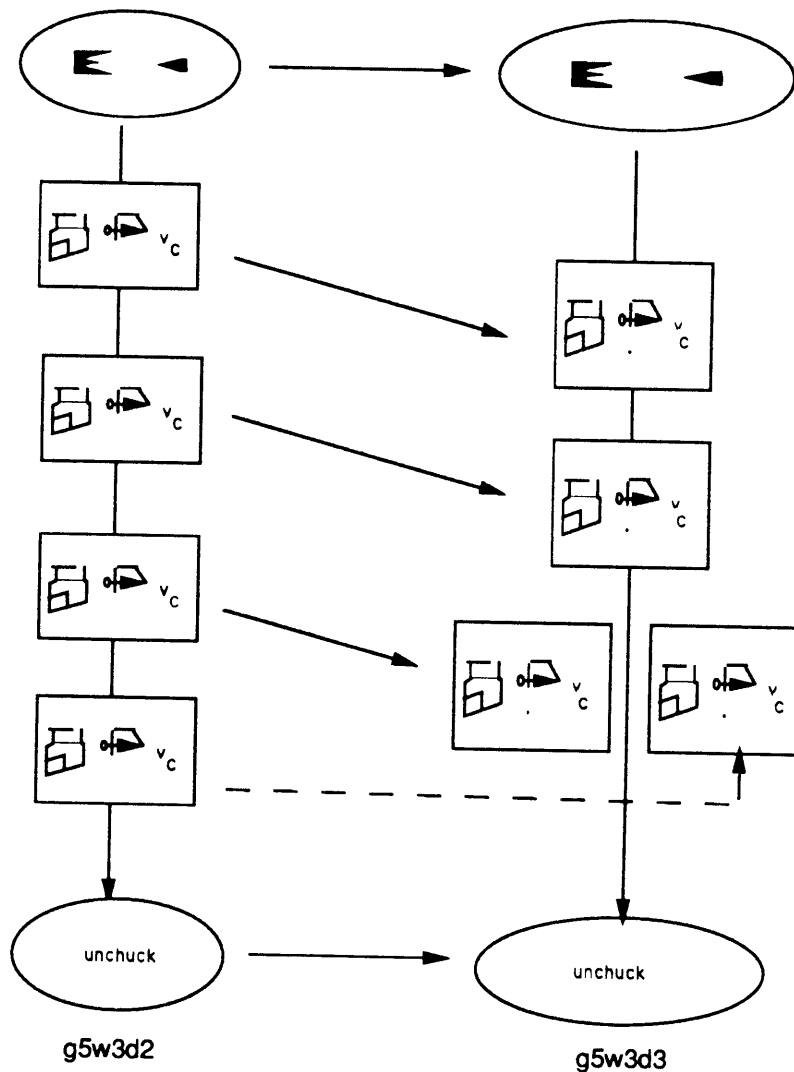
Bei der Aufgabe  $g_1w_1d_2$  ist eine Antriebswelle<sub>1</sub> aus Vergütungsstahl auf einer Fertigungsmaschine herzustellen.

Bei der Aufgabe  $g_1w_4d_2$  ist die Antriebswelle<sub>1</sub> aus *hochlegiertem Stahl* auf der Fertigungsmaschine herzustellen. Es werden die qualitativen Abschätzungen der Schnittdaten und die verwendete Schneidstoffklasse (vorher Schneidkeramik, jetzt Hartmetall) angepaßt. Da im Gegensatz zur Verwendung von Hartmetall bei Schneidkeramik ein Anschnitt notwendig ist, können die entsprechenden Schnitte jetzt entfallen. Ansonsten wird die Reihenfolge der Schnitte beibehalten.



Bei der Aufgabe  $g_1w_4d_2$  ist eine Antriebswelle<sub>1</sub> aus hochlegiertem Stahl auf einer Fertigungsmaschine herzustellen. Dabei werden die beiden abfallenden Teilkonturen nacheinander bearbeitet.

Bei der Aufgabe  $g_1w_4d_3$  ist die Antriebswelle<sub>1</sub> aus hochlegiertem Stahl auf einer *Hochleistungsdrehmaschine* mit der Möglichkeit paralleler Schnitte zu fertigen. Die Bearbeitung der beiden abfallenden Teilkonturen wird jetzt parallel durchgeführt. Dadurch entfällt die mittlere Aufspannung. Es muß ein neues Spannmittel gewählt werden (vorher



Bei der Aufgabe  $g_5w_3d_2$  ist eine Achswelle<sub>2</sub> (einseitig abfallende Kontur, schlank, Gewinde, Nuten und Schrägen) aus Aluminium auf einer Fertigungsmaschine herzustellen.

Bei der Aufgabe  $g_5w_3d_3$  ist die Achswelle<sub>2</sub> aus Aluminium auf einer *Hochleistungsdrehmaschine* mit der Möglichkeit paralleler Schnitte herzustellen. Die Bearbeitungen der Nuten und des Gewindes werden jetzt parallel ausgeführt.



In einer zusammenfassenden Strukturierung der Variantenplanungen können somit verschiedene Vorgehensweisen bei der Übertragung vorhandener Planskelette auf neue Fertigungsaufgaben unterschieden werden:

- Das Planskelett wird unverändert auf die neue Fertigungsaufgabe angewendet (Aufgabe  $g_2w_1d_3$ ).
- Das Planskelett wird modifiziert angewendet. Dabei kann zwischen verschiedenen Formen der Modifikation unterschieden werden, wobei einzelne Formen miteinander kombinierbar sind.
  - Einzelne Festlegungen von Aufspannungen oder Schnitten werden variiert. Beispiele für dieses Vorgehen sind die Anpassungen der qualitativen Abschätzungen der Schnittdaten oder der verwendeten Schneidstoffklasse bei allen (z.B. Aufgabe  $g_3w_1d_1$ ) oder einem Teil der Schnitte (Aufgabe  $g_3w_3d_1$ ). Solche Anpassungen sind vor allem bei Veränderungen des Werkstoffes, aber auch der Drehmaschine notwendig. Dabei kann es zu Konflikten kommen. So soll Vergütungsstahl beispielsweise mit Schneidkeramik (Schneidstoffklasse) bei hoher Schnittgeschwindigkeit bearbeitet werden. Dies setzt eine Fertigungsmaschine mit hoher Leistungsstärke voraus. In der Aufgabe  $g_3w_1d_1$  steht jedoch eine zu schwache Ausbildungsmaschine zur Verfügung. So müssen Schneidstoffklasse (Hartmetall) und Schnittdaten modifiziert werden.
  - Einzelne Schnitte werden weggelassen, weil z.B. Sonderbearbeitungen wie Nutenstechen, Gewindedrehen oder „Anschnitt“ (Aufgabe  $g_1w_4d_2$ ) entfallen.
  - Es werden mehrere Schnitte zusammengefaßt. Dabei werden Bearbeitungen (z.B. „Schlichten“ und „Feinschlichten“ bei Aufgabe  $g_3w_3d_1$ ), die vorher mit verschiedenen, spezielleren Werkzeugen ausgeführt wurden, jetzt mit einem, sämtliche Bearbeitungen ermöglichenden Werkzeug in einem Schnitt ausgeführt.
  - Es wird eine weitere Aufspannung eingeführt, wobei die Schnitte neu gruppiert werden. Dies kann z.B. bei der Bearbeitung von Werkstücken mit beidseitig abfallender Kontur (Antriebswelle, Ritzelwelle) auf einer Ausbildungsmaschine mit nur wenigen Werkzeugen notwendig werden (Aufgabe  $g_3w_3d_1$  oder  $g_3w_4d_1$ ). Es werden dann beide Teilkonturen nacheinander bearbeitet, wobei Werkzeuge wiederverwendet werden können und ein zeitintensiver Werkzeugwechsel vermieden wird. Die Reihenfolge der Bearbeitung beider Teilkonturen hängt dann vor allem von der Geometrie des Werkstückes und dem gewählten Spannmittel ab. Dieses Vorgehen kann auch in umgekehrter Richtung angewendet werden (z.B. Aufgabe  $g_1w_4d_3$ ).
  - Sequentiell ausgeführte Schnitte werden nun parallel ausgeführt. Solche Modifikationen werden vor allem durch unterschiedliche Drehmaschinen notwendig. Dabei kann z.B. die Bearbeitung von Teilkonturen (Aufgabe  $g_1w_4d_3$ ), Nuten oder Gewinden (Aufgabe  $g_5w_3d_3$ ) parallel durchgeführt werden. Dieses Vorgehen kann auch in umgekehrter Richtung angewendet werden (z.B. Aufgabe  $g_2w_3d_2$  oder  $g_1w_1d_2$ ).

Obwohl bereits versucht wurde, die einzelnen Vorgehensweisen mit Veränderungen von Werkstück und Werkstatt zu verknüpfen, steht eine genaue Bedingungsanalyse noch aus. Auch sollten die beschriebenen Formen der Modifikation in weiteren Untersuchungen überprüft und ergänzt werden.

## 4 Untersuchung zwei

In der Praxis bedienen sich Arbeitsplaner bei Fertigungsaufgaben häufig der Variantenplanung (vgl. auch Untersuchung eins). Eine Variantenplanung wird dann durchgeführt, wenn ein fertiges Planskelett und/oder ein fertiger Fertigungsplan auf die zu bearbeitende Fertigungsaufgabe übertragen wird. Entscheidend für die Effektivität einer Variantenplanung ist somit die Auswahl einer *optimalen* Vorlage. Dabei nimmt der Arbeitsplaner eine Einschätzung der Ähnlichkeit der Fertigungspläne von (möglicher) Vorlage und zu bearbeitendem Fall vor.

In einer zweiten Untersuchung hatten Experten<sup>2</sup> im Paarvergleich von Fertigungsaufgaben einzuschätzen, wie ähnlich deren Fertigungspläne sind. In die Untersuchung wurden die 60 möglichen Fertigungsaufgaben (siehe Abbildung 2) einbezogen. Um den zeitlichen Aufwand bei den Paarvergleichen zu reduzieren (bei einem vollständigen Paarvergleich sind  $60 \cdot (60-1)/2 = 1770$  Urteile abzugeben) wurde wie folgt vorgegangen: Es standen fünf Vorlagen (Planungsaufgaben mit ausgearbeitetem Planskelett und Fertigungsplan) zur Auswahl. Vier waren im Rahmen der Untersuchung eins erhoben worden ( $v_1 = g_1 w_4 d_3$ ,  $v_2 = g_2 w_1 d_3$ ,  $v_3 = g_3 w_2 d_3$  und  $v_5 = g_5 w_3 d_3$ , siehe Anhang D), eine stammte aus der Praxis ( $v_4 = m_4$ ). Die Vorlagen wurden derart ausgewählt, daß sämtliche der in Untersuchung eins verwendeten Geometrien und Werkstoffe vorkommen. Bei einem Paarvergleich wurde dem Experten zunächst eine Fertigungsaufgabe  $g_x w_y d_z$  vorgegeben. Für diese Fertigungsaufgabe *mußte* der Experte im ersten Schritt diejenige Vorlage ( $v_1 \dots v_5$ ) auswählen, dessen Anwendung auf die zu bearbeitende, vorgegebene Fertigungsaufgabe am sinnvollsten erschien. Hierbei bestand die Möglichkeit, sämtliche Vorlagen als eigentlich ungeeignet abzulehnen. Im zweiten Schritt gab der Experte eine insgesamt, quantitative Einschätzung der Ähnlichkeit beider Fertigungspläne auf einer Ratingskala von 1-7 (1=sehr unähnlich, 7=sehr ähnlich) ab.

### Ergebnisse

Die Experten hatten jeweils 60 Paarvergleiche durchzuführen. Sie benötigten dafür jeweils 45 Minuten. Die Dauer für die gesamte Untersuchung betrug 15 Stunden.

erstellt, in der die einer Vorlage zugeordneten Fertigungsaufgaben zusammengefaßt sind, wobei die Zeilen der Tabelle durch das abgegebene Ähnlichkeitsurteil (1-7) definiert werden. Ein Vergleich beider Experten zeigt Gemeinsamkeiten, aber auch deutliche Unterschiede zwischen beiden Experten. So wählen die Experten z.B. übereinstimmend bei der Fertigungsaufgabe  $g_1 w_4 d_2$  die Vorlage  $v_1$ , wobei auch das abgegebene Ähnlichkeitsurteil fast übereinstimmt (5 vs. 6). Andererseits wählt HW bei der Fertigungsaufgabe  $g_1 w_1 d_1$  die Vorlage  $v_4$ , RL hingegen  $v_2$ , wobei beide die Ähnlichkeit eher hoch (5) einschätzen. Der Vorlage  $v_4$  ordnet HW Fertigungsaufgaben zu, bei denen sämtliche Geometrien, Werkstoffe und Drehmaschinen enthalten sind, RL Fertigungsaufgaben, in denen lediglich die Geometrien  $g_4$  und  $g_5$ , sowie die Werkstoffe  $w_1$  und  $w_2$  enthalten sind. Abbildung 10 zeigt eine Kreuztabellierung der Urteile beider Experten. In den Zellen ist die Anzahl von Fertigungsaufgaben eingetragen, bei denen der eine Experte die Vorlage  $v_x$ , der andere die Vorlage  $v_y$  auswählte. In der Diagonale ist somit die Häufigkeit übereinstimmender Urteile ablesbar. Es wurde in 28 der 60 Fertigungsaufgaben von den Experten dieselbe Vorlage gewählt. Insgesamt ergibt sich somit kein klares Bild.

#### HW

|           | $g_1$  | $g_2$  | $g_3$  | $g_4$  | $g_5$  |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $w_1 d_1$ | v4 : 5 | v4 : 3 | v4 : 6 | v4 : 6 | v4 : 4 |
| $w_2 d_1$ | v4 : 4 | v4 : 3 | v4 : 4 | v4 : 5 | v5 : 3 |
| $w_3 d_1$ | v4 : 2 | v4 : 1 | v5 : 5 | v5 : 6 | v5 : 7 |
| $w_4 d_1$ | v4 : 3 | v4 : 2 | v4 : 3 | v4 : 4 | v5 : 4 |
| $w_1 d_2$ | v1 : 4 | v2 : 7 | v2 : 4 | v4 : 7 | v4 : 4 |
| $w_2 d_2$ | v1 : 3 | v2 : 6 | v3 : 7 | v4 : 4 | v4 : 4 |
| $w_3 d_2$ | v1 : 2 | v2 : 4 | v3 : 2 | v5 : 6 | v5 : 7 |
| $w_4 d_2$ | v1 : 6 | v2 : 3 | v3 : 3 | v4 : 4 | v5 : 4 |
| $w_1 d_3$ | v1 : 4 | v2 : 7 | v3 : 5 | v4 : 7 | v4 : 4 |
| $w_2 d_3$ | v1 : 3 | v2 : 6 | v3 : 7 | v4 : 4 | v4 : 4 |
| $w_3 d_3$ | v1 : 2 | v2 : 4 | v3 : 2 | v5 : 6 | v5 : 7 |
| $w_4 d_3$ | v1 : 7 | v2 : 3 | v3 : 3 | v4 : 4 | v5 : 4 |

#### RL

|           | $g_1$  | $g_2$  | $g_3$  | $g_4$  | $g_5$  |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $w_1 d_1$ | v2 : 5 | v2 : 3 | v3 : 2 | v4 : 2 | v4 : 1 |
| $w_2 d_1$ | v2 : 3 | v2 : 2 | v3 : 3 | v4 : 2 | v4 : 1 |
| $w_3 d_1$ | v2 : 1 | v2 : 1 | v3 : 1 | v5 : 3 | v5 : 1 |
| $w_4 d_1$ | v2 : 1 | v2 : 1 | v3 : 1 | v1 : 1 | v1 : 1 |
| $w_1 d_2$ | v2 : 6 | v2 : 4 | v3 : 5 | v4 : 7 | v4 : 6 |
| $w_2 d_2$ | v2 : 6 | v2 : 4 | v3 : 5 | v4 : 6 | v4 : 5 |
| $w_3 d_2$ | v5 : 4 | v5 : 3 | v5 : 4 | v5 : 7 | v5 : 7 |
| $w_4 d_2$ | v1 : 5 | v1 : 5 | v1 : 4 | v1 : 3 | v1 : 4 |
| $w_1 d_3$ | v2 : 6 | v2 : 7 | v3 : 6 | v4 : 7 | v4 : 6 |
| $w_2 d_3$ | v2 : 6 | v2 : 6 | v3 : 7 | v4 : 6 | v4 : 5 |
| $w_3 d_3$ | v5 : 4 | v2 : 3 | v5 : 4 | v5 : 7 | v5 : 7 |
| $w_4 d_3$ | v1 : 7 | v2 : 3 | v1 : 5 | v1 : 3 | v1 : 4 |

Abbildung 8: Ausgewählte Vorlagen und Rating der Ähnlichkeit. Die einzelnen Zellen enthalten (durch einen Doppelpunkt getrennt) die ausgewählte Vorlage und die abgegebene Einschätzung der Ähnlichkeit für die einzelnen Fertigungsaufgaben.

RL

HW

| v1 |   |
|----|---|
| 7  | $g_1 w_4 d_3$                                     |
| 6  |   |
| 5  | $g_1 w_4 d_2 \quad g_2 w_4 d_2 \quad g_3 w_4 d_3$ |
| 4  | $g_3 w_4 d_2 \quad g_5 w_4 d_2 \quad g_5 w_4 d_3$ |
| 3  | $g_4 w_4 d_2 \quad g_4 w_4 d_3$                   |
| 2  |   |
| 1  | $g_4 w_4 d_1 \quad g_5 w_4 d_1$                   |

| v2 |   |
|----|---|
| 7  | $g_2 w_1 d_3$   |
| 6  | $g_1 w_1 d_2 \quad g_1 w_2 d_2 \quad g_1 w_1 d_3 \quad g_1 w_2 d_3 \quad g_2 w_2 d_3$ |
| 5  | $g_1 w_1 d_1$   |
| 4  | $g_2 w_1 d_2 \quad g_2 w_2 d_2$   |
| 3  | $g_1 w_2 d_1 \quad g_2 w_1 d_1 \quad g_2 w_3 d_3 \quad g_2 w_4 d_3$                   |
| 2  | $g_2 w_2 d_1$   |
| 1  | $g_1 w_3 d_1 \quad g_1 w_4 d_1 \quad g_2 w_3 d_1 \quad g_2 w_4 d_1$                   |

| v3 |                                 |
|----|---------------------------------|
| 7  | $g_3 w_2 d_3$                   |
| 6  | $g_3 w_1 d_3$                   |
| 5  | $g_3 w_1 d_2 \quad g_3 w_2 d_2$ |
| 4  |                                 |
| 3  | $g_3 w_2 d_1$                   |
| 2  | $g_3 w_1 d_1$                   |
| 1  | $g_3 w_3 d_1 \quad g_3 w_4 d_1$ |

| v4 |   |
|----|---|
| 7  | $g_4 w_1 d_2 \quad g_4 w_1 d_3$                                     |
| 6  | $g_4 w_2 d_2 \quad g_4 w_2 d_3 \quad g_5 w_1 d_2 \quad g_5 w_1 d_3$ |
| 5  | $g_5 w_2 d_2 \quad g_5 w_2 d_3$                                     |
| 4  |   |
| 3  |   |
| 2  | $g_4 w_1 d_1 \quad g_4 w_2 d_1$                                     |
| 1  | $g_5 w_1 d_1 \quad g_5 w_2 d_1$                                     |

| v5 |   |
|----|---|
| 7  | $g_4 w_3 d_2 \quad g_4 w_3 d_3 \quad g_5 w_3 d_2 \quad g_5 w_3 d_3$ |
| 6  |   |
| 5  |   |
| 4  | $g_1 w_3 d_2 \quad g_1 w_3 d_3 \quad g_3 w_3 d_2 \quad g_3 w_3 d_3$ |
| 3  | $g_2 w_3 d_2 \quad g_4 w_3 d_1$                                     |
| 2  |   |
| 1  | $g_5 w_3 d_1$   |

| v1 |                                 |
|----|---------------------------------|
| 7  | $g_1 w_4 d_3$                   |
| 6  | $g_1 w_4 d_2$                   |
| 5  |                                 |
| 4  | $g_1 w_1 d_2 \quad g_1 w_1 d_3$ |
| 3  | $g_1 w_2 d_2 \quad g_1 w_2 d_3$ |
| 2  | $g_1 w_3 d_2 \quad g_1 w_3 d_3$ |
| 1  |                                 |

| v2 |   |
|----|---|
| 7  | $g_2 w_1 d_2 \quad g_2 w_1 d_3$                   |
| 6  | $g_2 w_2 d_2 \quad g_2 w_2 d_3$                   |
| 5  |   |
| 4  | $g_2 w_3 d_2 \quad g_3 w_1 d_2 \quad g_2 w_3 d_3$ |
| 3  | $g_2 w_4 d_2 \quad g_2 w_4 d_3$                   |
| 2  |   |
| 1  |   |

| v3 |                                 |
|----|---------------------------------|
| 7  | $g_3 w_2 d_3 \quad g_3 w_2 d_2$ |
| 6  |                                 |
| 5  | $g_3 w_1 d_3$                   |
| 4  |                                 |
| 3  | $g_3 w_4 d_2 \quad g_3 w_4 d_3$ |
| 2  | $g_3 w_3 d_2 \quad g_3 w_3 d_3$ |
| 1  |                                 |

| v4 |   |
|----|---|
| 7  | $g_4 w_1 d_2 \quad g_4 w_1 d_3$   |
| 6  | $g_3 w_1 d_1 \quad g_4 w_1 d_1$   |
| 5  | $g_1 w_1 d_1 \quad g_4 w_2 d_1$   |
| 4  | $g_1 w_2 d_1 \quad g_3 w_2 d_1 \quad g_4 w_4 d_1 \quad g_4 w_2 d_2$<br>$g_4 w_4 d_2 \quad g_4 w_2 d_3 \quad g_4 w_4 d_3 \quad g_5 w_1 d_1$<br>$g_5 w_1 d_2 \quad g_5 w_2 d_2 \quad g_5 w_1 d_3 \quad g_5 w_2 d_3$ |
| 3  | $g_1 w_4 d_1 \quad g_2 w_1 d_1 \quad g_2 w_2 d_1 \quad g_3 w_4 d_1$   |
| 2  | $g_1 w_3 d_1 \quad g_2 w_4 d_1$   |
| 1  | $g_2 w_3 d_1$   |

| v5 |   |
|----|---|
| 7  | $g_5 w_3 d_1 \quad g_5 w_3 d_2 \quad g_5 w_3 d_3$ |
| 6  | $g_4 w_3 d_1 \quad g_4 w_3 d_2 \quad g_4 w_3 d_3$ |
| 5  | $g_3 w_3 d_1$                                     |
| 4  | $g_5 w_4 d_1 \quad g_5 w_4 d_2 \quad g_5 w_4 d_3$ |
| 3  | $g_5 w_2 d_1$                                     |
| 2  |   |
| 1  |   |

Abbildung 9: Vorlagen mit zugeordneten Fertigungsaufgaben. Es wurde bei beiden Experten für jede Vorlage eine einspaltige Tabelle erstellt, in der die einer Vorlage zugeordneten Fertigungsaufgaben zusammengefaßt sind, wobei die Zeilen der Tabelle durch das abgegebene Ähnlichkeitsurteil (1-7) definiert werden.

|        |    | HW |    |    |    |    |
|--------|----|----|----|----|----|----|
|        |    | v1 | v2 | v3 | v4 | v5 |
| R<br>L | v1 | 2  | 1  | 2  | 3  | 3  |
|        | v2 | 4  | 6  |    | 8  |    |
|        | v3 |    | 1  | 3  | 3  | 1  |
|        | v4 |    |    |    | 11 | 1  |
|        | v5 | 2  | 1  | 2  |    | 6  |

Abbildung 10: Kreuztabellierung. In den Zellen ist die Anzahl von Fertigungsaufgaben eingetragen, bei denen der eine Experte die Vorlage  $v_x$ , der andere die Vorlage  $v_y$  auswählte. In der Diagonale ist somit die Häufigkeit übereinstimmender Urteile ablesbar.

## 5 Zusammenfassung

In der empirischen Studie konnte gezeigt werden, daß Experten bei der Fertigungsplanung Variantenplanung einsetzen. Bei einer Variantenplanung versucht der Experte zunächst auf einer abstrakteren Ebene - dem Planskelett- eine ihm zur Verfügung stehende Lösung auf die neue Fertigungsaufgabe zu übertragen, wobei Modifikationen notwendig sein können.

Bei der Variantenplanung durch Übertragen eines Planskelettes beeinflussen in Ergänzung zum „Modell der Expertise“ Werkstück, Werkstatt *und* die zur Verfügung stehenden Pläne das Vorgehen des Experten bei der Planung.

In der Studie wurden für eine Reihe von Planungsaufgaben Planskelette und Fertigungspläne erhoben. In einer zusammenfassenden Strukturierung der Variantenplanungen konnten verschiedene Vorgehensweisen bei der Übertragung vorhandener Planskelette auf neue Fertigungsaufgaben unterschieden werden: In einzelnen Schritten werden Festlegungen (z. B. Werkzeug, Schnittdaten) variiert. Schritte werden hinzugefügt

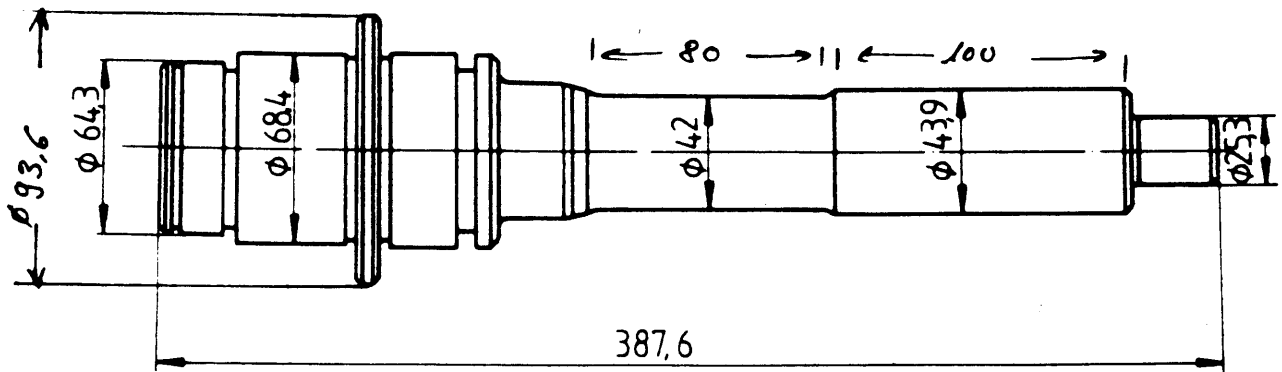
## Literatur

- Breuker, J. & Wielinga, B. Models of expertise in Knowledge Acquisition. In *Topics in Expert Systems Design, Methodologies and Tools*. North-Holland, Guida, G. & Tasso, C. (Hrsg.), S.265-295, Amsterdam 1989.
- Kühn, O., Schmalhofer, F. & Schmidt, G. Diagnose von Wissenstypen für die Erstellung von Fertigungsplänen. *Tech. Rept. Interner Bericht des ARC-TEC-Projektes, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz*, 1990.
- Richter, M., Boley, H., Wetter, T., & Warnecke, G. ARC-TEC: Acquisition, Representation and Compilation of Technical Knowledge *Tech. Rept. Projekt*

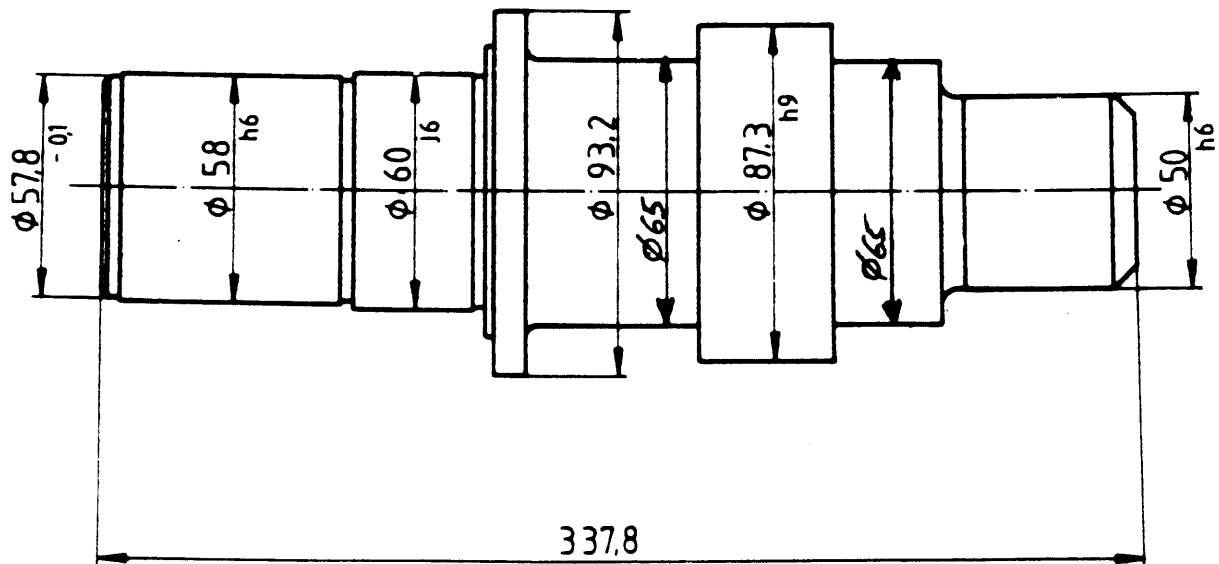
## Anhang A

Anhang A enthält die graphischen Repräsentationen der in den Untersuchungen verwendeten CAD-Zeichnungen mit den entsprechenden geometrischen und einigen technologischen Daten. Diese wurden in der Industrie entwickelt und unverändert in die Untersuchung übernommen.

91



92



## Anhang B

Anhang B enthält die in der Untersuchung 1 verwendeten Notationsschemata. Mit diesen wurden die Fertigungsplanungen dokumentiert. Jede Planung ist mit einer Bezeichnung belegt (z.B.  $g_1w_2d_3$ ). Es waren folgende Inhalte festzuhalten:

- **Werkstück- und Werkstattbeschreibung**  
Hier war die abstrakte Beschreibung des Werkstückes und der Werkstatt einzutragen. Im Feld „Kommentar“ konnte der Experte beliebige Bemerkungen aufzeichnen.
- **Planskelett**  
Hier war eine Abfolge von Arbeitsschritten einzutragen. Die Reihenfolge war zu numerieren. Die Beschreibung enthielt qualitative Angaben über die Aufspannung, die Bearbeitungsart und -richtung, das verwendete Werkzeug und die Schnittdaten. Bei den Schnittdaten waren die qualitativen Abschätzungen von Tiefe, Vorschub und Schnittgeschwindigkeit mit einer quantitativen Bereichsangabe zu spezifizieren. Zusätzlich konnte jeder Schritt mit einem Kommentar versehen werden. Ein Schritt war im wesentlichen dadurch charakterisiert, daß ein Bearbeitungsziel (z.B. Schruppen, Schlichten, Gewindedrehen oder Nutzenstechen) verfolgte und dabei ein Werkzeug (z.B. linker abgesetzter Schruppdrehmeißel mit Hartmetall) verwendet wurde.
- **Produktmodell**  
Hier waren die geometrischen und technologischen Daten des Werkstückmodelles festgelegt.
- **Produktionsmittel**  
Hier waren die Bezeichnungen und Spezifikationen des verwendeten Rohteiles, der Drehmaschine, der Aufspannung(en) und Werkzeuge einzutragen.

Produktionsplan



## Anhang B

Anhang B enthält die in der Untersuchung 1 verwendeten Notationsschemata. Mit diesen wurden die Fertigungsplanungen dokumentiert. Jede Planung ist mit einer Bezeichnung belegt (z.B.  $g_1w_2d_3$ ). Es waren folgende Inhalte festzuhalten:

- **Werkstück- und Werkstattbeschreibung**  
Hier war die abstrakte Beschreibung des Werkstückes und der Werkstatt einzutragen. Im Feld „Kommentar“ konnte der Experte beliebige Bemerkungen aufzeichnen.
- **Planskelett**  
Hier war eine Abfolge von Arbeitsschritten einzutragen. Die Reihenfolge war zu numerieren. Die Beschreibung enthielt qualitative Angaben über die Aufspannung, die Bearbeitungsart und -richtung, das verwendete Werkzeug und die Schnittdaten. Bei den Schnittdaten waren die qualitativen Abschätzungen von Tiefe, Vorschub und Schnittgeschwindigkeit mit einer quantitativen Bereichsangabe zu spezifizieren. Zusätzlich konnte jeder Schritt mit einem Kommentar versehen werden. Ein Schritt war im wesentlichen dadurch charakterisiert, daß ein Bearbeitungsziel (z.B. Schruppen, Schlichten, Gewindedrehen oder Nutzenstechen) verfolgte und dabei ein Werkzeug (z.B. linker abgesetzter Schruppdrehmeißel mit Hartmetall) verwendet wurde.
- **Produktmodell**  
Hier waren die geometrischen und technologischen Daten des Werkstückmodelles festgelegt.
- **Produktionsmittel**  
Hier waren die Bezeichnungen und Spezifikationen des verwendeten Rohteiles, der Drehmaschine, der Aufspannung(en) und Werkzeuge einzutragen.
- **Produktionsplan**  
Hier war die Abfolge der Fertigungsschritte einzutragen. Die Reihenfolge war zu numerieren. Die Festlegung jedes Schrittes enthielt einen Verweis auf die verwendeten Aufspannung(en) und Werkzeuge (zuvor unter Produktionsmittel spezifiziert), sowie die zu fahrenden Schnittwerte. Der Verfahrensweg wurde in eine Graphik eingezeichnet. In einem Schritt wurde jeweils ein Werkzeug verwendet, es konnten jedoch mehrere Schnitte (z.B. 2\*1b) enthalten sein. Falls hier unterschiedliche Schnittwerte gefahren wurden, waren diese getrennt spezifiziert (z.B. beim Vorschub: 0.3+0.5).
- **CAD-Zeichnung und Verfahrenwege**

# G W D

## Planskelett

|                               |  |  |  |
|-------------------------------|--|--|--|
| <b>Schritt</b>                |  |  |  |
| <b>Aufspannung</b>            |  |  |  |
| Spannmittel                   |  |  |  |
| Spannkraft                    |  |  |  |
| Wstorientierung               |  |  |  |
| <b>Bearbeitung</b>            |  |  |  |
| B.richtung                    |  |  |  |
| <b>Werkzeug</b>               |  |  |  |
| <b>Schnitt<br/>Verfahrweg</b> |  |  |  |
| Tiefe                         |  |  |  |
| Vorschub                      |  |  |  |
| Schnittgeschw.                |  |  |  |
| <b>Kommentar</b>              |  |  |  |

# G W D

## Produktmodell

|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>Geometrie</b>   |  |
| <b>Technologie</b> |  |

## Produktionsmittel

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Rohteil</b>           |  |
| <b>Drehmaschine</b>      |  |
| <b>Aufspannung</b>       |  |
| Spannmittel              |  |
| Spannkraft<br>Wstorient. |  |
| <b>Werkzeug</b>          |  |
| Halter                   |  |
| Schaftquerschnitt        |  |
| Klemmart                 |  |
| Einstellwinkel           |  |
| Schneidplatte            |  |
| Eckenradius              |  |
| Plattenform              |  |
| Schneidstoff             |  |

# G W D

|                   |  |  |
|-------------------|--|--|
| Werkzeug          |  |  |
| Halter            |  |  |
| Schaftquerschnitt |  |  |
| Klemmart          |  |  |
| Einstellwinkel    |  |  |
| Schneidplatte     |  |  |
| Eckenradius       |  |  |
| Plattenform       |  |  |
| Schneidstoff      |  |  |
| Werkzeug          |  |  |
| Halter            |  |  |
| Schaftquerschnitt |  |  |
| Klemmart          |  |  |
| Einstellwinkel    |  |  |
| Schneidplatte     |  |  |
| Eckenradius       |  |  |
| Plattenform       |  |  |
| Schneidstoff      |  |  |

# G W D

## Produktionsplan

|                       |  |  |
|-----------------------|--|--|
| <b>Schritt</b>        |  |  |
| <b>Aufspannung</b>    |  |  |
| <b>Werkzeug</b>       |  |  |
| <b>Schnitt</b>        |  |  |
| <b>Tiefe</b>          |  |  |
| <b>Vorschub</b>       |  |  |
| <b>Schnittgeschw.</b> |  |  |
| <b>Verfahrweg</b>     |  |  |
| <b>Schritt</b>        |  |  |
| <b>Aufspannung</b>    |  |  |
| <b>Werkzeug</b>       |  |  |
| <b>Schnitt</b>        |  |  |
| <b>Tiefe</b>          |  |  |
| <b>Vorschub</b>       |  |  |
| <b>Schnittgeschw.</b> |  |  |
| <b>Verfahrweg</b>     |  |  |
| <b>Schritt</b>        |  |  |
| <b>Aufspannung</b>    |  |  |
| <b>Werkzeug</b>       |  |  |
| <b>Schnitt</b>        |  |  |
| <b>Tiefe</b>          |  |  |
| <b>Vorschub</b>       |  |  |
| <b>Schnittgeschw.</b> |  |  |
| <b>Verfahrweg</b>     |  |  |

## Anhang C

Anhang C enthält das in den ersten fünf Fallbearbeitungen der Untersuchung erhaltene Domänenwissen über

- die Zuordnung von Planskeletten (bzw. einzelnen Schritten) zur abstrakten Werkstück- und Werkstattbeschreibungen, sowie
- die Verfeinerung von Planskeletten zu konkreten Fertigungsplänen.

Dieses wurde vor allem dadurch erhoben, daß der Experte seine Ausgestaltungen und Festlegungen detailliert begründen mußte. Es ist als Regelsatz dokumentiert.

### Regel 1 :

*Bei Aluminium*

→

*sollte keine Schneidkeramik verwendet werden.*

### Regel 2 :

*Bei Aufbauschneidenbildung*

→

*sollte der gewählte Schnittgeschwindigkeitsbereich über oder unter dem Maximum liegen.*

### Regel 3 :

*Bei Aluminium*

→

*sollten Schnittgeschwindigkeit sehr hoch und Vorschub hoch gewählt werden.*

### Regel 4 :

*Bei der Bearbeitung von Aluminium mit niedriger Schnittgeschwindigkeit*

→

*kann es zu Aufbauspänen kommen.*

### Regel 5 :

*Je härter das zu bearbeitende Aluminium ist,*

→

*desto schlechter werden seine Zerspanungseigenschaften.*

### Regel 6 :

*Bei weichem Aluminium*

→

*sollte die Schneide sehr scharf gemacht werden, d.h. der Spanwinkel klein und der Freiwinkel größer gewählt werden.*

### Regel 7 :

*Bei Aluminium*

→

*sollte als Schneidstoff Hartmetall (K-Sorte) verwendet werden.*

### Regel 8 :

*Eine Außenbearbeitung*

→

*sollte rundlaufgenau sein.*

**Regel 9 :**

*Bei der Aufspannung zwischen zwei Spitzen*

→

*sind eine hohe Rundlaufgenauigkeit und geringe Rüst- und Spannzeiten gewährleistet.*

**Regel 10 :**

*Bei der Aufspannung mit Backenfutter*

→

*ist der Bearbeitungsraum eingeschränkt und die Rundlaufgenauigkeit mittel.*

**Regel 11 :**

*Bei Außenbearbeitung mit erlaubten Zentrierbohrungen und geringen Oberflächenanforderungen an die Planflächen*

→

*sollten als Aufspannungsart Stirnseitenmitnehmer und zwei Spitzen gewählt werden.*

**Regel 12 :**

*Bei stabilen Werkstücken und axialer Aufspannung*

→

*kann die axiale Kraft relativ hoch gewählt werden.*

**Regel 13 :**

*Beim Schruppen*

→

*sollten Eckenradius und Eckenwinkel möglichst groß gewählt werden.*

**Regel 14 :**

*Hat die verwendete Drehmaschine X Werkzeuge,*

→

*so sollten höchstens X verschiedene Werkzeuge bei der Bearbeitung verwendet werden.*

**Regel 15 :**

*Bei der Wahl des Einstellwinkels*

→

*sind die Kriterien Ratterschwingung und Schneidenbelastung zu beachten.*

**Regel 16 :**

*Bei einer eher labilen Maschine mit einem schlechten bis normalen Wartungszustand und einem härteren Werkstoff*

→

*sollte der Einstellwinkel mittel gewählt werden.*

**Regel 17 :**

*Bei Hartmetall*

→

*kann man mit Kühlwasser arbeiten.*

**Regel 18 :**

*Bei der Verwendung von Schneidkeramik*

→

*darf kein Kühlmittel verwendet werden.*

**Regel 19 :**

*Bei einem stabilen Werkstück und einer stabilen Drehmaschine*

→

*kann Schneidkeramik verwendet werden.*

**Regel 20 :**

*Beim Schlichten*

→

*können ein kleiner Eckenwinkel und Eckenradius gewählt werden.*

**Regel 21 :**

*Beim Konturdehen*

→

*können ein kleiner Eckenwinkel und Eckenradius gewählt werden.*

**Regel 22 :**

*Bei der Aufspannung mit Backenfutter*

→

*ist die Fliehkraft der Backen bei hoher Umdrehungsfrequenz zu beachten.*

**Regel 23 :**

*Bei der Aufspannung mit Stirnseitenmitnehmer*

→

*können beliebige Drehfrequenzen gewählt werden.*

**Regel 24 :**

*Bei zwei Arbeitsgängen mit Umspannen und Verwendung eines Stirnseitenmitnehmers und einer Planfläche des Werkstückes, deren Durchmesser geringer dem der Mitnehmerspitze ist,*

→

*ist diese Planfläche im zweiten Arbeitsgang zu bearbeiten.*

**Regel 25 :**

*Bei Gewinden*

→

*sollte die Schnittgeschwindigkeit 25 % niedriger als normal gewählt werden.*

**Regel 26 :**

*Bei der Gewindebearbeitung mit Hartmetall*

→

*muß die Schnittgeschwindigkeit über 40 U/min liegen.*

**Regel 27 :**

*Bei der Bearbeitung von Vergütungsstahl*

→

*sollte eine Drehmaschine mit hoher Leistungsstärke und Stabilität gewählt werden.*

**Regel 28 :**

*Bei der Bearbeitung von Vergütungsstahl*

→

*sollte als Schneidstoff Hartmetall der Gruppe P oder beschichtetes Hartmetall oder Schneidkeramik verwendet werden.*

**Regel 29 :**

*Bei der Wahl des Werkzeughalters (vor allem beim Schrappen)*

→

*sollte die Stabilität möglichst hoch sein.*

**Regel 30 :**

*Bei der Bearbeitung von Vergütungsstahl*

→

*sollte die Spannkraft möglichst hoch gewählt werden.*

**Regel 31 :**

*Bei der Bearbeitung von Vergütungsstahl*

→

*sollte mit Schneidkeramik und hoher Schnittgeschwindigkeit gearbeitet werden.*



**Regel 32 :**

*Bei einer Geometrie mit beidseitig abfallender Kontur und einer Maschine mit wenig Werkzeugen*

→

*sind vermutlich mehrere Arbeitsgänge (mehrere Aufspannungen mit ev. Umdrehen des Werkstückes) erforderlich.*

**Regel 33 :**

*Bei Ritzelwellen*

→

*muß an Lager und Ritzelstelle feinstbearbeitet werden.*

**Regel 34 :**

*Bei Gewinden*

→

*sollte keine Fase an der Platte verwendet werden.*

**Regel 35 :**

*Breite Nuten*

→

*sollten entweder durch mehrmaliges Einstechen mit schmalem Stechdrehmeißel oder mit abgesetzten Drehmeißeln bearbeitet werden.*

**Regel 36 :**

*Schmale Nuten*

→

*sollten durch einmaliges Einstechen mit schmalem Stechdrehmeißel bearbeitet werden.*

**Regel 37 :**

*Bei der Verwendung von Stechdrehmeißeln*

→

*sollten diese scharf und möglichst kurz eingespannt sein.*

**Regel 38 :**

*Bei C45 ist mit Ausnahme einer schweren Schruppbearbeitung*

→

*eine mittlere Auslegung der Plattengrößen zu wählen.*

**Regel 39 :**

*Bei der Wahl des Schaftquerschnittes*

→

*sind die Bearbeitungsart und die Härte des Werkstoffes zu beachten.*

**Regel 40 :**

*Je negativer der Spanwinkel,*

→

*desto größer ist der Kolkverschleiß.*

**Regel 41 :**

*Die Auflagefläche der Schneidplatte*

→

*ist möglichst groß zu wählen.*

**Regel 42 :**

*Bei Gewinden*

→

*ist ein Spanwinkel von 0 oder ein positiver Spanwinkel zu wählen.*

**Regel 43 :**

*Bei Gewinden*

→

*ist ein Einstellwinkel von 90 zu wählen.*

**Regel 44 :**

*Bei der Verwendung von Haltern mit einem negativen Neigungswinkel,*

→

*können Platten ohne Freiwinkel benutzt werden.*

**Regel 45 :**

*Bei der Verwendung von Haltern mit einem positiven Neigungswinkel,  
→  
müssen Platten mit Freiwinkel benutzt werden.*

**Regel 46 :**

*Je größer der Freiwinkel und Spanwinkel,  
→  
desto größer sind Schärfe und Instabilität der Schneidplatte.*

**Regel 47 :**

*Bei der Bearbeitung von Nuten  
→  
ist auf guten Spanfluß zu achten.*

**Regel 48 :**

*Bei der Verwendung von Schneidkeramik  
→  
kann man höhere Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe fahren.*

**Regel 49 :**

*Beim Schlichten auf Toleranzmaß ohne besondere Oberflächengüten  
→  
ist der Vorschub kleiner 0.2 mm zu wählen.*

**Regel 50 :**

*Bei der Schrubbearbeitung  
→  
ist ein negativer Neigungswinkel zu bevorzugen.*

**Regel 51 :**

*Bei der Schrubbearbeitung  
→  
ist eine Rechtecksplatte zu bevorzugen.*

**Regel 52 :**

*Metrische Gewinde  
→  
sollten mit einer Dreiecks- oder Gewindeplatte und mit einem Eckenwinkel von 60 und einem minimalen Eckenradius bearbeitet werden.*

**Regel 53 :**

*Bei Gewinden (mit einer bestimmten Steigung)  
→  
muß die Kontur in mehreren Arbeitsgängen gefertigt werden, wobei deren Anzahl und die einzelnen Zustellungen steigungsspezifisch sind.*

**Regel 54 :**

*Bei einer Bearbeitung ohne besondere Toleranzen oder Oberflächenangaben  
→  
kann der Vorschub ein wenig höher als normal (Richtwert) gewählt werden.*

**Regel 55 :**

*Bei der Verwendung von Schneidkeramik  
→  
ist ein Anschnitt notwendig.*

**Regel 56 :**

*Beim Gewindeschneiden  
→  
ist auf den Schneidendruck zu achten.*

**Regel 57 :**

*Je mehr man sich beim Gewindedrehen dem Gewinderund nähert,*

→

*desto kleiner sind die Schnittiefen zu wählen.*

**Regel 58 :**

*Bei der Bearbeitung von austenitischen Stählen*

→

*sollte man sehr kleine Vorschübe (kleiner 0.1 mm) und sehr kleine Schnittiefen (kleiner 0.1 mm) vermeiden.*

**Regel 59 :**

*Je größer der Eckenradius (insbesondere bei der Feinstbearbeitung),*

→

*desto größer ist die Zustellung zu wählen.*

**Regel 60 :**

*Bei der Bearbeitung von austenitischen Stählen*

→

*sollte man mit Kühlschmiermittel arbeiten.*

**Regel 61 :**

*Gußeisen*

→

*sollte mit Hartmetallplatten der K-Qualität bearbeitet werden.*

**Regel 62 :**

*Bei der Fein- und Feinstbearbeitung von Gußeisen*

**Regel 63 :**

*Bei der Bearbeitung von Gußeisen durch beschichtete Hartmetallplatten oder Schneidkeramik*

→

*können ein hoher Vorschub und eine hohe Schnittgeschwindigkeit und eine mittlere Schnittiefe gewählt werden.*

**Regel 64 :**

*Gußeisen mit Lamellengraphit und metallischem Grundgefüge*

→

*sollten mit Schneidkeramik bei mittlerer bis hoher Schnittgeschwindigkeit (600-800 U/min) bearbeitet werden.*

**Regel 65 :**

*Je höher der Pelitanteil im metallischen Grundgefüge eines Werkstoffes,*

→

*desto höher ist die Werkstofffestigkeit.*

**Regel 66 :**

*Wenn der größte Fertigteildurchmesser an einem Ende des Werkstückes liegt,*

→

*kann man mit einer Aufspannung arbeiten.*

**Regel 67 :**

*Bei relativ langen und schlanken Teilen mit mindestens einer erlaubten Zentrierbohrung*

→

*sollte als Aufspannung Spitze und Dreihackenfutter oder Spannanzug*

---

*sollten K05er oder K01er oder Cermets verwendet werden.*

*gewählt werden.*

**Regel 68 :**

*Wenn bei schlanken und langen Teilen die Gefahr von Ratterschwingungen besteht,*

—→

*sollte man in zwei Arbeitsgängen mit Lünette arbeiten.*

**Regel 69 :**

*Bei Edelstahl (hochlegierter, rost-, säure- und hitzebeständiger Stahl)*

—→

*kommt es durch die hohe thermische und mechanische Belastung zu hohem Verschleiß der Werkzeugschneide.*

**Regel 70 :**

*Edelstahl (hochlegierter, rost-, säure- und hitzebeständiger Stahl)*

—→

*sollte mit Hartmetall als Schneidstoff und niedriger Schnittgeschwindigkeit (70-190 U/min) bearbeitet werden.*

**Regel 71 :**

*Edelstahl (hochlegierter, rost-, säure- und hitzebeständiger Stahl)*

—→

*sollte mit einer Spanleitstufe oder einem Spanbrecher oder speziellen Platten ohne Beschichtung (scharfkantig) bearbeitet werden.*

**Regel 72 :**

*Bei Edelstahl (austenitischer Stahl)*

—→

*sollte ein möglichst großer positiver Spanwinkel (5-15) und ein ausreichender Freiwinkel (6-10) gewählt werden.*

**Regel 73 :**

*Bei der Wahl der Aufspannung(en) ist zu beachten,*

—→

*daß die Anzahl der Spannlagern so klein wie möglich ist, für jede Spannlagern geeignete Bezugs- oder Anlageflächen vorhanden sind oder gefertigt werden, daß Toleranzen und Oberflächengüten eingehalten werden können und die Spannung am größtmöglichen Werkstückdurchmesser erfolgt.*

## **Anhang D**

Anhang D enthält die in der Untersuchung eins für die einzelnen Fertigungsaufgaben erhobenen abstrakten Werkstück- und Werkstattbeschreibungen, Planskelette und Fertigungspläne.

$$1 = G_3 W_3 D_1$$

### Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Werkstück</b> | Ritzelwelle<br>aus weichem Aluminium<br>beidseitige Zentrierbohrungen erlaubt<br>mit mittleren Freimaßtoleranzen<br>mit teilweise erhöhten Oberflächenanforderungen<br>mit beidseitig abfallender Kontur<br>mit Nuten und einem Gewinde |
| <b>Werkstatt</b> | Ausbildungsmaschine<br>mit wenigen Werkzeugen<br>mit geringer Leistung<br>mit geringer Stabilität (→ Spanbildung)   |

### Planskelett

| <b>Schritt</b>  | 1   | 2   |
|---|---|---|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | a1<br>Stirnseitenmitnehmer<br>mit zwei Spitzen<br>mittel<br>Gewinde bei Antriebsseite                   | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Schruppen<br>Reitstock nach Antrieb   | Schlichten<br>←                                       |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Hartmetall   | w2<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>←   |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br>über das gesamte Werkstück<br>bis zu Beginn der Schräge (mehrmals)<br>hoch<br>hoch<br>mittel/hoch | 2a<br>abfahren der Kontur<br>gering<br>gering<br>hoch |
| <b>Kommentar</b>  |   |   |

$$1 = G_3 W_3 D_1$$

Planskelett

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Schritt</b>  | 3   | 4  |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | a2<br>Stirnseitenmitnehmer<br>mit zwei Spitzen<br>mittel<br>Gewinde bei Reitstock | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Schruppen<br>←  | Schlichten<br>(Konturdrehen)<br>←                            |
| <b>Werkzeug</b>   | w1  | w2   |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1b<br>bis zum Beginn der Schräge<br>(mehrmals)<br>mittel<br>mittel<br>mittel      | 2b<br>abfahren der Kontur<br>gering<br>gering<br>mittel/hoch |
| <b>Kommentar</b>  |   |  |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Schritt</b>  | 5   | 6  |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←   | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutenstechen<br>←                             | Gewindedrehen<br>←                                 |
| <b>Werkzeug</b>   | w3<br>Nutenstechdrehmeißel<br>mit Hartmetall  | w4<br>Gewindedrehmeißel<br>←                       |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 3b<br>beide Nuten<br>=Nut<br>gering<br>gering | 4b<br>Gewinde<br>(mehrmals)<br>=Steigung<br>gering |
| <b>Kommentar</b>  |   |  |

$$1 = G_3 W_3 D_1$$

Produktmodell

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g3<br><br>Werkstoff: AlMgSi (weich)<br>ansonsten siehe g3 |
|----------------------------------|---|

Produktionsmittel

|                |               |
|----------------|---------------|
| <b>Rohteil</b> | Zylinder 63mm |
|----------------|---------------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Emcoturn 140 |
|---------------------|--------------|

|   |    |    |
|---|----|----|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorient. | a1 | a2 |
|---|----|----|

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Werkzeug</b><br>Halter<br>Schaftquerschnitt<br>Klemmart<br>Einstellwinkel<br>Schneidplatte<br>Eckenradius<br>Plattenform<br>Schneidstoff | w1<br>SSBCL 2020 H09<br>20*20<br>Schnellschraubsystem<br>75<br>SCMM 09 T308-53<br>0.8<br>90<br>H13A | w2<br>MTJNL 2020 K16<br>20*20<br>Keilspannpratzensystem<br>93<br>TCMM 110204-53<br>0.4<br>60<br>H13A |
|---|---|--|

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Werkzeug</b><br>Halter<br>Schaftquerschnitt<br>Klemmart<br>Einstellwinkel<br>Schneidplatte<br>Eckenradius<br>Plattenform<br>Schneidstoff | w3<br>L 154.91-2020-5Q<br>20*20<br>Spannfingersystem<br>90<br>L 154.91-5 315<br>Nutstechplatte<br>H20 | w4<br>R 166.OFG 20*20-16<br>20*20<br>Schnellspannschraube<br>60<br>R 166.OG-16MM01-150<br>60<br>GC225 |
|---|---|---|



$$1 = G_3 W_3 D_1$$

### Produktionsplan

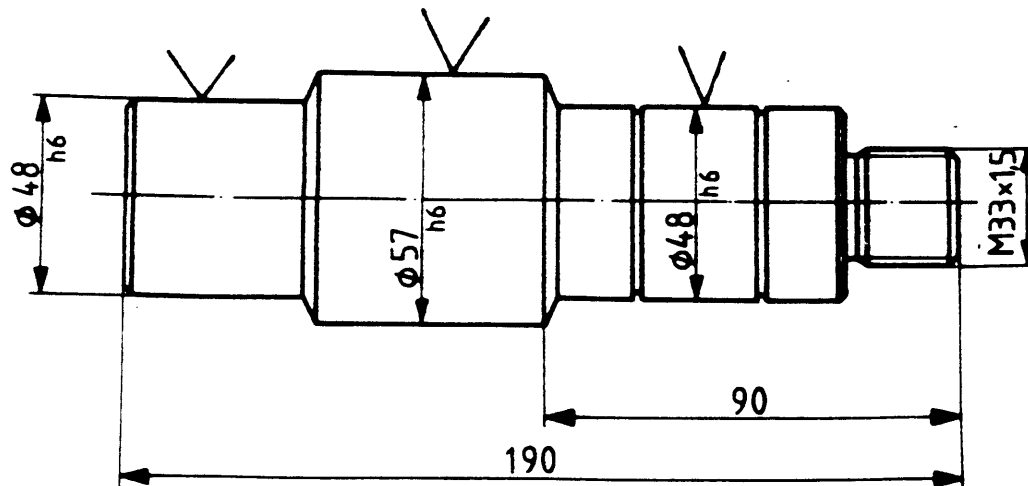
| Schritt            | 1                 | 2   |
|--------------------|-------------------|-----|
| <b>Aufspannung</b> | a1                | ←   |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                | w2  |
| <b>Schnitt</b>     | 3*1a              | 2a  |
| Tiefe              | 5.5+4.5+4.5       | 0.5 |
| Vorschub           | 0.4               | 0.1 |
| Schnittgeschw.     | 200               | 300 |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) | ←   |

| Schritt            | 3                 | 4                           |
|--------------------|-------------------|-----------------------------|
| <b>Aufspannung</b> | a2                | ←                           |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                | w2                          |
| <b>Schnitt</b>     | 10*1b             | 0.5 (außer Gewindeeinstich) |
| Tiefe              | 4*2.25+6*2.5      | 0.5                         |
| Vorschub           | 0.2               | 0.1                         |
| Schnittgeschw.     | 200               | 300                         |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) |                             |

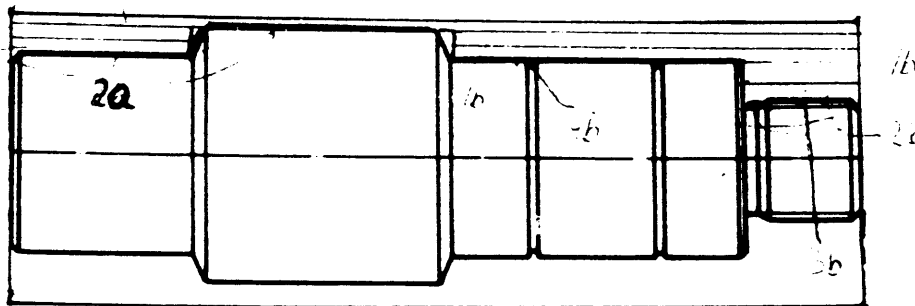
| Schritt            | 5                 | 6                             |
|--------------------|-------------------|-------------------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←                             |
| <b>Werkzeug</b>    | w3                | w4                            |
| <b>Schnitt</b>     | 4b                | 6*3b                          |
| Tiefe              | =Nut              | 0.26+0.23+0.17+0.14+0.12+0.06 |
| Vorschub           | 0.1               | =Steigung                     |
| Schnittgeschw.     | 100               | 150                           |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) |                               |

$$1 = G_3 W_3 D_1$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$2 = G_3 W_1 D_1$$

### Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Werkstück</b> | Ritzelwelle<br>aus Vergütungsstahl<br>beidseitige Zentrierbohrungen erlaubt<br>mit mittleren Freimaßtoleranzen<br>mit teilweise erhöhten Oberflächenanforderungen<br>mit beidseitig abfallender Kontur<br>mit Nuten und einem Gewinde |
| <b>Werkstatt</b> | Ausbildungsmaschine<br>mit wenigen Werkzeugen<br>mit geringer Leistung<br>mit geringer Stabilität   |
| <b>Werkstatt</b> | Leistung der Maschine zu gering für Schneidkeramik  |

### Planskelett

| <b>Schritt</b>  | 1  | 2  |
|---|--|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | a1<br>Stirnseitenmitnehmer<br>mit zwei Spitzen<br>mittel<br>Zapfen bei Antriebsseite                                       | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Schruppen<br>Reitstock nach Antrieb  | Schlichten<br>←  |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Hartmetall  | w2<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>←                                |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br>über das gesamte Werkstück<br>bis zu Beginn der Schräge (mehrmals)<br>mittel:4-10<br>niedrig:0.4-1<br>mittel:170-230 | 2a<br>abfahren der Kontur<br>gering:0.25-2.0<br>niedrig:0.05-0.2<br>mittel:170-235 |
| <b>Kommentar</b>  |  |  |

$$2 = G_3 W_1 D_1$$

Planskelett

$$2 = G_3 W_1 D_1$$

P. J. L. L. L.

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g3<br><br>Werkstoff: C45<br>ansonsten siehe g3 |
|----------------------------------|--|

### Produktionsmittel

|                |               |
|----------------|---------------|
| <b>Rohteil</b> | Zylinder 63mm |
|----------------|---------------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Emcoturn 140 |
|---------------------|--------------|

|                    |    |    |
|--------------------|----|----|
| <b>Aufspannung</b> | a1 | a2 |
| Spannmittel        |    |    |
| Spannkraft         |    |    |
| Wstorient.         |    |    |

|                   |                  |                 |
|-------------------|------------------|-----------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1               | w2              |
| Halter            | PSRNL 2020 K12   | MTJNL 2020 K16  |
| Schaftquerschnitt | 20*20            | 20*20           |
| Klemmart          | Hebelspannsystem | Keilspannsystem |
| Einstellwinkel    | 75               | 93              |
| Schneidplatte     | SNMG-120408-61   | TNMG 1604-61    |
| Eckenradius       | 0.8              | 0.4             |
| Plattenform       | 90               | 60              |
| Schneidstoff      | S415             | S1P             |

|                   |                   |                      |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3                | w4                   |
| Halter            | L 154.91-2020-5Q  | R 166.OFG 20*20-16   |
| Schaftquerschnitt | 20*20             | 20*20                |
| Klemmart          | Spannfingersystem | Schnellspannschraube |
| Einstellwinkel    | 90                | 60                   |
| Schneidplatte     | L 154.91-5 315    | R 166.OG-16MM01-150  |
| Eckenradius       |                   |                      |
| Plattenform       | Nutstechplatte    | Gewindeschneidplatte |
| Schneidstoff      | S4                | S30T                 |

$$2 = G_3 W_1 D_1$$

### Produktionsplan

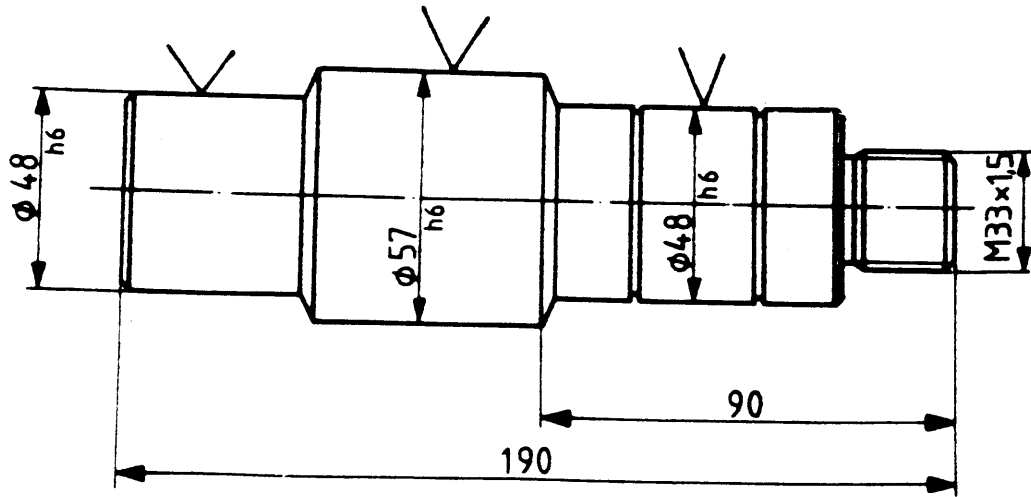
| Schritt            | 1                             | 2    |
|--------------------|-------------------------------|------|
| <b>Aufspannung</b> | a1                            | ←    |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                            | w2   |
| <b>Schnitt</b>     | 6*1a                          | 2a   |
| Tiefe              | 2.75+2.75+2.25+2.25+2.25+2.25 | 0.5  |
| Vorschub           | 0.15                          | 0.15 |
| Schnittgeschw.     | 170                           | 200  |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie)             | ←    |

| Schritt            | 3                 | 4                           |
|--------------------|-------------------|-----------------------------|
| <b>Aufspannung</b> | a2                | ←                           |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                | w2                          |
| <b>Schnitt</b>     | 10*1b             | 2b                          |
| Tiefe              | 4*2.25+6*2.5      | 0.5 (außer Gewindeeinstich) |
| Vorschub           | 0.35              | 0.15                        |
| Schnittgeschw.     | 170               | 200                         |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) |                             |

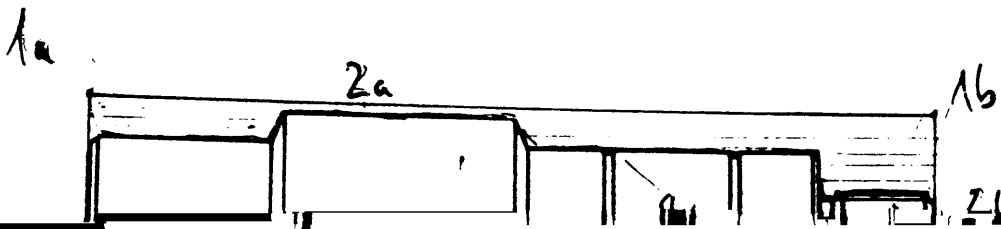
| Schritt            | 5                 | 6                  |
|--------------------|-------------------|--------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←                  |
| <b>Werkzeug</b>    | w3                | w4                 |
| <b>Schnitt</b>     | 4b                | 4*3b               |
| Tiefe              | =Nut              | 0.5+0.25+0.16+0.07 |
| Vorschub           | 0.15              | =Steigung          |
| Schnittgeschw.     | 100               | 100                |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) |                    |

$$2 = G_3 W_1 D_1$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$3 = G_5 W_4 D_1$$

Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Werkstück</b> | Achswelle<br>aus hochlegiertem Stahl<br>mit einseitig abfallender Kontur<br>mit Gewinde, Passungen, Nuten und Schrägen |
| <b>Werkstatt</b> | Ausbildungsmaschine<br>mit wenig Werkzeugen<br>mit geringer Leistung und Stabilität                                    |
| <b>Kommentar</b> | Rohteildurchmesser=gröster Fertigteildurchmesser   |



$$3 = G_5 W_4 D_1$$

Planskelett

| Schritt  | 1   | 2   |
|--|---|---|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung   | a1<br>Dreibackenfutter<br>Zentrierspitze<br><br>Gewindeabsatz bei Spitze      |   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                     | Schruppen<br>Reitstock nach Antrieb   | Schlichten<br>←   |
| <b>Werkzeug</b>  | w1<br>linker abgesetzter<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Hartmetall               | w2<br>linker abgesetzter<br>Schlichtdrehmeißel (Kopierdrehmeißel)<br>mit Hartmetall |
| <b>Schnitt</b><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Geschwindigkeit<br>Verfahrweg | 1a<br>gering:1-2.5<br>gering:0.15-0.25<br>gering:100-170<br>(siehe Geometrie) | 2a<br>gering:0.25-1<br>gering:0.05-0.1<br>gering:150-200                            |

| Schritt  | 3   | 4  |
|--|---|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung   | ←   | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                     | Nutenstechen<br>←                                 | Gewindedrehen<br>←   |
| <b>Werkzeug</b>  | gerader<br>Nutenstechdrehmeißel<br>mit Hartmetall | Gewindedrehmeißel<br>mit Hartmetall  |
| <b>Schnitt</b><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Geschwindigkeit<br>Verfahrweg | 4a<br>=Nut<br>gering:0.05-1<br>gering:50-100      | 3a (mehrmals)<br>Vorgabe Katalog<br>=Steigung<br>gering:50-80<br>(siehe Geometrie) |

$$3 = G_5 W_4 D_1$$

### Produktmodell

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g5<br><br>Werkstoff: X5 CrNi 18 9<br>ansonsten siehe g5 |
|----------------------------------|---|

### Produktionsmittel

|                |             |
|----------------|-------------|
| <b>Rohteil</b> | Zylinder105 |
|----------------|-------------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Emcoturn 140 |
|---------------------|--------------|

|   |    |  |
|---|----|--|
| <b>Aufspannung<br/>Spannkraft<br/>Spannmittel<br/>Wstorientierung</b> | a1 |  |
|---|----|--|

|                   |                  |                        |
|-------------------|------------------|------------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1               | w2                     |
| Halter            | PCLNL 2020 P12   | MTJNL 2020 M22         |
| Schaftquerschnitt | 20*20            | 20*20                  |
| Klemmart          | Hebelspannsystem | Keilspannpratzensystem |
| Einstellwinkel    | 95               | 93                     |
| Schneidplatte     | CNMG 1204 08     | TNMG 220404            |
| Eckenradius       | 0.8              | 0.4                    |
| Plattenform       | 80               | 60                     |
| Schneidstoff      | S1P              | S1P                    |

|                   |                   |                              |
|-------------------|-------------------|------------------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3                | w4                           |
| Halter            | L 154.91 -2020-5Q | R 166.OFG. 2020-16           |
| Schaftquerschnitt | 20*20             | 20*20                        |
| Klemmart          | Spannfingersystem | Schnellspannschraube         |
| Einstellwinkel    | 90                | 60                           |
| Schneidplatte     | L 154.91-5315     | R 16606-16M M01-200 S10T     |
| Eckenradius       |                   |                              |
| Plattenform       | Nutenstechplatte  | Gewindeplatte (Steigung=2mm) |
| Schneidstoff      | S4                | S30T                         |

$$3 = G_5 W_4 D_1$$

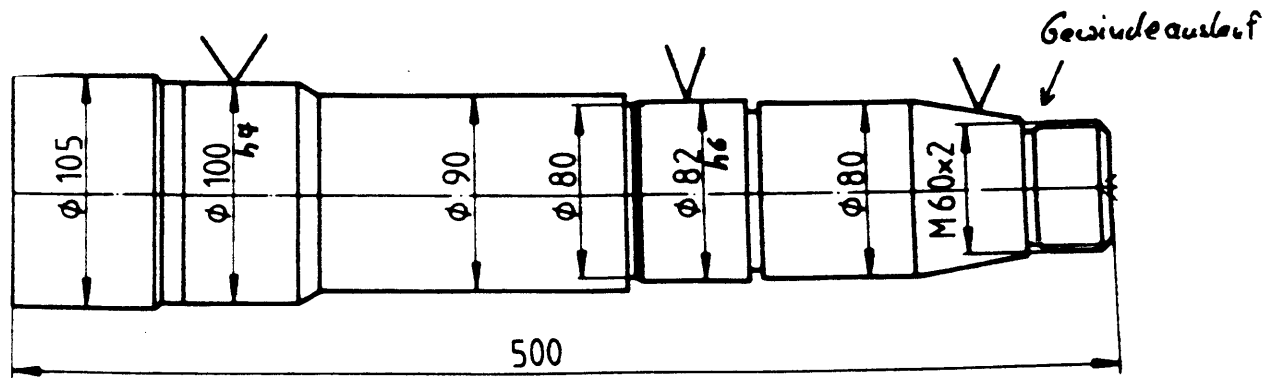
Produktionsplan

| Schritt            | 1                 | 2       | 3               | 4   |
|--------------------|-------------------|---------|-----------------|-----|
| <b>Aufspannung</b> | a1                | ←       | ←               | ←   |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                | ←       | ←               | ←   |
| <b>Schnitt</b>     | 2*1a1             | 4*1a2   | 3*1a3           | 1a4 |
| Tiefe              | 1.125+1.125       | 4*1.125 | 1.125+1.125+1.5 | 1   |
| Vorschub           | 0.25              | ←       | ←               | ←   |
| Geschwindigkeit    | 170               | ←       | ←               | ←   |
| Fahrweg            | (siehe Geometrie) | ←       | ←               | ←   |

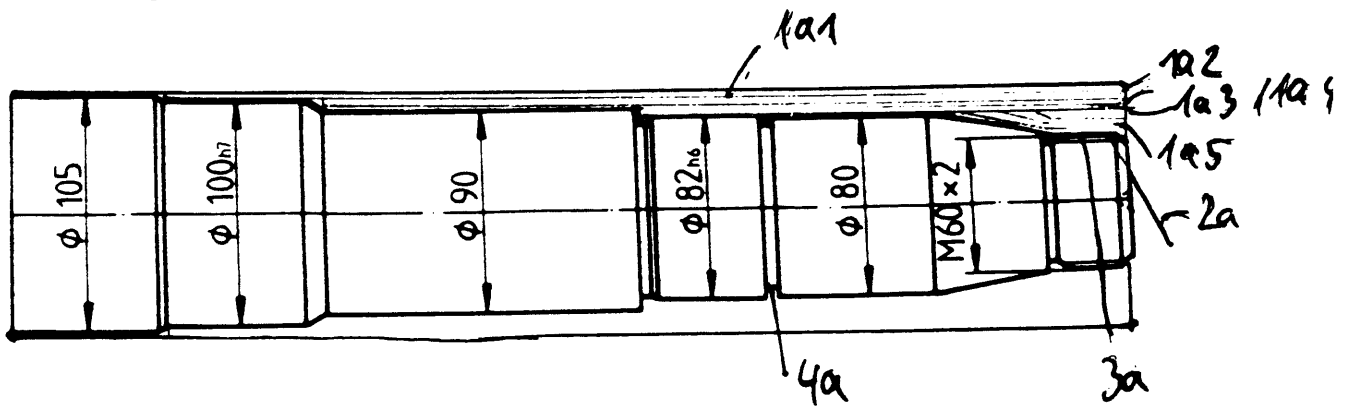
| Schritt            | 5                 | 6     | 7     | 8  |
|--------------------|-------------------|-------|-------|--|
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←     | ←     | ←  |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                | w2    | w3    | w4   |
| <b>Schnitt</b>     | 8*1a5             | 2a    | 8*3a  | 4a   |
| Tiefe              | 8*1.125           | 0.5   | =Nut  | 0.27+0.24+0.18+0.16<br>0.14+0.12+0.11+0.06 |
| Vorschub           | 0.25              | 0.075 | 0.075 | 2  |
| Geschwindigkeit    | 170               | 150   | 75    | 60   |
| Fahrweg            | (siehe Geometrie) |       |       |  |

$$3 = G_5 W_4 D_1$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$4 = G_3 W_4 D_1$$

Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Werkstück</b> | Ritzelwelle<br>aus hochlegiertem Stahl<br>beidseitige Zentrierbohrungen erlaubt<br>mit mittleren Freimaßtoleranzen |
|------------------|--|

$$4 = G_3 W_4 D_1$$

Planskelett

|         |   |   |
|---------|---|---|
| Schritt | 3 | 4 |
|---------|---|---|

$$4 = G_3 W_4 D_1$$

Produktmodell

|                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g3<br>Werkstoff: X5 CrNi 18.9 |
|----------------------------------|-------------------------------|

|                |             |
|----------------|-------------|
| <b>Rohteil</b> | Zylinder105 |
|----------------|-------------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Emcoturn 140 |
|---------------------|--------------|

|  |    |    |
|--|----|----|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannkraft<br>Spannmittel<br>Wstorientierung | a1 | a2 |
|--|----|----|

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Werkzeug</b><br>Halter<br>Schaftquerschnitt<br>Klemmart<br>Einstellwinkel<br>Schneidplatte<br>Eckenradius<br>Plattenform<br>Schneidstoff | w1<br>PCLNL 2020 P12<br>20*20<br>Hebelspannsystem<br>95<br>CNMG 1204 08<br>0.8<br>80<br>S1P | w2<br>MTJNL 2020 M22<br>20*20<br>Keilspannpratzensystem<br>93<br>TNMG 220404<br>0.4<br>60<br>S1P |
|---|---|--|

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Werkzeug</b><br>Halter<br>Schaftquerschnitt<br>Klemmart<br>Einstellwinkel<br>Schneidplatte<br>Eckenradius<br>Plattenform<br>Schneidstoff | w3<br>L 154.91 -2020-5Q<br>20*20<br>Keilspannsystem<br>90<br>L 154.91-5315<br>Nutenstechplatte<br>S4 | w4<br>R 166.OFG. 2020-16<br>20*20<br>Schnellspannschraube<br>60<br>R 166.OG-16MM01-150<br>Gewindeplatte (Steigung=1.5mm)<br>S30T |
|---|--|--|

$$4 = G_3 W_4 D_1$$

### Produktionsplan

| Schritt            | 1                 | 2     | 3           |
|--------------------|-------------------|-------|-------------|
| <b>Aufspannung</b> | a1                | ←     | ←           |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                | ←     | ←           |
| <b>Schnitt</b>     | 1a1               | 2*1a2 | 3*1a3       |
| Tiefe              | 2.5               | 2.5+2 | 2.5+2.5+2.5 |
| Vorschub           | 0.15              | ←     | ←           |
| Geschwindigkeit    | 145               | ←     | ←           |
| Fahrweg            | (siehe Geometrie) | ←     | ←           |

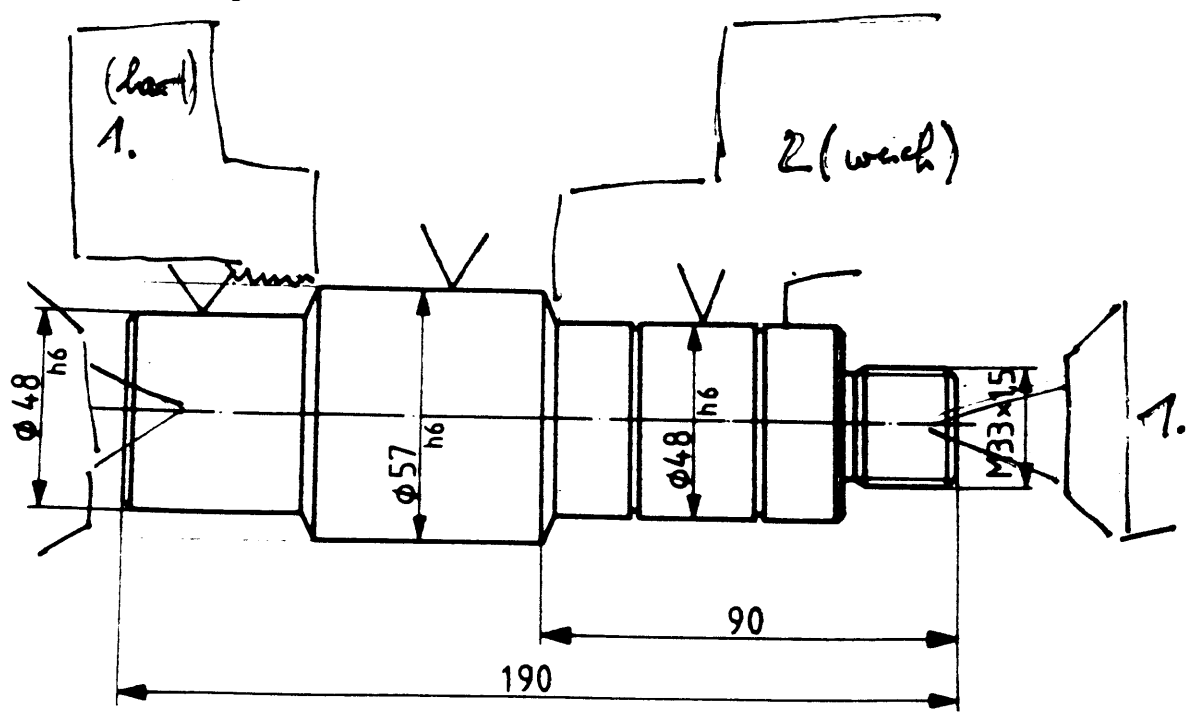
| Schritt            | 4                 | 5     | 6                                 |
|--------------------|-------------------|-------|-----------------------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←     | ←                                 |
| <b>Werkzeug</b>    | w2                | w3    | w4                                |
| <b>Schnitt</b>     | 2a                | 2*4a  | 6*3a                              |
| Tiefe              | 1                 | =Nut  | 0.14+0.12+0.06+<br>0.14+0.12+0.06 |
| Vorschub           | 0.075             | 0.075 | =Steigung                         |
| Geschwindigkeit    | 175               | 75    | 60                                |
| Fahrweg            | (siehe Geometrie) |       |                                   |

| Schritt            | 7                 | 8     | 9     |
|--------------------|-------------------|-------|-------|
| <b>Aufspannung</b> | a2                | ←     | ←     |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                | ←     | w2    |
| <b>Schnitt</b>     | 2b1               | 2*2b2 | 3b    |
| Tiefe              | 2.5               | 2.5+2 | 1     |
| Vorschub           | 0.15              | ←     | 0.075 |
| Geschwindigkeit    | 145               | ←     | 175   |
| Fahrweg            | (siehe Geometrie) | ←     | ←     |

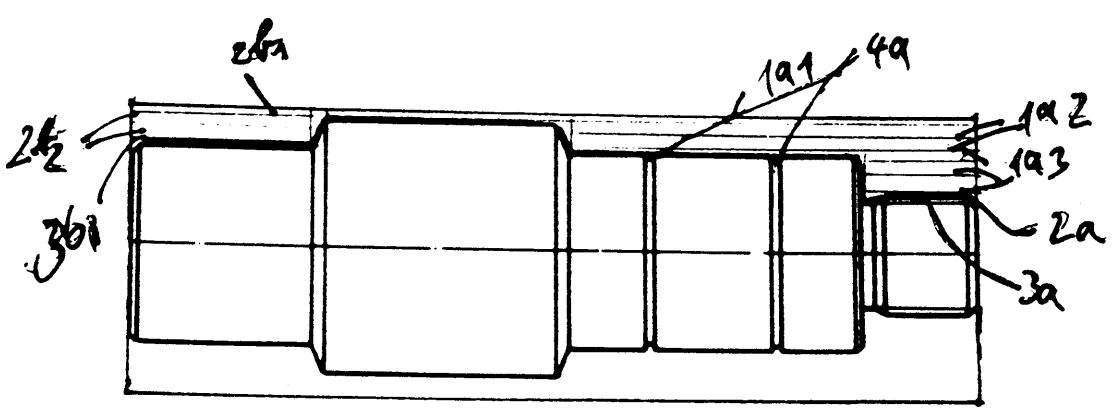


$$4 = G_3 W_4 D_1$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$5 = G_3 W_2 D_1$$

### Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Werkstück</b> | Ritzelwelle<br>aus Gußeisen<br>beidseitige Zentrierbohrungen erlaubt<br>mit mittleren Freimaßtoleranzen<br>mit teilweise erhöhten Oberflächenanforderungen<br>mit beidseitig abfallender Kontur<br>mit Nuten und einem Gewinde<br>mit relativ stabiler Fertigteilkontur |
| <b>Werkstatt</b> | Ausbildungsmaschine<br>mit wenig Werkzeugen<br>mit geringer Leistung und Stabilität   |
| <b>Kommentar</b> | relativ einfache Fertigungsaufgabe<br>Leistung zu gering für Schneidkeramik   |

### Planskelett

| <b>Schritt</b>  | 1  | 2   |
|---|--|---|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | a1<br>Stirnseitenmitnehmer<br>mit zwei Spitzen<br>mittel<br>Gewinde bei Antriebsseite                                      | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Schruppen<br>Reitstock nach Antrieb  | Schlichten<br>(Kontur)<br>←   |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Hartmetall  | w2<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>←                               |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br>über das gesamte Werkstück<br>bis zu Beginn der Schräge (mehrmals)<br>gering:1-3<br>gering:0.4-0.7<br>mittel:200-300 | 2a<br>abfahren der Kontur<br><br>gering:0.25-2<br>gering:0.05-1<br>mittel:200-300 |
| <b>Kommentar</b>  |  |   |

$$5 = G_3 W_2 D_1$$

Planskelett

| Schritt   | 3  | 4  |
|---|--|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | a2<br>Stirnseitenmitnehmer<br>mit zwei Spitzen<br>mittel<br>Gewinde bei Reitstock        | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Schruppen<br>←   | Schlichten<br>(Konturdrehen)<br>←  |
| <b>Werkzeug</b>   | w1   | w2   |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1b<br>bis 48 und M33*1.5<br>(mehrmals)<br>gering:1-3<br>gering:0.4-0.7<br>mittel:200-300 | 2b<br>Kontur folgend<br>gering:0.25-2<br>gering:0.05-1<br>mittel:200-300 |
| <b>Kommentar</b>  |  |  |

| Schritt   | 5  | 6  |
|---|--|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutenstechen<br>←  | Gewindedrehen<br>←   |
| <b>Werkzeug</b>   | w3<br>linker abgesetzter<br>Nutenstechdrehmeißel<br>mit Hartmetall | w4<br>Gewindedrehmeißel<br>←   |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 3b<br>beide Nuten<br>=Nut<br>gering:0.1-0.2<br>mittel:350-450      | 4b<br>Gewinde<br>(mehrmals)<br>zuerst mittel (um 0.5)<br>dann geringer (bis 0.2)<br>=Steigung<br>gering:50-200 |
| <b>Kommentar</b>  |  |  |

$$5 = G_3 W_2 D_1$$

### Produktmodell

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g3<br><br>Werkstoff: GG25<br>ansonsten siehe g3 |
|----------------------------------|---|

### Produktionsmittel

|                |               |
|----------------|---------------|
| <b>Rohteil</b> | Zylinder 63mm |
|----------------|---------------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Emcoturn 140 |
|---------------------|--------------|

|                    |    |    |
|--------------------|----|----|
| <b>Aufspannung</b> | a1 | a2 |
| Spannmittel        |    |    |
| Spannkraft         |    |    |
| Wstorient.         |    |    |

|                   |                 |                  |
|-------------------|-----------------|------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1              | w2               |
| Halter            | MTGNL 2020 M22  | PDJNL 2020 K15   |
| Schaftquerschnitt | 20*20           | 20*20            |
| Klemmart          | Keilspannsystem | Hebelspannsystem |
| Einstellwinkel    | 93              | 93               |
| Schneidplatte     | TNMA 220408     | DNMA 150604      |
| Eckenradius       | 0.8             | 0.4              |
| Plattenform       | 60              | 55               |
| Schneidstoff      | 3015/415        | 415              |

|                   |                   |                      |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3                | w4                   |
| Halter            | L 154.91-2020-5Q  | R 166.OFG 2020-16    |
| Schaftquerschnitt | 20*20             | 20*20                |
| Klemmart          | Spannfingersystem | Schnellspannschraube |
| Einstellwinkel    | 90                | 60                   |
| Schneidplatte     | L 154.91-5 415    | R 166.OG-16MM01-150  |
| Eckenradius       |                   |                      |
| Plattenform       | Nutstechplatte    | 60                   |
| Schneidstoff      | H20               | S30T                 |

$$5 = G_3 W_2 D_1$$

Produktionsplan

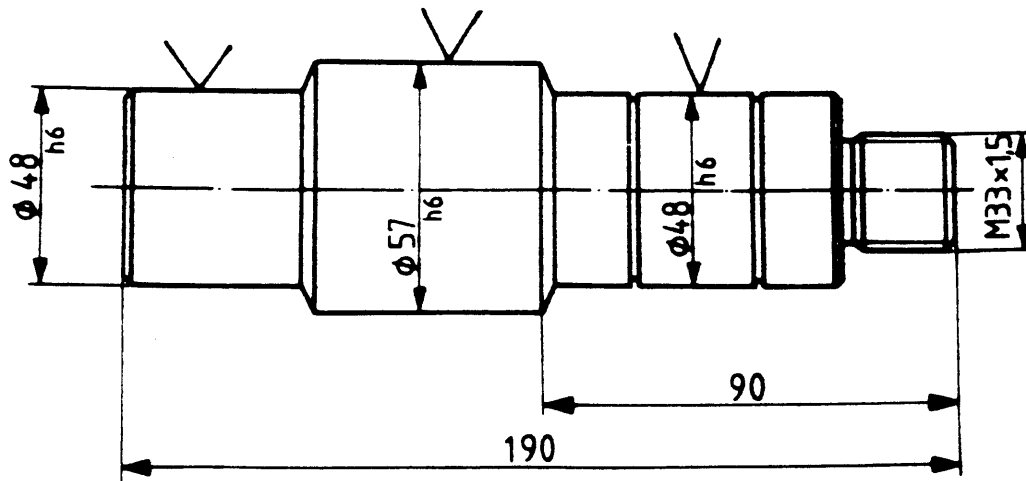
| Schritt        | 1                 | 2    |
|----------------|-------------------|------|
| Aufspannung    | a1                | ←    |
| Werkzeug       | w1                | w2   |
| Schnitt        | 3*1a              | 2a   |
| Tiefe          | 2.75+2.25+2,25    | 0.5  |
| Vorschub       | 0.3               | 0.15 |
| Schnittgeschw. | 200               | 300  |
| Verfahrweg     | (siehe geometrie) | ←    |

| Schritt        | 3                       | 4    |
|----------------|-------------------------|------|
| Aufspannung    | a2                      | ←    |
| Werkzeug       | w1                      | w2   |
| Schnitt        | 5*1b                    | 2b   |
| Tiefe          | 2.25+2.25+2.5 +2.5 +2.5 | 0.5  |
| Vorschub       | 0.3                     | 0.15 |
| Schnittgeschw. | 200                     | 300  |
| Verfahrweg     | (siehe geometrie)       |      |

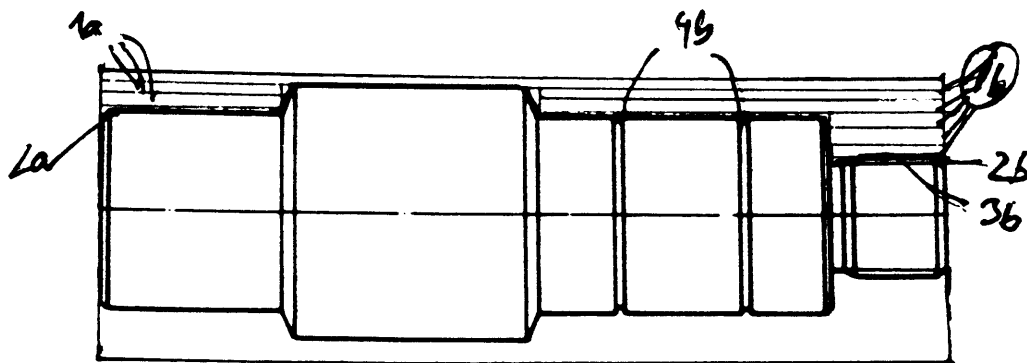
| Schritt     | 5 | 6 |
|-------------|---|---|
| Aufspannung | ← |   |

$$5 = G_3W_2D_1$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$6 = G_1 W_2 D_3$$

### Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Werkstück</b> | Antriebswelle<br>mit beidseitig abfallender Kontur<br>aus Grauguß<br>relativ lang und schlank<br>erlaubte Zentrierbohrungen an beiden Enden<br>ohne besondere Oberflächengüten<br>Planflächen an den Enden werden nicht bearbeitet |
| <b>Werkstatt</b> | Fertigungsmaschine<br>mit hoher Leistung<br>mit großer Stabilität<br>mit der Möglichkeit synchroner Bearbeitung (2 Revolver)<br>mit großer Anzahl Werkzeugen   |
| <b>Kommentar</b> | synchrone Bearbeitung möglich  |

### Planskelett

| Schritt            | 1   | 2                |
|--------------------|---|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | a1  |                  |
| Spannmittel        | Stirnseitenmitnehmer<br>Zentrierspitze                  | ←                |
| Spannkraft         |   |                  |
| Wstorientierung    | FT64.3 bei Antriebsseite                                |                  |
| <b>Bearbeitung</b> | Anschnitt   | Anschnitt        |
| B.richtung         | Reitstock nach Antrieb                                  | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w0<br>Schruppdrehmeißel<br>gerade<br>mit Schneidkeramik | w0               |
| <b>Schnitt</b>     | 0a  | 0b               |
| Verfahrweg         | siehe geometrie   |                  |
| Tiefe              | gering:1.0-3.0  | ←                |
| Vorschub           | mittel:0.3-0.6  | ←                |
| Schnittgeschw.     | mittel:150-700  | ←                |
| <b>Kommentar</b>   | 1+2 gleichzeitig  | 1+2 gleichzeitig |

$$6 = G_1 W_2 D_3$$

Planskelett

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Schritt</b>  | 3  | 4  |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Schruppen<br>Reitstock nach Antrieb                                      | Schruppen<br>Antrieb nach Reitstock                              |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>Schruppdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Schneidkeramik         | w5<br>Schruppdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br>siehe geometrie<br>gering:1-3<br>mittel:0.25-0.7<br>mittel:200-600 | 1b<br>←<br>←<br>←  |
| <b>Kommentar</b>  | 2+3 gleichzeitig   | 2+3 gleichzeitig   |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Schritt</b>  | 5  | 6   |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Schlichten<br>Reitstock nach Antrieb   | Schlichten<br>Antrieb nach Reitstock                              |
| <b>Werkzeug</b>   | w2<br>Schlichtdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Schneidkeramik                | w6<br>Schlichtdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 2a<br>siehe geometrie<br>gering:0.3-0.1<br>gering:0.1-0.5<br>mittel/hoch:100-700 | 2b<br>←<br>←<br>←   |
| <b>Kommentar</b>  | 5+6 gleichzeitig   | 5+6 gleichzeitig  |



$$6 = G_1 W_2 D_3$$

Planskelett

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Schritt</b>  | 7   | 8  |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←   | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutstechen<br>radial  | Nutstechen<br>radial                           |
| <b>Werkzeug</b>   | w3<br>Nutstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik                    | w7<br>Nutstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 3a<br>siehe geometrie<br>=Nut<br>gering:0.1-0.2<br>gering:350-450 | 3b<br>=Nut<br>←<br>←                           |
| <b>Kommentar</b>  | 7+8 gleichzeitig  | 7+8 gleichzeitig                               |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Schritt</b>  | 9  | 10   |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutstechen<br>radial   | Nutstechen<br>radial                           |
| <b>Werkzeug</b>   | w4<br>Nutstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik                           | w8<br>Nutstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 4a<br>siehe geometrie<br>=Nut<br>gering:0.1-0.2<br>gering/mittel:350-450 | 4b<br>=Nut<br>←<br>←                           |
| <b>Kommentar</b>  | 9+10 gleichzeitig  | 9+10 gleichzeitig                              |

$$6 = G_1 W_2 D_3$$

Produktmodell

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g1<br><br>Werkstoff: GG25<br>ansonsten siehe g1 |
|----------------------------------|---|

Produktionsmittel

|                |          |
|----------------|----------|
| <b>Rohteil</b> | Formteil |
|----------------|----------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer XY |
|---------------------|--------------|

|   |    |  |
|---|----|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorient. | a1 |  |
|---|----|--|

$$6 = G_1 W_2 D_3$$

Produktionsmittel

|                   |                      |    |
|-------------------|----------------------|----|
| <b>Werkzeug</b>   | w0                   | w0 |
| Halter            | PSSN 3225 K12-IP7    |    |
| Schaftquerschnitt | 32*25                |    |
| Klemmart          | von oben             |    |
| Einstellwinkel    | 45                   |    |
| Schneidplatte     | SNGM 120712 TN 02020 |    |
| Eckenradius       | 1.2                  |    |
| Plattenform       | 90                   |    |
| Schneidstoff      | SN80                 |    |

|                   |                    |                     |
|-------------------|--------------------|---------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1                 | w2                  |
| Halter            | CCLN 3225 K15-IP7  | PDJNL 3225 K15-IP7  |
| Schaftquerschnitt | 32*25              | 32*25               |
| Klemmart          | von oben           | über Bohrung        |
| Einstellwinkel    | 95                 | 93                  |
| Schneidplatte     | CNMX 120812 T 2020 | DNGM 150708 TL 2020 |
| Eckenradius       | 0.8                | 0.8                 |
| Plattenform       | 80                 | 55                  |
| Schneidstoff      | SN60               | SH20F               |

|                   |               |               |
|-------------------|---------------|---------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3            | w4            |
| Halter            | 752.78.009.05 | 752.78.009.05 |
| Schaftquerschnitt | 32*25         | 32*25         |
| Klemmart          | von oben      | von oben      |
| Einstellwinkel    | 90            | 90            |
| Schneidplatte     | GW 70.20.05   | TNEX 16T3XE   |
| Eckenradius       |               |               |
| Plattenform       | 90            | 90            |
| Schneidstoff      | SN60          | SN60          |

|                   |                     |                     |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w5                  | w6                  |
| Halter            | PMRNR 32*25 K15-IP7 | PDJNL 32*25 K15-IP7 |
| Schaftquerschnitt | 32*25               | 32*25               |
| Klemmart          | über Bohrung        | über Bohrung        |
| Einstellwinkel    | 75                  | 93                  |
| Schneidplatte     | MNGM 150712 TR 2020 | DNGM 150708 TR 2020 |
| Eckenradius       | 1.2                 | 0.8                 |
| Plattenform       | 86                  | 55                  |
| Schneidstoff      | SN60                | SH20F               |

|                   |               |               |
|-------------------|---------------|---------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w7            | w8            |
| Halter            | 752.78.009.05 | 752.78.007.03 |
| Schaftquerschnitt | 32*25         | 32*25         |
| Klemmart          | von oben      | von oben      |
| Einstellwinkel    | 90            | 90            |
| Schneidplatte     | TPMX 2204R330 | TNEX 16T3XE   |
| Eckenradius       |               |               |
| Plattenform       | 90            | 90            |
| Schneidstoff      | SN60          | SN60          |

$$6 = G_1 W_2 D_3$$

### Produktionsplan

| Schritt            | 1                | 2                |
|--------------------|------------------|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | a1               | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w0               | w0               |
| <b>Schnitt</b>     | 0a               | 0b               |
| Tiefe              | 3                | ←                |
| Vorschub           | 0.2              | ←                |
| Schnittgeschw.     | 400              | ←                |
| Verfahrweg         | siehe geometrie  | ←                |
| <b>Kommentar</b>   | 1+2 gleichzeitig | 1+2 gleichzeitig |

| Schritt            | 3                | 4                |
|--------------------|------------------|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w1               | w5               |
| <b>Schnitt</b>     | 2*1a             | 2*1b             |
| Tiefe              | 3+3              | ←                |
| Vorschub           | 0.5              | ←                |
| Schnittgeschw.     | 600              | ←                |
| Verfahrweg         |                  |                  |
| <b>Kommentar</b>   | 3+4 gleichzeitig | 3+4 gleichzeitig |

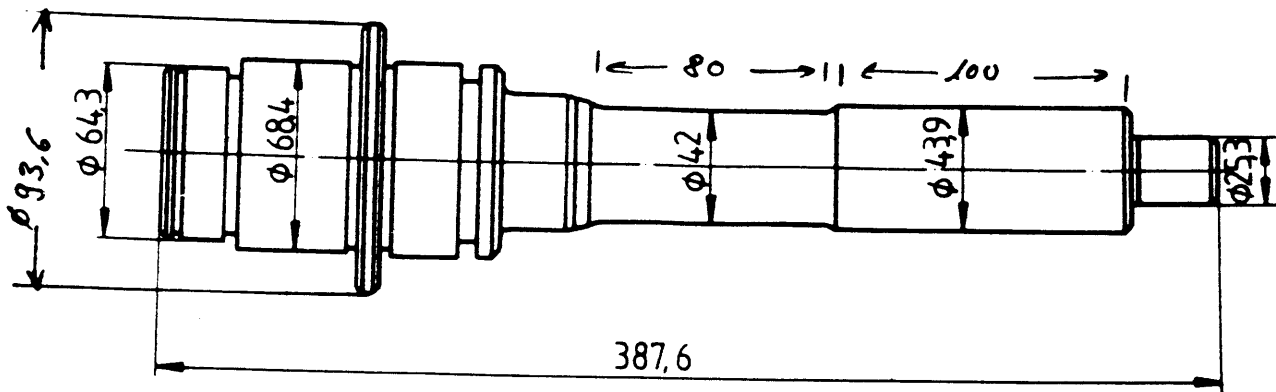
| Schritt            | 5                | 6                |
|--------------------|------------------|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w2               | w6               |
| <b>Schnitt</b>     | 2a               | 2b               |
| Tiefe              | 0.5              | ←                |
| Vorschub           | 0.2              | ←                |
| Schnittgeschw.     | 700              | ←                |
| Verfahrweg         |                  |                  |
| <b>Kommentar</b>   | 5+6 gleichzeitig | 5+6 gleichzeitig |

| Schritt            | 7                | 8                |
|--------------------|------------------|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w3               | w7               |
| <b>Schnitt</b>     | 3a               | 3b               |
| Tiefe              | =Nut             | ←                |
| Vorschub           | 0.15             | ←                |
| Schnittgeschw.     | 450              | ←                |
| Verfahrweg         |                  |                  |
| <b>Kommentar</b>   | 7+8 gleichzeitig | 7+8 gleichzeitig |

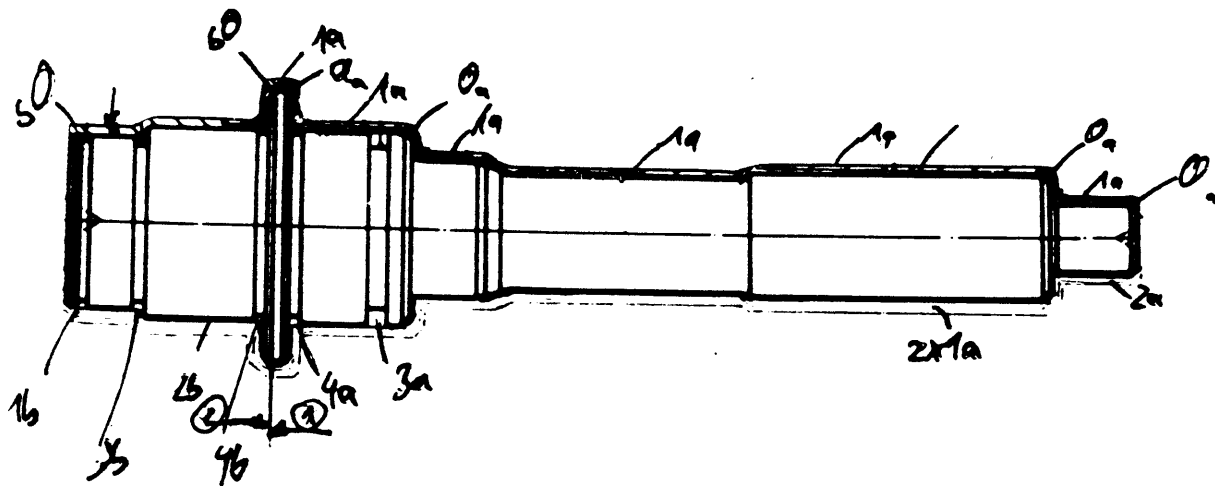
| Schritt            | 9                 | 10                |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←                 |
| <b>Werkzeug</b>    | w4                | w8                |
| <b>Schnitt</b>     | 3a                | 3b                |
| Tiefe              | =Nut              | ←                 |
| Vorschub           | 0.15              | ←                 |
| Schnittgeschw.     | 450               | ←                 |
| Verfahrweg         |                   |                   |
| <b>Kommentar</b>   | 9+10 gleichzeitig | 9+10 gleichzeitig |

$$6 = G_1 W_2 D_3$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$7 = G_1 W_1 D_3$$

### Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Werkstück</b> | Antriebswelle<br>mit beidseitig abfallender Kontur<br>aus Vergütungsstahl<br>relativ lang und schlank<br>erlaubte Zentrierbohrungen an beiden Enden<br>ohne besondere Oberflächengüten<br>Planflächen an den Enden werden nicht bearbeitet |
| <b>Werkstatt</b> | Fertigungsmaschine<br>mit hoher Leistung<br>mit großer Stabilität<br>mit der Möglichkeit synchroner Bearbeitung (2 Revolver)<br>mit großer Anzahl Werkzeugen   |
| <b>Kommentar</b> | synchrone Bearbeitung möglich  |

### Planskelett

| <b>Schritt</b>  | 1   | 2                                   |
|---|---|-------------------------------------|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel                                   | a1<br>Stirnseitenmitnehmer<br>Zentrierspitze                                | ←                                   |
| Spannkraft<br>Wstorientierung                                       | FT64.3 bei Antriebsseite  |                                     |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Anschnitt<br>Reitstock nach Antrieb   | Anschnitt<br>Antrieb nach Reitstock |
| <b>Werkzeug</b>   | w0<br>Schruppdrehmeißel<br>gerade<br>mit Schneidkeramik                     | w0                                  |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 0a<br>siehe geometrie<br>gering:1.0-3.0<br>mittel:0.3-0.6<br>mittel:150-700 | 0b<br>←<br>←<br>←                   |
| <b>Kommentar</b>  | 1+2 gleichzeitig  | 1+2 gleichzeitig                    |

$$7 = G_1 W_1 D_3$$

Planskelett

| Schritt   | 3  | 4  |
|---|--|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Schruppen<br>Reitstock nach Antrieb  | Schruppen<br>Antrieb nach Reitstock                              |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>Schruppdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Schneidkeramik             | w5<br>Schruppdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br>siehe geometrie<br>gering:1-3<br>mittel:0.3-0.6<br>mittel/hoch:150-700 | 1b<br>←<br>←<br>←  |
| <b>Kommentar</b>  | 3+4 gleichzeitig   | 3+4 gleichzeitig   |

$$7 = G_1 W_1 D_3$$

Planskelett

| Schritt   | 7  | 8  |
|---|--|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutstechen<br>radial   | Nutstechen<br>radial                           |
| <b>Werkzeug</b>   | w3<br>Nutstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik                             | w7<br>Nutstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 3a<br>siehe geometrie<br>=Nut<br>gering:0.05-0.25<br>gering/mittel:300-500 | 3b<br>=Nut<br>←<br>←                           |
| <b>Kommentar</b>  | 7+8 gleichzeitig   | 7+8 gleichzeitig                               |

| Schritt   | 9  | 10   |
|---|--|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutstechen<br>radial   | Nutstechen<br>radial                           |
| <b>Werkzeug</b>   | w4<br>Nutstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik                             | w8<br>Nutstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 4a<br>siehe geometrie<br>=Nut<br>gering:0.05-0.25<br>gering/mittel:300-500 | 4b<br>=Nut<br>←<br>←                           |
| <b>Kommentar</b>  | 9+10 gleichzeitig  | 9+10 gleichzeitig                              |



$$7 = G_1 W_1 D_3$$

Produktmodell

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g1<br><br>Werkstoff: C45<br>ansonsten siehe g1 |
|----------------------------------|--|

Produktionsmittel

|                |          |
|----------------|----------|
| <b>Rohteil</b> | Formteil |
|----------------|----------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer XY |
|---------------------|--------------|

|   |    |  |
|---|----|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorient. | al |  |
|---|----|--|

$$7 = G_1 W_1 D_3$$

Produktionsmittel

|                   |                      |                     |
|-------------------|----------------------|---------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w0                   | w0                  |
| Halter            | PSGNN 3225 K12-IP7   |                     |
| Schaftquerschnitt | 32*25                |                     |
| Klemmart          | über Bohrung         |                     |
| Einstellwinkel    | 75                   |                     |
| Schneidplatte     | SNGM 120712 TN 02020 |                     |
| Eckenradius       | 1.2                  |                     |
| Plattenform       | 90                   |                     |
| Schneidstoff      | SN80                 |                     |
| <b>Werkzeug</b>   | w1                   | w2                  |
| Halter            | CCLNL 25CA-12X       | PDJNL 3225 CA-15P   |
| Schaftquerschnitt | 32*25                | 32*25               |
| Klemmart          | über Bohrung         | über Bohrung        |
| Einstellwinkel    | 95                   | 93                  |
| Schneidplatte     | CNMX 120812 TF 118   | DNGM 150812T-D      |
| Eckenradius       | 0.8                  | 0.8                 |
| Plattenform       | 80                   | 55                  |
| Schneidstoff      | SN80                 | TC30                |
| <b>Werkzeug</b>   | w3                   | w4                  |
| Halter            | 752.78.009.05        | 752.78.007.03       |
| Schaftquerschnitt | 32*25                | 32*25               |
| Klemmart          | von oben             | von oben            |
| Einstellwinkel    | 90                   | 90                  |
| Schneidplatte     | GW 70.20.05          | TNEX 16             |
| Eckenradius       |                      |                     |
| Plattenform       | Stechplatte          | Stechplatte         |
| Schneidstoff      | TC50                 | T3XE                |
| <b>Werkzeug</b>   | w5                   | w6                  |
| Halter            | CCLNL 30CA-12X       | PDJNL 3225 CA-15-LP |
| Schaftquerschnitt | 32*25                | 32*25               |
| Klemmart          | über Bohrung         | über Bohrung        |
| Einstellwinkel    | 95                   | 93                  |
| Schneidplatte     | CNMX 120812 TF 118   | DNGM 150812T-D      |
| Eckenradius       | 1.2                  | 0.8                 |
| Plattenform       | 80                   | 55                  |
| Schneidstoff      | SN80                 | TC30                |
| <b>Werkzeug</b>   | w7                   | w8                  |
| Halter            | 752.77.007.03        | 752.77.006.03       |
| Schaftquerschnitt | 32*25                | 32*25               |
| Klemmart          | von oben             | von oben            |
| Einstellwinkel    | 90                   | 90                  |
| Schneidplatte     | TNEX 16              | TPMX 2204 R 330     |
| Eckenradius       |                      |                     |
| Plattenform       | Stechplatte          | Stechplatte         |
| Schneidstoff      | T3 XE                | TC50                |

$$7 = G_1 W_1 D_3$$

### Produktionsplan

| Schritt            | 1                | 2                |
|--------------------|------------------|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | a1               | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w0               | w0               |
| <b>Schnitt</b>     | 0a               | 0b               |
| Tiefe              | 3                | ←                |
| Vorschub           | 0.2              | ←                |
| Schnittgeschw.     | 400              | ←                |
| Verfahrweg         | siehe geometrie  | ←                |
| <b>Kommentar</b>   | 1+2 gleichzeitig | 1+2 gleichzeitig |

| Schritt            | 3                | 4                |
|--------------------|------------------|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w1               | w5               |
| <b>Schnitt</b>     | 2*1a             | 2*1b             |
| Tiefe              | 3+3              | ←                |
| Vorschub           | 0.5              | ←                |
| Schnittgeschw.     | 600              | ←                |
| Verfahrweg         |                  |                  |
| <b>Kommentar</b>   | 3+4 gleichzeitig | 3+4 gleichzeitig |

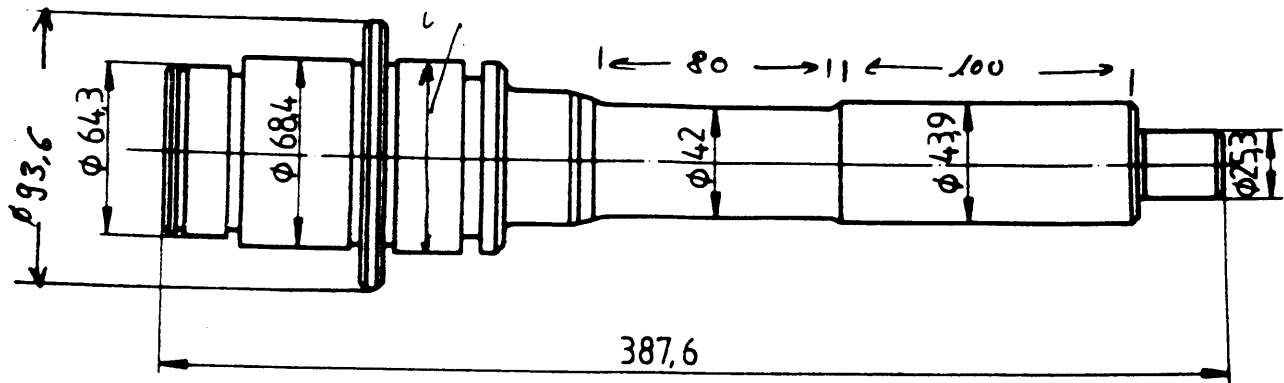
| Schritt            | 5                | 6                |
|--------------------|------------------|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w2               | w6               |
| <b>Schnitt</b>     | 2a               | 2b               |
| Tiefe              | 0.5              | ←                |
| Vorschub           | 0.15             | ←                |
| Schnittgeschw.     | 800              | ←                |
| Verfahrweg         |                  |                  |
| <b>Kommentar</b>   | 5+6 gleichzeitig | 5+6 gleichzeitig |

| Schritt            | 7                | 8                |
|--------------------|------------------|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w3               | w7               |
| <b>Schnitt</b>     | 3a               | 3b               |
| Tiefe              | =Nut             | ←                |
| Vorschub           | 0.1              | ←                |
| Schnittgeschw.     | 300              | ←                |
| Verfahrweg         |                  |                  |
| <b>Kommentar</b>   | 7+8 gleichzeitig | 7+8 gleichzeitig |

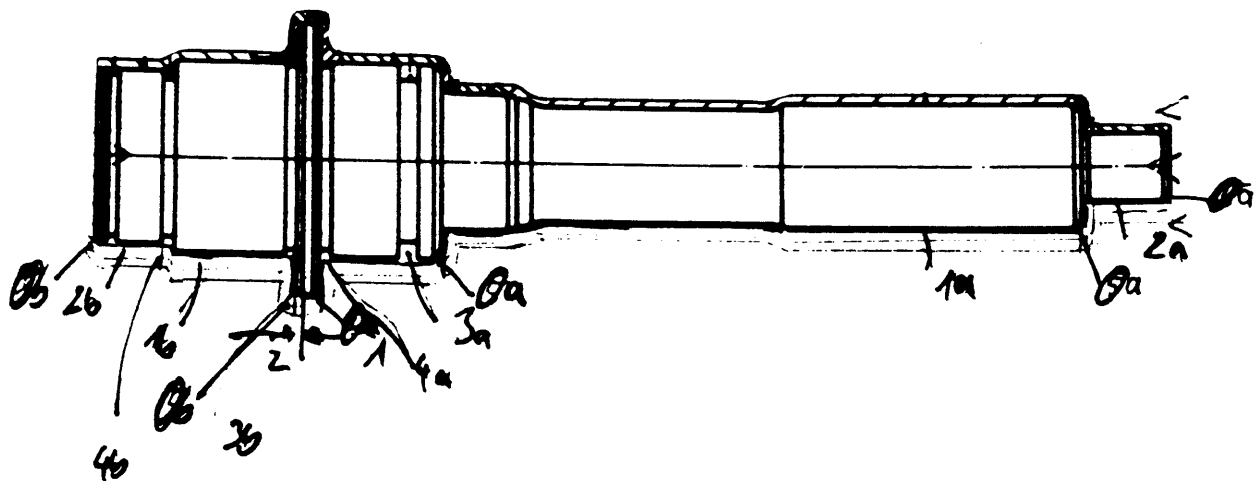
| Schritt            | 9                 | 10                |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←                 |
| <b>Werkzeug</b>    | w4                | w8                |
| <b>Schnitt</b>     | 3a                | 3b                |
| Tiefe              | =Nut              | ←                 |
| Vorschub           | 0.1               | ←                 |
| Schnittgeschw.     | 300               | ←                 |
| Verfahrweg         |                   |                   |
| <b>Kommentar</b>   | 9+10 gleichzeitig | 9+10 gleichzeitig |

$$7 = G_1 W_1 D_3$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$8 = G_2 W_1 D_3$$

### Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Werkstück</b> | Antriebswelle<br>aus Vergütungsstahl<br>mit beidseitig abfallender Kontur<br>relativ stabil<br>mit breiter Nut<br>mit Passungen, Schrägen, Radien und Formeinstichen |
| <b>Werkstatt</b> | Drehmaschine<br>mit hoher Leistung<br>mit großer Stabilität<br>mit der Möglichkeit synchroner Bearbeitung (2 Revolver)<br>mit großer Anzahl Werkzeugen               |
| <b>Kommentar</b> | mit Schneidkeramik bearbeitbar<br>Anschnitt notwendig  |

### Planskelett

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Schritt</b>                      | 1   |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel   | a1<br>Stirnseitenmitnehmer<br>Zentrierspitze            |
| Spannkraft<br>Wstorientierung       | FT64.3 bei Antriebsseite                                |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung    | Anschnitt<br>Reitstock nach Antrieb                     |
| <b>Werkzeug</b>                     | w0<br>Schruppdrehmeißel<br>gerade<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg        | 0a<br>Anschnitt<br>Eintauchen in Nutgrund               |
| Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | gering:1.0-3.0<br>mittel:0.3-0.6<br>mittel:150-700      |
| <b>Kommentar</b>                    |   |

$$8 = G_2 W_1 D_3$$

Planskelett

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Schritt</b>  | 2  | 3   |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Schruppen<br>Reitstock nach Antrieb  | Schruppen<br>Antrieb nach Reitstock                                 |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik                | w4<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br>Kontur folgend bis FT87.3<br>(Aufmaß 0.5mm)<br>1.0-3.0<br>0.3-0.6<br>150-700 | 2a<br>Kontur folgend bis FT93.2<br>(Aufmaß 0.5mm)<br>←<br>←<br>←    |
| <b>Kommentar</b>  | 2+3 gleichzeitig   | 2+3 gleichzeitig  |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Schritt</b>   | 4   | 5   |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung | ←   | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                   | leichtes Schruppen<br>(der breiten Nut)<br>Reitstock nach Antrieb | leichtes Schruppen<br>(der breiten Nut)<br>Antrieb nach Reitstock |
| <b>Werkzeug</b>  | w2  | w5  |

$$8 = G_2 W_1 D_3$$

Planskelett

| Schritt   | 6  | 7  |
|---|--|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br><br>B.richtung                                | Schichten +<br>Feinschichten<br>Reitstock nach Antrieb                             | Schichten+<br>Feinschichten<br>Antrieb nach Reitstock                |
| <b>Werkzeug</b>   | w3<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik               | w6<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1c<br>Kontur folgend bis FT87.3<br>0.3-1 +0.1-0.5<br>0.2-0.4 +0.08-0.35<br>150-800 | 2c<br>Kontur folgend bis FT93.2<br>←<br>←<br>←                       |
| <b>Kommentar</b>  | Schritt 6+7 gleichzeitig   | Schritt 6+7 gleichzeitig   |

| Schritt   | 8   | 9   |
|---|---|---|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung      | ←   | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br><br>B.richtung                                    | Schichten<br>(der breiten Nut)<br>Reitstock nach Antrieb  | Schichten<br>(der breiten Nut)<br>Antrieb nach Reitstock                                    |
| <b>Werkzeug</b>   | w2  | w5  |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1d<br>linke Ecke der Nut<br>Planflächen<br>Entgraten des Nutrandes (links)<br>0.3-1.0<br>0.2-0.4<br>150-800 | 2d<br>rechte Ecke der Nut<br>Planflächen<br>Entgraten des Nutrandes (rechts)<br>←<br>←<br>← |
| <b>Kommentar</b>  | Schritt 8+9 gleichzeitig  | Schritt 8+9 gleichzeitig  |

$$8 = G_2 W_1 D_3$$

Produktmodell

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g2<br><br>Werkstoff: C45<br>ansonsten siehe g2 |
|----------------------------------|--|

Produktionsmittel

|                |          |
|----------------|----------|
| <b>Rohteil</b> | Formteil |
|----------------|----------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer XY |
|---------------------|--------------|

|   |    |  |
|---|----|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorient. | al |  |
|---|----|--|



$$8 = G_2 W_1 D_3$$

Produktionsmittel

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w0                   |
| Halter            | PSGNN 3225 K12-IP7   |
| Schaftquerschnitt | 32*25                |
| Klemmart          | über Bohrung         |
| Einstellwinkel    | 45                   |
| Schneidplatte     | SNGM 120712 TN 02020 |
| Eckenradius       | 1.2                  |
| Plattenform       | 90                   |
| Schneidstoff      | SN80                 |

|                   |                       |                      |
|-------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1                    | w2                   |
| Halter            | PSRNL3225M15          | CCLNL25M16           |
| Schaftquerschnitt | 32*25                 | 32*25                |
| Klemmart          | über Bohrung geklemmt | von oben geklemmt    |
| Einstellwinkel    | 75                    | 95                   |
| Schneidplatte     | SNMA 1508 16 TO 3030  | CNGN 1608 16 TO 3030 |
| Eckenradius       | 0.8                   | 0.8                  |
| Plattenform       | 90                    | 80                   |
| Schneidstoff      | SN80                  | SN80                 |

|                   |                       |                      |
|-------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w4                    | w5                   |
| Halter            | PSRNL3225M15          | CCLNL25M16           |
| Schaftquerschnitt | 32*25                 | 32*25                |
| Klemmart          | über Bohrung geklemmt | von oben geklemmt    |
| Einstellwinkel    | 75                    | 95                   |
| Schneidplatte     | SNMA 1508 16 TO 3030  | CNGN 1608 16 TO 3030 |
| Eckenradius       | 0.8                   | 0.8                  |
| Plattenform       | 90                    | 80                   |
| Schneidstoff      | SN80                  | SN80                 |

|                   |                       |                       |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3                    | w6                    |
| Halter            | PDJNL 3225 M15        | PDJNL 3225 M15        |
| Schaftquerschnitt | 32*25                 | 32*25                 |
| Klemmart          | über Bohrung geklemmt | über Bohrung geklemmt |
| Einstellwinkel    | 93                    | 93                    |
| Schneidplatte     | DNMA 1504 12 TF 118   | DNMA 1504 12 TF 118   |
| Eckenradius       | 0.8                   | 0.8                   |
| Plattenform       | 55                    | 55                    |
| Schneidstoff      | SH 20 F               | SH 20 F               |

$$8 = G_2 W_1 D_3$$

Produktionsplan

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| <b>Schritt</b>     | 1                 |
| <b>Aufspannung</b> | a1                |
| <b>Werkzeug</b>    | w0                |
| <b>Schnitt</b>     | 0                 |
| Tiefe              | 3                 |
| Vorschub           | 0.2               |
| Schnittgeschw.     | 400               |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) |

|                    |                   |                  |
|--------------------|-------------------|------------------|
| <b>Schritt</b>     | 2                 | 3                |
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                | w4               |
| <b>Schnitt</b>     | 1a                | 2a               |
| Tiefe              | 3                 | ←                |
| Vorschub           | 0.5               | ←                |
| Schnittgeschw.     | 600               | ←                |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) | ←                |
| <b>Kommentar</b>   | 2+3 gleichzeitig  | 2+3 gleichzeitig |

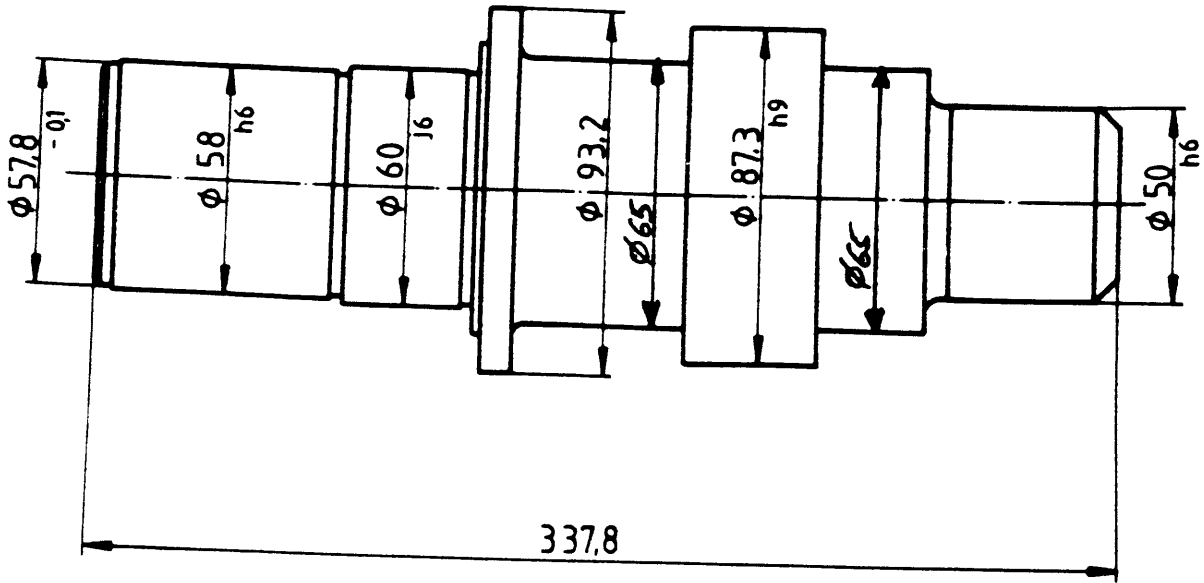
|                    |                   |                  |
|--------------------|-------------------|------------------|
| <b>Schritt</b>     | 4                 | 5                |
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w2                | w5               |
| <b>Schnitt</b>     | 2*1b              | 2*2b             |
| Tiefe              | 1.5+1.5           | ←                |
| Vorschub           | 0.3               | ←                |
| Schnittgeschw.     | 600               | ←                |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) | ←                |
| <b>Kommentar</b>   | 4+5 gleichzeitig  | 4+5 gleichzeitig |

|                    |                   |                  |
|--------------------|-------------------|------------------|
| <b>Schritt</b>     | 6                 | 7                |
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w3                | w6               |
| <b>Schnitt</b>     | 1c1+1c2           | 2c1+2c2          |
| Tiefe              | 0.5+0.5           | ←                |
| Vorschub           | 0.2+0.08          | ←                |
| Schnittgeschw.     | 800               | ←                |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) | ←                |
| <b>Kommentar</b>   | 6+7 gleichzeitig  | 6+7 gleichzeitig |

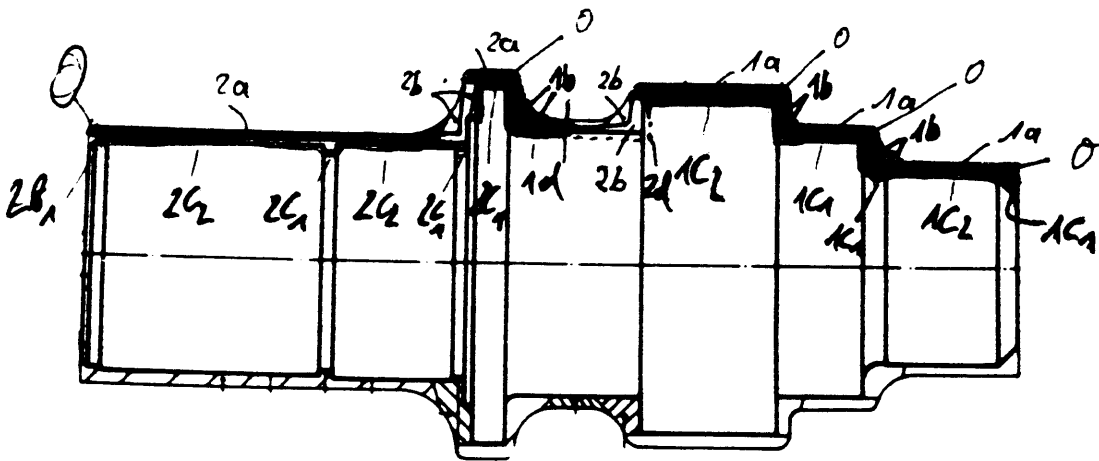
|                    |                   |                  |
|--------------------|-------------------|------------------|
| <b>Schritt</b>     | 8                 | 9                |
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w2                | w5               |
| <b>Schnitt</b>     | 1d                | 2d               |
| Tiefe              | 0.5               | ←                |
| Vorschub           | 0.2               | ←                |
| Schnittgeschw.     | 800               | ←                |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) | ←                |
| <b>Kommentar</b>   | 8+9 gleichzeitig  | 8+9 gleichzeitig |

$$8 = G_2 W_1 D_3$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$9 = G_1 W_1 D_2$$

### Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Werkstück</b> | Antriebswelle<br>mit beidseitig abfallender Kontur<br>aus Vergütungsstahl<br>relativ lang und schlank<br>erlaubte Zentrierbohrungen an beiden Enden<br>ohne besondere Oberflächengüten<br>Planflächen an den Enden werden nicht bearbeitet |
| <b>Werkstatt</b> | Fertigungsmaschine<br>mit ausreichender Leistung<br>mit großer Stabilität<br>mit begrenzter Anzahl Werkzeugen  |
| <b>Kommentar</b> | zwei Aufspannungen erforderlich<br>Bearbeitungsaufgabe mittleren Schwierigkeitsgrades<br>Rohteil=Formteil → geringes Zerspanvolumen<br>ev. Ratterschwingungen  |

### Planskelett

|   |  |
|---|--|
| <b>Schritt</b>  | 1  |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel                                   | a1<br>Dreibackenfutter (harte Backen)<br>Zentrierspitze                        |
| Spannkraft<br>Wstorientierung                                       | FT64.3 bei Antriebsseite   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Anschnitt (Schruppen)<br>Reitstock nach Antrieb                                |
| <b>Werkzeug</b>   | w0<br>Schruppdrehmeißel<br>gerade<br>mit Schneidkeramik                        |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 0a<br>alle Anfangspunkte<br>gering:1.0-3.0<br>mittel:0.3-0.6<br>mittel:150-700 |
| <b>Kommentar</b>  |  |

$$9 = G_1 W_1 D_2$$

### Planskelett

| Schritt   | 2  | 3   |
|---|--|---|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Schruppen<br>←   | Schlichten<br>←   |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>Schruppdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Schneidkeramik   | w2<br>Schlichtdrehmeißel<br>rechts abgesetzt<br>mit Schneidkeramik  |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br><br>alle Planflächen bis 93.6<br>Kontur folgen bis 93.6<br>(0.5mm Aufmaß)<br>gering:1-3<br>mittel:0.3-0.6<br>mittel/hoch:150-700 | 2a<br><br>Kontur folgen bis 93.6<br>einschließlich<br>gering:0.3-0.1<br>gering:0.1-0.5<br>mittel/hoch:150-800 |
| <b>Kommentar</b>  | Leistung voll ausnutzen  | keine bes. Oberfläche   |

| Schritt   | 4   | 5  |
|---|---|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←   | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutstechen<br>radial  | Nutstechen (Formeinstich)<br>radial            |
| <b>Werkzeug</b>   | w3<br>Nutstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik                            | w4<br>Nutstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 3a<br>siehe geometrie<br>=Nut<br>gering:0.05-0.2<br>gering/mittel:300-500 | 3b<br>neben 93.6<br>=Nut<br>←<br>←             |
| <b>Kommentar</b>  |   | höhere $v_c$ als bei 3a möglich                |

$$9 = G_1 W_1 D_2$$

Planskelett

| Schritt   | 6   | 7  |
|---|---|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br><br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | a2<br>Dreibackenfutter (weiche Aufsatzbacken → vorherige Bearbeitung auf 70FT notwendig)<br><br>64.3 bei Reitstock                  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung  | Schruppen<br>←  | Schlichten<br>←  |
| <b>Werkzeug</b>   | w1  | w2   |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1b<br><br>alle Planflächen bis 93.6<br>Kontur folgen bis 93.6 (0.5mm Aufmaß)<br>gering:1-3<br>mittel:0.3-0.6<br>mittel/hoch:150-700 | 2b<br><br>Kontur folgen bis 93.6 einschließlich<br>gering:0.3-0.1<br>gering:0.1-0.5<br>mittel/hoch:150-800 |
| <b>Kommentar</b>  | Leistung voll ausnutzen   | keine bes. Oberfläche  |

| Schritt   | 8  | 9                                   |
|---|--|-------------------------------------|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←                                   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutstechen<br>radial   | Nutstechen (Formeinstich)<br>radial |
| <b>Werkzeug</b>   | w3   | w4                                  |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 3b<br>neben 64.3<br>=Nut<br>gering:0.05-0.2<br>gering/mittel:300-500 | 4b<br>neben 93.6<br>=Nut<br>←<br>←  |
| <b>Kommentar</b>  |  | höhere $v_c$ als bei 3b möglich     |

$$9 = G_1 W_1 D_2$$

Produktmodell

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g1<br><br>Werkstoff: C45<br>ansonsten siehe g1 |
|----------------------------------|--|

Produktionsmittel

|                |          |
|----------------|----------|
| <b>Rohteil</b> | Formteil |
|----------------|----------|

|                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer PNE 480 |
|---------------------|-------------------|

|   |    |    |
|---|----|----|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorient. | a1 | a2 |
|---|----|----|

$$9 = G_1 W_1 D_2$$

Produktionsmittel

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w0                   |
| Halter            | PSGNN 3232 K12-IP7   |
| Schaftquerschnitt | 32*32                |
| Klemmart          | über Bohrung         |
| Einstellwinkel    | 45                   |
| Schneidplatte     | SNGM 120712 TN 02020 |
| Eckenradius       | 1.2                  |
| Plattenform       | 90                   |
| Schneidstoff      | SN80                 |

|                   |                |                   |
|-------------------|----------------|-------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1             | w2                |
| Halter            | CCLNL 25CA-12X | PDJNL 3225 CA-15P |
| Schaftquerschnitt | 32*25          | 32*25             |



$$9 = G_1 W_1 D_2$$

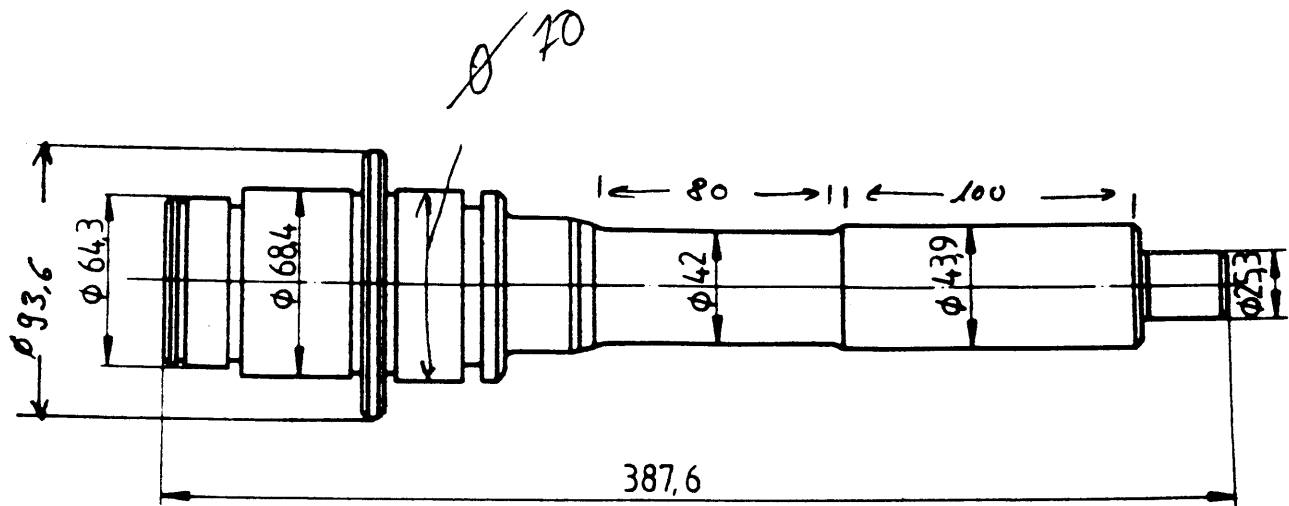
Produktionsplan

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| <b>Schritt</b>     | 1               |
| <b>Aufspannung</b> | a1              |
| <b>Werkzeug</b>    | w0              |
| <b>Schnitt</b>     | 0               |
| Tiefe              | 3               |
| Vorschub           | 0.2             |
| Schnittgeschw.     | 400             |
| Verfahrweg         | siehe geometrie |

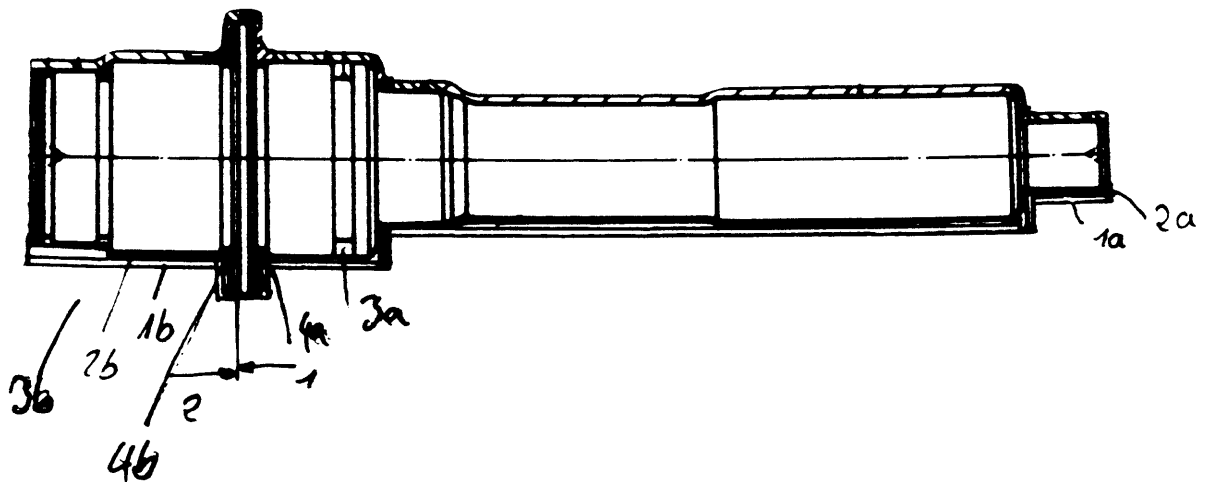
|                    |      |     |
|--------------------|------|-----|
| <b>Schritt</b>     | 2    | 3   |
| <b>Aufspannung</b> | ←    | ←   |
| <b>Werkzeug</b>    | w1   | w2  |
| <b>Schnitt</b>     | 2*1a | 2a  |
| Tiefe              | 3+3  | 0.5 |
| Vorschub           | 0.6  | 0.2 |
| Schnittgeschw.     | 700  | 800 |
| Verfahrweg         |      |     |

$$9 = G_1 W_1 D_2$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$10 = G_1 W_4 D_2$$

### Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Werkstück</b> | <p>Antriebswelle<br/> mit beidseitig abfallender Kontur<br/> aus hochlegiertem Stahl<br/> relativ lang und schlank<br/> erlaubte Zentrierbohrungen an beiden Enden<br/> ohne besondere Oberflächengüten<br/> Planflächen an den Enden werden nicht bearbeitet</p> |
| <b>Werkstatt</b> | <p>Fertigungsmaschine<br/> mit ausreichender Leistung<br/> mit großer Stabilität<br/> mit begrenzter Anzahl Werkzeugen</p>  |
| <b>Kommentar</b> | <p>zwei Aufspannungen erforderlich<br/> Bearbeitungsaufgabe mittleren Schwierigkeitsgrades<br/> Rohteil=Formteil → geringes Zerspanvolumen<br/> Kühlschmiermittel verwenden</p>   |

$$10 = G_1 W_4 D_2$$

Planskelett

| Schritt         | 1  | 2 |
|-----------------|--|---|
| Aufspannung     | a1   | ← |
| Spannmittel     | Dreibackenfutter (harte Aufsatzbacken)<br>Zentrierspitzen bei RT68.4 |   |
| Spannkraft      |  |   |
| Wstorientierung | FT64.3 bei Antriebsseite   |   |

$$10 = G_1 W_4 D_2$$

Planskelett

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Schritt</b>  | 5   | 6  |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | a2<br>Dreibackenfutter (weiche Aufsatzbacken → vorherige Bearbeitung auf 70FT notwendig)<br>64.3 bei Reitstock                | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | leichtes Schruppen<br>←   | Schlichten<br>←  |
| <b>Werkzeug</b>   | w1  | w2   |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1b<br>alle Planflächen bis 93.6<br>Kontur folgen bis 93.6<br>(0.5mm Aufmaß)<br>gering:2-4<br>mittel:0.2-0.5<br>gering:140-170 | 2b<br>Kontur<br>gering:0.5-2<br>mittel:0.1-0.3<br>gering:170-190 |
| <b>Kommentar</b>  | Spanbruch beachten<br>bei Unrundlaufen ev. Zentrierspitze   |  |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Schritt</b>  | 7   | 8   |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←   | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutstechen<br>radial  | Nutstechen (Formeinstich)<br>radial                           |
| <b>Werkzeug</b>   | w5  | w4  |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 3b<br>neben 64.3<br>=Nut<br>gering:0.05-0.25<br>gering:75-100 | 4b<br>neben 93.6<br>=Nut<br>gering:0.05-0.25<br>gering:75-100 |
| <b>Kommentar</b>  |   | höhere $v_c$ als bei 3b möglich                               |

$$10 = G_1 W_4 D_2$$

Produktmodell

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g1<br><br>Werkstoff: X5 Cr Ni 18 9<br>ansonsten siehe g1 |
|----------------------------------|--|

Produktionsmittel

|                |          |
|----------------|----------|
| <b>Rohteil</b> | Formteil |
|----------------|----------|

|                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer PNE 480 |
|---------------------|-------------------|

|  |    |    |
|--|----|----|
| <b>Aufspannung<br/>Spannmittel<br/>Spannkraft<br/>Wstorient.</b> | a1 | a2 |
|--|----|----|

Produktionsmittel

|                   |                  |                  |
|-------------------|------------------|------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1               | w2               |
| Halter            | PCLNL 3225 P12   | PTGNL 3225 P16   |
| Schaftquerschnitt | 32*25            | 32*25            |
| Klemmart          | Hebelspannsystem | Hebelspannsystem |
| Einstellwinkel    | 95               | 93               |
| Schneidplatte     | CNMG 120408      | TNMG 160404      |
| Eckenradius       | 0.8              | 0.4              |
| Plattenform       | 80               | 60               |
| Schneidstoff      | S425             | S1P              |

|                   |                   |                      |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3                | w4                   |
| Halter            | L 154.91-3225-8Q  | L 154.91-3225        |
| Schaftquerschnitt | 32*25             | 32*25                |
| Klemmart          | Spannfingersystem | Spannfingersystem    |
| Einstellwinkel    | 90                | 90                   |
| Schneidplatte     | 154.91-5          | BG 154.91            |
| Eckenradius       |                   | (Sonderform)         |
| Plattenform       | Nutstechplatte    | Profileinstichplatte |
| Schneidstoff      | S4                | S4                   |

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w5                |
| Halter            | L 154.91-3225-5Q  |
| Schaftquerschnitt | 32*25             |
| Klemmart          | Spannfingersystem |
| Einstellwinkel    | 90                |
| Schneidplatte     | 154.91-2.65       |
| Eckenradius       |                   |
| Plattenform       | Nutstechplatte    |
| Schneidstoff      | S4                |

$$10 = G_1 W_4 D_2$$

Produktionsplan

| Schritt        | 1    | 2   |
|----------------|------|-----|
| Aufspannung    | a1   | ←   |
| Werkzeug       | w1   | w2  |
| Schnitt        | 2*1a | 2a  |
| Tiefe          | 3+3  | 0.5 |
| Vorschub       | 0.45 | 0.2 |
| Schnittgeschw. | 160  | 180 |
| Verfahrweg     |      |     |

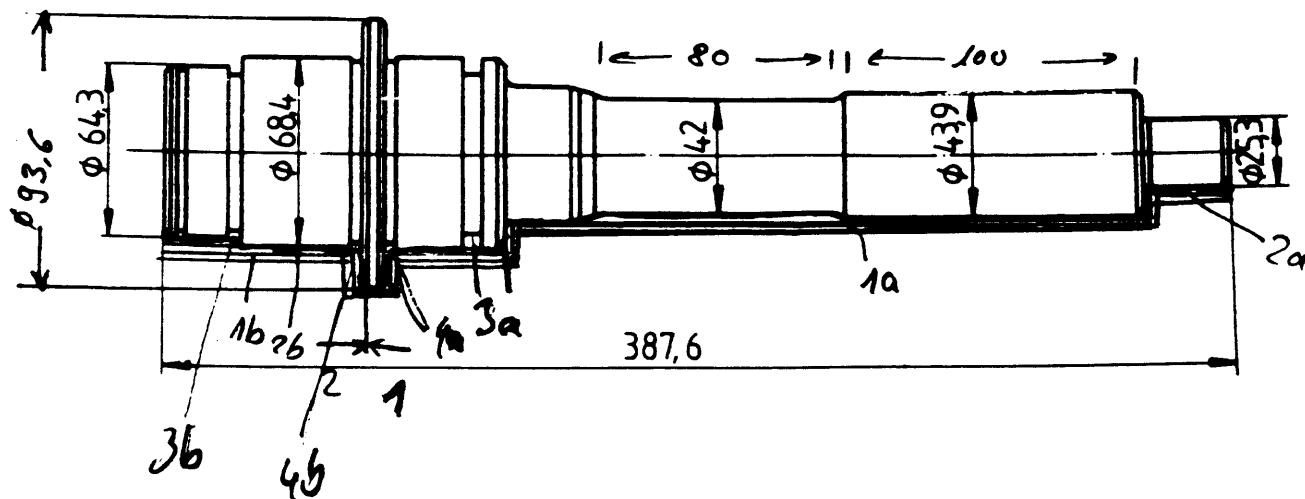
| Schritt        | 3      | 4  |
|----------------|--------|----|
| Aufspannung    | ←      | ←  |
| Werkzeug       | w3     | w4 |
| Schnitt        | 3a     | 4a |
| Tiefe          | =Nut   | ←  |
| Vorschub       | 0..075 | ←  |
| Schnittgeschw. | 75     | 85 |
| Verfahrweg     |        |    |

| Schritt        | 5    | 6   |
|----------------|------|-----|
| Aufspannung    | a2   | ←   |
| Werkzeug       | w1   | w2  |
| Schnitt        | 2*1b | 2b  |
| Tiefe          | 3+3  | 0.5 |
| Vorschub       | 0.45 | 0.2 |
| Schnittgeschw. | 160  | 180 |
| Verfahrweg     |      |     |

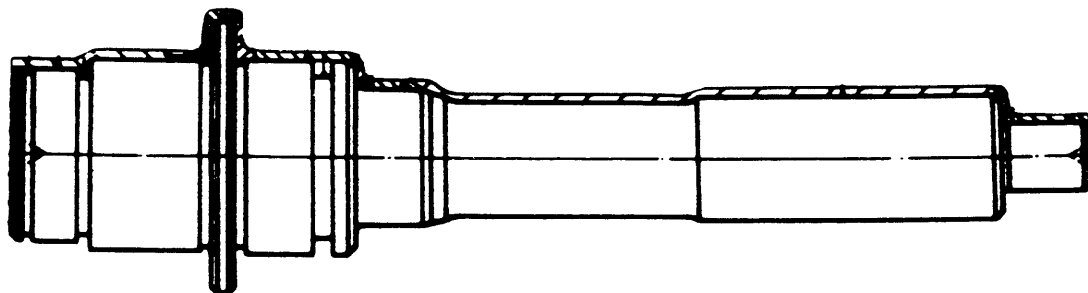
| Schritt        | 7     | 8  |
|----------------|-------|----|
| Aufspannung    | ←     | ←  |
| Werkzeug       | w5    | w4 |
| Schnitt        | 3b    | 4b |
| Tiefe          | =Nut  | ←  |
| Vorschub       | 0.075 | ←  |
| Schnittgeschw. | 80    | 85 |
| Verfahrweg     |       |    |

$$10 = G_1 W_4 D_2$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege





$$11 = G_5 W_3 D_2$$

Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Werkstück</b> | <p>Achswelle<br/>         aus weichem Aluminium<br/>         lang und schlank<br/>         mit einseitig abfallender Kontur<br/>         mit Gewinde, Passungen, Nuten und Schrägen<br/>         mit Oberflächenanforderungen</p>                       |
| <b>Werkstatt</b> | <p>Fertigungsmaschine<br/>         mit ausreichend Werkzeugen<br/>         stabil und leistungsstark</p>  |
| <b>Kommentar</b> | <p>eine Aufspannung<br/>         mit Hartmetall bearbeitbar<br/>         Kühlschmiermittel verwenden<br/>         Gefahr von Aufbauschneidenbildung<br/>         hohe Schnittwerte fahrbar<br/>         weicher Werkstoff → weiche Backen verwenden</p> |

$$11 = G_5 W_3 D_2$$

Planskelett

| Schritt                           | 1   | 2  |
|-----------------------------------|---|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel | a1<br>Dreibackenfutter mit<br>weichen Backen<br>Zentrierspitze            | ←  |
| Spannkraft<br>Wstorientierung     | M60*2 bei Reitstockseite  |  |
| <b>Bearbeitung</b>                | Schruppen   | Schlichten<br>+Feinschlichten                                    |
| B.richtung                        | Reitstock nach Antrieb  | Antrieb nach Reitstock   |
| <b>Werkzeug</b>                   | w1<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Hartmetall           | w2<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>mit Hartmetall |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg      | 1a<br>parallele Schnitte bis<br>Planfläche der FTkontur<br>(0.7mm Aufmaß) | 1b<br>Grundkontur folgend<br>+Freistiche                         |
| Tiefe                             | mittel:2-4  | mittel:0.5-2+fein:0.25-2   |
| Vorschub                          | mittel/hoch:0.4-1   | mittel:0.1-0.3+fein:0.05-0.15                                    |
| Schnittgeschw.                    | hoch:1050-1300  | hoch:1550-1850   |
| <b>Kommentar</b>                  | Leistungsgrenzen der Maschine<br>beachten                                 | ←  |

$$11 = G_5W_3D_2$$

### Produktmodell

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g5<br><br>Werkstoff: AlMgSi (weich)<br>ansonsten siehe g5 |
|----------------------------------|---|

### Produktionsmittel

|                |                |
|----------------|----------------|
| <b>Rohteil</b> | Zylinder 105mm |
|----------------|----------------|

|                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer PNE 480 |
|---------------------|-------------------|

|   |    |  |
|---|----|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorient. | a1 |  |
|---|----|--|

|                   |                   |                      |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1                | w2                   |
| Halter            | CKJNL 3225 P16    | SVJBL 3225 M16       |
| Schaftquerschnitt | 32*25             | 32*25                |
| Klemmart          | Spanpratzensystem | Schnellspannschraube |
| Einstellwinkel    | 93                | 93                   |
| Schneidplatte     | KNUX 160410 L-11  | VBMM 160404-53       |
| Eckenradius       | 1.0               | 0.4                  |
| Plattenform       | 55                | 55                   |
| Schneidstoff      | S10T              | H13A                 |

|                   |                   |                      |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3                | w4                   |
| Halter            | L 154.91-3225-8Q  | R166.OFG-3225-16     |
| Schaftquerschnitt | 32*25             | 32*25                |
| Klemmart          | Spannfingersystem | Schnellspannschraube |
| Einstellwinkel    | 90                | 90                   |
| Schneidplatte     | 154.91-4.15       | R 166.OG-16MM01-200  |
| Eckenradius       |                   |                      |
| Plattenform       | Nutstechplatte    | Gewindeplatte        |
| Schneidstoff      | H20               | S10T                 |

$$11 = G_5 W_3 D_2$$

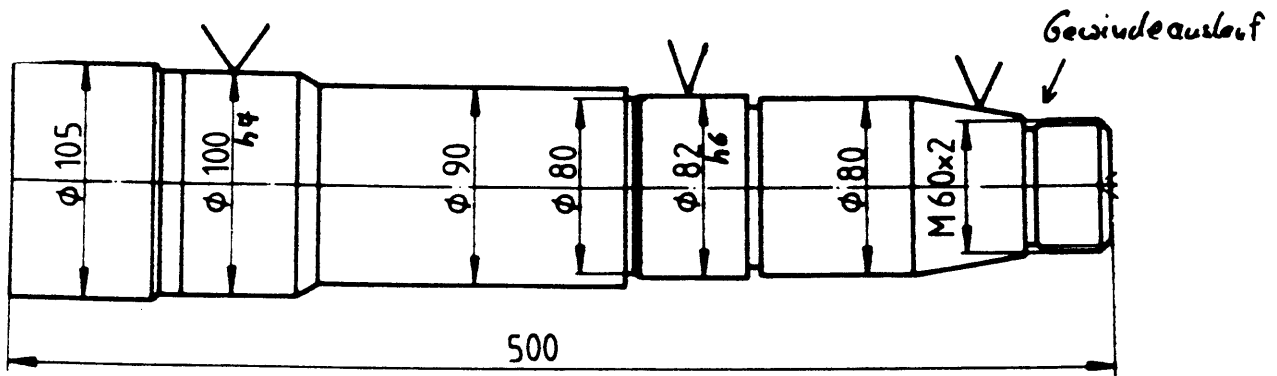
Produktionsplan

| Schritt            | 1                              | 2         |
|--------------------|--------------------------------|-----------|
| <b>Aufspannung</b> | a1                             | ←         |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                             | w2        |
| <b>Schnitt</b>     | 1a                             | 2a        |
| Tiefe              | 2.25+2.5+2.5+2+2+1+<br>2.5+2.5 |           |
| Vorschub           | 0.5                            | 0.2+0.075 |
| Schnittgeschw.     | 850                            | 900       |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie)              |           |

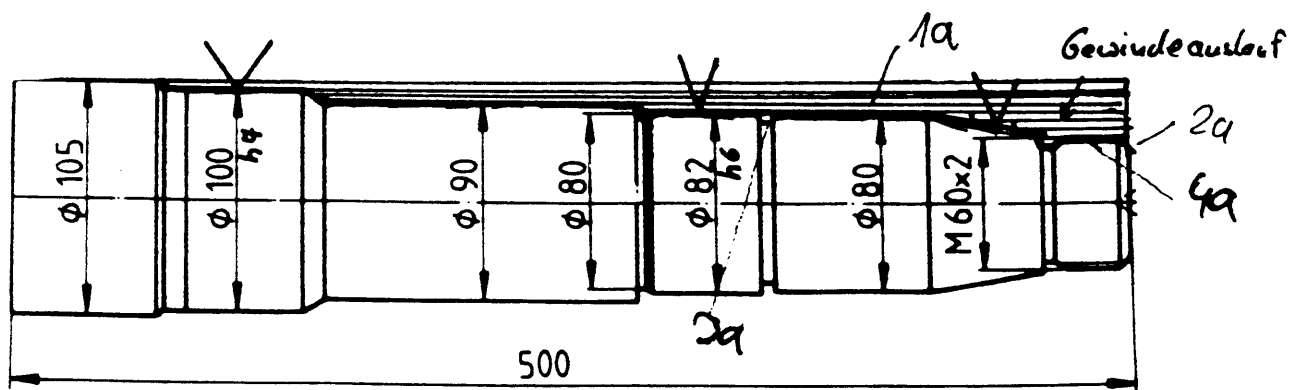
| Schritt            | 3    | 4  |
|--------------------|------|--|
| <b>Aufspannung</b> | ←    | ←  |
| <b>Werkzeug</b>    | w3   | w4   |
| <b>Schnitt</b>     | 3a   | 4a   |
| Tiefe              | =Nut | 0.27+0.24+0.18+0.16+0.14+<br>0.12+0.11+0.10+0.06 |
| Vorschub           | 0.1  | =Steigung  |
| Schnittgeschw.     | 400  | 500  |
| Verfahrweg         |      |  |

$$11 = G_5 W_3 D_2$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$12 = G_1 W_4 D_3$$

Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Werkstück</b> | <p>Antriebswelle<br/> mit beidseitig abfallender Kontur<br/> aus hochlegiertem Stahl<br/> relativ lang und schlank<br/> erlaubte Zentrierbohrungen an beiden Enden<br/> ohne besondere Oberflächengüten<br/> Planflächen an den Enden werden nicht bearbeitet</p> |
| <b>Werkstatt</b> | <p>Fertigungsmaschine<br/> mit hoher Leistung<br/> mit großer Stabilität<br/> mit der Möglichkeit synchroner Bearbeitung (2 Revolver)</p>   |
| <b>Kommentar</b> | <p>synchrone Bearbeitung (→ Drehzahlanpassung)<br/> Kühlschmiermittel verwenden</p>   |

$$12 = G_1 W_4 D_3$$

Planskelett

| Schritt                             | 1   | 2  |
|-------------------------------------|---|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel   | a1<br>Stirnseitenmitnehmer<br>Zentierspitze   | ←  |
| Spannkraft<br>Wstorientierung       | FT64.3 bei Antriebsseite  |  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung    | Schruppen<br>Reitstock nach Antrieb   | Schruppen<br>Antrieb nach Reitstock  |
| <b>Werkzeug</b>                     | w1<br>Schruppdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Hartmetall  | w2<br>Schruppdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Hartmetall   |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg        | 1a<br><br>alle Planflächen bis 93.6<br>Kontur folgen bis 93.6<br>einschließlich<br>(0.5mm Aufmaß)<br>gering:2-4<br>mittel:0.2-0.5<br>gering:140-170 | 1b<br><br>alle Planflächen bis 93.6<br>Kontur folgen bis 93.6<br>ausschließlich<br>(0.5mm Aufmaß)<br>←<br>←<br>← |
| Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. |   |  |
| <b>Kommentar</b>                    | 1+2 gleichzeitig  | 1+2 gleichzeitig   |

| Schritt                             | 3  | 4   |
|-------------------------------------|--|---|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel   | ←  | ←   |
| Spannkraft<br>Wstorientierung       |  |   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung    | Schlichten<br>Reitstock nach Antrieb   | Schlichten<br>Antrieb nach Reitstock                          |
| <b>Werkzeug</b>                     | w2<br>Schlichtdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Hartmetall  | w6<br>Schlichtdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Hartmetall |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg        | 2a<br>Kontur mit Eindrehung 42<br>ohne Nuten<br>gering/mittel:0.5-2<br>mittel:0.1-0.3<br>gering/mittel:170-190 | 2b<br>Kontur ohne Nuten<br>←<br>←<br>←                        |
| Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. |  |   |
| <b>Kommentar</b>                    | 2a+2b gleichzeitig   | 2a+2b gleichzeitig  |

$$12 = G_1 W_4 D_3$$

Planskelett

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Schritt</b>  | 5  | 6  |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutstechen<br>radial   | Nutstechen<br>radial   |
| <b>Werkzeug</b>   | w5<br>Nutstechdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Hartmetall<br>mit Freistichplatte       | w6<br>Nutstechdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Hartmetall<br>mit Freistichplatte |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 3a<br>Formeinstich bei 93.6<br>Reitstockseite<br>=Nut<br>gering:0.05-0.25<br>gering:75-100 | 3b<br>Formeinstich bei 93.6<br>Antriebsseite<br>=Nut<br>←<br>←                       |
| <b>Kommentar</b>  | 5+6 gleichzeitig   | 5+6 gleichzeitig   |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Schritt</b>  | 7  | 8  |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung                                    | Nutstechen<br>radial   | Nutstechen<br>radial   |
| <b>Werkzeug</b>   | w4<br>Nutstechdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Hartmetall<br>mit Freistichplatte | w8<br>Nutstechdrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Hartmetall<br>mit Freistichplatte |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 4a<br>siehe geometrie<br>=Nut<br>gering:0.05-0.25<br>gering:75-100                   | 4b<br>=Nut<br>←<br>←   |
| <b>Kommentar</b>  | 7+8 gleichzeitig<br>ev. Ratterschwingungen   | 7+8 gleichzeitig   |



$$12 = G_1 W_4 D_3$$

Produktmodell

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g1<br><br>Werkstoff: X5 Cr Ni 18 9<br>ansonsten siehe g1 |
|----------------------------------|--|

Produktionsmittel

|                |          |
|----------------|----------|
| <b>Rohteil</b> | Formteil |
|----------------|----------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer XY |
|---------------------|--------------|

|   |    |
|---|----|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorient. | a1 |
|---|----|

$$12 = G_1 W_4 D_3$$

Produktionsmittel

|                   |                  |                  |
|-------------------|------------------|------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1               | w2               |
| Halter            | PCLNL 3225 P12   | PCLNL 3225 P12   |
| Schaftquerschnitt | 32*25            | 32*25            |
| Klemmart          | Hebelspannsystem | Hebelspannsystem |
| Einstellwinkel    | 95               | 95               |
| Schneidplatte     | CNMG 120408      | CNMG 120408      |
| Eckenradius       | 0.8              | 0.8              |
| Plattenform       | 80               | 80               |
| Schneidstoff      | S425             | S425             |

|                   |                  |                  |
|-------------------|------------------|------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3               | w4               |
| Halter            | PTGNL 3225 P16   | PTGNL 3225 P16   |
| Schaftquerschnitt | 32*25            | 32*25            |
| Klemmart          | Hebelspannsystem | Hebelspannsystem |
| Einstellwinkel    | 93               | 93               |
| Schneidplatte     | TNMG 160404      | TNMG 160404      |
| Eckenradius       | 0.4              | 0.4              |
| Plattenform       | 60               | 60               |
| Schneidstoff      | S1P              | S1P              |

|                   |                   |                   |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w5                | w6                |
| Halter            | L 154.91-3225     | L 154.91-3225     |
| Schaftquerschnitt | 32*25             | 32*25             |
| Klemmart          | Spannfingersystem | Spannfingersystem |
| Einstellwinkel    | 90                | 90                |
| Schneidplatte     | BG 154.91         | BG 154.91         |

$$12 = G_1 W_4 D_3$$

Produktionsplan

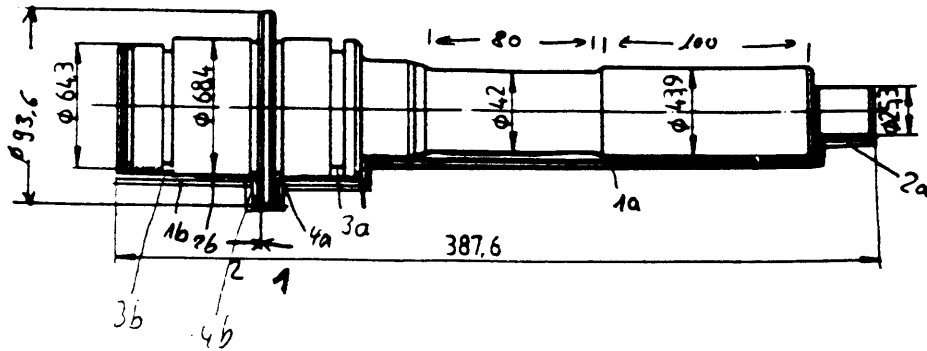
| Schritt            | 1                           | 2                           |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>Aufspannung</b> | a1                          | ←                           |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                          | w2                          |
| <b>Schnitt</b>     | 1a1+1a2                     | 1b                          |
| Tiefe              | 3+3                         | ←                           |
| Vorschub           | 0.5                         | ←                           |
| Schnittgeschw.     | 160+170                     | 160                         |
| Verfahrweg         | siehe geometrie             |                             |
| <b>Kommentar</b>   | Schnitt 1a1+1b gleichzeitig | Schnitt 1a1+1b gleichzeitig |

| Schritt            | 3                           | 4                           |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                           | ←                           |
| <b>Werkzeug</b>    | w3                          | w4                          |
| <b>Schnitt</b>     | 2a1+2a2                     | 2b                          |
| Tiefe              | 0.5                         | ←                           |
| Vorschub           | 0.25                        | ←                           |
| Schnittgeschw.     | ca.180+190                  | ca.180                      |
| Verfahrweg         |                             |                             |
| <b>Kommentar</b>   | Schnitt 2a1+2b gleichzeitig | Schnitt 2a1+2b gleichzeitig |

| Schritt            | 5 | 6 |
|--------------------|---|---|
| <b>Aufspannung</b> | ← | ← |
| <b>Werkzeug</b>    |   |   |
| <b>Schnitt</b>     |   |   |
| Tiefe              |   |   |
| Vorschub           |   |   |
| Schnittgeschw.     |   |   |
| Verfahrweg         |   |   |
| <b>Kommentar</b>   |   |   |

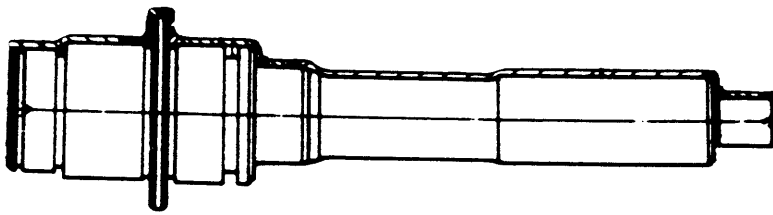
$$12 = G_1 W_4 D_3$$

CAD-Zeichnung



*Bearbeitung von links nach rechts  
und von rechts nach links  
gleichzeitig!*

Verfahrwege



$$13 = G_5 W_3 D_3$$

Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Werkstück</b> | <p>Achswelle<br/>         aus weichem Alumimium<br/>         lang und schlank<br/>         mit einseitig abfallender Kontur<br/>         mit Gewinde, Passungen, Nuten und Schrägen<br/>         mit Oberflächenanforderungen</p>                       |
| <b>Werkstatt</b> | <p>Drehmaschine<br/>         mit hoher Leistung<br/>         mit großer Stabilität<br/>         mit der Möglichkeit synchroner Bearbeitung (2 Revolver)<br/>         mit großer Anzahl Werkzeugen</p>   |
| <b>Kommentar</b> | <p>eine Aufspannung<br/>         mit Hartmetall bearbeitbar<br/>         Kühlschmiermittel verwenden<br/>         Gefahr von Aufbauschneidenbildung<br/>         hohe Schnittwerte fahrbar<br/>         weicher Werkstoff → weiche Backen verwenden</p> |

$$13 = G_5 W_3 D_3$$

Planskelett

| Schritt   | 1   | 2   |
|---|---|---|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung      | a1<br>Dreibackenfutter mit<br>weichen Backen+<br>Zentrierspitze<br><br>M60*2 bei Reitstockseite                               | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br><br>B.richtung                                    | Schruppen<br><br>Reitstock nach Antrieb   | Schlichten<br>+Feinschlichten<br>←  |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Hartmetall   | w2<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>mit Hartmetall  |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br>parallele Schnitte bis<br>Planfläche derFTkontur<br>(0.7mm Aufmaß)<br>mittel:2-4<br>mittel/hoch:0.4-1<br>hoch:1050-1300 | 1b<br>Grundkontur folgend<br>+Freistiche<br><br>mittel:0.5-2+fein:0.25-2<br>mittel:0.1-0.3+fein:0.05-0.15<br>hoch:1550-2000 |
| <b>Kommentar</b>  | Leistungsgrenzen der Maschine<br>beachten   | ←   |

| Schritt   | 3  | 4   |
|---|--|---|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung          | ←  | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br><br>B.richtung  | Nutstechen<br>radial                                       | Gewindedrehen<br>Reitstock nach Antrieb   |
| <b>Werkzeug</b>   | w3<br>Nutstechdrehmeißel<br><br>mit Hartmetall             | w4<br>Gewindedrehmeißel<br>links abgesetzt<br>mit Hartmetall  |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br><br>Tiefe<br><br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 3a<br>Nut bei FT82<br><br>=Nut<br><br>0.05-0.25<br>200-500 | 4a<br>mehrere Schnitte entlang<br>der Längstfläche bis<br>zum Gewindefreistich<br>zunächst grob:0.3<br>dann feiner:0.05<br>=Steigung<br>500-700 |
| <b>Kommentar</b>  | 3+4 gleichzeitig   | 3+4 gleichzeitig  |

$$13 = G_5 W_3 D_3$$

Produktmodell

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g5<br><br>Werkstoff:AlMgSi (weich)<br>ansonsten siehe g5 |
|----------------------------------|--|

Produktionsmittel

|                |                |
|----------------|----------------|
| <b>Rohteil</b> | Zylinder 105mm |
|----------------|----------------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer XY |
|---------------------|--------------|

|   |    |  |
|---|----|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorient. | a1 |  |
|---|----|--|

|                   |                   |                      |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1                | w2                   |
| Halter            | CKJNL 3225 P16    | SVJBL 3225 M16       |
| Schaftquerschnitt | 32*25             | 32*25                |
| Klemmart          | Spanpratzensystem | Schnellspannschraube |
| Einstellwinkel    | 93                | 93                   |
| Schneidplatte     | KNUX 160410 L-11  | VBMM 160404-53       |
| Eckenradius       | 1.0               | 0.4                  |
| Plattenform       | 55                | 55                   |
| Schneidstoff      | S10T              | H13A                 |

|                   |                   |                      |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3                | w4                   |
| Halter            | R 154.91-3225-8Q  | R166.OFG-3225-16     |
| Schaftquerschnitt | 32*25             | 32*25                |
| Klemmart          | Spannfingersystem | Schnellspannschraube |
| Einstellwinkel    | 90                | 90                   |
| Schneidplatte     | 154.91-4.15       | R 166.OG-16MM01-200  |
| Eckenradius       |                   |                      |
| Plattenform       | Nutstechplatte    | Gewindeplatte        |
| Schneidstoff      | H20               | S10T                 |

$$13 = G_5 W_3 D_3$$

Produktionsplan

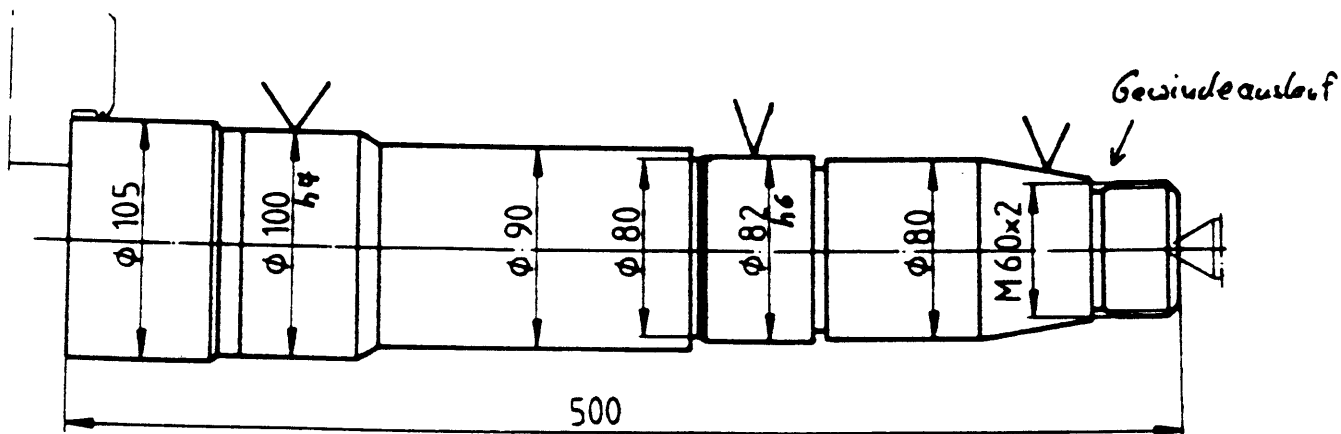
| Schritt            | 1                              | 2         |
|--------------------|--------------------------------|-----------|
| <b>Aufspannung</b> | a1                             | ←         |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                             | w2        |
| <b>Schnitt</b>     | 1a                             | 2a        |
| Tiefe              | 2.25+2.5+2.5+2+2+1+<br>2.5+2.5 |           |
| Vorschub           | 0.5                            | 0.2+0.075 |
| Schnittgeschw.     | 1000                           | 1300      |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie)              |           |

| Schritt            | 3                | 4  |
|--------------------|------------------|--|
| <b>Aufspannung</b> | ←                | ←  |
| <b>Werkzeug</b>    | w3               | w4   |
| <b>Schnitt</b>     | 3a               | 4a   |
| Tiefe              | =Nut             | 0.27+0.24+0.18+0.16+0.14+<br>0.12+0.11+0.10+0.06 |
| Vorschub           | 0.1              | =Steigung  |
| Schnittgeschw.     | ca.800           | ca.700   |
| Verfahrweg         |                  |  |
| <b>Kommentar</b>   | 3+4 gleichzeitig | 3+4 gleichzeitig                                 |

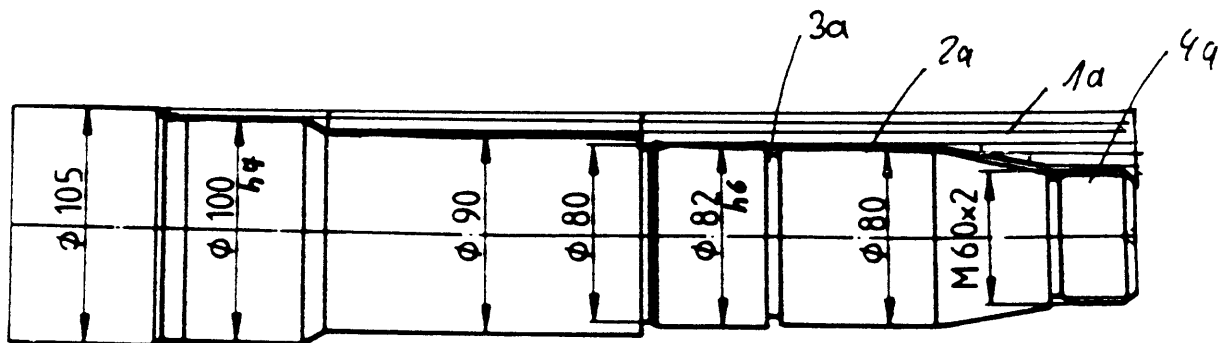


$$13 = G_5 W_3 D_3$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



Hinweis:  $3a$  und  $4a$  gleichzeitig

$$14 = G_3 W_2 D_3$$

### Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Werkstück</b> | Ritzelwelle<br>aus Grauguß<br>beidseitige Zentrierbohrungen erlaubt<br>mit mittleren Freimaßtoleranzen<br>mit teilweise erhöhten Oberflächenanforderungen<br>mit beidseitig abfallender Kontur<br>mit Nuten und einem Gewinde<br>relativ stabil |
| <b>Werkstatt</b> | Drehmaschine<br>mit hoher Leistung<br>mit großer Stabilität<br>mit der Möglichkeit synchroner Bearbeitung (2 Revolver)<br>mit großer Anzahl Werkzeugen  |

Planskelett

Produktionsplan

Skelett- und Produktionsplan der Musterlösung m3 sind direkt anwendbar.

$$15 = G_3W_2D_2$$

### Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Werkstück</b> | Ritzelwelle<br>aus Grauguß<br>beidseitige Zentrierbohrungen erlaubt<br>mit mittleren Freimaßtoleranzen<br>mit teilweise erhöhten Oberflächenanforderungen<br>mit beidseitig abfallender Kontur<br>mit Nuten und einem Gewinde<br>relativ stabil |
| <b>Werkstatt</b> | Fertigungsmaschine<br>mit ausreichend Werkzeugen  |

$$15 = G_3 W_2 D_2$$

### Planskelett

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Schritt</b>  | 2  | 3  |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung      | a1<br>Stirnseitenmitnehmer<br>Zentrierspitze<br><br>Gewinde bei Reitstock  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b>  | Schruppen  | Schruppen  |
| <b>B.richtung</b>   | Reitstock nach Antrieb   | Antrieb nach Reitstock   |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik  | w2<br>abgesetzter rechter<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik                                 |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br>bis 48.5 (ausschließlich)<br>bis M33*1.5<br>bei 0.5 vor Planfläche<br>mittel:1.0-3.0<br>mittel:0.25-0.70<br>mittel:200-600 | 1b<br>bis 48.5<br><br>bei 0.5 vor Planfläche<br>mittel:1.0-3.0<br>mittel:0.25-0.70<br>mittel:200-600 |
| <b>Kommentar</b>  |  |  |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Schritt</b>  | 4   | 5   |
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung  | ←   | ←   |
| <b>Bearbeitung</b>  | Schlichten der Kontur<br>Feinschlichten   | Feinschlichten<br>Schräge   |
| <b>B.richtung</b>   | Reitstock nach Antrieb  | Antrieb nach Reitstock  |
| <b>Werkzeug</b>   | abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik  | abgesetzter rechter<br>Schlichtdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik   |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 2a<br>Kontur bis 57 einschließlich<br>mittel:0.,3-1.0+gering=.1-0.5<br>mittel/hoch:0.2-0.5+gering0.08-0.35<br>mittel/hoch:200-700 | 2b<br>Kontur bis 57<br>mittel:0.3-1.0+gering:1-0.5<br>mittel/hoch:0.2-0.5+gering:0.08-0.35<br>mittel/hoch:200-700 |
| <b>Kommentar</b>  |   |   |

## Planskelett

| Schritt   | 6   | 7   |
|---|---|---|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung      | ←   | ←   |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung  | Nutenstechen<br>Radial  | Gewindeschneiden<br>Reitstock nach Antrieb  |
| <b>Werkzeug</b>   | w5<br>linker abgesetzter<br>Nutenstechdrehmeißel<br>mit Schneidkeramik    | w6<br>Gewindedrehmeißel<br>mit Hartmetall   |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 3a<br>radial bis Nutgrund<br><br>=Nut<br>gering:0.1-0.2<br>mittel:200-600 | 4a<br>bis zum Freistich<br>(mehrmals)<br><br>gering:0.5-0.05<br>=Steigung<br>gering:50-70 |
| <b>Kommentar</b>  |   |   |

$$15 = G_3W_2D_2$$

### Produktmodell

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g3<br><br>Werkstoff: GG25<br>ansonsten siehe g3 |
|----------------------------------|---|

### Produktionsmittel

|                |               |
|----------------|---------------|
| <b>Rohteil</b> | Zylinder 63mm |
|----------------|---------------|

|                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer PNE 480 |
|---------------------|-------------------|

|                                    |    |  |
|------------------------------------|----|--|
| <b>Aufspannung<br/>Spannmittel</b> | a1 |  |
| <b>Spannkraft<br/>Wstorient.</b>   |    |  |

|                   |                     |                     |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1                  | w2                  |
| Halter            | CSRNL 3225 k12      | CSRNR 3225 k12      |
| Schaftquerschnitt | 32*25               | 32*25               |
| Klemmart          | von oben geklemmt   | von oben geklemmt   |
| Einstellwinkel    | 75                  | 75                  |
| Schneidplatte     | SNGN 120816 TO 3030 | SNGN 120816 TO 3030 |
| Eckenradius       | 0.8                 | 0.8                 |
| Plattenform       | 90                  | 90                  |
| Schneidstoff      | SN60                | SN60                |

|                   |                       |                       |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3                    | w4                    |
| Halter            | PDJNL 3225 K15        | PDJNR 3225 K15        |
| Schaftquerschnitt | 32*25                 | 32*25                 |
| Klemmart          | über Bohrung geklemmt | über Bohrung geklemmt |
| Einstellwinkel    | 93                    | 93                    |
| Schneidplatte     | DNMA 150812 TF 118    | DNMA 150812 TF 118    |
| Eckenradius       | 0.8                   | 0.8                   |
| Plattenform       | 55                    | 55                    |
| Schneidstoff      | SH20F                 | SH20F                 |

|                   |                  |                    |
|-------------------|------------------|--------------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w5               | w6                 |
| Halter            | KTGL 3225 K22-15 | R166.OFG-3225-16   |
| Schaftquerschnitt | 32*25            | 32*25              |
| Klemmart          | von der Seite    | Spannfingersystem  |
| Einstellwinkel    | 90               | 60                 |
| Schneidplatte     | TPMX 2204 L 330  | R166.OG-16MM01-150 |
| Eckenradius       |                  |                    |
| Plattenform       | 90               | 60                 |
| Schneidstoff      | TC50             | S30T               |

$$15 = G_3 W_2 D_2$$

Produktionsplan

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| Schritt            | 0               |
| <b>Aufspannung</b> | a1              |
| <b>Werkzeug</b>    | w1              |
| <b>Schnitt</b>     | 0               |
| Tiefe              | 2.75            |
| Vorschub           | 0.2             |
| Schnittgeschw.     | 400             |
| Verfahrweg         | siehe geometrie |

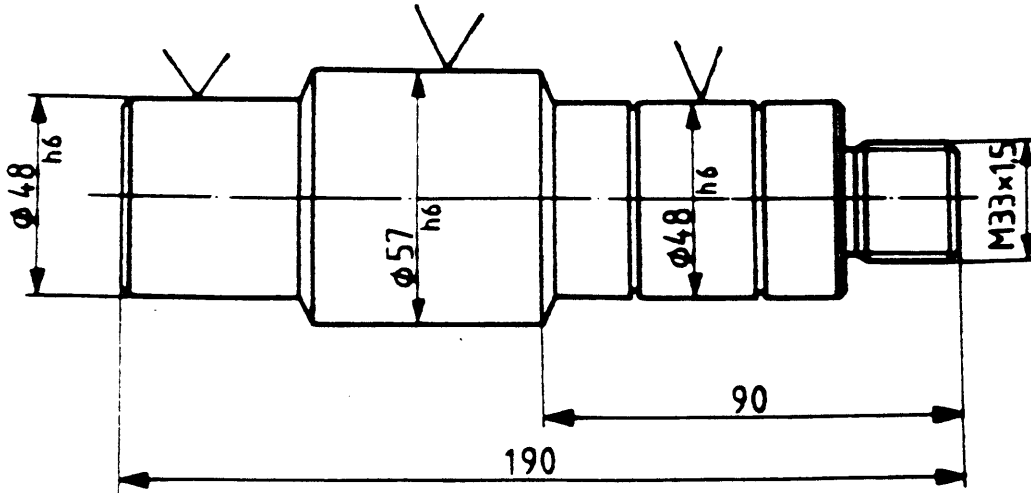
|                    |                 |      |
|--------------------|-----------------|------|
| Schritt            | 2               | 3    |
| <b>Aufspannung</b> | ←               | ←    |
| <b>Werkzeug</b>    | w1              | w2   |
| <b>Schnitt</b>     | 3*1a            | 1b   |
| Tiefe              | 4.5+5+2.5       | 2.25 |
| Vorschub           | 0.45            | 0.45 |
| Schnittgeschw.     | 450             | 450  |
| Verfahrweg         | siehe geometrie |      |

|                    |      |      |
|--------------------|------|------|
| Schritt            | 4    | 5    |
| <b>Aufspannung</b> | ←    | ←    |
| <b>Werkzeug</b>    | w3   | w4   |
| <b>Schnitt</b>     | 2a   | 2b   |
| Tiefe              | 0.5  | 0.5  |
| Vorschub           | 0.15 | 0.15 |
| Schnittgeschw.     | 550  | 550  |
| Verfahrweg         |      |      |

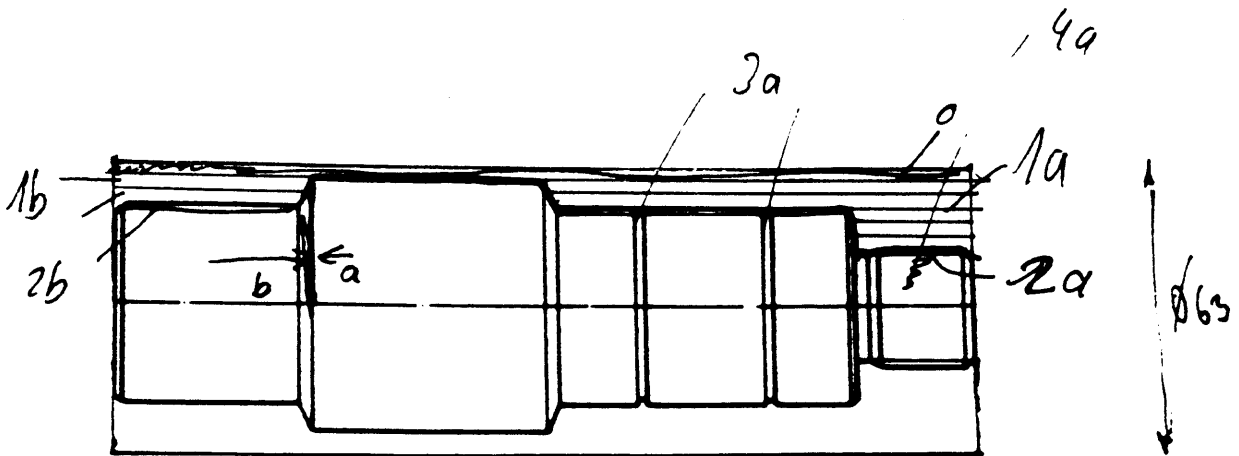
|                    |     |                             |
|--------------------|-----|-----------------------------|
| Schritt            | 6   | 7                           |
| <b>Aufspannung</b> | ←   | ←                           |
| <b>Werkzeug</b>    | w5  | w6                          |
| <b>Schnitt</b>     | 3a  | 6*4a                        |
| Tiefe              | 3.3 | 0.3+0.25+0.15+0.13+0.1+0.05 |
| Vorschub           | 0.1 | =Steigung                   |
| Schnittgeschw.     | 140 | 60                          |
| Verfahrweg         |     |                             |

$$15 = G_3W_2D_2$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege





$$16 = G_2 W_4 D_3$$

Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Werkstück</b> | <p>Antriebswelle<br/>         aus hochlegiertem Stahl<br/>         mit beidseitig abfallender Kontur<br/>         relativ stabil<br/>         mit breiter Nut<br/>         mit Passungen, Schrägen, Radien und Formeinstichen</p> |
| <b>Werkstatt</b> | <p>Drehmaschine<br/>         mit hoher Leistung<br/>         mit großer Stabilität<br/>         mit der Möglichkeit synchroner Bearbeitung (2 Revolver)<br/>         mit großer Anzahl Werkzeugen</p>                             |
| <b>Kommentar</b> | <p>mit Hartmetall bearbeitbar<br/>         Rohteillänge=Fertigteillänge<br/>         Kühlschmiermittel verwenden<br/>         synchrone Bearbeitung</p>   |

$$16 = G_2 W_4 D_3$$

Planskelett

| Schritt   | 1  | 2  |
|---|--|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung      | a1<br>Stirnseitenmitnehmer<br>Zentrierspitze<br><br>FT57.8 bei Antriebsseite   | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung  | Schruppen<br>Reitstock nach Antrieb  | Schruppen<br>Antrieb nach Reitstock  |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Hartmetall  | w2<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Hartmetall                        |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br>Kontur folgend bis FT87.3<br>(Aufmaß 0.5mm)<br>Vorstechen der Nut<br>mittel/hoch:4-10<br>mittel/hoch:0.4-1<br>gering:125-175 | 1b<br>Kontur folgend bis FT93.2<br>(Aufmaß 0.5mm)<br>Vorstechen der Nut<br>←<br>←<br>← |
| <b>Kommentar</b>  | 1+2 gleichzeitig   | 1+2 gleichzeitig   |

| Schritt   | 3  | 4  |
|---|--|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung      | ←  | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung  | Schlichten mit Kontur+<br>Feinschlichten<br>Reitstock nach Antrieb   | Schlichten mit Kontur+<br>Feinschlichten<br>Antrieb nach Reitstock                               |
| <b>Werkzeug</b>   | w3<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>mit Hartmetall   | w4<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>mit Hartmetall                                 |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 2a<br>Kontur folgend bis FT87.3<br>1.Hälfte des Nutgrundes<br>Planfläche bei 93.2<br>mittel:0.5-2+gering/mittel:0.25-2<br>mittel/hoch:0.1-0.3+gering:0.05-0.15<br>mittel:130-200 | 2b<br>Kontur folgend bis FT93.2<br>2.Hälfte des Nutgrundes<br>Planfläche bei 87.3<br>←<br>←<br>← |
| <b>Kommentar</b>  | 3+4 gleichzeitig   | 3+4 gleichzeitig   |

$$16 = G_2W_4D_3$$

Produktmodell

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g2<br><br>Werkstoff:X5 Cr Ni 18 9<br>ansonsten siehe g2 |
|----------------------------------|---|

Produktionsmittel

|                |          |
|----------------|----------|
| <b>Rohteil</b> | Formteil |
|----------------|----------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer XY |
|---------------------|--------------|

|   |    |  |
|---|----|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorient. | a1 |  |
|---|----|--|

|                   |                 |                 |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w1              | w2              |
| Halter            | MTJNL 3225 M22  | MTJNL 3225 M22  |
| Schaftquerschnitt | 32*25           | 32*25           |
| Klemmart          | Keilspannsystem | Keilspannsystem |
| Einstellwinkel    | 93              | 93              |
| Schneidplatte     | TNM 220412      | TNM 220412      |
| Eckenradius       | 1.2             | 1.2             |
| Plattenform       | 60              | 60              |
| Schneidstoff      | S425            | S425            |

|                   |                 |                 |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Werkzeug</b>   | w3              | w4              |
| Halter            | MTJNL 3225 M22  | MTJNL 3225 M22  |
| Schaftquerschnitt | 32*25           | 32*25           |
| Klemmart          | Keilspannsystem | Keilspannsystem |
| Einstellwinkel    | 93              | 93              |
| Schneidplatte     | TCMM 110204-52  | TCMM 110204-52  |
| Eckenradius       | 0.4             | 0.4             |
| Plattenform       | 60              | 60              |
| Schneidstoff      | S1P             | S1P             |

$$16 = G_2W_4D_3$$

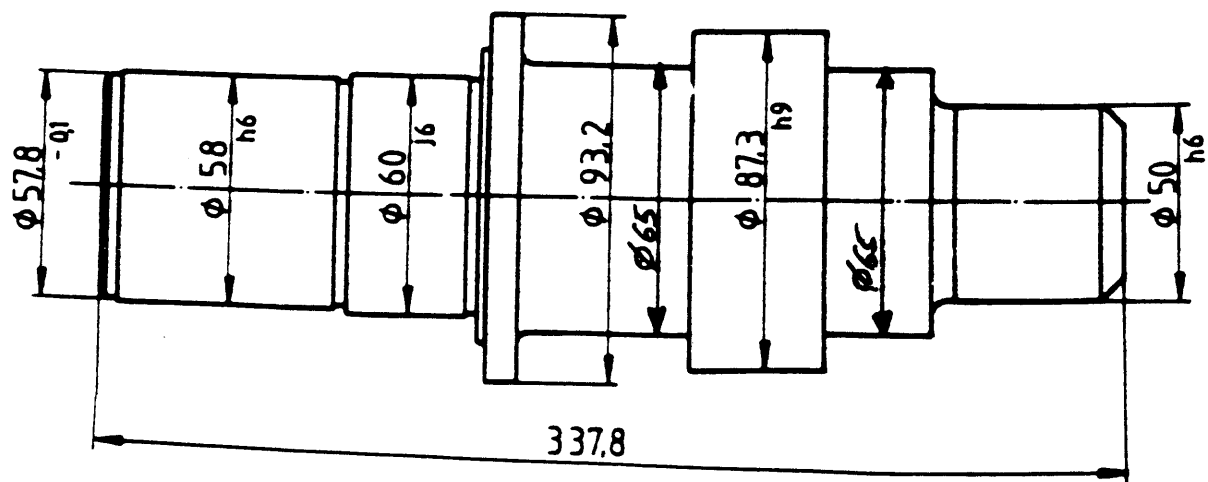
Produktionsplan

| Schritt            | 1                 | 2                |
|--------------------|-------------------|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                | w2               |
| <b>Schnitt</b>     | 1a                | 1b               |
| Tiefe              | 5                 | ←                |
| Vorschub           | 0.5               | ←                |
| Schnittgeschw.     | ca.130            | ←                |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) |                  |
| <b>Kommentar</b>   | 1+2 gleichzeitig  | 1+2 gleichzeitig |

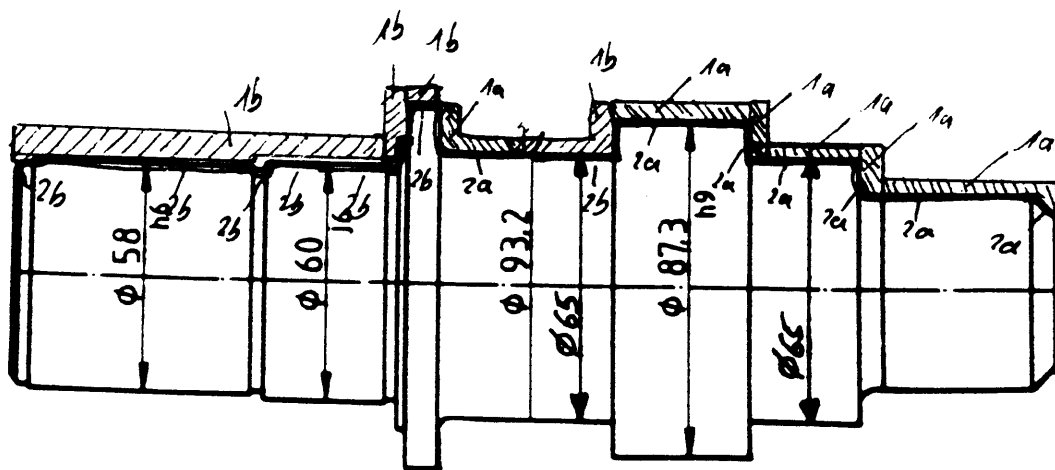
| Schritt            | 3                 | 4                |
|--------------------|-------------------|------------------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←                |
| <b>Werkzeug</b>    | w3                | w4               |
| <b>Schnitt</b>     | 2a                | 2b               |
| Tiefe              | 0.5               | ←                |
| Vorschub           | 0.1+0.07          | ←                |
| Schnittgeschw.     | ca.200            | ←                |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) |                  |
| <b>Kommentar</b>   | 3+4 gleichzeitig  | 3+4 gleichzeitig |

$$16 = G_2W_4D_3$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege



$$17 = G_2W_3D_2$$

Werkstück- und Werkstattbeschreibung

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Werkstück</b> | Antriebswelle<br>aus weichem Alumimium<br>mit beidseitig abfallender Kontur<br>relativ stabil<br>mit breiter Nut<br>mit Passungen, Schrägen, Radien und Formeinstichen                     |
| <b>Werkstatt</b> | Fertigungsmaschine<br>mit ausreichender Leistung<br>mit großer Stabilität<br>mit begrenzter Anzahl Werkzeugen  |
| <b>Kommentar</b> | mit Hartmetall bearbeitbar<br>Rohteillänge=Fertigteillänge<br>Kühlschmiermittel verwenden<br>Gefahr von Aufbauschneidenbildung<br>keine synchrone Bearbeitung<br>hohe Schnittwerte fahrbar |

$$17 = G_2W_3D_2$$

Planskelett

| Schritt   | 1  | 2  |
|---|--|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung      | a1<br>Stirnseitenmitnehmer<br>Zentrierspitze<br><br>FT57.8 bei Antriebsseite   | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung  | Schruppen<br>Reitstock nach Antrieb  | Schruppen<br>Antrieb nach Reitstock  |
| <b>Werkzeug</b>   | w1<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Hartmetall  | w2<br>abgesetzter linker<br>Schruppdrehmeißel<br>mit Hartmetall                        |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 1a<br>Kontur folgend bis FT87.3<br>(Aufmaß 0.5mm)<br>Vorstechen der Nut<br>mittel/hoch:4-10<br>mittel/hoch:0.4-1<br>hoch:1000-1500 | 1b<br>Kontur folgend bis FT93.2<br>(Aufmaß 0.5mm)<br>Vorstechen der Nut<br>←<br>←<br>← |
| <b>Kommentar</b>  | Leistungsgrenzen der Maschine<br>beachten  | ←  |

| Schritt   | 3   | 4  |
|---|---|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorientierung      | ←   | ←  |
| <b>Bearbeitung</b><br>B.richtung  | Schlichten mit Kontur+<br>Feinschlichten<br>Reitstock nach Antrieb  | Schlichten mit Kontur+<br>Feinschlichten<br>Antrieb nach Reitstock                               |
| <b>Werkzeug</b>   | w3<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>mit Hartmetall  | w4<br>abgesetzter linker<br>Schlichtdrehmeißel<br>mit Hartmetall                                 |
| <b>Schnitt</b><br>Verfahrweg<br><br>Tiefe<br>Vorschub<br>Schnittgeschw. | 2a<br>Kontur folgend bis FT87.3<br>1.Hälfte des Nutgrundes<br>Planfläche bei 93.2<br>mittel:0.5-2+gering/mittel:0.25-2<br>mittel/hoch:0.1-0.3+gering:0.05-0.15<br>sehr hoch:1500-2000 | 2b<br>Kontur folgend bis FT93.2<br>2.Hälfte des Nutgrundes<br>Planfläche bei 87.3<br>←<br>←<br>← |
| <b>Kommentar</b>  | Leistungsgrenzen der Maschine<br>beachten   | ←  |

$$17 = G_2W_3D_2$$

Produktmodell

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Geometrie<br/>Technologie</b> | g2<br><br>Werkstoff:AlMgSi (weich)<br>ansonsten siehe g2 |
|----------------------------------|--|

Produktionsmittel

|                |          |
|----------------|----------|
| <b>Rohteil</b> | Formteil |
|----------------|----------|

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Drehmaschine</b> | Böhringer XY |
|---------------------|--------------|

|   |    |  |
|---|----|--|
| <b>Aufspannung</b><br>Spannmittel<br>Spannkraft<br>Wstorient. | a1 |  |
|---|----|--|

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Werkzeug</b><br>Halter<br>Schaftquerschnitt<br>Klemmart<br>Einstellwinkel<br>Schneidplatte<br>Eckenradius<br>Plattenform<br>Schneidstoff | w1<br>MTJNL 3225 M22<br>32*25<br>Keilspannsystem<br>93<br>TCMM 110208-52<br>0.8<br>60<br>H13A | w2<br>MTJNL 3225 M22<br>32*25<br>Keilspannsystem<br>93<br>TCMM 110208-52<br>0.8<br>60<br>H13A |
|---|---|---|

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Werkzeug</b><br>Halter<br>Schaftquerschnitt<br>Klemmart<br>Einstellwinkel<br>Schneidplatte<br>Eckenradius<br>Plattenform<br>Schneidstoff | w3<br>MTJNL 3225 M22<br>32*25<br>Keilspannsystem<br>93<br>TCMM 110204-53<br>0.4<br>60<br>H13A | w4<br>MTJNL 3225 M22<br>32*25<br>Keilspannsystem<br>93<br>TCMM 110204-53<br>0.4<br>60<br>H13A |
|---|---|---|



$$17 = G_2W_3D_2$$

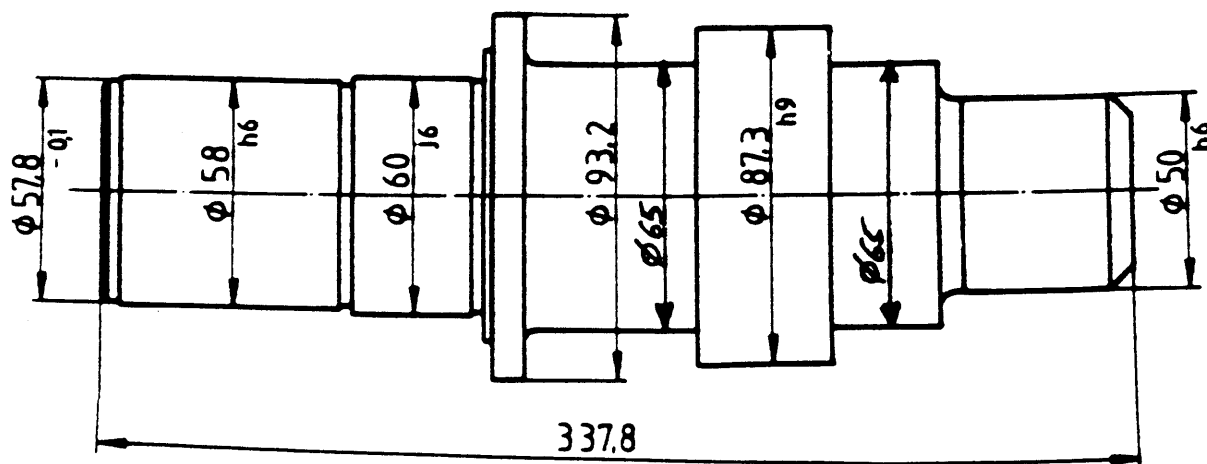
Produktionsplan

| Schritt            | 1                 | 2   |
|--------------------|-------------------|-----|
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←   |
| <b>Werkzeug</b>    | w1                | w2  |
| <b>Schnitt</b>     | 1a                | 1b  |
| Tiefe              | 5                 | 5   |
| Vorschub           | 0.5               | 0.5 |
| Schnittgeschw.     | 850               | 900 |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) |     |

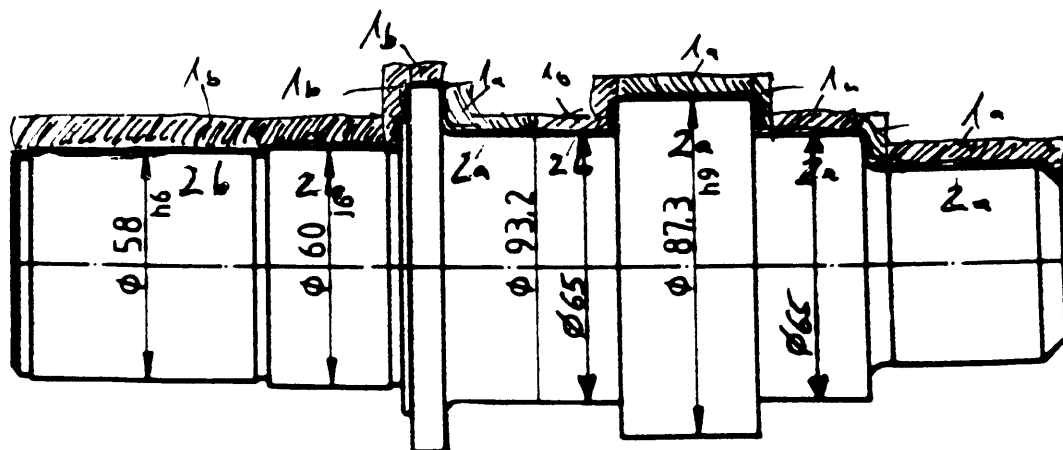
| Schritt            | 3                 | 4        |
|--------------------|-------------------|----------|
| <b>Aufspannung</b> | ←                 | ←        |
| <b>Werkzeug</b>    | w3                | w4       |
| <b>Schnitt</b>     | 2a                | 2b       |
| Tiefe              | 0.5               | 0.5      |
| Vorschub           | 0.2+0.05          | 0.2+0.05 |
| Schnittgeschw.     | 900               | 900      |
| Verfahrweg         | (siehe geometrie) |          |

$$17 = G_2W_3D_2$$

CAD-Zeichnung



Verfahrwege





## DFKI Publikationen

Die folgenden DFKI Veröffentlichungen sowie die aktuelle Liste von allen bisher erschienenen Publikationen können von der oben angegebenen Adresse bezogen werden.

Die Berichte werden, wenn nicht anders gekennzeichnet, kostenlos abgegeben.

## DFKI Publications

The following DFKI publications or the list of all published papers so far can be ordered from the above address.

The reports are distributed free of charge except if otherwise indicated.

### DFKI Research Reports

#### RR-90-07

*Elisabeth André, Thomas Rist:*

Wissensbasierte Informationspräsentation:

Zwei Beiträge zum Fachgespräch Graphik und KI

1. Ein planbasierter Ansatz zur Synthese illustrierter Dokumente
2. Wissensbasierte Perspektivenwahl für die automatische Erzeugung von 3D-Objektdarstellungen

24 Seiten

#### RR-90-08

*Andreas Dengel:* A Step Towards Understanding Paper Documents

25 pages

#### RR-90-09

*Susanne Biundo:* Plan Generation Using a Method of Deductive Program Synthesis

17 pages

#### RR-90-10

*Franz Baader, Hans-Jürgen Bürckert, Bernhard Hollunder, Werner Nutt, Jörg H. Siekmann:* Concept Logics

26 pages

#### RR-90-11

*Elisabeth André, Thomas Rist:* Towards a Plan-Based Synthesis of Illustrated Documents

14 pages

#### RR-90-12

*Harold Boley:* Declarative Operations on Nets

43 pages

#### RR-90-13

*Franz Baader:* Augmenting Concept Languages by Transitive Closure of Roles: An Alternative to Terminological Cycles

40 pages

#### RR-90-14

*Franz Schmalhofer, Otto Kühn, Gabriele Schmidt:*

Integrated Knowledge Acquisition from Text, Previously Solved Cases, and Expert Memories

20 pages

#### RR-90-15

*Harald Trost:* The Application of Two-level Morphology to Non-concatenative German

Morphology

13 pages

#### RR-90-16

*Franz Baader, Werner Nutt:* Adding Homomorphisms to Commutative/Monoidal Theories, or: How Algebra Can Help in Equational Unification

25 pages

#### RR-90-17

*Stephan Busemann:*

Generalisierte Phasenstrukturgrammatiken und ihre Verwendung zur maschinellen Sprachverarbeitung

114 Seiten

#### RR-91-01

*Franz Baader, Hans-Jürgen Bürckert, Bernhard*

*Nebel, Werner Nutt, Gert Smolka:* On the

Expressivity of Feature Logics with Negation, Functional Uncertainty, and Sort Equations

20 pages

#### RR-91-02

*Francesco Donini, Bernhard Hollunder, Maurizio*

*Lenzerini, Alberto Marchetti Spaccamela, Daniele*

*Nardi, Werner Nutt:* The Complexity of Existential Quantification in Concept Languages

22 pages

#### RR-91-03

*B.Hollunder, Franz Baader:* Qualifying Number

Restrictions in Concept Languages

34 pages

**RR-91-04**

*Harald Trost: X2MORF: A Morphological*

**RR-91-15**

*Bernhard Nebel, Gert Smolka*

Component Based on Augmented Two-Level Morphology  
19 pages

**RR-91-05**

*Wolfgang Wahlster, Elisabeth André, Winfried Graf, Thomas Rist: Designing Illustrated Texts: How Language Production is Influenced by Graphics Generation.*  
17 pages

**RR-91-06**

*Elisabeth André, Thomas Rist: Synthesizing Illustrated Documents: A Plan-Based Approach*  
11 pages

**RR-91-07**

*Günter Neumann, Wolfgang Finkler: A Head-Driven Approach to Incremental and Parallel Generation of Syntactic Structures*  
13 pages

**RR-91-08**

*Wolfgang Wahlster, Elisabeth André, Som Bandyopadhyay, Winfried Graf, Thomas Rist: WIP: The Coordinated Generation of Multimodal Presentations from a Common Representation*  
23 pages

**RR-91-09**

*Hans-Jürgen Bürckert, Jürgen Müller, Achim Schupeta: RATMAN and its Relation to Other Multi-Agent Testbeds*  
31 pages

**RR-91-10**

*Franz Baader, Philipp Hanschke: A Scheme for Integrating Concrete Domains into Concept Languages*  
31 pages

**RR-91-11**

*Bernhard Nebel: Belief Revision and Default Reasoning: Syntax-Based Approaches*  
37 pages

**RR-91-12**

*J. Mark Gawron, John Nerbonne, Stanley Peters: The Absorption Principle and E-Type Anaphora*  
33 pages

**RR-91-13**

*Gert Smolka: Residuation and Guarded Rules for Constraint Logic Programming*  
17 pages

**RR-91-14**

Attributive Description Formalisms ... and the Rest of the World  
20 pages

**RR-91-16**

*Stephan Busemann: Using Pattern-Action Rules for the Generation of GPSG Structures from Separate Semantic Representations*  
18 pages

**RR-91-17**

*Andreas Dengel, Nelson M. Mattos: The Use of Abstraction Concepts for Representing and Structuring Documents*  
17 pages

**RR-91-18**

*John Nerbonne, Klaus Netter, Abdel Kader Diagne, Ludwig Dickmann, Judith Klein: A Diagnostic Tool for German Syntax*  
20 pages

**RR-91-19**

*Munindar P. Singh: On the Commitments and Precommitments of Limited Agents*  
15 pages

**RR-91-20**

*Christoph Klauck, Ansgar Bernardi, Ralf Legleitner: FEAT-Rep: Representing Features in CAD/CAM*  
48 pages

**RR-91-21**

*Klaus Netter: Clause Union and Verb Raising Phenomena in German*  
38 pages

**RR-91-22**

*Andreas Dengel: Self-Adapting Structuring and Representation of Space*  
27 pages

**RR-91-23**

*Michael Richter, Ansgar Bernardi, Christoph Klauck, Ralf Legleitner: Akquisition und Repräsentation von technischem Wissen für Planungsaufgaben im Bereich der Fertigungstechnik*  
24 Seiten

**RR-91-24**

*Jochen Heinsohn: A Hybrid Approach for Modeling Uncertainty in Terminological Logics*  
22 pages

**RR-91-25**

*Karin Harbusch, Wolfgang Finkler, Anne Schauder: Incremental Syntax Generation with Tree Adjoining*

**RR-91-26**

*M. Bauer, S. Biundo, D. Dengler, M. Hecking,  
J. Koehler, G. Merziger:*

Integrated Plan Generation and Recognition  
- A Logic-Based Approach -

17 pages

**RR-91-27**

*A. Bernardi, H. Boley, Ph. Hanschke,  
K. Hinkelmann, Ch. Klauck, O. Kühn,  
R. Legleitner, M. Meyer, M. M. Richter,  
F. Schmalhofer, G. Schmidt, W. Sommer:*

ARC-TEC: Acquisition, Representation and  
Compilation of Technical Knowledge

18 pages

**RR-91-28**

*Rolf Backofen, Harald Trost, Hans Uszkoreit:*

Linking Typed Feature Formalisms and  
Terminological Knowledge Representation  
Languages in Natural Language Front-Ends

11 pages

**RR-91-29**

*Hans Uszkoreit:* Strategies for Adding Control  
Information to Declarative Grammars

17 pages

**RR-91-30**

*Dan Flickinger, John Nerbonne:*

Inheritance and Complementation: A Case Study of  
Easy Adjectives and Related Nouns

39 pages

**RR-91-31**

*H.-U. Krieger, J. Nerbonne:*

Feature-Based Inheritance Networks for  
Computational Lexicons

11 pages

**RR-91-32**

*Rolf Backofen, Lutz Euler, Günther Görz:*

Towards the Integration of Functions, Relations and  
Types in an AI Programming Language

14 pages

**RR-91-33**

*Franz Baader, Klaus Schulz:*

Unification in the Union of Disjoint Equational  
Theories: Combining Decision Procedures

33 pages

**RR-91-34**

*Bernhard Nebel, Christer Bäckström:*

On the Computational Complexity of Temporal  
Projection and some related Problems

35 pages

**RR-91-35**

*Winfried Graf, Wolfgang Maaß:* Constraint-basierte  
Verarbeitung graphischen Wissens

14 Seiten

---

**DFKI Technical Memos****TM-91-01**

*Jana Köhler:* Approaches to the Reuse of Plan  
Schemata in Planning Formalisms

52 pages

**TM-91-02**

*Knut Hinkelmann:* Bidirectional Reasoning of Horn  
Clause Programs: Transformation and Compilation

20 pages

**TM-91-03**

*Otto Kühn, Marc Linster, Gabriele Schmidt:*

Clamping, COKAM, KADS, and OMOS:  
The Construction and Operationalization  
of a KADS Conceptual Model

20 pages

**TM-91-04**

*Harold Boley (Ed.):*

A sampler of Relational/Functional Definitions

12 pages

**TM-91-05**

*Jay C. Weber, Andreas Dengel, Rainer Bleisinger:*

Theoretical Consideration of Goal Recognition  
Aspects for Understanding Information in Business  
Letters

10 pages

**TM-91-06**

*Johannes Stein:* Aspects of Cooperating Agents

22 pages

**TM-91-08**

*Munindar P. Singh:* Social and Psychological

Commitments in Multiagent Systems

11 pages

**TM-91-09**

*Munindar P. Singh:* On the Semantics of Protocols  
Among Distributed Intelligent Agents

18 pages

**TM-91-10**

*Béla Buschauer, Peter Poller, Anne Schauder, Karin*

*Harbusch:* Tree Adjoining Grammars mit

Unifikation

149 pages

**TM-91-11**

*Peter Wazinski:* Generating Spatial Descriptions for  
Cross-modal References

21 pages

**TM-91-12**

*Klaus Becker, Christoph Klauck, Johannes*

*Schwagereit:* FEAT-PATR: Eine Erweiterung des  
D-PATR zur Feature-Erkennung in CAD/CAM

33 Seiten

**TM-91-13***Knut Hinkelmann:*

Forward Logic Evaluation: Developing a Compiler  
from a Partially Evaluated Meta Interpreter  
16 pages

**TM-91-14***Rainer Bleisinger, Rainer Hoch, Andreas Dengel:*

ODA-based modeling for document analysis  
14 pages

---

**DFKI Documents****D-91-03**

*Harold Boley, Klaus Elsbernd, Hans-Günther Hein,  
Thomas Krause:* RFM Manual: Compiling  
RELFUN into the Relational/Functional Machine  
43 pages

**D-91-04**

DFKI Wissenschaftlich-Technischer Jahresbericht  
1990  
93 Seiten

**D-91-06**

*Gerd Kamp:* Entwurf, vergleichende Beschreibung  
und Integration eines Arbeitsplanerstellungssystems  
für Drehteile  
130 Seiten

**D-91-07**

*Ansgar Bernardi, Christoph Klauck, Ralf Legleitner*  
TEC-REP: Repräsentation von Geometrie- und  
Technologieinformationen  
70 Seiten

**D-91-08**

*Thomas Krause:* Globale Datenflußanalyse und  
horizontale Compilation der relational-funktionalen  
Sprache RELFUN  
137 Seiten

**D-91-09**

*David Powers, Lary Reeker (Eds.):*  
Proceedings MLNLO'91 - Machine Learning of  
Natural Language and Ontology  
211 pages

**Note:** This document is available only for a  
nominal charge of 25 DM (or 15 US-\$).

**D-91-10**

*Donald R. Steiner, Jürgen Müller (Eds.):*  
MAAMAW'91: Pre-Proceedings of the 3rd  
European Workshop on „Modeling Autonomous  
Agents and Multi-Agent Worlds“  
246 pages

**Note:** This document is available only for a  
nominal charge of 25 DM (or 15 US-\$).

**D-91-11**

*Thilo C. Horstmann:* Distributed Truth Maintenance  
61 pages

**D-91-12***Bernd Bachmann:*

Hiera<sub>Con</sub> - a Knowledge Representation System  
with Typed Hierarchies and Constraints  
75 pages

**D-91-13**

International Workshop on Terminological Logics  
*Organizers: Bernhard Nebel, Christof Peltason,  
Kai von Luck*

131 pages

**D-91-14**

*Erich Achilles, Bernhard Hollunder, Armin Laux,  
Jörg-Peter Mohren:* KRIS: Knowledge  
Representation and Inference System  
- Benutzerhandbuch -  
28 Seiten

**D-91-15**

*Harold Boley, Philipp Hanschke, Martin Harm,  
Knut Hinkelmann, Thomas Labisch, Manfred  
Meyer, Jörg Müller, Thomas Oltzen, Michael  
Sintek, Werner Stein, Frank Steinle:*  
µCAD2NC: A Declarative Lathe-Worplanning  
Model Transforming CAD-like Geometries into  
Abstract NC Programs  
100 pages

**D-91-16**

*Jörg Thoben, Franz Schmalhofer, Thomas Reinartz:*  
Wiederholungs-, Varianten- und Neuplanung bei der  
Fertigung rotationssymmetrischer Drehteile  
134 Seiten

**D-91-17***Andreas Becker:*

Analyse der Planungsverfahren der KI im Hinblick  
auf ihre Eignung für die Arbeitsplanung  
86 Seiten

**D-91-18**

*Thomas Reinartz:* Definition von Problemklassen  
im Maschinenbau als eine Begriffsbildungsaufgabe  
107 Seiten

**D-91-19**

*Peter Wazinski:* Objektlokalisierung in graphischen  
Darstellungen  
110 Seiten



**Wiederholungs-, Varianten-, und Neuplanung bei der  
Fertigung rotationssymmetrischer Drehteile**  
Jörg Thoben, Franz Schmalhofer, Thomas Reinartz

**D-91-16**  
Document